



**T. C.  
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ BİR SCOOTERDA REJENERATİF FRENLEME  
UYGULAMASININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hakan TABAK**

**(20199240006)**

**Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim CAN**

**Eş Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AKSÖZ**

**SIVAS**

**OCAK 2023**

**Hakan TABAK**'ın hazırladığı ve “**ELEKTRİKLİ BİR SCOOTERDA REJENERATİF FRENLEME UYGULAMASININ DENEYESEL ARAŞTIRIŞMASI**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ENERJİ BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	<b>Prof. Dr. İbrahim CAN</b> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....
Eş Danışman	<b>Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AKSÖZ</b> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	<b>Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ</b> Mersin Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	<b>Dr. Öğr. Üyesi Tahsin YÜKSEL</b> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	<b>Dr. Öğr. Üyesi Abdullah KAPICIOĞLU</b> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Nevcihan GÜR SOY**  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



*Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından **TEKNO 2022-034** No'lu proje kapsamında desteklenmiştir.*



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Hakan TABAK, 2023

## ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

12.01.2023

Hakan TABAK

## **KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR**

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana sürekli destek olan, fikirlerinden etkilendiğim ve bu tez çalışmasına beni yönlendiren çok değerli danışman hocam Prof. Dr. İbrahim CAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarında beni sürekli motive eden bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AKSÖZ'e, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen bilgi ve tavsiyelerinden faydalandığım hocam Tahsin Yüksel'e teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca hiçbir zaman yardımını esirgemeyen değerli dostum Ömer KARATAŞ'a teşekkür ederim.

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi İç Denetim Birim Başkanı sayın Mustafa ETİZ ve çok değerli aile üyelerinin destek ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Tez aşamasında vermiş oldukları bilgi, motivasyon ve deneyimlerinden faydalandığım Cumhuriyet teknokent Üniversite-Sanayi iş birliği birim yöneticisi sayın Öğr. Görevlisi Ramazan DEMİR ve Girişimcilik ve Şirketleşme birim yöneticisi sayın Öğr. Görevlisi Ülkü TUTAR'a teşekkür ederim.

Eğitimim ve hayatım boyunca maddi manevi hiçbir desteği esirgemeyen, bana inanan ve güvenen çok değerli anneme, babama ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Bu zorlu süreç boyunca beni sabırla, hoşgörülü ve anlayışla karşılayan, sürekli destek ve motive eden sevgili eşime teşekkür ediyorum.

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından TEKNO-2022-034 numaralı projeye desteklenmiştir. Katkılarından ötürü CÜBAP birimine teşekkür ederiz.

## ÖZET

# ELEKTRİKLİ BİR SCOOTERDA REJENERATİF FRENLEME UYGULAMASININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

**Hakan TABAK**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. İbrahim CAN**

**2023, 86+xviii sayfa**

Bu tez çalışmasında, Elektrikli Kick Scooter'in (EKS) tekerlek içi motor kullanılarak menzilin artırmaya yönelik yeni bir rejeneratif frenleme tekniği önerilmiştir. Önerilen bu tekniğe göre, karmaşık anahtarlama tekniği, volan sistemi veya ultra kapasitör gibi uygulaması zor ve ekonomik açıdan maliyetli olan bu yöntemler kullanılmadan çok hücreli bir akü sisteminden ayarlanabilir direnç kullanarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemi uygulanarak rejeneratif frenleme gerçekleştirilmiştir. Çok hücreli bir akü sisteminden ayarlanabilir direnç kullanarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemi uygulanarak standart akımlarda motor beslenirken daha yüksek akımlarda batarya beslenilmiştir. Bu sistemi uygulamak için ayarlı güç direnci (reosta) kullanılmıştır. Çok hücreli akü sistemi olarak lityum iyon ve kurşun asit bataryalar kullanılmıştır. Farklı batarya grupları kullanılarak çalışmanın güvenilirliği artırılmıştır. Önerilen rejeneratif frenleme sisteminin performansını değerlendirmek için MATLAB/SIMULINK programı ile simülasyonları yapılmıştır. Ayrıca teorik yöntemi teyit amaçlı deneysel bir çalışma da yapılmıştır. Deneysel yöntem için Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüsünde bir sürüş çevrimi gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar sonucunda kurşun asit bataryadan %21,09 lityum iyon bataryadan ise %28,35 menzile katkı sağlamıştır. Gerçek sürüş testlerinde ise kurşun asit bataryadan %18,24 lityum iyon bataryadan ise %25,36 menzile katkı sağlanmıştır. Teorik ve gerçek test sonuçlarında, önerilen rejeneratif frenleme tekniğinin uygulanabilirliği ve verimli olduğunu kanıtlanmıştır. Ayrıca bu tez araştırması, EKS ve diğer elektrikli

araçların (EA) menzilini arttırmak için basit ve verimli bir rejeneratif frenleme sistemi sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Elektrikli Kick Scooter, Rejeneratif frenleme, Şarj akımı, ayarlanabilir güç direnci, Çok hücreli batarya, MATLAB/SIMULINK, Tekerlek içi motor, Sürüş çevrimi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sürüş Çevrimi





## **ABSTRACT**

# **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF REGENERATIVE BRAKING IN AN ELECTRIC SCOOTER**

**Hakan TABAK**

**Master of Science Thesis**

**Department of Energy Science and Technology Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. İbrahim CAN**

**2023, 86+xviii pages**

In this thesis, a new regenerative braking technique is proposed to increase the range of the Electric Kick Scooter (EKS) by using an in-wheel motor. According to this proposed technique, regenerative braking is performed by applying the method of changing the charge and charge currents using an adjustable resistor from a multi-cell battery system, without using complex switching technique, flywheel system or ultra-capacitor, which is difficult to implement and economically costly. By applying the method of changing the charging and charging currents using an adjustable resistor from a multi-cell battery system, the motor is fed at standard currents while the battery is fed at higher currents. A regulated power resistor (rheostat) is used to implement this system. Lithium-ion and lead-acid batteries were used as multi-cell battery system. The reliability of the study has been increased by using different battery groups. To evaluate the performance of the proposed regenerative braking system, simulations were made with the MATLAB/SIMULINK program. In addition, an experimental study was conducted to confirm the theoretical method. For the experimental method, a driving cycle was carried out on the campus of Sivas Cumhuriyet University. As a result of the simulations, it contributed to the range of 21.09% from the lead acid battery and 28.35% from the lithium-ion battery. In real driving tests, 18.24% from the lead acid battery and 25.36% from the lithium-ion battery contributed to the range. In theoretical and real test results, the proposed regenerative braking technique has been proven to be practicable and efficient. In addition, this thesis research offers a simple

and efficient regenerative braking system to increase the range of EKS and other electric vehicles (EV).

**Key Words:** Electric Kick Scooter, Regenerative braking, Charging current, adjustable power resistor, Multi-cell battery, MATLAB/SIMULINK, In-wheel motor, Driving cycle, Sivas Cumhuriyet University Driving Cycle



# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ETİK</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xvi</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Literatür Araştırması .....	4
1.2. Elektrikli Kick Scooter (EKS) ve Gelişimi.....	15
1.3. Türkiye 'de EKS Kullanımı .....	22
1.4. EKS Şasi .....	23
1.5. Elektrik Motoru .....	23
1.5.1. İndüksiyon (Asenkron) motorlar .....	24
1.5.2. Sürekli (Kalıcı) mıknatıslı senkron motorlar .....	25
1.5.3. Tekerlek içi (Hub) motorlar .....	26
1.5.4. Anahtarlamalı relüktans motorları .....	28
1.6. Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan Batarya Çeşitleri .....	28
1.6.1. Kurşun asit batarya.....	28
1.6.2. Nikel (Alkalin) bazlı bataryalar .....	29
1.6.3. Lityum iyon batarya teknolojisi .....	30
1.6.4. Lityum demir fosfat (LDF) piller.....	35
1.6.5. Lityum kükürt (Sülfür) (Li-S) piller.....	35
1.6.6. Lityum kobalt oksit (LiCoO <sub>2</sub> ) batarya .....	36
1.6.7. Lityum mangan oksit bazlı piller (LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) .....	36
1.6.8. Lityum titanat oksit (Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub> ) batarya.....	37
1.6.9. Lityum-hava batarya teknolojisi (Li-Air).....	37
1.7. Ayarlı Güç Direnci (Reosta) .....	37
<b>2. REJENERATİF FRENLEME</b> .....	<b>39</b>
<b>3. EKS DİNAMIĞI</b> .....	<b>41</b>
3.1. Scootera Etki Eden Dirençler .....	41
3.2. Aerodinamik (Hava) Direnci .....	41
3.3. Yuvarlanma Direnci .....	42
3.4. Eğim Direnci .....	42
3.5. İvme (Atalet) Direnci.....	43
<b>4. SÜRÜŞ ÇEVİRİMLERİ</b> .....	<b>44</b>
4.1. İstanbul Şehir Çevrimi .....	44
4.2. Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi.....	45
4.3. New York Şehir Çevrimi .....	47
<b>5. MATERYAL VE METOT</b> .....	<b>50</b>
5.1. EKS Seçimi .....	50
5.2. EKS Şasi .....	51
5.3. EKS'de Kullanılan Elektrik Motoru.....	52
5.4. EKS'de Kullanılan Batarya Türleri .....	53
5.5. Ayarlı Güç Direnci .....	54

5.6. Güç Ölçüm Cihazı .....	55
5.7. Motor Sürücüsü .....	55
<b>6. SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ SÜRÜŞ ÇEVİRİMİ (SCUDC).....</b>	<b>57</b>
<b>7. EKS 'NİN MATLAB MODELİ .....</b>	<b>60</b>
<b>8. GERÇEK SÜRÜŞ ÇEVİRİMİ.....</b>	<b>66</b>
<b>9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>73</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>75</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Üniversite kampüsünde bulunan paylaşımlı bir EKS .....	4
Şekil 1.2	İlkel scooter (ata kick scooter) .....	16
Şekil 1.3	Postacılar tarafından kullanılan Autoped .....	17
Şekil 1.4	Arthur Hugo Cecil Gibson'ın kendinden tahrikli araç patentinden çizim ...	17
Şekil 1.5	1916 yılında çekilen İngiliz Flörence NORMAN .....	18
Şekil 1.6	1918 den kalma içten yanmalı motora sahip bir scooter Ulusal Amerikan tarihi müzesi .....	19
Şekil 1.7	Çocuklar tarafından düzenlenen kick scooter yarışları .....	20
Şekil 1.8	Akıllı vuruş gücü ile hareket eden scoter .....	20
Şekil 1.9	Kolay katlanabilir EKS .....	21
Şekil 1.10	Günümüz 'de kullanılan EKS .....	22
Şekil 1.11	Kalıcı mıknatısın türüne göre SMSM motor konumu .....	25
Şekil 1.12	Rotorun motor içerisindeki konumu .....	26
Şekil 1.13	İç rotorlu Hub motor basit yapısı .....	27
Şekil 1.15	Yapılarına göre kurşun asit bataryalar .....	29
Şekil 1.16	Ni-CD batarya .....	30
Şekil 1.17	Farklı pillerin güç ve enerji özellikleri .....	32
Şekil 1.18	250 km yol alabilmek için benzin, kurşun asit ve lityum bataryalarının boyutları .....	32
Şekil 1.19	Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların dünü, bugünü ve geleceği.....	33
Şekil 1.20	Li-S batarya şeması.....	36
Şekil 1.21	Ayarlı güç direnci gösterimi.....	38
Şekil 1.22	Ayarlı güç direnci çalışma prensibi .....	38
Şekil 4.1	İstanbul sürüş çevrimi grafiği .....	45
Şekil 4.2	NEDC şehir içi ve şehir dışı hız-zaman grafiği.....	47
Şekil 4.3	NYCC döngüsü grafiği .....	48
Şekil 4.4	NYCC zaman-mesafe grafiği .....	49
Şekil 4.5	NYCC hız-zaman grafiği .....	49
Şekil 5.1	EKS .....	51
Şekil 5.2	EKS'nin dış rotorlu Hub motor yapısı .....	52
Şekil 5.3	Lityum iyon batarya .....	53
Şekil 5.4	Kurşun asit batarya .....	53
Şekil 5.5	Ayarlı Güç Direnci.....	54
Şekil 5.6	Ayarlı güç direncinin EKS'ye montajı.....	55
Şekil 5.7	Güç ölçüm cihazı .....	55
Şekil 5.8	Motor sürücüsünün EKS montajı .....	56
Şekil 6.1	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sürüş Çevrimi .....	57
Şekil 6.2	SCUDC'de farklı zamanlarda ve koşullarda yapılan sürüş testleri .....	58
Şekil 6.3	SCUDC hız-zaman grafiği .....	59
Şekil 6.4	SCUDC ivme-zaman grafiği .....	59
Şekil 7.1	EKS'nin dinamik modeli.....	60
Şekil 7.2	EKS'nin motor sürücüsü ve hub motor bloğu.....	61
Şekil 7.3	EKS'nin batarya modeli.....	61
Şekil 7.4	SCUDC MATLAB/simulink blok diyagramı .....	61
Şekil 7.5	Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme olmadan akım-zaman grafiği .....	62
Şekil 7.6	Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme olmadan B.D.O .....	62

Şekil 7.7 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme ile akım-zaman grafiği.....	63
Şekil 7.8 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme ile B.D.O .....	63
Şekil 7.9 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme olmadan akım-zaman grafiği.	64
Şekil 7.10 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme olmadan B.D.O. ....	64
Şekil 7.11 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme ile akım-zaman grafiği .....	65
Şekil 7.12 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme ile B.D.O. ....	65
Şekil 8.1 SCÜSÇ trafik koşullarında uygulanması .....	66
Şekil 8.2 Kurşun asit batarya ve lityum iyon batarya.....	67
Şekil 8.3 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme olmadan akım-zaman grafiği.	67
Şekil 8.4 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme olmadan B.D.O. ....	68
Şekil 8.5 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme aktifken akım-zaman grafiği .	68
Şekil 8.6 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme aktifken B.D.O.....	69
Şekil 8.7 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme olmadan akım-zaman grafiği .....	70
Şekil 8.8 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme olmadan B.D.O. ....	70
Şekil 8.9 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme aktifken akım-zaman grafiği	71
Şekil 8.10 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme aktifken B.D.O .....	71

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.2</b> Batarya değerleri .....	34
<b>Tablo 3.1</b> Bazı araç türlerinin aerodinamik sürtünme katsayısı ve ön kesit alanı .....	41
<b>Tablo 3.2</b> Lastik-zemin tipine göre yuvarlanma direnç katsayısı değerleri .....	42
<b>Tablo 4.1</b> NEDC özellikleri .....	46
<b>Tablo 4.2</b> NYCC verileri .....	48
<b>Tablo 5.1</b> EKS özellikleri .....	50
<b>Tablo 5.2</b> EKS’de kullanılan Hub motorun özellikleri .....	52
<b>Tablo 5.3</b> Kurşun asit batarya özellikleri .....	53
<b>Tablo 5.4</b> Lityum iyon batarya özellikleri .....	54



## SİMGELER DİZİNİ

<b>NO<sub>x</sub></b>	Azot oksitler
<b>CO</b>	Karbon monoksit
<b>CO<sub>2</sub></b>	Karbon dioksit
<b>HC</b>	Hidrokarbon
<b>PM</b>	Partikül madde
<b>SO<sub>x</sub></b>	Kükürt oksit
<b>Pb</b>	kurşun
<b>kW</b>	kilovat
<b>J</b>	Joule
<b>Nimh</b>	Nikel metal hidrat
<b>km/h</b>	Kilometre saat
<b>cm<sup>3</sup></b>	Santimetre küp
<b>AlNiCo</b>	Alüminyum nikel kobalt alaşımı
<b>SmCo</b>	Samaryum kobalt alaşımı
<b>Pb-acid</b>	Kurşun asit
<b>PbO<sub>2</sub></b>	Kurşun dioksit
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Sülfürik asit
<b>Ni-Cd</b>	Nikel kadmiyum
<b>Ni-Zn</b>	Nikel çinko
<b>LiFePO<sub>4</sub></b>	Lityum demir fosfat
<b>Li-S</b>	Lityum kükürt
<b>SG</b>	Kükürt grafen
<b>LiCoO<sub>2</sub></b>	Lityum kobalt oksit
<b>LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	Lityum manganez oksit
<b>Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub></b>	Lityum titanat oksit
<b>Li-Air</b>	Lityum hava
<b><math>\rho</math></b>	Hava yoğunluğu
<b><i>Cd</i></b>	Aerodinamik sürtünme katsayısı
<b><i>A<sub>f</sub></i></b>	Ön kesit alan
<b><math>\mu_{rr}</math></b>	Yuvarlanma direnci katsayısı
<b><math>\Omega</math></b>	ohm



## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>İYM</b>	İçten Yanmalı Motorlar
<b>LPG</b>	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
<b>EA</b>	Elektrikli Araç
<b>NEDC</b>	Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi
<b>UDC</b>	Kentsel Sürüş Çevrimi
<b>EUDC</b>	Şehir Dışı Sürüş Çevrimi
<b>IM240</b>	Muayene ve Bakım 240
<b>UDDS</b>	Kentsel Dinamometre Sürüş Çevrimi
<b>BLDC</b>	Fırçasız Doğru Akım
<b>MOSFET</b>	Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör
<b>AC</b>	Alternatif Akım
<b>DC</b>	Doğru Akım
<b>MATLAB</b>	Matrix Laboratory
<b>ADVISOR</b>	Advanced Vehicle Simulator
<b>PWM</b>	Darbe Genişliği Modülasyonu
<b>MLBC</b>	Çok Katmanlı Yükseltici Dönüştürücü
<b>PMSM</b>	Sabit Mıknatıslı Senkron Motor
<b>SOC</b>	Şarj Durumu
<b>KERS</b>	Kinetik Enerji Geri Kazanım Sistemleri
<b>FPGA</b>	Alan Programlanabilir Kapı Dizisi
<b>ECE47</b>	Avrupa Ekonomik Komisyonu 47
<b>WLTP</b>	Dünya Çapında Uyumlaştırılmış Hafif Hizmet Araçları Test Prosedürü
<b>NYCC</b>	New York Şehir Çevrimi
<b>GUI</b>	Grafiksel Kullanıcı Arayüzü
<b>EKS</b>	Elektrikli Kick Scooter
<b>ARM</b>	Anahtarlamalı Relüktans Motor
<b>VRLA</b>	Supap Ayarlı Kurşun Asit
<b>AGM</b>	Absorbe Cam Mat
<b>LİB</b>	Lityum İyon Batarya
<b>LCO</b>	Lityum Kobalt Oksit
<b>LMO</b>	Lityum Manganez Oksit
<b>LDF</b>	Lityum Demir Fosfat
<b>LTO</b>	Lityum Titanat Oksit
<b>FTP-75</b>	Federal Test Prosedürü 75
<b>US EPA</b>	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
<b>SCUDC</b>	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sürüş Çevrimi
<b>B.D.O.</b>	Batarya Doluluk Oranı

## 1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanoğlu enerji bakımından verimli topraklara sahip olabilmek için yıllar hatta asırlar süren savaşlar yapmışlardır. Teknolojik bakımdan güçlü olan devletler, sömürgecilik anlayışıyla birlikte zayıf ölkelerin yeraltı zenginliklerine ve enerji kaynaklarına sahip olmuşlardır.

Enerji kavramı çok geniş kapsamlı olup birden fazla belki onlarca tanımı vardır. Enerji tanımlamasını kısa ve öz bir şekilde yapacak olursak yapılan prosesin veya sistemin pozitif iş yapabilme kapasitesidir. Enerji kavramı basit gibi görünse de insanlık için hatta evren için çok önemli bir rol üstlenmektedir.

Enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılması yapılmaktadır. Kömür, petrol, doğalgaz ve güneş enerjisi gibi tarih boyunca kendiliğinden oluşmuş kaynaklar, birincil enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Birincil kaynaklar kendi içerisinde yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar olarak ayrılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları, kömür, petrol, doğalgaz ve yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, biokütle ve atık enerjisi oluşturmaktadır (Kılıç ve Aslan, 2016). Birincil enerji kaynaklarından olan petrol türevleri yenilenemez enerji kaynaklarından olup günümüzde en çok kullanılan yakıt türü olmakla beraber aynı zamanda atmosfere zararlı gaz yayan yakıt türüdür.

Fosil enerji kaynaklarının kullanımının artması başta insan sağlığı olmak üzere çevreye büyük zararlar vermektedir. Her geöen gün artan insan popölyasyonu doğru orantılı bir şekilde trafikte kullanılan araç sayısı da artmaktadır. Araöların egzozlarından çıkan emisyonlar azot oksitler ( $NO_x$ ), karbon monoksit (CO), karbon dioksit ( $CO_2$ ), yanmamış hidrokarbonlar (HC), partiköl madde (PM), kükört oksitler ( $SO_x$ ), kurşun (Pb) vb. zararlı gazlar sera etkisine neden olmaktadır.

İöten yanmalı motorların (İYM) emisyon değerlerini azaltmak için bilim insanları sayısız bilimsel araştırmalar yapmışlardır. Bu araştırmalar ışığında, alternatif enerji kaynakları bulabilmek için farklı yollar deneyerek İYM'ların egzoz manifoldundan çıkan emisyonların azalmasında önemli sonuçlara varılmıştır.

Petrol türevlerini bitkisel ürünlerin yağlarıyla belirli oranlarda karıştırılarak emisyon değerlerini düşürmeyi başarmışlardır (I. Can, 2012; Yüksel ve Temizer, 2018). Hatta

ülkemizde bol miktarda özellikle Karadeniz bölgesine özgü olan fındık bitkisi belirli proseslerden geçirilerek fındık yağı elde edilmektedir. Elde edilen fındık yağı ile petrol türevi olan motorin yakıtının belirli oranlarda birleştirilerek çevreye zararlı olarak bilinen NO<sub>x</sub> emisyonunu önemli derecede azaltılma sağlamaktadır (I. Can, 2012). Başka bir yöntem ise motor soğutma akışkanı antifriz içerisine nanoakışkan sıvıların eklenmesiyle egzoz emisyonlarında azaltmalar sağlanmaktadır (Yüksel ve Kapıcıoğlu, 2021).

Ayrıca yıllardır tüketilen fosil yakıt rezervlerinde önemli ölçüde azalma başlamıştır. Buna bağlı olarak yakıt fiyatı artmış ve bilim insanları daha uygun fiyatlı çevreye daha az emisyon yayan alternatif yakıt kullanımına yönelmişlerdir. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) yakıtının oktan sayısının daha fazla olması ve yakıtın kimyasal bileşeninde kükürt bulunmaması diğer yakıtlara göre daha çevreci yapmaktadır. Aynı zamanda benzin yakıtına göre CO, HC ve CO<sub>2</sub> emisyonları da daha düşük değerlere sahip olmaktadır (I. Can, 2009). Motorin ve benzin yakıtlarına göre de fiyat açısından oldukça düşük olması nedeniyle çoğu benzin sistemli araçlara LPG dönüşümü yapılmaktadır.

**Tablo 1.1** Yanma sırasında yakıt litresi başına CO<sub>2</sub> emisyonu (g/l) (Synák vd., 2019)

Yakıt Tipi	CO <sub>2</sub> Emisyonu(g/l)
Petrol	2.500
LPG	1.600
Dizel	2.700

Tablo 1.1’de ülkemizde popüler olarak kullanılan 3 yakıt türü gösterilmiştir. 1 litre yakıtın silindirler içerisinde yanmasıyla meydana gelen CO<sub>2</sub> emisyonunun atmosfere ne ölçekte atıldığını ve çevreye ne denli zarar verdiğini göstermektedir. Tablo 1.1’de varılan sonuca göre günümüzde geleneksel olarak kullanılan yakıt türlerinden çevreye nispeten diğer yakıtlara göre daha az kirleten LPG göze çarpmaktadır.

Fosil yakıtlar hakkında her ne kadar bilimsel çalışmalar sürmeye devam etse de hükümetlerin emisyonlar karşısında koymuş olduğu kotalar üreticileri ve bilim insanlarını zora sokmaktadır. Hükümetlerin bir araya gelerek küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlarının çözümü için araçların egzozundan çıkan emisyonları azaltabilmek için imzalanan Kyoto protokolünün ardından yeşil ulaşım teknolojiler popülerlik kazanmıştır (Sarıışık ve Ercoşkun, 2021). Tüm bu gelişmeler ışığında

elektrikli araçların gelişme göstermesi batarya performanslarının iyileşmesi ve daha çevreci olabilme kaygısıyla birlikte artık ibre tam olarak elektrikli araçlara çevrilmektedir.

Kurşun asit batarya keşfinden sonra ilk EA 1835 yılında Profesör Stratingh tarafından Hollanda'da yapılmıştır (Varol, 2019). Bu tarihlerde birçok elektrikli araç tasarlanmış ve yollarda görünmeye başlanmıştır. Buna paralel olarak İYM'lerin gelişmesi, fabrikaların açılması ve performans olarak EA'lara kıyasla daha verimli olması nedeniyle elektrikli araçları geride bırakmıştır (Kocakulak ve Solmaz, 2019). 1970 ve 1980 yıllarında enerji kriziyle birlikte EA'lar tekrar popüler hale gelmiştir. Ancak, hız ve menzil sorunu nedeniyle EA'lar tekrar rafa kaldırılmıştır. Elektrikli araçların tarihi İYM'lara göre daha eski olup o dönem ki teknolojik şartlar nedeniyle yerini İYM'lara bırakmıştır. Değişen ve sürekli yenilenen teknoloji ile birlikte elektrikli araçlar 21. yy.'ın başlarından itibaren hızlı bir gelişim göstermektedir. Yıllardır elektrikli araçlarda sorun haline gelen batarya sistemleri teknolojik ilerlemelerle aynı oranda gelişmektedir. Bataryaların eskiye nazaran daha kullanılabilir olmasına karşın halen istenilen menzil seviyesine ulaşamamıştır. Bununla birlikte EA'lar yeterli şarj istasyonlarının kurulmaması ve altyapı çalışmalarının yetersizliği ve batarya dolun süresinin çok fazla zaman alması gibi dezavantajlara sahiptir.

Artan insan nüfusu ile birlikte şehirlerde araç sayısı da artmaktadır. Buna bağlı olarak trafikte geçen süre her zamankinden daha fazla olmaktadır. Oyun eğlence kullanımının yanı sıra trafikte daha rahat sürüş sağlamakta (Duy vd., 2020) ve hacimce daha az yer kaplaması hafif elektrikli araçların tercih edilme nedenlerinden biridir (Serter vd., 2020). Pandeminin etkisiyle birlikte toplu taşıma araçlarına rağbet gitgide azalmıştır. Bu fırsatı iyi değerlendiren üreticiler piyasaya daha çok hafif elektrikli araç sunmaya başlamışlardır. Hafif elektrikli araçlar ile kısa mesafe yolculuğu yapmak çok idealdir. Bu yolculuklar için son zamanlarda gittikçe popüleritesi artan elektrikli scooterlar kısa seyahatlerde oldukça pratik, güvenli ve keyiflidir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi üniversite kampüslerine, yol kenarlarına, alışveriş merkezlerine, kalabalık cadde ve sokaklara bırakılan elektrikli scooterlar paylaşımlı sistemler olarak kullanılabilir. Ayrıca kişisel olarak satın alınıp kısa mesafelerde örneğin işe gidip gelme gibi amaçlarla kullanılabilir. Elektrikli scooterların ve tüm elektrikli araçların en büyük sorunu menzilin istenilen seviyede olmamasıdır. Bilim adamları ve üreticiler bu

sorunu ortadan kaldıracak için yoğun Araştırma ve Geliştirme (AR-GE) çalışmaları yapmaktadırlar.



Şekil 1.1 Üniversite kampüsünde bulunan paylaşımlı bir EKS

### 1.1 Literatür Araştırması

Bilim insanları için elektrikli araçlarda, enerji geri kazanımı oldukça dikkat çekici bir araştırma konusudur. Özellikle trafikte dur-kalkların çok olduğu şehir içi sürüşlerde rejenerasyon araştırmaları hız kazanmış ayrıca bu bölgelerde yani dur-kalkların çok olduğu yerlerin simülasyonlarını yaparak ne denli enerji geri kazanılacağını öngörmüşlerdir. Ayrıca gerçek sürüş testleri ile benzetim çalışmaları yapmışlardır. Literatürde rejeneratif frenleme uygulaması ve sürüş döngüleri üzerine çokça çalışmalar bulunmaktadır. Tez kapsamı çerçevesinde yapılan akademik çalışmalara bu bölümde değinilmiştir.

Kocakulak ve Solmaz (2019) bulanık mantık kontrol yöntemiyle rejeneratif fren sistemini modellemişlerdir. 75 kW güç ve 8000 dev/dk doğru akım elektrik motoru ve lityum demir fosfat batarya kullanmışlardır. Sisteme üyelik fonksiyonu olarak araç hızı, batarya şarj doluluk oranı (SOC), fren pedal konumu ve batarya akım değerlerinin girdisi sağlamışlardır. Fren pedalına düşük ve orta seviyelerde şiddet uygulanınca rejeneratif frenleme daha etkin olmuştur. Tam frenleme gerçekleştiğinde enerji kazanım verimi düştüğünü gözlemlemişlerdir. Frenleme anlarında batarya iç direnci sürekli değişmekte ve batarya ömrüne olumsuz yansıdığı için batarya şarjı %10 altında ve %90 değerinin üstünde olduğu zamanlarda rejeneratif frenleme etkinliği azaltmışlardır. Bu yöntemle sürüş döngüleri Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC)

%15,4, Kentsel Sürüş Döngüsü (UDC) %19,7 ve Şehir Dışı Sürüş Döngüsü (EUDC) %11,9 oranlarında enerji tasarrufu sağlamışlardır. Regeneratif fren sisteminin geleneksel kontrol sistemi yerine bulanık mantık kontrol ile gerçekleşmesiyle birlikte sürüş döngüleri; NEDC %4,8, ECE-15 %3,78 ve EUDC %5,44 oranında tasarruf sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmayla bulanık mantık yönteminin regeneratif frenlemeye olumlu etkisini açıklamışlardır (Kocakulak ve Solmaz, 2019).

Bhatt ve ark. (2019) yüksek verimliliği ve güç tasarrufu olan fırçasız doğru akım (BLDC) bir motor üzerinde gerçekleştirilen regeneratif frenlemenin menzile olan etkisi incelenmişlerdir. P-kanallı metal oksit yarı iletken alan etkili transistör (MOSFET) ve H Köprü İnverter Devresi yardımıyla frenleme sırasında boşa harcanan maksimum enerjiyi yeniden üretecek bir sistem hayata geçirmişlerdir. Sonuç olarak teorik de regeneratif fren sisteminde yakıt tüketiminde %30 tasarruf sağlamışlardır (Bhatt vd., 2019).

Billah ve ark. (2017) hafif elektrikli araçlar için geliştirdikleri regeneratif frenleme sisteminde stator voltajını değiştirerek menzile olan etkisini araştırmışlardır. Ultra kapasitör ve karmaşık anahtarlama teknikleri gibi yüksek maliyetli sistemlerden daha verimli bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada basit olarak 3 fazlı doğrultucu, döner mekanik anahtar ile bu anahtarın fren pedal konumuna bağlı olarak farklı stator voltajı uygulaması için çok hücreli bir batarya sistemi geliştirmişlerdir. 3 fazlı BLDC motora değişken yükler uygulayarak stator akımının tüketimi incelemişlerdir. Ayrıca BLDC motora deneysel olarak 36 kg, 51 kg, 66 kg ve 81 kg yük bindirimi uygulayarak her biri için frenleme voltajını sabit tutup regeneratif frenleme süresinin yük etkisini incelemişlerdir. Regeneratif frenleme anında stator voltajının düşürülmesi ile birlikte düşük frenleme süresi elde edilmiş ve buna karşılık olarak daha fazla negatif akım çekerek bataryanı şarj olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yapılan deneyler neticesinde yaklaşık %29 oranında batarya performansının arttığını kanıtlamışlardır. Yapmış oldukları Regeneratif frenleme sisteminin hafif elektrikli araçlarda uygulanabilir olduğunu ve diğer sistemlere göre daha etkili olduğunu kanıtlamışlardır (Billah vd., 2018).

Ma ve ark. (2012) elektrikli araçlarda fren kuvvet dağılımı problemi için strateji geliştirmişlerdir. Fren kuvvet dağılımını doğru bir şekilde dağıtıp regeneratif frenleme ile birlikte araç menzilini artırmışlardır. Ön aks ve arka aks'ın fren kuvvet dağılımını belirli oranda ayarlayarak araç dengesi incelemişlerdir. Frenleme oranı belirli bir pik

noktasına geldiğinde tekerlekler kilitleneceği için rejeneratif frenlemeyi durdurarak sistemin sağlıklı bir şekilde işlenmesini sağlamışlardır. Matrix Laboratory (MATLAB) programı ile Japanese 10-15 (JAP 10-15), Jap-08 ve NEDC olmak üzere 3 farklı sürüş çevriminin rejeneratif frenleme sisteminde araç üzerinde etkisi incelemişlerdir. Jap-10-15 çevriminde %59,3, Jap-08 çevriminde %31,6, NEDC çevriminde %16,84 oranında rejeneratif frenleme ile sürüş mesafeleri arttığını tespit etmişlerdir. Gerçek sürüş testinde ise saf elektrikli araç için, şasi dinamometresi üzerinde yapılan deneylerde %8,31 oranında rejeneratif frenlemenin menzile etkisi olduğunu doğrulamışlardır (Ma vd., 2012).

Erdem ve Taci (2018) Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) programını kullanarak araç modellemesi simülasyonu yapmışlardır. Araç için seçilen elektrik motoru 75 kW Westinghouse Alternatif akım (AC) asenkron motor ve batarya sistemi için 25 kW, 12 ve 26Ah değerlerinde bir kurşun asit batarya seçmişlerdir. Simülasyonu eğimin olmadığı ( $\alpha = 0$ ), yokuş aşağı eğimli ( $\alpha = -0,06$ ) ve yokuş yukarı eğimli ( $\alpha = 0,06$ ) yol şartlarında rejeneratif frenleme kıyaslanmasını yapmışlardır. Sürüş döngüsü muayene ve bakım 240 çevriminde 85. Saniyede frenleme yapılarak yokuş yukarı 4.85 kW yokuş aşağı 13,058 J ve düz yolda 9,002 J güç bataryalara depolanmış ve yokuş aşağı yol durumunda rejeneratif frenlemenin daha avantajlı olduğunu doğrulamışlardır. Ayrıca UDDS, NEDC ve US06 sürüş çevrimlerinde rejeneratif frenlemenin menzile olan artısını simülasyonlarla incelemişlerdir. Kentsel dinamometre sürüş programı (UDDS) %11,6, NEDC %7,2 ve US06 %8,1 menzile etkisi olduğu sonucuna varmışlardır. Buna bağlı olarak rejeneratif frenlemenin en verimli olduğu sürüş döngüsü şehir içinde sık frenleme ve yavaşlamanın olduğu UDDS çevrimi olduğunu simülasyonlar ile ispatlamışlardır (Erdem ve Taci, 2018).

Abirami ve ark. (2021) sabit mıknatıslı senkron motoru kullanarak çok katmanlı yükseltici dönüştürücü (MLBC) tasarımıyla rejeneratif frenleme anında bataryaya enerji depolamak için çalışma yapmışlardır. Rejeneratif frenleme anında voltaj süresini uzatmak için MLBC sistemi önermişlerdir. MLBC, Darbe Genişliği Modülasyonu (PWM) darbe, kapasitörler ve diyotlar için anahtarlama işlemi yapan MOSFET'e iletilmiş ayrıca sistemde bulunan kapasitör ve diyot sayısı, çıkışta ki voltaj seviyelerinin sayısının belirlemek için kullanmışlardır. MLBC giriş voltajı düşük olsa bile çıkış voltajını yükselttiğini gözlemlemişlerdir. MATLAB programı kullanarak 8 saniye boyunca rejeneratif frenleme etkisi araştırmışlardır. İlk 4 saniye boyunca

motora enerji verilirken sonraki 4 saniye rejeneratif frenleme ile bataryaya enerji depolanmasını sağlamışlardır. Bu sistem kullanılarak rejeneratif frenleme ile bataryaya enerji depolanacağı sonucuna ulaşmışlardır (Abirami vd., 2021).

Xu ve ark. (2011) sabit mıknatıslı senkron motor (PMSM), lityum iyon batarya ve vites kutusu sistemini elektrikli bir arabaya entegre etmişlerdir. Elektrikli araçta güvenlik açısından, geleneksel fren sistemi ile rejeneratif fren sistemini birlikte kullanmışlardır. Gerçek sürüş testlerinden önce ADVISOR programı kullanılarak bulanık mantık yöntemi uygulamışlardır. Simülasyonda UDDS çevrimini sisteme eklemişlerdir. Bulanık mantık yöntemiyle batarya sıcaklığı, şarj durumu (SOC), araç hızı ve sürücünün frenleme kuvveti parametrelerini sisteme entegre etmişlerdir. Bulanık mantık sistemiyle birlikte kullanılan rejeneratif frenlemede elektrikli aracın menzili 163 km'den 205 km'ye yani yaklaşık %26 sürüş mesafesinin arttığını gözlemlemişlerdir. Elektrikli araçlarda bulanık mantık yöntemi kullanarak rejeneratif frenleme ile bataryaya depo edilen enerjinin menzile etkisini kanıtlamışlardır (Xu vd., 2011).

Aniket ve ark. (2019) SMSM, kapasitör, diyot, batarya ve buck-boost dönüştürücü kullanılarak geliştirdikleri rejeneratif fren uygulamasını 3 farklı mod olan normal araç modu, rejeneratif mod ve batarya şarj modu olarak incelemişlerdir. Motor jeneratör modundayken diyot ileri yönlü olacağından direkt kapasitöre enerji akışı olduğunu gözlemlemişlerdir. Kapasitör dolduğunda bu kazanılan enerji buck-boost dönüştürücü ile bataryaya aktararak kullanıma hazır hale geldiğini fark etmişlerdir. Sistem bu döngüyle devam ettirmişler ve toplanan enerji batarya kapasitesinin yaklaşık %17'si kadar olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Önerilen bu sistem elektrikli araçlarda rejeneratif frenleme anında kazanılan enerjiyi bataryaya depolayarak menzile olan etkisini onaylamışlardır (Manjare vd., 2019).

Kunt (2019) ADVISOR programı kullanarak 75 kW AC asenkron elektrik motoru ve 25 kW nikel metal hidrit (Nimh) batarya ile aracı modellemiştir. Sürüş çevrimi olarak muayene ve bakım 240 (IM240) seçmiştir. Sürüş çevrimiyle birlikte farklı yol eğimlerinde batarya doluluk oranı, rejeneratif frenleme ile kazanılan enerji, bataryanın ısınması ve yakıt tüketimini incelemiştir. Rejeneratif frenleme ile  $\alpha = -4,5^\circ$ ,  $\alpha = -3^\circ$ ,  $\alpha = -1,5^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ$ ,  $\alpha = 1,5^\circ$ ,  $\alpha = 3^\circ$ ,  $\alpha = 4,5^\circ$  eğimli yollarda sırasıyla %57, %18, %11, %5, %4,7, %4, %2 yakıt artırımını gerçekleştirdiğini gözlemlemiştir. Başlangıçta batarya sıcaklığı  $20^\circ$  olarak ölçmüştür. Batarya rejeneratif frenlemeyle şarj / deşarj olayı fazla



olduğu için bataryada yorulmalar meydana gelmiş ve batarya sıcaklığı  $-4,5^\circ$  yol eğiminde  $5^\circ$  ( $20,9^\circ\text{C}$ ) ve  $4,5^\circ$  ( $26,05^\circ\text{C}$ ) yol eğiminde %30 arttığını gözlemlemiştir. Batarya doluluk oranı incelemelerinde ise en düşük şarj seviyesi  $\alpha=4,5^\circ$  yol eğiminde %93, en yüksek şarj seviyesi  $\alpha=-4,5^\circ$  yol eğiminde %99,1 olduğunu simülasyon sonucunda ispatlamıştır. Farklı yol eğimlerinde belirlenen parametreler ile yapılan simülasyon testlerinde yokuş aşağı eğimli yolda rejeneratif frenleme ile kazanılan enerji, batarya sıcaklığı, batarya doluluk oranını ve yakıt tasarrufunu olumlu yönde etkilediği kanısına varmıştır (Kunt, 2019).

Mamur ve Candan (2020) MATLAB programında 3 fazlı trapezoidal Sabit Miknatıslı Senkron Motor kullanılarak rejeneratif frenleme sisteminin benzetimi yapılmış ve kazanılan enerjiyi incelemiştir. Rejeneratif frenleme anında oluşan voltajı bir boost dönüştürücü kullanarak bataryaya enerji akışı sağlamışlardır. Simülasyon 10 saniye boyunca gerçekleştirmişlerdir. İlk 4 saniye elektrik motoru bataryadan enerji çekmiş ve sonra rejeneratif frenleme gerçekleştirilmesi için motor kendi ataletiyle serbest dönmeye bırakmışlardır. Bu kurgu ile toplam 2446 J enerji kaybı yaşanmasına rağmen kazanılan enerji 9,336 J ve bataryada depo edilen enerji ise 8,437 J olduğunu gözlemlemiştir. Bu verilere göre görev döngüsünde harcanan enerjinin %0,38'i kazanılmış ve bataryaya %0,35'i geri depo edildiğini ispatlamışlardır. Rejeneratif fren sisteminin elektrikli araçlar için ne kadar değerli olduğunu simülasyon sonuçları ile açıklamışlardır (Mamur ve Candan, 2020).

Yoong ve ark. (2010) elektrikli araçlarda rejeneratif frenleme üzerine yapılan çalışmaları incelemiştir. Ultra kapasitör yöntemi sisteminde; DC-DC dönüştürücü, alüminyum indüktör, ultra kapasitör ve batarya grubu kullanmışlardır. Araç ivmelenirken kapasitörün 1/3'ünü boşaltmasına sistem üzerinden izin vermişlerdir. Yavaşlama anında rejenerasyon gerçekleşmiş ve kapasitöre akım depolandığını gözlemlemiştir. DC-DC dönüştürücüde buck/boost sistemini entegre etmişlerdir. Oluşturulan sistemde boost hızlanma için, buck ise yavaşlama anında ultra kapasitörün şarj etmek için kullanmışlardır. Devreyi bu şekilde çalıştırmışlardır. Ultra kapasitör bataryayı daha yumuşak bir şekilde şarj etmiş ve EA'nın genel performansını arttırdığını gözlemlemiştir. Ayrıca volan sisteminden bahsederek EA menzil attırıcı yönüne değinmişlerdir. Her iki sistem kullanılarak atık enerji %8 - %25 oranında tasarruf sağlanması açısından EA da rejeneratif frenleme sisteminde menzil attırıcı ve vazgeçilmeyecek sistemler olduğunu vurgulamışlardır (Yoong vd., 2010).

Demirkale ve Güven (2018) Kinetik Enerji Geri Kazanım Sistemleri (KERS) sisteminin elektrikli bir araca menzile etkisini araştırmak için MATLAB programına entegre edilmiş ADVISOR yazılımını kullanmışlardır. ADVISOR programı ile üç farklı sürüş döngüsü sisteme eklemişlerdir. Şehir içi, evre yolu ve otoyollarda kullanılan sürüş döngülerini seçerek bu sürüş çevrimlerinde enerji geri kazanımını araştırmışlardır. KERS ile Şehir içi, evre yolu ve otoyol sürüş döngülerinde sırasıyla %25, %7,10, %2,48 enerji geri kazanımı elde edilmiştir. Şehir içinde KERS'in araç menziline etkisi simülasyon programı ile apaçık bir Şekilde göstermişlerdir (Demirkale ve Güven, 2018).

Yang ve ark. (2011) scooter verimliliğini ve sürüş aralığını iyileştirmek için elektronik vites değiştirme ile birlikte rejeneratif frenleme üzerine çalışma yapmışlardır. Enerji kaynağı olarak kurşun asit batarya ve ultra kapasitörler kullanmışlar ayrıca dört bağımsız faz ve bir aksenal akılı BLDC özel bir elektrik motoru tasarlamışlardır. Önerilen elektronik vites değiştirme sistemi için üç sürüş dişlisi ve bir rejeneratif fren dişlisi tasarlamışlardır. Tüm dişli sistemleri, dijital denetleyicinin uygulanması, vites geçişlerinin seri/paralel anahtarlama Şeması vb. Alan Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA) dayalı olarak enerji yönetim birimi tarafından kontrol etmişlerdir. Stator sargıları, tahrik koşullarına bağlı olarak her faz için seri veya paralel bağlanacak Şekilde tasarlanmıştır. Paralel bağlantı, daha yüksek voltajda yüksek hızda çalışmaya ve seri bağlantı ise daha düşük voltajda düşük hızda çalışmak için sisteme uygulamışlardır. Önerilen elektronik vites değiştirme sistemi, çeşitli scooter hız aralıkları için vites değiştirmeyi sağlamak üzere stator sargılarının, ultra kapasitörlerin ve pil hücrelerinin paralel ve seri bağlantılarını açık-kapalı durumları belirleyen 12 kilitleme rölesi ile kontrol etmişlerdir. Bu sistemi, vites değiştirme sırasında tahrik torkunu sabit tutmak için entegre etmişlerdir. Sürüş dişlilerinin amacı ultra kapasitörlerin, scooterın ilk kalkış anında ve sabit hızdayken anlık hızlanma istemiyle kısa sürede yüksek güç vermek için ve aynı zamanda bataryanın ömrünü uzatmak için planlamışlardır. Sürücü dahil ağırlığı 190 kg olan deneysel elektrikli scooter yol testleri Avrupa ekonomik komisyonu 47 (ECE47) sürüş döngüsü ile gerçekleştirmişlerdir. 20 km/h altındayken voltaj düşük olduğu için ultra kapasitörlere enerji akışı sağlayamadığını gözlemlemişlerdir. Bu enerjiyi geri kazanabilmek için pahalı bir voltaj yükseltici kullanmak zorunda olduklarının kanısına varmışlardır. Sabit hızda seyir testinde aküden tekerleğe verimliliği, düşük hızlı viteste 30 km/h'de

ve yüksek hızlı viteste 50 km/h'de %73,4'e ulaştığını gözlemlemişlerdir. Önerilen elektronik vites değiştirme ve rejeneratif fren sistemindeki ultra kapasitörler ile elde edilen sürüş menzili, ultra kapasitörsüz olandan %20 daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Elektronik vites değiştirme ile birlikte sunulan rejeneratif frenleme sistemini EA da menzil arttırmak için kullanılabilirliğini kanıtlamışlardır (Yang vd., 2011).

Kunt (2022) ADVISOR programı kullanarak yakıt hücreli bir aracın aksesuar kayıpları ve araca etki eden dirençlerin batarya performansına etkisini simülasyon çalışmalarıyla gerçekleştirmiştir. NEDC sürüş döngüsü kullanılarak önce yuvarlanma direncinin batarya performansına etkisini araştırmıştır. Düşük yuvarlanma direncine sahip olan lastik, yüksek yuvarlanma direncine sahip olan lastiğe göre %9,75 yakıt tüketiminde tasarruf elde ettiğini gözlemlemiştir. Araç %5'lik eğimli yolda ve eğim aşağı giderken hesaplamalarda yuvarlanma, ivme ve hava direnci de sisteme eklenmiştir. Düşük yuvarlanma direncine sahip olan lastiğin, yuvarlanma direnci yüksek lastiğe göre daha az bataryadan enerji çekerek çevrim sonunda SOC'da pozitif etki olduğu sonucuna ulaşmıştır. Hava direncini ihmal ederek hava direnci katsayısı ve ön yüzey alanı farklı 4 tasarım ile SOC değerini araştırmıştır. Tasarımsal olarak hava direnci katsayısı ve ön yüzey alanı daha az olan tasarımın SOC değerinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmıştır. 1 ve 5 vitesli şanzıman kullanımının SOC etkisini araştırmıştır. 5 vitesli şanzıman kullanımında mekanik sürtünmeler gerçekleştiği için daha fazla kayıp meydana gelmiş ve SOC değerlerinde daha fazla enerji tüketildiğini gözlemlemiştir. Araçta bulunan aksesuarlar (klima, elektro-hidrolik direksiyon vb.) iklim koşullarına göre bataryadan enerji ihtiyacını karşılayarak bataryadan güç alındığını gözlemlemiştir. 700 watt aksesuar yüküne sahip araç 1000 watt aksesuar yüküne sahip araca göre daha az enerji kullanıldığını gözlemlemiştir. Ayrıca hız artımıyla birlikte aksesuar kayıplarının artması SOC değerlerine olumsuz yönde etki ettiği sonucuna ulaşmıştır. Dolayısıyla araçlarda verimlilik yönünden az enerji harcayan elektrik alıcılarının kullanılması yakıt tüketimini azalttığı sonucuna ulaşmıştır (Kunt, 2022).

Kıyaklı ve Solmaz (2018) MATLAB/Simulink programı aracılığıyla sabit mıknatıslı senkron motor kullanarak bir elektrik araç modellemişlerdir. NEDC ve Dünya çapında uyumlaştırılmış hafif hizmet araçları test prosedürü (WLTP) sürüş çevrimlerini kullanarak enerji karşılaştırılması yapmışlardır. NEDC sürüş çevriminin ilk 800

saniyesi şehir içi sürüş ve 800-1180 saniyeler arasında otoyol sürüş çevrimlerini test etmişlerdir. Araca etki eden en önemli direnç kuvvetlerinden olan aerodinamik direnci arttıran 2 önemli unsur araç hızı ve aerodinamik direnç katsayısı olduğunu gözlemlemişlerdir. Aerodinamik direncin artmasıyla araç daha fazla enerji tüketeyeceği sonucuna ulaşmışlardır. Sürüş döngülerinin simülasyon sonucunda rejeneratif frenleme ile; ECE-R15 sürüş çevriminde %11,73, EUDC sürüş çevriminde %5,87, NEDC sürüş çevriminde %8,06 ve WLTP sürüş çevriminde %7,47 artırım sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır (Kıyaklı ve Solmaz, 2018).

Zhang ve ark. (2010) Sugeno'nun bulanık mantık yönteminden esinlenerek ADVISOR programında bir elektrikli araç üzerine yapmış oldukları çalışmada sisteme 4 üyelik kümesi ekleyerek, New York şehir çevrimi (NYCC) sürüş çevriminde rejeneratif frenlemenin batarya performansına etkisini araştırmışlardır. Üyelik fonksiyonu olarak araç hızı, SOC, batarya sıcaklığı ve uygun frenleme kuvvetini sisteme eklemişlerdir. Aynı zamanda programda kayıtlı olan bir elektrikli aracın frenleme esnasında ön ve arka tekerin kuvvet dağılımı üzerinde çalışma yaparak bataryaya daha fazla enerji depo edebilmek için çalışmalar yapmışlardır. Batarya sıcaklığı düşük olduğunda rejeneratif frenleme kuvvetini düşürürken sıcaklığın yüksek olduğu anda değerini arttırmışlardır. SOC değerini %10-%90 aralığında tutarak daha verimli bataryayı daha efektif kullanmışlardır. Aracın hızlanmasıyla doğru orantılı olarak rejeneratif frenlemenin de bu oranla doğru orantılı şekilde artarak daha fazla enerji depolayacağını öngörmüşlerdir. Uygun frenleme kuvveti sürüş güvenliği ile ilgili olmakla birlikte frenleme kuvvetinin fazla olması rejeneratif frenlemenin azaltılması, frenleme kuvvetinin az olduğu zamanda ise rejeneratif frenlemeden maksimum seviyede verim alacaklarını öngörerek sisteme bu şekilde eklemişlerdir. Sonuç olarak sisteme üyelik fonksiyonların eklenmesiyle birlikte Sugeno'nun bulanık mantık yönteminin kullanılmasıyla batarya performansında yaklaşık %18 enerji verimliliği elde etmişlerdir (Zhang vd., 2010).

Wang ve ark. (2014) elektrikli bir scooter da tekerlek içi elektrik motoru kullanarak rejeneratif frenleme üzerine çalışma yapmışlardır. MATLAB/Simulink grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) ortamında yazılım ve simülasyonlar gerçekleştirilmişlerdir. Ardından Simülasyon çıktılarının doğruluğunu denetlemek için gerçek sürüş testi planlamışlardır. Batarya sürüş esnasında sürekli olarak şarj edilip deşarj olduğu için batarya doluluk oranını %30-%100 olarak pilin aşırı şarj deşarj olması dikkate

almışlardır. Frenleme anında, frenleme kuvveti dağılımı için ön ve arka tekerleklere gelen gücü hesaplayarak optimum rejeneratif frenleme ile daha fazla enerji kazanmayı hedeflemişlerdir. Düşük hızlarda rejeneratif frenleme verimi yeterli olmadığı için hız limitini 10 km/h olarak belirlemişlerdir. Rejeneratif frenleme olmadan scooter toplam 31,2 km yol kateterken, rejeneratif frenleme ile 43,6 km yol gittiğini gözlemlemişlerdir. Rejeneratif frenleme ile yaklaşık 12 km menzil arttığını tespit etmişlerdir. Buda menzilin yaklaşık %38 artırarak daha fazla seyahat özgürlüğü sunduğunu ispatlamışlardır. Ayrıca gerçek sürüş testindeki hata paylarını dikkate alındığında bile bu oran yaklaşık %30 artacağını iddia etmişlerdir (Wang vd., 2014).

Yang ve ark. (2009) hafif elektrikli araçlarda rejeneratif frenleme sistemi üzerine bir çalışma yaparak menzil artırımını gerçekleştirmişlerdir. Hafif elektrikli araç olarak bir elektrikli scooter kullanmışlardır. Elektrikli scooterde elektrik motoru olarak ön ve arka lastiklere monte edilen tekerlek içi bir motor türü kullanmışlardır. Elektrik motoruna enerji veren batarya sistemi olarak taşınabilir bileşik pil yönetim sistemi olarak adlandırılan iki lityum iyon pil paketi ve bir seri kurşun asit pil kullanmışlardır. Bu kombinasyonu yaparak li-ion pilin yüksek enerji yoğunluğundan ve kurşun asit pilin yüksek güç yoğunluğundan faydalanmışlardır. Önerilen yöntem ile ters torku kontrol etmek için motor sürücüsünün anahtarlama sırası değiştirilerek frenleme sırasında kazanılan enerji bataryada depo edildiği gözlemlemişlerdir. Bu yöntem ile elektrikli scooterın menzili %16,2 artırıldığını gözlemlemişlerdir. (M. Yang vd., 2009)

Liu ve ark. (2020) elektrikli araçlarda rejeneratif frenleme verimliliğini artırmak için tek pedallı bir kontrol stratejisi önermişlerdir. Tek pedallı kontrol stratejisi günlük sürüş koşulları dikkate alınarak geliştirmişlerdir. Bu kontrol sisteminin etkinliğini doğrulamak için şehir içi sürüş döngülerini kullanmışlardır. NEDC sürüş çevriminde %26,12, WLTC sürüş çevriminde %20,77 oranlarında menzile etki ettiğini gözlemlemişlerdir. Tek pedallı kontrol sisteminin elektrikli araçlara uygulanması ile sürüş menzilin ve enerji geri kazanım oranını etkili bir şekilde artırıldığını ispatlamışlardır (W. Liu vd., 2020).

Wager ve ark. (2017) Mitsubishi i-MiEV tam elektrikli araç için üç farklı rejeneratif frenleme tork seviyelerini, iki farklı uluslararası sürüş çevrimi standartları kullanarak bir şasi dinamometre üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Sürüş çevrimi olarak FTP-75 ve NEDC teorik sürüş çevrimlerini kullanmışlardır. Farklı tork seviyeleri Mod D standart modu, Mod C konfor modu, Mod B ise aracın yokuş aşağı kullanımını temsil

etmektedir. Rejeneratif frenleme parametrelerine ve sürüş çevrimi ayarlarına bağlı olarak menzilin %11 ile %22 arasında artırıldığını kanıtlamışlardır (Wager vd., 2018). Islameka ve ark. (2020) mal teslim etmek için kullanılan üç tekerlekli bir bisiklet üzerinde rejeneratif frenleme etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmada MATLAB/simulink programını kullanarak bir enerji tüketim modeli gerçekleştirmişlerdir. Dünya çapında uyumlaştırılmış hafif araç test prosedürü (WLTP) sürüş çevrimini kullanmışlardır. Simülasyonda tam mekanik frenleme, seri rejeneratif frenleme, paralel rejeneratif frenleme ve değiştirilmiş frenleme stratejileri olmak üzere dört farklı frenleme stratejisi uygulamışlardır. Rejeneratif frenleme batarya doluluk oranı %90'ın altına düştüğünde devreye girecektir. Yapılan deneyler ışığında batarya doluluk oranları sırasıyla %87,7, %87,8, %87,9 ve %88,3'tür. Dört frenleme stratejisinin tüketilen enerji değerlerinin farkı sırasıyla 0,572 kWh, 0,567 kWh, 0,56 kWh ve 0,55 kW'tır. Dört frenleme sisteminin her bir verimi sırasıyla 19,2 km/kWh, 19,3 km/kWh, 19,5 km/kWh ve 20 km/kWh olarak bulmuşlardır. Araştırmacılar en iyi verimin olduğu değiştirilmiş frenleme stratejisinin kullanımını şiddetle tavsiye etmişlerdir (Islameka vd., 2020).

Naveed ve ark. (2022) 250 watt güç üreten hub motorlu bir bisiklet üzerinde yaptıkları rejeneratif frenleme çalışmalarında lityum iyon pil ile birlikte süperkapasitör kullanmışlardır. Rejeneratif frenleme sırasında, süperkapasitör bankası jeneratörden gelen gücü hızlı bir şekilde depoladığını gözlemlemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda lityum iyon batarya ile kullanılan süperkapasitör bisikletin sürüş mesafesini uzattığını gözlemlemişlerdir (Naveed vd., 2022).

Lv ve ark. (2015) elektrikli bir araçta seri ve paralel rejeneratif frenleme sistemlerinin menzile etkisini araştırmışlardır. Uluslararası kabul ören NEDC sürüş çevrimini bir şasi dinamometresi üzerinde testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda paralel rejeneratif frenleme yöntemi ile %11,18, ve seri rejeneratif frenleme yöntemi ile %12,58 sürüş menziline etki ettiğini ispatlamışlardır (Lv vd., 2015).

Juwon ve ark. (2022) elektrikli bir scooter üzerinde BLDC motorun rejeneratif frenleme stratejilerinin PSIM yazılımı kullanarak etkisini araştırmışlardır. Mekanik frenleme, dinamik frenleme ve rejeneratif frenleme olarak tek kutuplu anahtarlamalı yöntemi ile iki kutuplu anahtarlamalı yöntemlerini araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda dinamik frenlemenin scooterlar için uygun olmadığını gözlemlemişlerdir.

Tek kutuplu anahtarlamalı rejeneratif frenleme yöntemi ile mekanik frenleme yöntemini paralel olarak birleşiminin elektrikli scooterlar için en uygun olduğunu bir rejeneratif frenleme stratejisi olduğunu gözlemlemişlerdir (Kim vd., 2022).

Di Fonso ve ark. (2020) MATLAB/simulink programı ile elektrikli bir çeyrek araç modelleyerek rejeneratif frenleme etkisini araştırmışlardır. Çeyrek araba modelinde tekerlek içi bir sürekli mıknatıslı senkron motor kullanmışlardır. WLTC sürüş döngüsü ile gerçekleştirilen deneylerde çeyrek araba modelinin rejeneratif frenleme verimini %41 olarak bulmuşlardır (Di Fonso ve Cecati, 2020)

Palanisamy ve ark. (2021) BLDC motorlu elektrikli bir aracı MATLAB/simulink programını kullanarak modellemişlerdir. Modellemede bir lityum iyon batarya kullanmayı tercih etmişlerdir. Hall sensöründen gelen sinyalleri kullanarak geliştirilen bir rejeneratif frenleme tekniği kullanmışlardır. Önerilen sistemde rejeneratif frenleme sisteminin verimini %24 olarak gözlemlemişlerdir (Palanisamy vd., 2021).

Naseri ve ark. (2016) BLDC bir motora sahip elektrikli, plug-in hibrit ve tam hibrit elektrikli araçlar üzerinde rejeneratif frenleme stratejisi Hibrit Enerji Depolama Sistemini geliştirmişleridir. Bu sistemde bataryaya ek olarak bir süperkapasitör de kullanmışlardır. Rejeneratif frenlemeyle geri kazanılan kinetik enerji süperkapasitörde depo edilerek fazladan güç elektroniği komponentlerine gerek olmayacağını sistem modellemesinde göstermişlerdir. Önerilen rejeneratif frenleme sistemini MATLAB/simulink programı ile modellemişlerdir. Sürüş çevrimi olarak Batı Virjin üniversitesi 5 tepe (WVU-5 peak) sürüş çevrimi ile simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Önerilen Hibrit Enerji Depolama Sistemi ile rejenerasyon verimliliğinin yaklaşık %20 arttığını ispatlamışlardır (Naseri vd., 2016).

Biao ve ark. (2021) MATLAB/simulink programı arayüzü olan ADVISOR yazılımında kullanılan sistemin sorunu olan düşük enerji kazanımı ve zayıf frenleme performansının iyileştirmeye yönelik fren kuvveti dağıtım algoritması önermişlerdir. Ayrıca frenleme yönü stabilitesini sağlama önermesi altında, elektrikli araçların ön aks frenleme kuvvetinin motor ve batarya özelliklerine dayalı olarak yeniden dağıtılması için bir rejeneratif fren kontrol stratejisi önermişlerdir. Uluslararası kabul gören NEDC ve UDDS sürüş çevrimleriyle önerilen sistemin simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Rejeneratif frenleme stratejisi batarya doluluk oranı %95 ve altında etkin duruma getirilerek bataryanın zarar görmesini engellemişlerdir. Deneyler eğimin olmadığı düz

bir yolda ve birçok dış çevreye ait parametreler eklenmeden gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyonlar ışığında UDDS sürüş çevrimi enerji geri kazanım verimi %33,3'ten %53,1'e, NEDC sürüş çevrimi enerji geri kazanım verimi %36,4'ten %55,3'e çıkarıldığını ispatlamışlardır (Biao vd., 2021).

Kıvanç ve ark (2021) elektrikli bir sabit mıknatıslı senkron motor kullanarak rejeneratif frenleme stratejisi önermişlerdir. Önerilen strateji elektrik motoruna bağlı bulunan bir volan ve bir kurşun asit batarya ile rejeneratif frenleme verimini araştırmışlardır. Ayrıca yapılan çalışma sıcaklığın ve dolayısıyla pil iç direnci değişikliklerinin rejenerasyon performansı üzerindeki etkisini de gözlemlemişlerdir. Kontrollü bir frenleme eylemiyle rejenerasyonun verimliliği BLDC motorun, konvertörün ve pil takımının çalışma noktalarına bağlı olduğu kanısına varmışlardır. Deneyler sonucunda önerilen rejeneratif frenleme sisteminin %8,73 oranında menzile etki ettiği gözlemlemişlerdir (Kivanc ve Ustun, 2021).

## **1.2. Elektrikli Kick Scooter (EKS) ve Gelişimi**

Elektrikli scooterlar son zamanlarda popüler olmaya başladıysa da aslında tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Geçmişten günümüze birçok teknoloji kullanılmış ve o çağın şartlarına uygun formlar almıştır. EKS'ler oyun eğlence amaçlı olarak her devre hitap etmişlerdir. Bunun yanı sıra kısa mesafeli sürüşler için her dönemde oldukça rağbet örmüşlerdir. EKS geçmişten günümüze 7'den 77'ye her yaşa hitap ederek popülerliğini korumuştur.

Mobilite insanoğlunun en temel ihtiyaçlarından biridir. Bir yerden başka bir yere gitmek refah seviyemizi artırmak için oldukça değerlidir (Poposyan, 2010). Aslında mobilite kavramı insanın ayaklarıyla başlamıştır. İnsanlar doğayı ve hayvanları keşfetmeye başladılar ve kendi lehlerine çevirmeyi başarmışlardır. Hareket etme içgüdüleri insanların yeni keşiflere yol açmaya itmektedir.

İnsanlar bu isteğini karşılayabilmek ve yolculuklarının hızlı olabilmesi için binek hayvanlarını kullanmışlardır. İlerleyen dönemlerde tekerleğin icadıyla birlikte birçok yeni ulaşım araçları icat edilmiş ve kullanılmıştır. Bu araçların hemen hemen hepsi ulaşımı kolaylaştırmak ve zamandan tasarruf edebilmek için keşfedilmiştir. Buda bu araçların çok hızlı bir şekilde yaygınlaşmasını sağlamıştır. Ancak scooterlar ulaşım, zaman tasarrufunun yanı sıra oyun ve eğlence aracı olarak bu araçlardan çok farklı bir



konumda bulunmaktadır. Kendine özgü kullanıcıları bulunmakta ve genç-yaşlı herkese hitap etmektedir.

Mikro mobilite kavramıyla birlikte hızla pazar payı artan EKS'lerin tarihi 1895 yılına kadar dayanmaktadır. O yıllardan beri süre gelen inişli çıkışlı bir süreçten geçmiştir. Geçmişten günümüze scooterlar insan kuvveti ile yani tekme (kick) yöntemiyle, içten yanmalı motor kullanılarak ve farklı batarya grubu kullanılarak birçok evrim sürecinden geçmiştir.

Cadde ve sokaklarda küçük çocukların bilyeli tekerlekler ile tahtadan tasarladıkları basit eğlence, ulaşım ve oyun aracı olarak kullanmışlardır. Bu ilkel scooterların çocukların oyun oynarken keşfedildiği kanısı oldukça yaygındır. Şekil 1.2'de kick Scooterların atası olarak 'ta bilinen tasarımda sadece insan gücünün kullanıldığı, frenleme sisteminin olmadığı, direksiyon kullanılmadığı, daha çok düz yol ve yokuş aşağı yollarda kullanılan ilk başlarda çocuklara hitap eden hoş vakit geçirilen oyuncak türüydü.



Şekil 1.2 İlkel scooter (ata kick scooter) (*A Brief History of Electric Kick Scooters*)

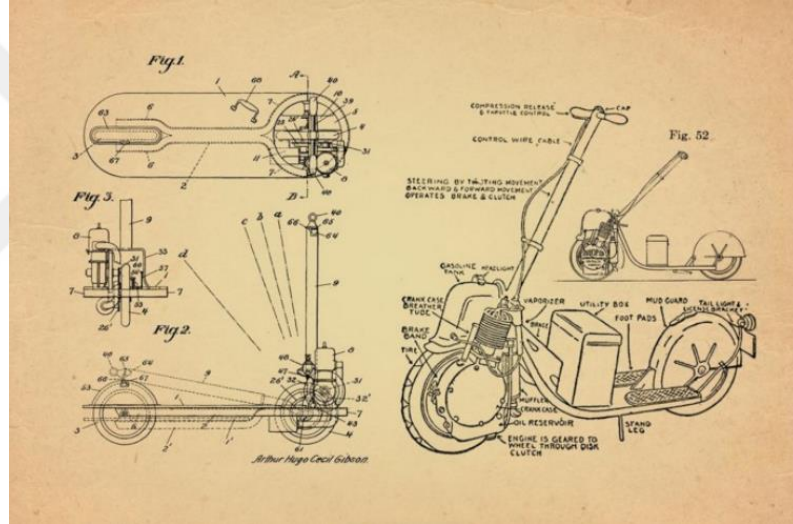
Çocukların sokak aralarında sürmüş oldukları kick scooterlar üreticilerin dikkatini çekerek daha profesyonel ve kompakt olarak tasarlanmasına neden olmuştur. İçten yanmalı motorların icadıyla birlikte bu scooterlara artık zararlı gazlar üreten bir motor konumlandırıp ticaretini yapmaya başlamışlardır. Bu yıllarda üretilen scooterlar şasi açısından çok büyük, hantal ve ağır olmaktadır.

1915 yılında New York şehrinde bulunan Long adasında autoped şirketi bugünkü scooterların şasi ve form açısından benzerlik gösteren autoped'i tanıttı. Autoped 10 inçlik tekerleklerle ve hava soğutmalı 4 zamanlı 155 cm<sup>3</sup>'lik içten yanmalı bir motora sahip scooter olarak kullanıcılara sunulmuştur. Dönemin motor ve batarya teknolojisi

nedeniyle Autoped'ler oldukça geniş bir şasiye sahipti. New York'ta trafik polisleri ve postacılar tarafından yoğun olarak kullanılmıştır.



Şekil 1.3 Postacılar tarafından kullanılan Autoped (*History of Electric Scooter*)



Şekil 1.4 Arthur Hugo Cecil Gibson'ın kendinden tahrikli araç patentinden çizim (*Electric Scooter History - Complete Timeline of the Revolution - EScooterNerds*)



**Şekil 1.5** 1916 yılında çekilen İngiliz Flörence NORMAN (*The History of Electric Scooters. Many Might Believe That Electric... | by TAUR | Lotus Fruit | Medium*)

Autopedin pazarlama resimlerine bakıldığında üreticiler hedef kitle olarak kadınları baz almıştır (*The History of Electric Scooters. Many Might Believe That Electric... | by TAUR | Lotus Fruit | Medium*). Fotoğrafta ki kadın İngiliz aktivist Florence NORMAN kadınların oy haklarını savunan kişidir (*Priscilla Norman - Wikipedia*). O dönemde kadın hakları için mücadele eden ve kadınlara oy hakkı tanınması için mücadele veren bayan NORMAN bu fotoğrafı ile scooterların bir özgürlük sembolü olmasında büyük rol oynamıştır. Eşinin doğum günü hediyesi olarak aldığı scooter ile küçük seyahatlerde ve işyerine gitmek için kullandığı scooter artık özgürlük ve hareketliliğin sembolü olarak üreticiler tarafından lanse edilmiştir(*The History of Electric Scooters. Many Might Believe That Electric... | by TAUR | Lotus Fruit | Medium*).

Kuzey Amerika ve Avrupa başta olmak üzere dünyayı sarsan ekonomik bunalımın getirmiş olduğu yıkıcı etkiden sonra (*Büyük Buhran*) halkın çevreye karşı duyarlılığının artmasıyla birlikte scooterlar büyük rağbet görmüştür. Hollywood altın çağını yaşarken ünlü kişilerin film setlerinin büyük olması sebebiyle bir uçtan diğer

uca giderken scooterları kullanmaları ve bunların fotoğraflarla diğer insanlara lanse edilmesi popülerliğini iyice arttırmıştır. Üreticilerin ‘yürümekten daha ucuz’ sloganıyla yakıt verimliliğine de dikkat çekmişlerdir.

90’lı yılların sonuna kadar büyük hacimli bu scooterlar moped olarak adlandırılan tasarımlara yollarda görülmekteydi. Bu büyük tasarımlar ile daha büyük pil kullanılarak sürücülere daha uzun seyahat imkânı sağlamaktaydı.

1991 yılında çevre dostu lityum iyon pillerin icat edilmesiyle sürekli olarak pil performansında gelişmeler meydana gelmiştir. 2001 yılında ilk defa elektrikle çalışan scooterlar piyasaya sürülmüştür. Artık elektrikli scooterler mopedlere kıyasla daha kompakt, daha verimli, sessiz ve sıfır emisyonu sahip çevre dostu bir mikro mobilite lideri olma yolunda ilerlemektedir.



**Şekil 1.6** 1918 den kalma içten yanmalı motora sahip bir scooter Ulusal Amerikan tarihi müzesi (*The Motorized Scooter Boom That Hit a Century Before Dockless Scooters | History| Smithsonian Magazine*)

Sonra bu kick scooterlar’a tekerlek ve direksiyon eklenerek günümüzdeki kick scooterlara yakın form verilerek piyasaya sunulmuştur. Resimde 1956 yılında Avustralya’nın Sidney şehrinde çocuklar tarafından düzenlenen kick scooter yarışlarının düzenlendiği görülmektedir(*Kick Scooter Yarışları*).



**Şekil 1.7** Çocuklar tarafından düzenlenen kick scooter yarışları(*Kick Scooter Yarışları*)

Günümüzde Japonya'nın dev otomotiv şirketi olan Honda 1970'li yılların başında scooter tasarımı yaparak kick and go adı verilmiştir. Çelik bir şasi, fren sistemi ve 3 tekerleği ile kendinden tahrikli bir scooter konsepti yapmışlardır. Arka kuyruk kısmında bulunan T şeklindeki metal çubuğa, sürücü ayağıyla geriye doğru ittirip bırakarak zincir tahrik mekanizması sayesinde hızlanma işlemi gerçekleştirilebiliyordu. Akıllı vuruş gücü sayesinde bu scooter çeşidi zamanın en iyi tasarımlarındandır.



**Şekil 1.8** Akıllı vuruş gücü ile hareket eden scoter (*Honda Did The Whole Bird Scooter Thing in the '70s With the Kick 'N Go*)

Günümüz modern scooterlara yakın ilk katlanabilir kick soocer 1996'da İsviçre'deki Micro Mobility Systems şirketi kurucusu Wim OUBOTER, katlanabilir ve hafif alüminyum kick-scooter'ı sevdiği restoranta gidebilmek için icat etmiştir. Evden restorana yürüyerek gitmenin uzak, bisikletle gitmenin ise çok yakın olması nedeniyle kick scooter'ı geliştirmiştir. Ayrıca kolayca katlanabilmesi ve böylelikle araçların bagaj kısmında muhafaza etmek için katlanabilir bir kick scooter tasarımı yapmıştır. 1999 yılında bir şirket kurarak kick scooterlar'ı kullanıcılara sunmuştur. 2000 yılında yaklaşık 1 milyon satış adedine ulaşmıştır (*Micro Mobility Systems - Vikipedi*). Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, Wim arka tekerleğe monte edilmiş elektrik motoru ile birlikte şarj edilebilir bir pile sahip elektrikli tekme scooter'ı tasarımını gerçekleştirmiştir(*A Brief History of Electric Kick Scooters*).



**Şekil 1.9** Kolay katlanabilir EKS (*A Brief History of Electric Kick Scooters*)

Günümüzde kullanılan elektrikli kick scooterlar şasisi hafifletilmiş ve güçlendirilmiş havacılık sınıfı alüminyum alaşımlı malzemelerden yapılmaktadır. Ayrıca yüksek hızlı ve torklu elektrik motoru, yüksek menzil ve çevrim ömrüne sahip bataryalara sahiptir. Çevresel açıdan geri dönüştürülebilir olmaları ayrıca emisyon üretmemeleri insanlık ve doğa açısından büyük önem arz etmektedir. Elektrik motorundaki gelişmeler, batarya teknolojisindeki ilerlemeler, hafif ve dayanıklı malzemelerin icadıyla birlikte EKS'ler artık hayatımızda kalıcı olacaktır.



**Şekil 1.10** Günümüz 'de kullanılan EKS

### **1.3. Türkiye 'de EKS Kullanımı**

Yıllardır scooterlar için herhangi bir yasa çıkmamıştır. İlk icat edildiğinde beri scooterlar her dönemde trafik ve sürüş kurallarından bahsedilmemiştir. Bu scooterlar için oldukça büyük dezavantajdır. Karayollarında kullanılan hemen hemen her taşıtın uyması gereken kurallar vardır. Mobilite kavramının ve EKS'lerin önlenemez yükselişle birlikte daha çok yollarda görünmektedir. Gitgide piyasada kendi pazarının oluşmasıyla hükümetler belli kurallar getirmek zorunda kalmıştır. Bu kurallar önce Avrupa'da yürürlüğe girmiş ve uygulanmıştır. Türkiye'de ise 14 Nisan 2021 yılında resmî gazetede yayımlanarak resmi olarak uygulanmaya başlanmıştır.

Türkiye'de EKS'nin kullanımına yönelik bazı yönetmelikler aşağıda belirtilmiştir.

1. Sürücüler en az 16 yaşında olmalıdır.
2. Sürücü harici yolcu taşınmamalıdır.
3. Sırtta taşınabilen eşya harici yük taşınmamalıdır.
4. Akrobatik hareketler yapılarak sürülmemelidir.
5. Hız sınırı 50 km'nin altındaki yollarda kullanılmalıdır.
6. Varsa bisiklet yolu veya bisiklet şeridinde, bisiklet şeridi yoksa, trafik güvenliğini riske atmayacak şekilde sağdan gidilmesi kaydıyla taşıt yolunda,
7. Hızı 25 km/h geçmemelidir.

8. Önde, beyaz ışık verecek ve en az 20 metre önü aydınlatabilecek şekilde far olmalıdır.

9. 30 metreden duyulabilecek ses çıkartabilen zil, korna veya benzeri ses aleti olmalıdır ( Elektrikli Scooter yönetmeliği).

#### **1.4. EKS Şasi**

E- scooter iskelet yapısı için seçilen malzemenin cinsi oldukça önemlidir. Şasi e- scooterın şeklini, kütlesini ve güç dağılımını tanımlar (Miracle ve Bassols, 2017). EKS şasisinin hafif olması direkt olarak enerji tasarrufu ile doğru orantılıdır. Ancak aynı zamanda scooterın şasi bölümü çok güçlü olmak zorundadır. Scooter ağırlığı kullanıcı ağırlığı, üzerine bindirilen batarya ve diğer komponentleri taşıması aynı zamanda bu yüklere değişen yol şartlarına göre cevap verebilmelidir. Son zamanlarda hafif elektrikli araçlarda mobilite kavramının artmasıyla birlikte özellikle elektrikli scooterların özerklik elde etmesiyle üreticiler şasi tasarımı üzerinde daha çok çalışmalar yapmışlardır. Popülerliği artan EKS'lerin şasi malzeme yani iskelet kısmı oldukça önem arz etmektedir. Çünkü sürücü dahil bütün yükü taşıma görevini üstlenmektedirler. EKS'lerin global pazarda kendine özel bir yer edinmesi üreticilerin dikkatini çekerek üzerinde çalışmalar yapmaya mecbur kılmıştır. Üreticiler şasi bölümünde yeniliklere gidilerek tasarım açısından daha şık görünüş elde etmek, üretim kolaylığı açısından kolay şekil verebilmek ve zorlu yol şartlarında dayanıklı olabilmek için uygun malzeme seçimi için araştırmalar yapmışlardır. Araştırmalar neticesinde EKS'ler daha modern, hafif ve sağlam üretilerek alıcılara güven vermektedir.

#### **1.5. Elektrik Motoru**

Elektrik motorları genel anlamda elektrik enerjisini mekanik enerji formuna dönüştüren makinelerdir. Yüksek tork değerlerine çıkabilir ayrıca verimleri çok yüksektir. Elektrik motorları EA için ideal uygunlukta bir güç üretme kaynaklarıdır. Hafif olmasıyla birlikte %90'ı aşan verim, karmaşık vites kutusu sistemi gerektirmemesi ve büyük moment ve güç üretebilmektedirler. Buna karşılık, İYM yüksek devirlere çıkıncaya kadar büyük moment üreme kabiliyeti bulunmamaktadır (Wilcke ve Kim, 2016). Her farklı elektrikli taşıt için farklı tork ve hız aralık değerleri olmaktadır. Elektrikli araçlar günümüzde popüleritesi hızla artmakta ve pazar payları gitgide büyümektedir. Ayrıca elektrik motorlarının çevre üzerindeki olumlu etkisi elektrik motoru üzerinde çalışmaları hızlandırmıştır. Piyasada elektrikli taşıtlar için en



çok tercih edilen elektrik motor türleri; Asenkron motor, sürekli mıknatıslı senkron motor, anahtarlamalı relüktans motoru ve Hub (tekerlek içi) motor kullanılmaktadır.

### **1.5.1. İndüksiyon (Asenkron) motorlar**

Alternatif akım motorlarının asenkron olmasının sebebi stator sargılarında oluşan manyetik alan dönme hızının rotor dönme hızıyla farklı olması bu motorları asenkron yapmaktadır. Stator devri ve rotor devri arasında oluşan farka ise kayma denilmektedir. Kayma 'S' harfi ile sembol edilmektedir. Böylelikle senkron motorlardan kolayca ayırıştırma yapılabilmektedir. Diğer bir tanımlama ise stator sargılarına uygulanan elektrik enerjisinin rotoru döndürmesiyle mekanik güce çeviren elektrik makinelerine denmektedir. Asenkron motorların momentleri yüksek olmakla birlikte çalışma esnasında yoğun ısıya maruz bırakacak elektriksel arklar oluşturmazlar.

Asenkron motorlar, alternatif akımın uygulandığı stator sargılarından ve dönen bir manyetik alan oluşturan rotordan meydana gelmektedir. Stator sargısına uygulanan alternatif akım (AC) gerilim ile oluşturulan manyetik alan içerisindeki rotor sargılarından akım geçirmektedir. Manyetik alan oluşumuyla aynı kutuplu mıknatıslar birbirini iter, zıt kutuplar ise birbirini çekmektedir. Bu olayla birlikte rotorda dönme hareketi başlar ve elektrik motoru böylelikle tahrik edilerek hareket sağlanmaktadır.

Rotor sargılarına göre sincap kafesli (kısa devre rotorlu) asenkron motor ve sargılı (bilezikli) rotor asenkron motor olmak üzere iki çeşit asenkron motor tipi bulunmaktadır. Her ikisinde de statorlar üç fazlı üçgen sargılı olmaktadır. Yapı olarak sadece rotorda farklılıklar olmaktadır.

Sincap kafesli asenkron motorda rotor yapısı iletken iletken çubuklarla kısa devre edilmiştir (Erdem, 2019). Ayrıca bu rotor yapısındaki asenkron motorlarda kalkış anında çok akım çekmekte ve ilk döndürme torku da küçük olmaktadır. Sargılı (bilezikli) asenkron motorun rotor yapısı ise rotor oyuklarına 3 fazlı alternatif akım sargısı konulup uçları, rotor mili ile yalıtılan üç bakır bileziğe tutturulmuştur. Bu tip asenkron motor yapısı kalkış anında çok akım çekmemektedir.

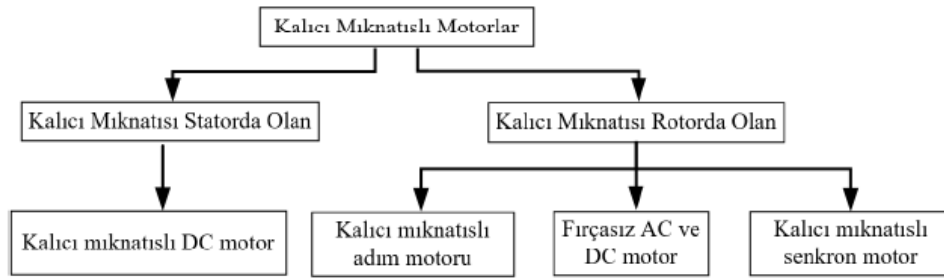
Asenkron motorlar devri kolay kontrol edebilme, fırça ve kollektör olmaması, dönme esnasında elektriksel ark yapmama, fiyat bakımından ucuz olma, fazla bakım gerektirmeme gibi özellikleri sayesinde endüstride oldukça yaygın olarak

kullanılmaktadır. Kullanım alanı olarak; elektrikli araçlarda, pompa, kompresör, asansör ve vinç gibi sistemlerde kullanılmaktadır.

### 1.5.2. Sürekli (Kalıcı) mıknatıslı senkron motorlar

Sürekli Mıknatıslar 1900'lü yıllarda elektrikli motorlarda kullanılmaya başlanmıştır. Eski yıllarda enerji verimliliği açısından sürekli mıknatıslar elektrikli motorlar için verimsiz olduğu için çok tercih edilmemekteydi. Teknolojik gelişmeler ile sürekli mıknatısların verimi artmış daha kompakt ve elektrik motorunun iç yapısına uygun tasarımlarla elektrikli araçların vazgeçilmez motor türleri arasında yerini almaktadır.

İlk sürekli mıknatıs kullanımı alüminyum, nikel, kobalt alaşımı (AlNiCo) düşük enerji verimliliği nedeniyle günümüzde tercih edilmemektedir. Günümüzde fiyat performans açısından değerlendirildiğinde elektrik motorunda kullanılacak en uygun mıknatıs türü ferrit (seramik) mıknatıslardır (Yeşilbağ, 2015). Nadir toprak mıknatısı olan samaryum, kobalt alaşımı (SmCo) korozyon ve oksidasyon direncine karşı güçlü bir dirence sahiptir. SmCo yüksek seviyeli mıknatıslanma özelliği, özel durumlar haricinde kaplama işlemi yapılmaması ve yüksek sıcaklıklara (700°C-800°C) karşı duyarlılığı sebebiyle günümüzde en gelişmiş sürekli mıknatıs türüdür (*Samarium–Cobalt Magnet - Wikipedia*). Ancak samaryumun doğada az bulunması nedeniyle maliyeti yüksektir. Bu mıknatıs türünün yüksek seviyede özellikleri olduğu için özel tasarım performans açısından yüksek elektrik motorları için tercih edilmektedir. Genellikle bu mıknatıs türü uzay ve havacılık sektörlerinde tercih edilmektedir. Bu üç mıknatıs türünden piyasada fiyat performans açısında en çok tercih edilen ferrit mıknatıslardır.

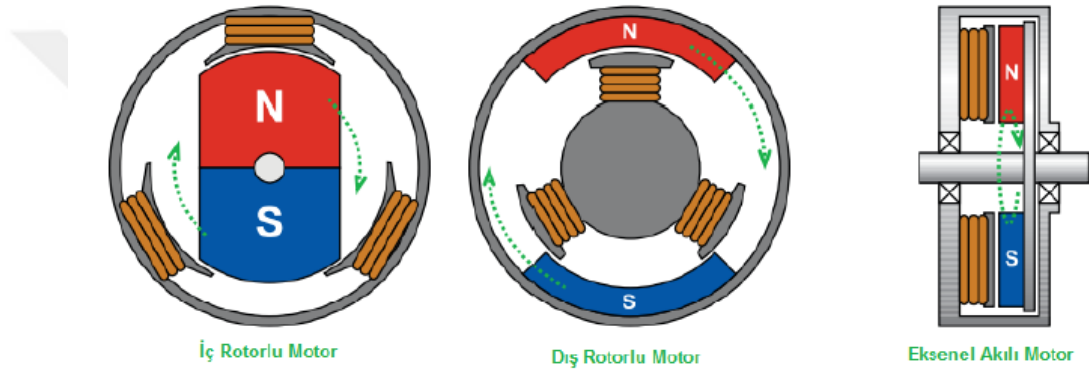


Şekil 1.11 Kalıcı mıknatısın türüne göre SMSM motor konumu (Kazan, 2009)

Sürekli mıknatıslı senkron motor (SMSM) türlerinin kalıcı mıknatısın bulunduğu yere göre sınıflandırılması şekilde gösterilmiştir. SMSM doğru akım motoru olup kalıcı mıknatısı rotorda bölümünde bulunmaktadır. SMSM rotor ve statordan meydana

gelmektedir. Rotor motorun hareketli kısmı, stator ise motorun sabit kısmı parçalarıdır.

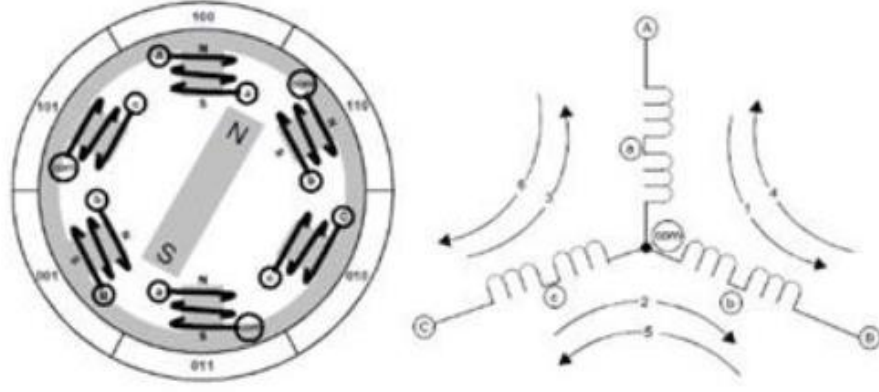
SMSM uyarma akısını sağlamak amacıyla motorun rotor bölümünde kullanılan sargı yerine sürekli mıknatısların kullanılması ile fırça ve kolektörden oluşan sorunları giderilmiştir (Özçira vd, 2012). SMSM, rotorun motor içerisindeki konumları İç rotorlu, dış rotorlu ve aksenal akılı olarak üç bölüme ayrılmaktadır (Aksöz, 2018). Dış rotorlu hub motorlar yüksek eylemsizlik ve daha az vuruş momentine, geniş hava aralığı çapı sayesinde çıkış momenti artırılması ve sessiz çalışabilme gibi özellikleri mevcuttur (Ocak, 2013).



Şekil 1.12 Rotorun motor içerisindeki konumu (Ocak, 2013)

### 1.5.3. Tekerlek içi (Hub) motorlar

Tekerlek göbeği elektrik motorları, tekerlek içi elektrik motorları ya da Hub motor olarak farklı farklı adlandırılmaktadır. Tez kapsamından bundan sonraki kısımlarda hub motor olarak adlandırılacaktır. Hub motorlar elektrik motorlarında doğru akım (DC) kategorisinde SMSM sınıfında bulunmaktadır. SMSM yüksek tork ve yüksek verimliliği (Chung vd., 2016) nedeniyle EA da tercih edilmektedir (Ifedi vd., 2013). Senkron motorlar asenkron motorların çalışma prensibiyle benzerlik göstermektedir. Yalnız senkron motorlarda, stator tarafından üretilen manyetik alanın hızı ile rotor mili tarafından oluşturulan manyetik alanın hızı aynı olmakla beraber aynı frekansta dönmektedirler. Güç yoğunluğu verimlilik ve performans açısından elektrikli araçlarda; otomobillerde, tekerlekli sandalyelerde, elektrikli bisikletlerde (Lee vd., 2017) ve elektrikli kick scooterlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapısal olarak tek fazlı, iki fazlı ve üç fazlı motorlar şeklinde ayrılmaktadırlar. Üç fazlı motorlar endüstride oldukça yaygındır.



Şekil 1.13 İç rotorlu Hub motor basit yapısı (Nian vd., 2014)

Hub motorlar aksenal akılı, radyal akılı, enine akılı olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Elektrikli araçların karakteristiğine en uygun hub motorlar aksenal akılı motorlardır. Çünkü yapı olarak tekerlek içine monte edilme uygunluğu olmasıyla birlikte düşük hızlarda yüksek tork üretebilmektedirler. Aksenal akılı motorlar, sürekli mıknatıslı ve asenkron (indüksiyon) olmak üzere iki kısma ayrılmaktadırlar. Bunların arasında elektrikli yol taşıtlarında yaygın olarak kullanılan sürekli mıknatıslı motorlardır. Aksenal akılı sürekli mıknatıslı motorlar ise slotlu ve slotsuz tipli olmak üzere kendi aralarında ikiye ayrılmaktadırlar (Hüner vd., 2008).

Hub motor kullanım avantajları;

- 1- SMSM kompakt yapıda olduğu için küçük ve hafiftirler,
- 2- Fırça ve kolektör olmadığı için çok nadir bakım yapılır ve sessiz çalışabilme yeteneğine sahiptir,
- 3- Rotorunda sargı yerine sürekli mıknatıs olduğu için, rotor bakır kaybı olmayacağından dolayı verimleri yüksektir,
- 4- Dış rotorlu hub motorlarda, akım yükleri statorda meydana gelmektedir. Stator sıcaklık dağıtımını daha verimli şekilde etrafına dağıtır ve bu avantajından dolayı hub motorlarda aşırı ısınma engellenmektedir,
- 5- Aracın şasi kısmında yer kaplamadığı için batarya, yolcu gibi diğer komponentlere fazla alan sağlar,
- 6- Motor tekerlek içinde olduğu için daha iyi tork ve hızlanma meydana gelir,
- 7- Geleneksel araçların, elektrikli veya hibrit sistemlere dönüşümü daha kolay olmasına imkân vermektedirler,

8- Hub motorlar tekerlek ile arasında herhangi bir güç iletme mekanizması olmadığı için elektrik enerjisini hareket enerjisine dönüştürmede yüksek verimlilik sağlamaktadırlar,

9- SMSM düşük eylemsizliğe sahip oldukları için elektriksel momente karşı daha çabuk yanıt verirler.

#### **1.5.4. Anahtarlamalı relüktans motorları**

Anahtarlamalı relüktans motor (ARM) basit yapısı, yüksek tork-hız karakteristiği, üretim kolaylığı ve fiyat olarak diğer elektrik motorlara göre daha ucuz olması gibi avantajlara sahiptir. ARM düşük devirlerdeki yüksek verimliliği ve ucuz ekipman maliyeti sebebiyle elektrikli taşıtlarda tercih edilmektedir (Uçarol, 2003). Statorda bulunan sargılardan meydana gelen akımlar rotor konumuna uygun zamanlarda anahtarlama işlemi gerçekleşmesiyle birlikte sürekli bir dönme hareketi meydana gelir ve motor bu şekilde çalışarak hareket sağlanmaktadır. ARM, yapı içerisinde hareketli parça olan rotorun ivmelenmesinin hızlı gerçekleşmesinin nedeni ataletin düşük olmasıyla ilişkilendirilmektedir (Öner ve Öztürk, 2015).

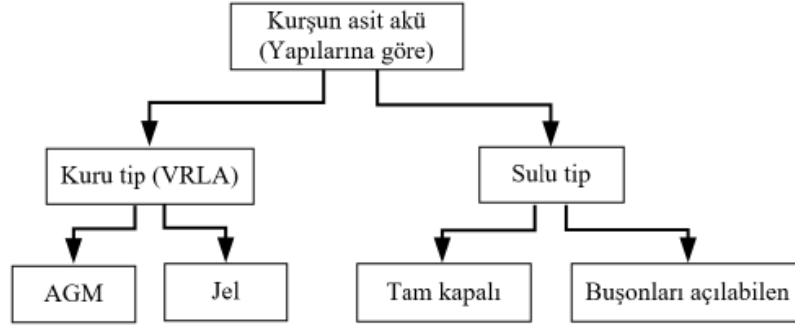
ARM, faz sargıları az olması ve yüksek hızlara çıkmasıyla oluşan ısı ile bakır kayıpları meydana gelmektedir. Motorun hareketli parçası olan rotorda mıknatıs bulunmadığı için bakır kayıpları meydana gelir ve motor verimini olumsuz etkilemektedir.

#### **1.6. Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan Batarya Çeşitleri**

Elektrikli taşıtlarda elektrik motorunu besleyerek hareketi sağlamak ve rejeneratif frenleme anında kazanılan kinetik enerjiyi depo etmek aynı zamanda bu döngüyü süreklilik haline getirmek için enerji depolama elemanlarına gereklilik duyulmaktadır. Elektrikli araçlarda kullanılan ve gelişen teknolojiyle birlikte sürekli güncellenen enerji depolama elemanlarından en önemlisi olan bataryalar üzerinde durulacaktır. Ayrıca tez kapsamında lityum iyon batarya ve kurşun asit batarya üzerinde kıyaslamalar yapılacaktır.

##### **1.6.1. Kurşun asit batarya**

Kurşun asit (Pb-acid) bataryalar tarihte ilk kullanılan batarya teknolojisidir. Kurşun asit batarya 1859 yılında Gaston Plante tarafından bulunmuştur. Taşıtlarda ise 1900 yılların başından beri kullanılmaya ve geliştirilmeye devam edilmiştir. İsmi anot ucunda kurşun katot ucunda kurşun dioksit ( $PbO_2$ ) ve elektrolit olarak sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) bileşiklerinden ismini almıştır.



Şekil 1.15 Yapılarına göre kurşun asit bataryalar

Yapılarına göre kuru ve sulu tip olarak ayrılmaktadırlar. Kuru tip supap ayarlı kurşun asit (VRLA) ise Absorbe Cam Mat (AGM) ve jel olarak ayrılmaktadır. AGM ve jel aküler boyut ve ağırlık bakımında EA'lar da tercih edilmektedir. AGM ve Jel aküler yüksek sıcaklıklara ve titreşimlere dayanıklıdır (Kazan, 2009). İYM yaygın olarak sulu tip aküler kullanılmaktadır. Motoru ilk çalıştırmada, ateşleme ve aydınlatma gibi amaçlar için kullanılmaktadır.

Pb asit bataryaların nominal gerilimi ve enerji yoğunlukları (Van den Bossche vd., 2006) diğer batarya teknolojilerine göre düşüktür (Efe ve Güngör, 2021). Kurşun asit bataryalar hafıza etkisinin olmaması, yüksek deşarj akımı, düşük maliyeti ve yüksek geri dönüşümü olması avantajları arasındadır. Enerji yoğunluğunun yetersiz olması, çevrim ömrünün kısa olması ve ağırlığının fazla olması dezavantajdır.

Sınırlı ve kısa menzile sahip olması nedeniyle tam elektrikli araçlarda tercih edilmemektedir. Günümüzde daha çok mikro-hibrit araçlarda kullanılmaktadır. Kurşun asit bataryalar üzerinde yıllarca araştırmalar yapılmış ve artık üzerinde araştırma yapılacak konu kalmadığından EA için enerji yoğunluğu, çevrim ömrü gibi yüksek batarya teknolojiler üzerinde durulmaktadır.

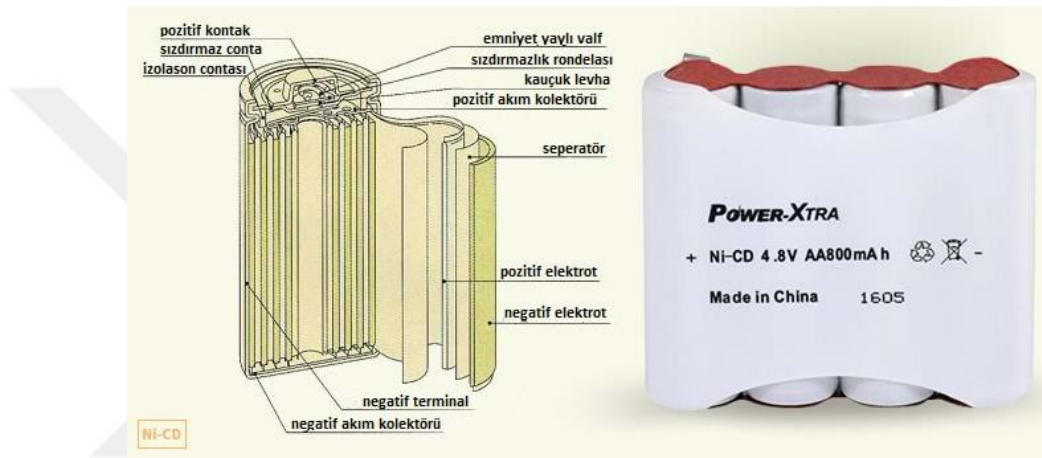
### 1.6.2. Nikel (Alkalin) bazlı bataryalar

Kurşun-asit batarya grubundan sonra nikel kadmiyum (Ni-Cd), nikel çinko (Ni-Zn) ve nikel metal hidrit (Ni-MH) vb. nikel tabanlı bataryalara geçiş yapılmıştır. Elektrolit olarak alkalin çözeltisi kullanıldığı için alkalin piller olarak da bilinmektedir (Özcan vd, 2021). Alkalin bataryalar, kurşun asit pile kıyasla daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir.

NiMH batarya sistemleri, hacimsel enerji yoğunluğu, özgül güç ve çevrim ömrü gibi daha gelişmiş özellikleriyle kurşun-asit batarya grubundan üstün özelliklere sahiptir. Nikel Kadmiyum bataryalar ile hemen hemen aynı performansı göstermektedirler

(Van den Bossche vd., 2006). Ancak NiMH pillerin gelişme açısından fazla incelenecek bir alanı kalmamıştır. Bileşeninde çok miktarda nikel barındırması ve nikel fiyatlarının yüksek olması nedeniyle elektrikli araçlarda tercih edilmemektedir.

Ni-Cd bataryalar, kadminyum kaplı bu batarya türü çok yaygın olarak kullanılmamaktadır. Ni-Cd bataryalar belirli aralıklarla deşarj edilmesi gereklidir. Yoksa plakalar üzerinde kristalleşmeler meydana gelir ve hafıza etkisini olumsuz etkilemektedir. Verimleri yaklaşık %75 seviyesinde olduğu için istenilen düzeye çıkamamışlardır. Kadminyum zehirli ve ağır bir metal türü olduğu için elektrikli araçlarda tercih edilmemektedir (Varol, 2019).



### 1.6.3. Lityum iyon batarya teknolojisi

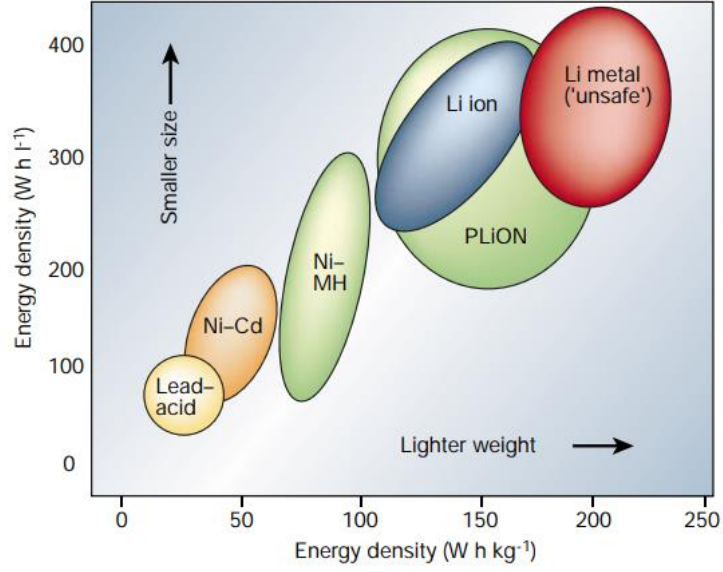
Petrole ulaşmanın zorluğu nedeniyle lityum iyon batarya grubu gibi şarj edilebilir piller oldukça önemli hale gelmektedir (Wang ve Huang, 2011). Elektrikli araçlarda gelişime açık ve en önemli parçalarından biri olan batarya sistemleridir. Bataryalar aracın tahrik sırasında kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren aynı zamanda elektrik motorunun jeneratör olarak çalıştığına ise elektrik enerjisini kimyasal enerji formuna dönüştürebilen bir sistem elemanıdır. Elektrikli araçlarda kullanılacak olan batarya grubu oldukça verimli olmalıdır. Tabi ki verimli olmasının yanında hafiflik, güvenilirlik ve ekonomik olabilmede büyük önem arz etmektedir. Bilhassa batarya seçimi yapılırken bataryanın karakteristik özelliklerine yani voltaj, kapasite, elektrik depolama yoğunluğu, enerji yoğunluğu ve çevrim ömrüne dikkat edilmelidir. Özellikle enerji yoğunluğunun yüksek olması elektrikli araçların kat edeceği mesafeye oldukça etki etmektedir.

Lityum iyon bataryalar 4 ana kısımdan meydana gelmektedir. Bunlar; negatif elektrot olan anot, pozitif elektrot olan katot, elektrolit ve ayırıcı bölümlerinde oluşmaktadır. Mevcut yapılan araştırmalarda lityum iyon bataryaların üzerine düşülen konular anot, katot elektrotları ve elektrolitlere odaklanmaktadır. Ancak bu konular üzerinde durularak geleneksel lityum iyon bataryaların performansı artırılabilir (Wen vd., 2020).

Lityum iyon pillerin temel parametrelerinden en önemlileri enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu, çevrim ömrü ve kilovat saat başına düşen maliyettir. Ayrıca kapasite, güvenlik, enerji verimliliği ve kendi kendine deşarj olma gibi parametreler ise batarya kullanımını olumsuz etkilemektedir (Wen vd., 2020).

Enerji yoğunluğu açısından, EA da günümüzde kullanılan lityum iyon bataryaların enerji yoğunluğu 250 Wh/kg'dır. İYM da kullanılan benzin yakıtının özgül enerji 13000 Wh/kg'dır (Wilcke ve Kim, 2016). Benzin yakıtı, lityum iyon batarya grubunun 50 katından fazla enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu iki enerji türünün karşılaştırılması yapıldığında örneğin Türkiye'de en çok satılan araçlardan biri olan Volkswagen Passat aracının şehir içi tüketim değeri 15 km/L şehir dışı yakıt tüketimi ise 23 km/ L tüketmektedir. 1 depo da 59 litre benzin alabilen Passat aracı şehir içinde 885 km yol alabilmektedir. EA kullanılan lityum iyon batarya 500 km menzile 100 kWh enerji tüketen batarya grubunun ise ortalama 800-900 kg civarında olması gerekmektedir (Vidyanandan, 2019). Yani Passat aracıyla aynı km yapabilmesi için 177 kWh tüketimi gerekmekte ve ortalama 1.5 ton batarya ağırlığına sahip olması gerekmektedir. Günümüzde batarya teknolojisinin özgül enerjisi benzin yakıtınıninkine göre oldukça az olmaktadır. Ancak EA da bulunan elektrik motorunun jeneratör olarak çalışma imkânı bulunmaktadır. Buda rejeneratif frenleme ile mümkündür. Lityum iyon batarya grubu özgül enerji bakımında geleneksel yakıtlara göre çok geride olsa da bu açığı rejeneratif frenlemeyi verimli bir şekilde kullanarak kapatabilirler.

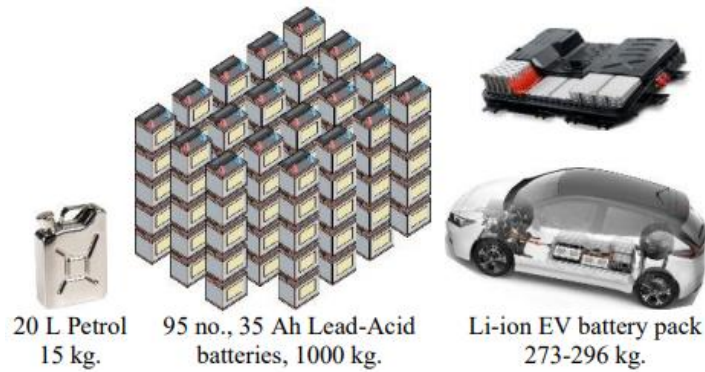




Şekil 1.17 Farklı pillerin güç ve enerji özellikleri (Tarascon ve Armand, 2001)

Geleneksel yakıt türü olan benzinin, kurşun asit bataryanın ve lityum iyon bataryanın ağırlık olarak karşılaştırılması yapılırsa;

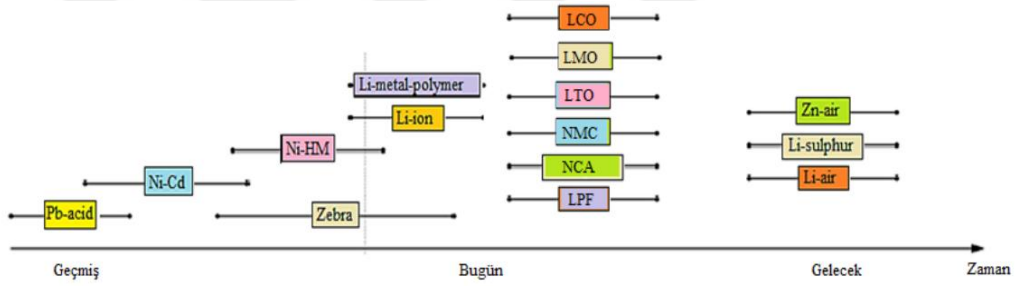
20 litre benzinle ortalama 250 km yol gidilmektedir. 250 km yol gidebilmek için EA ortalama 32 kWh enerji ve 40 kWh pil kapasitesi gerekmektedir. 12V 35 Ah 10,5 kg ağırlığındaki standart bir kurşun asit batarya, 40 kWh pil kapasitesi için 95 adet gerekecek ve toplam ağırlığı yaklaşık 1000 kg yapacaktır. Lityum iyon bataryada ise örneğin Nissan markasının Leaf modeli için 40 kWh pil kapasitesinin ağırlığı ortalama 280 kg olmaktadır (Vidyanandan, 2019).



Şekil 1.18 250 km yol alabilmek için benzin, kurşun asit ve lityum bataryalarının boyutları (Vidyanandan, 2019)

EA da batarya konumlandırılması aracın orta bölümünde yani ön ve arka lastiklerin arasında olduğu için aracın boy denge oranı mükemmel seviyeye ulaşmaktadır. Ayrıca geleneksel araçlara göre batarya konumlandırılması denge oranının daha iyi olmasına ve savrulmayı da en aza indirmiştir. Böylelikle EA, İYM araçlara göre sürüş keyfi

açısından daha güvenli olmasına olanak vermektedir. Geleneksel araçlarda özellikle 4 çeker ve arkadan itişli araçlar için tekerleklerle gücü iletmek için kullanılan diferansiyel ile entegre bir biçimde olan şaft mili kullanılmaktadır. Şaft milini kötü yol şartlarından ve çevresel etkilerden korumak için aracın tam ortasından geçen, arka yolcu kısmında şaft tüneli bulunmaktadır. Şaft tüneline sadece şaft mili değil aynı zamanda fren sistemi, egzoz sistemi ve yakıt hortumu gibi İYM araçların sistem elemanlarını barındırmaktadır. Şaft tüneli yolculuk esnasında arka kısmın spor arabalar hariç 3 kişi oturmasını zorlaştırmakta ve o kısımda oturan kişiye rahatsız edici bir seyahat deneyimi sunmaktadır. EA kullanılan batarya grubu ön ve arka tekerlek arasına dikdörtgen şeklinde yayıldığı için şaft tüneli kısmı ortadan kalkmıştır. Buda EA 'ların geleneksel araçlara göre hem parça hem maliyet ve araç içinde fazla yer açısından daha avantajlı olmaktadır.



Şekil 1.19 Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların dünü, bugünü ve geleceği (Yong vd., 2015)

Lityum iyon batarya (LİB) teknolojisinin son yıllarda gelişimiyle birlikte elektrikli araçlarda, akıllı telefonlarda, bilgisayarlarda ve diğer taşınabilir (Lyu vd., 2020) elektronik cihazlarda çoğunlukla tercih edilmektedir (Xu vd., 2012). Diğer batarya türlerinden ayıran en önemli özelliği en hafif metallerden biri olması (Xie ve Lu, 2020) kendi kendine deşarj oranının (aylık % 5 ten az) düşük olması (Nelson, 2000) ve yüksek enerji yoğunluğuna (Nelson, 2000), en güvenli (Van den Bossche vd., 2006) ve düşük ağırlığa sahip olduğu için EA da sürüş mesafesini uzatmaktadır. LİB en önemli özelliklerinden bir diğeri ise bütün parçalarının geri dönüştürülebilir çevre dostu olmasıdır (Hanifah vd., 2015).

Rejeneratif frenleme anında, Lityum iyon piller kaldırabilecekleri güç seviyeleri açısından sınırlıdır. Güç seviyeleri sınırlı olduğu için kazanılan enerjinin büyük bir kısmı mekanik frenler aracılığıyla ısı olarak atmosfere dağıtılır ve buda rejeneratif frenlemenin verimini azaltmaktadır (Chemali vd., 2016).

Rejeneratif frenleme anında bataryalar sürekli şarj/deşarj olduğu için batarya ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Rejeneratif frenleme anında daha fazla enerji kazanmak ve lityum temelli bataryaları geliştirmek için araştırmacılar geleneksel lityum iyondan daha iyi performans gösterecek Lityum tabanlı bataryalar üzerinde çalışmalar yapmaktadırlar. Günümüzde mevcut bulunan geleneksel lityum iyon bataryalar en fazla 250 Wh/kg özgül enerjiye kadar çıkabilmektedir. Ancak elektrikli araçların 500 km ve üzeri menzilin artırmak isteniyorsa yeni lityum bazlı batarya teknolojilerini keşfetmeleri gerekmektedir. Aşağıda tablo 1.2’de kurşun asit batarya, nikel bazlı bataryalar ve lityum bazlı bataryaların güncel özellikleri gösterilmektedir.

**Tablo 1.2** Batarya değerleri (Özcan vd., 2021)

Pil Türü	Nominal Gerilim (V)	Özgül Enerji (Wh/kg)	Hacimsel Enerji Yoğunluğu (Wh/L)	Özgül Güç (W/kg)	Yaşam Döngüsü	Kendi Kendine Deşarj (Aylık%)	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı (°C)
Kurşun Asit	2,0	35	100	180	1000	<5	Hayır	-15 ile +50
Nikel Kadmiyum	1,2	50-80	300	200	2000	10	Evet	-20 ile +50
Nikel Metal Hidrat	1,2	70-95	180-220	200-300	<3000	20	Seyrek	-20 ile +60
Lityum İyon	3,6	118-250	200-400	200-430	2000	<5	Hayır	-20 ile +60
Lityum Demir Fosfat	3,2	90-140	220	2000-4500	>3000	<5	Hayır	-20 ile +70
Lityum Kükürt	2,5	350-650	350	-	300	8-15	Hayır	-60 ile +60
Lityum Kobalt Oksit	3,6	150-200	-	-	500-1000	-	-	-25 ile +55
Lityum manganez oksit	3,7	100-150	-	-	300-700	-	-	0 ile +50
Lityum Titanat Oksit	2,4	50-80	90	4000	3000-7000	-	-	-
Lityum Hava	2,9	1300-2000	1520-2000	70-100	100	<5	-	-10 ile +70

#### **1.6.4. Lityum demir fosfat (LDF) piller**

Lityum demir fosfat (LDF) ( $\text{LiFePO}_4$ ) bazlı pil, yüksek kapasite 170 mAh/g, uygun maliyet, düz voltaj profili ve düşük çevresel etki gibi özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir (Scrosati ve Garche, 2010). LDF bataryalar, yüksek güvenlik (Garche ve Moseley, 2017), iyi termal kararlılık, uzun yaşam döngüsü (Y. Wang ve Huang, 2011) ve düşük kendi kendine deşarj (aylık %5 den az) oranı gibi avantajlarından dolayı otobüslerde ve ticari araçlarda (Wen vd., 2020) yaygın olarak kullanılmaktadır (Stan vd., 2014). Ayrıca 3,2 V gerilime sahip, yüksek sıcaklık aralıklarında (-20, +70) aralıklarında çalışabilme diğer avantajları arasında bulunmaktadır.

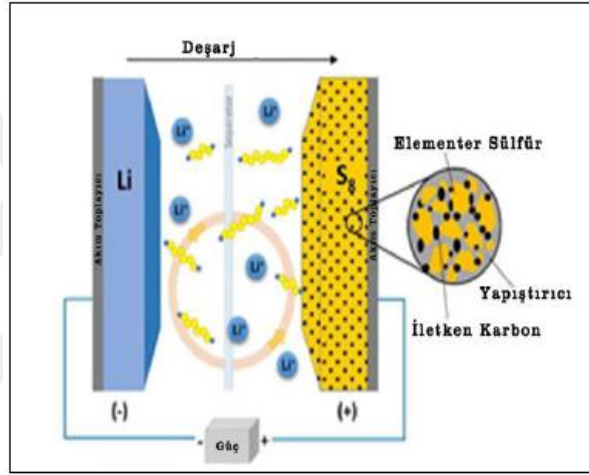
#### **1.6.5. Lityum kükürt (Sülfür) (Li-S) piller**

Günümüzde birçok şarj edilebilir (Nagao vd., 2011) batarya grupları arasında, lityum-kükürt (Li-S) batarya sistemi en yüksek teorik kapasiteye ve en yüksek teorik güç yoğunluğuna sahip olduğu için diğer lityum bazlı bataryalara göre ön planda bulunmaktadır. Yüksek kapasitesiyle birlikte katot malzemesi olarak elektriksel yalıtkanlığı mükemmel olan kükürtün kullanımı, doğada yüksek oranda bulunması, düşük maliyet ve çevre dostu batarya olması gibi avantajlara sahiptirler (Wang vd., 2011).

Tamamen katı hal lityum batarya, yanıcı olmayan, inorganik katı elektrolitler kullanarak mevcut piyasada bulunan lityum iyon bataryaların güvenlik ve enerji yoğunluğunu önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir. Katı elektrolitler, tamamen katı hal lityum batarya etkinleştirilmesinde kritik bir rol oynar. Çeşitli lityum iyon iletken malzemeler arasında, sülfür (Kükürt) bazlı katı elektrolitler, çok iyi iyonik iletkenlikleri ve mekanik özellikleri nedeniyle çok değerli elektrolitlerden biridir. Birkaç sülfür elektrolitinin iyonik iletkenlikleri, diğer organik sıvı elektrolitlerle göre çok yüksek döngü ve hız performanslarına sahip tamamen katı hal lityum iyon pilleri mümkün kılmaktadır (R. Xu vd., 2019). Elektrikli araçlar için pil teknolojisinin geliştirilme aşamasında Li-S bataryalar ümit verici bir seçenek haline gelmiştir. Bu piller hem maliyeti hem de kendine özgü enerji yoğunluğu ile elektrikli araçlarda kullanılabilecek piller arasında en büyük aday olmuştur. Piyasa şartları baz alındığında kükürt'ün ucuz ve bol olması son yıllarda en aktif olarak araştırılan katot malzemelerinden biri haline geldi. Bu piller düşük hücre gerilimi, yüksek enerji yoğunluğu, yüksek şarj verimine sahiptirler.

Lityum kükürt batarya teknolojisinin birçok avantajı olmasının yanında en büyük sorunu yaşam döngüsünün düşük olması şu an EA'lar da kullanımını engellemektedir. Ancak araştırmacılar kükürt-grafen (SG) elektrotlarını pozitif yüklü poli dialil dimetil amonyum klorür (PDDA) ile işlevselleştirerek Li-S bataryaların yaşam döngüsünü artırmaya başarmışlardır. Geliştirilen elektrostatik etkileşim stratejisi tarafından üretilen SG/PDDA, oldukça dayanıklı Li-S piller için umut verici bir katot malzemesi olarak kullanılabilir (Ma vd., 2015).

Bu batarya türünün diğer dezavantajı ise aylık olarak %8-15 arasında kendi kendine deşarj olması, (He vd., 2011) şarj verimi olarak yeterli düzeyde olmaması (Liu ve Cui, 2017) Li-S batarya teknolojisinin piyasada ve EA da kullanılmasına engellemektedir.



Şekil 1.20 Li-S batarya şeması (Efe ve Güngör, 2021)

#### 1.6.6. Lityum kobalt oksit ( $\text{LiCoO}_2$ ) batarya

Lityum kobalt oksit ( $\text{LiCoO}_2$ ) ya da kısa adıyla LCO bazlı batarya, geleneksel Lityum iyon bataryalara yakın özgül enerjiye sahip olmaktadır. Ayrıca LCO uzun yaşam döngüsü, yüksek enerji yoğunluğu (Wh/L) ve iyi derecede şarj/deşarj hızı nedeniyle taşınabilir elektronik cihazlarda kullanılan en popüler pil teknolojisidir (Lyu vd., 2020). LCO, katot olarak bir kobalt oksit pozitif elektrottan ve bir anot olarak bir grafit karbon negatif elektrottan oluşmaktadır. Standart bir LCO pil hücresi 3,6V gerilime ve yüksek sıcaklık aralıklarında çalışabilme özellikleri mevcuttur. Dezavantaj olarak, güvenlik zafiyetiyle birlikte kobaltın doğada az bulunması ve fiyatının yüksek olması nedeniyle EA uygulamaları için uygun bulunmamaktadır (Stan vd., 2014).

#### 1.6.7. Lityum mangan oksit bazlı piller ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ )

Lityum Mangan Oksit (LMO) kimyasal formülü  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  olarak adlandırılmaktadır. LMO 3,7 V bir nominal gerilime sahiptir. LMO pil hücrelerinin

diğer önemli özellikleri, yüksek termal kararlılık, daha düşük maliyet ve geliştirilmiş güvenlidir (Stan vd., 2014) dezavantaj olarak kısa çevrim ömrü ve çalışma sıcaklık aralıklarının (0, +50) sınırlı olması nedeniyle LMO bataryalar EA uygulamaları için uygun görülmemektedir.

#### **1.6.8. Lityum titanat oksit (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>) batarya**

Lityum titanat oksit (LTO) (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>), anot yüzeyinde karbon kullanılmamaktadır. Adını da aldığı bir lityum Titanat Nanokristalleri barındırmaktadır. Titanat Nanokristaller kullanılmasıdaki avantaj düşük toksik, düşük maliyet ve yüksek güvenlik sağlamaktadır (Bruce vd., 2008). LTO tabanlı piller, güç ve kararlılık açısından avantajlar sunmaktadır. Lityum iyon bataryalara göre daha düşük bir voltaj seviyesine sahip oldukları için güvenlik açısından avantaj sağlamaktadır (Yi vd., 2010). LTO'nun özellikleri şunları içerir: yüksek döngü kararlılığı, kapasite artışı (Fergus, 2010) elektrolit bozulması ve dolayısıyla katı elektrolit arayüz oluşumu olmaması, yüksek hız/deşarj kapasitesi ve hem şarj hem dedeşarj durumunda yüksek termal kararlılık gibi özelliklere sahip bir batarya türüdür. Ayrıca, LTO tabanlı piller düşük sıcaklıklarda çalışabilir. Bu özellikler, LTO'yu sabit ve yedek güç uygulamalarında kullanımları için umut verici bir aday yapmaktadır.

#### **1.6.9. Lityum-hava batarya teknolojisi (Li-Air)**

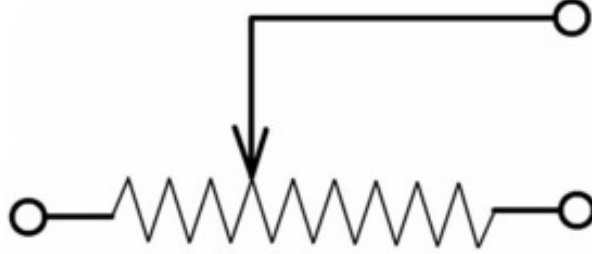
Li-Air batarya grubu günümüz teknolojisinde kendini tamamlamış bir sistem değildir. Bu yüzden EA'lar da tercih edilmemektedir. Teknolojisinin pahalı olması, yaşam döngüsünün düşük olması nedenlerden dolayı yaygın olarak kullanılmamaktadırlar. Ancak özgül enerji, hacimsel enerji yoğunluğu ve geniş çalışma sıcaklıkları açısından oldukça umut verici bir teknolojidir.

Tez kapsamında lityum iyon batarya ve kurşun asit bataryaların kıyaslamaları yapılacak ayrıca enerji tüketimi, yük bindirme, rejenerasyon anında kazanılan enerji ve batarya doluluk oranı gibi birçok etmen üzerinde bu iki batarya çeşidinin karşılaştırılması yapılacaktır.

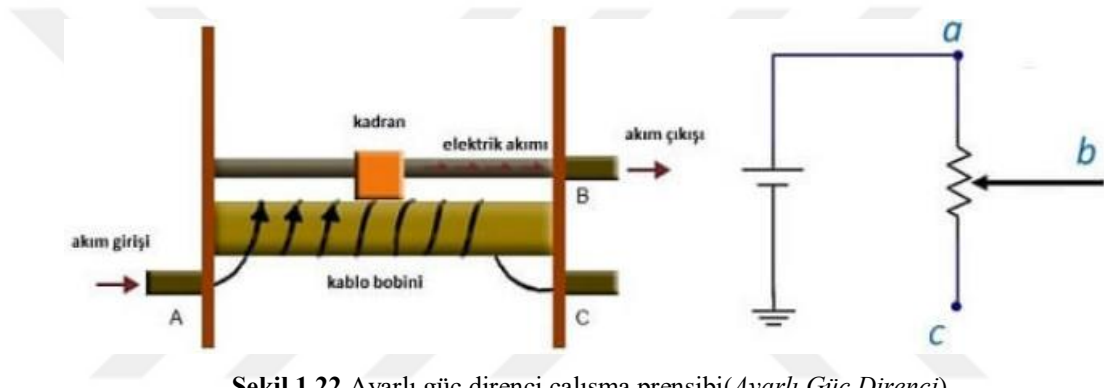
#### **1.7. Ayarlı Güç Direnci (Reosta)**

Reosta, devreye seri bağlanarak devreden geçen akım şiddetini değiştirmek için kullanılan değişken direnç elemanıdır. Reostalar, genellikle yüksek dirençli bir telden üretilen sarımlardan ve sarıma sürtünecek biçimde hareket ettirilebilen sürgülü yapıdan oluşmaktadır (Sürgülü Reostalar - Erk Rezistans). Reostalar yüksek voltaj ve

akım gerektiren alanlarda tercih edilmektedir. Şekil 1.21’de reostanın devrede gösterim şekli verilmektedir.



Şekil 1.21 Ayarlı güç direnci gösterimi



Şekil 1.22 Ayarlı güç direnci çalışma prensibi (Ayarlı Güç Direnci)

Şekil 1.22’de ayarlı güç direncinin çalışma prensibi gösterilmektedir. Devreye seri olarak bağlanan ayarlı güç direnci A, B, C, terminaleri olarak üç kısımdan meydana gelmektedir. A ve C terminaleri arasındaki direnç sabittir. B terminaline bağlı olan sürgü mekanizması hareket ettirilerek A ve C terminallerinin temas yüzeylerinde değişiklikler meydana gelmektedir. A ve B terminaleri arasındaki direnç yolu azaldığı için direnç azalırken B ve C terminaleri arasındaki direnç yolu arttığı için direnç artmaktadır. Bu çalışma mantığı sayesinde ayarlı güç direnci ile akım şiddeti kolaylıkla kontrol edilmektedir.

## 2. REJENERATİF FRENLEME

Geleneksel frenlemeye sahip araçlarda frenleme anında kampana veya diskler ile sıkıştırılan balatalar yardımıyla, araç yavaşlama ya da durma eylemini gerçekleştirmektedir. Bu işlem ile birlikte balata ile karşı yüzey arasında sürtünme meydana gelmektedir. Sürtünme ile birlikte ısı enerjisi meydana gelir ve bu ısı enerjisi havaya atılmaktadır. Geleneksel araçlarda frenleme sırasında kinetik enerji böylelikle kayıp formuna dönüşmektedir.

Rejeneratif frenleme sistemi melez (hibrit) veya tamamen elektrikli taşıtlara özgü bir kavramdır. Rejeneratif frenleme sistemi geleneksel araçlarda frenleme anında kaybedilen kinetik enerjiyi, tekerleklere bağlanan elektrik motoru ile kinetik enerjiyi elektrik enerjisine (Chen vd., 2013) dönüştüren sistem olarak tanımlanmaktadır.

Elektrik motoruna sahip bir taşıtta, frenleme anında veya yavaşlama anında elektrik motoru jeneratör (Tuan vd., 2020) özelliği göstermektedir. Elektrik motorunun bu özelliği sayesinde, kaybedilen kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek depolama sistemine geri kazandırmaktadır (Kivanc ve Ustun, 2021). Ancak frenleme anında oluşan enerjinin tamamı geri kazanılmaz bir kısmı ısı yoluyla atmosfere atılmaktadır (Gao vd., 2018; W. Liu vd., 2020).

Elektrikli taşıtlarda yıllardır süregelen menzil sorunu, rejeneratif frenleme sistemi çözüm olabilecektir. Rejeneratif frenleme hem sürüş menzili artırmaya hem de enerji tüketiminin azaltılmasında oldukça önemli bir sistemdir (Totev ve Gueorgiev, 2020). Rejeneratif frenleme ile özellikle trafiğin yoğun olduğu yerlerde daha fazla enerji elde edilebilmektedir. Ayrıca yokuş aşağı yollarda araç frenleme veya yavaşlama reaksiyonu göstereceği için bu enerji geri kazanılarak bataryalara depo edilebilmektedir. Ancak acil frenleme anında mekanik frenleme sisteminin kullanılması güvenlik açısından oldukça önem arz ettiği için mekanik frenleme sistemi rejeneratif frenleme ile birlikte kullanılmalıdır (Kim vd., 2022).

Çok düşük hızlarda rejeneratif frenleme sistemi ihmal edilerek geleneksel frenleme ile araç durdurulmaktadır. Aracın yüksek hızlara çıkmasıyla rejeneratif frenlemeyle maksimum düzeyde faydalanılmaktadır. Çünkü elektrik motorunun jeneratör olarak çalışma süresini uzatarak bataryaya daha fazla enerji depo edilecektir (Gao vd., 2018). Dolayısıyla Rejeneratif frenleme sistemi ile aracın menzil artacaktır.



Literatür taramasında, araştırmacılar farklı yöntemler kullanarak farklı oranlarda rejeneratif frenleme sisteminden faydalanmaya çalışmışlardır. Araştırmacılar, benzetim çalışmaları ile farklı araçlarla, farklı sürüş çevrimlerinde geri kazanılan enerjinin bataryaya depo ederek menzile etkisini irdelemişlerdir. Araştırmacıların enerji geri kazanımının en fazla olduğu bölgeler arasında, araç trafiği yoğunluğunun, dur-kalk sayısının fazla olduğu bölgelerde ve aracın yokuş aşağı yollarda elektrik enerjisinin bataryalara daha fazla depolandığı kanısına varmışlardır.

Rejeneratif frenleme sisteminden daha fazla faydalanabilmek için sisteme bazı elektrik devre elemanları veya elektriksel komponentleri entegre edilmektedir (Bhurse ve Bhole, 2018). Rejeneratif frenleme ile geri kazanılan en önemli yöntemlerin başında, bulanık mantık yöntemi, değişken anahtarlama yöntemi, volan (flyweel), kapasitör, ultra kapasitör gibi sistemler rejeneratif frenlemeden (Naveed vd., 2022; Randive vd., 2022; M. Yang vd., 2009) maksimum düzeyde verim almaya alınmaktadır. Geri kazanılan enerji, bu sistemlerin verimliliği ve ağırlığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Literatür çalışmalarında bu sistemler kullanılarak rejeneratif frenleme ile geri kazanılan enerji miktarları %8 ile %32 arasında değişmektedir.

Rejeneratif frenleme ile fren balatası aşınmasını da azaltmaktadır. Azaltılmış fren balatası tozu nedeniyle hava kalitesi iyileştirilmekte ve aracın bakım maliyetleri azaltılmaktadır (Wager vd., 2018). Elektrikli araçlar zararlı emisyonlar yaymadığı için çevre dostu taşıtlar olarak bilinmektedir. Elektrikli araçlarda enerji geri kazanımı ve farklı depolama sistemleri ile sürüş mesafesi arttırılarak, elektrik enerjisinden tasarruf edilebilmektedir. Artan insan nüfusu ve araç sayısı ile birlikte artık günümüz yaşantısında ekonomik olma ve daha çevreci olabilme açısından her türlü enerjiyi geri kazanabilmek oldukça önem arz etmektedir. Rejeneratif frenleme ile birlikte karbon ayak izini azaltılarak hem yeşili korunabilmekte hem de ülke ekonomisine katkı sağlanabilmektedir.

Rejeneratif frenleme sisteminin faydaları;

- 1- Enerji kazanımı ile yakıt/elektrik artırımını sağlar.
- 2- Kazanılan enerjiyle araç daha fazla yol kateter.
- 3- Mekanik sistemlerin yani fren balataları, disk ve kampana komponentlerin çalışma ömrünü uzatır.
4. Atmosfere atılan zararlı gazları azaltır.

### 3. EKS DİNAMIĞI

#### 3.1. Scootera Etki Eden Dirençler

Araç hareket halindeyken, ileriye doğru gitmesini engelleyen etki dirençleri vardır. Bu dirençler aracın daha fazla enerji tüketmesine katkı sağlamaktadır. Rejeneratif frenlemede geri kazanılan enerji gibi bir taşıta etki eden dirençleri azaltarak enerjiden tasarruf edilebilmektedir. EKS'ye etki eden bu dirençler; hava direnci, yuvarlanma direnci, ivme direnci ve eğim direncidir. Bahsi geçen bu parametreler aracın yapısını oluşturmada önemli derecede etkiye sahiptir. EKS'ye etki eden dirençlere bu bölümde değinilecektir.

#### 3.2. Aerodinamik (Hava) Direnci

Araç hareket halindeyken bu harekete direnç gösteren en önemli parametrelerin başında hava direnci gelmektedir. Aracın ön yüzey alanı ( $A_f$ ) tasarımsal olarak iyileştirilebilirse bu direnç kuvveti önemli ölçüde düşürülebilmektedir. Geleneksel araçlara göre EA da batarya sistemi ön ve arka tekerlekler arasına yerleştirilerek araç üzerinde daha oransal kuvvet dağılımı yapıldığından araç dengesini ve sürüş konforu açısından oldukça değerlidir. Dolayısıyla aracın ağırlık merkezine yer yüzeyine yaklaşması aerodinamik performansı olumlu yönde etkilemektedir.

**Tablo 3.1** Bazı araç türlerinin aerodinamik sürtünme katsayısı ve ön kesit alanı

Araç Türü	$C_D$	$A_f$
Cabrio	0,5-0,7	1,7-0,9
Limuzin	0,22-0,4	1,7-2
Otobüs	0,4-0,8	6-10
Binici ile motosiklet	0,5-0,7	0,7-0,9

$F_a = 0,5 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A_f (V+V_0)^2$  eşitliği ile hesaplanmaktadır.

Bu eşitlikte;

$\rho$ : Hava yoğunluğunu,  $kg/m^3$

$C_d$ : Aerodinamik sürtünme katsayısı,

$A_f$ : Ön kesit alan,

$V_0$ : Hareket doğrultusuna ters rüzgâr hızı, m/s

$V$ : Taşıt hızı, m/s

### 3.3. Yuvarlanma Direnci

Yuvarlanma direnci, lastik malzemelerinin sert yüzeyler üzerindeki histerezisinden kaynaklanmaktadır. Rulman ve vites sistemindeki sürtünmenin de yuvarlanma direncine etkisi vardır. Yuvarlanma direnci katsayısı ( $\mu_{rr}$ ) en çok tekerlek tipi ve basıncına, az da olsa araç hızına bağlıdır. Eğer tekerlekler yüksek basınçlı bir şekilde şişirilirse aracın performansı artar fakat daha az konforlu olur. Aşağıdaki denklem 'de yuvarlanma direncinin en genel formülasyonu verilmektedir.

$$F_r = \mu_{rr}.m.g$$

$\mu_{rr}$ : Yuvarlanma direnci katsayısı

$m$ : Kütle (kg)

$g$ : Yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )

**Tablo 3.2** Lastik-zemin tipine göre yuvarlanma direnç katsayısı değerleri

Koşullar	Yuvarlanma Direnci Katsayısı
Beton yolda araba lastiği	0,011
Beton yolda bisiklet lastiği	0,002
Asfaltta bisiklet lastiği	0,004
Betonda bisiklet lastiği	0,002

### 3.4. Eğim Direnci

Bir aracın hareket yönünü ters yönündeki eğimden kaynaklanan bir direnç kuvvetidir. Araç hareket ederken yola bağlı olarak eğim açısı sürekli değişir. EA da yokuş yukarı gidilince bariz bir enerji kaybı vardır. Ancak EA yokuş aşağı giderken rejeneratif frenleme ile bir kazanç elde etme söz konusudur. O zaman eğim değeri hem pozitif hem de negatif yönlü olmaktadır. Eğim direncini formülü aşağıdaki denklem takımında verilmiştir.

$$F_e = m.g.\sin\alpha$$

$m$ : Kütle (kg)

g: Yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )

+/-  $\sin\alpha$ : eğim açısı +(pozitif) işareti yokuş yukarı gitmek içindir-(negatif) işareti yokuş aşağı gitmek içindir.

### 3.5. İvme (Atalet) Direnci

Newton'un II. hareket yasasına göre, bir cismin hızlanma ve yavaşlama anında, buna karşı gelen bir atalet kuvveti meydana gelmektedir. Aracın pozitif ve negatif ivmelenmesi sırasında karşılaşılan bu kuvvete ivmelenme direnci denir. İvme direnci;

$F_i = m \cdot a$  denklemi ile hesaplanmaktadır. Burada;

m: Kütle (kg)

a: ivme  $m/s^2$

## 4. SÜRÜŞ ÇEVİRİMLERİ

Sürüş çevrimleri geleneksel araçlarda genel motor performansı, aracın çevre şartlarında tepkisini, araç kullanımı, yakıt tüketim ve emisyon değerlerinin ölçümünde kullanılmaktadır. Elektrik motoruna sahip taşıtlarda ise emisyon değeri sıfır olduğu için öncelikle elektrik enerjisi tüketiminde ve rejeneratif frenleme anında geri kazanılan enerji miktarının ölçmek için kullanılmaktadır.

Benzetim çalışmalarında farklı sürüş çevrimleri ile farklı çevre koşulları oluşturularak elektrikli araçlarda, geri kazanılan enerji oranları farklı olmaktadır. Bu nedenle araç üzerine eklenen bileşenler ve bataryadan enerji çeken aksesuar takımlarının verimli kullanımı önem arz etmektedir. Sürüş çevrimleri büyük kentlerin belirli bölgelerinde araç ve trafik yoğunluğuna göre belirlenmektedir. Sürüş çevrimleri teorik (modal, poligonal) çevrimler ve gerçek sürüş çevrimleri olarak iki bölüme ayrılır.

Teorik sürüş çevrimleri; Teorik nitelikteki bu çevrimler eğimin olmadığı düz yollarda, sabit hızlanma veya ivmelenme süreçleri etkindir. Bu nedenle bu sürüş çevrimleri araçların emisyon ve yakıt tüketimini tam olarak belirtmemektedir. Örnek olarak NEDC, Japanese 10-15 Mode, ECE15, Federal Test Prosedürü 75 (FTP-75), NYCC çevrimleri verilebilir.

Gerçek sürüş çevrimleri; aracın gerçek sürüş koşulları altında benzetimi yapılan sürüş çevrimlerdir. Dinamik ve agresif bir sürüş döngüsü olup çok farklı hız, ivme ve yavaşlama periyodlarını içermektedir. Örnek olarak Hong Kong, Sidney, Atina sürüş çevrimi ve İstanbul Seyir Çevrimleri gerçek sürüş çevrimlerine örnek olarak verilebilir.

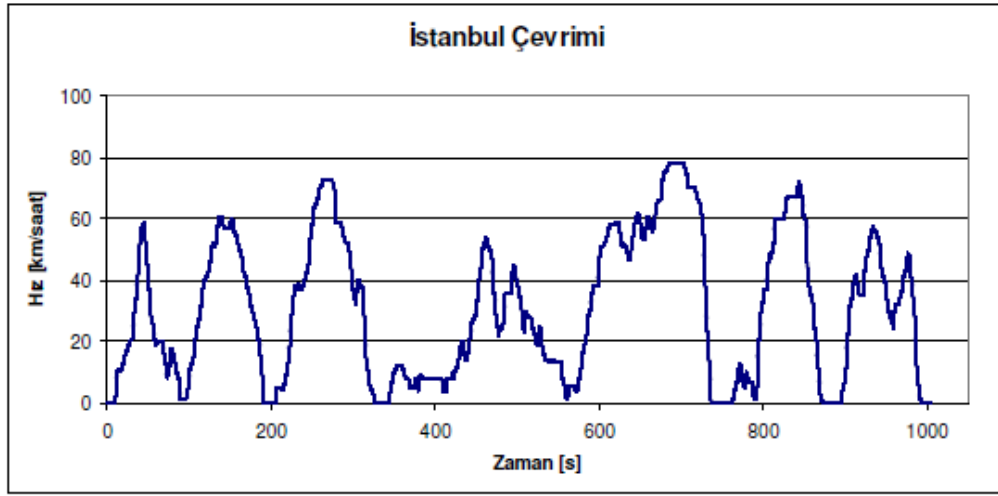
Aşağıdaki bölümlerde hükümetler tarafından kabul görmüş önemli sürüş çevrimlerinin bazılarının özellikleri ile açıklaması yapılmıştır.

### 4.1. İstanbul Şehir Çevrimi

İstanbul sürüş döngüsü, karayolu taşıtlarının sera gazı üzerinde etkisini ve geleneksel araçların İstanbul trafiğinde yakıt ve emisyon değerlerini öngörebilmek için oluşturulan gerçek bir sürüş çevrimidir. Ülkemizin insan nüfusu bakımından en kalabalık olan il İstanbul'dur. Bu nüfusla doğru orantılı olarak en fazla araç bu ilimizde bulunmaktadır. İstanbul şehrinin trafik yoğunluğunu ifade etmek için 4 farklı rota seçilmiştir. Bu rotalar Maslak – Göztepe (Boğaziçi Köprüsü üzerinden), Maslak – Koz

yatağı (Fatih Sultan Mehmet Köprüsü üzerinden), Maslak – Bakırköy (E5 yolundan), ve Tarihi Yarımada olarak belirlenmiştir (Öztürk, 2010). Belirlenen rotalara yerleştirilen sensörler aracılığıyla trafik yoğunlukları belirlenmiştir. Haftanın her günü yapılan ölçümler ile trafik akışı verisel olarak not edilmiş ve veriler ışığında birkaç farklı sürüş çevrimi ortaya çıkmıştır. Laboratuvar şartlarına adapte olacak uygun zaman ve hata payı az olan çevrim seçilmiştir (Sel, 2010).

İstanbul sürüş döngüsünün çevrim uzunluğu, 8,61 km, çevrim süresi 1003 saniye, ortalama hız 30,9 km/h ve azami hızı 78.0 km/h'dir.



Şekil 4.1 İstanbul sürüş çevrimi grafiği (Öztürk, 2010)

#### 4.2. Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi

Avrupa birliği ülkelerince kabul edilen şehir içi ve otoyol sürüş çevrimlerini kapsayan teorik bir şehir döngüsüdür. Geleneksel benzinli araçlar için 1980'li yıllarda tasarlanmaya başlayan Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC) sürüş çevrimiyle araçların yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini ölçmek için kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle elektrikli araçların, elektrik enerji tüketimini ve rejeneratif frenleme ile bataryaya toplanan elektrik enerjisinin ölçmek ayrıca aracın menzil mesafesinin belirlenmesi için de kullanılmaktadır.

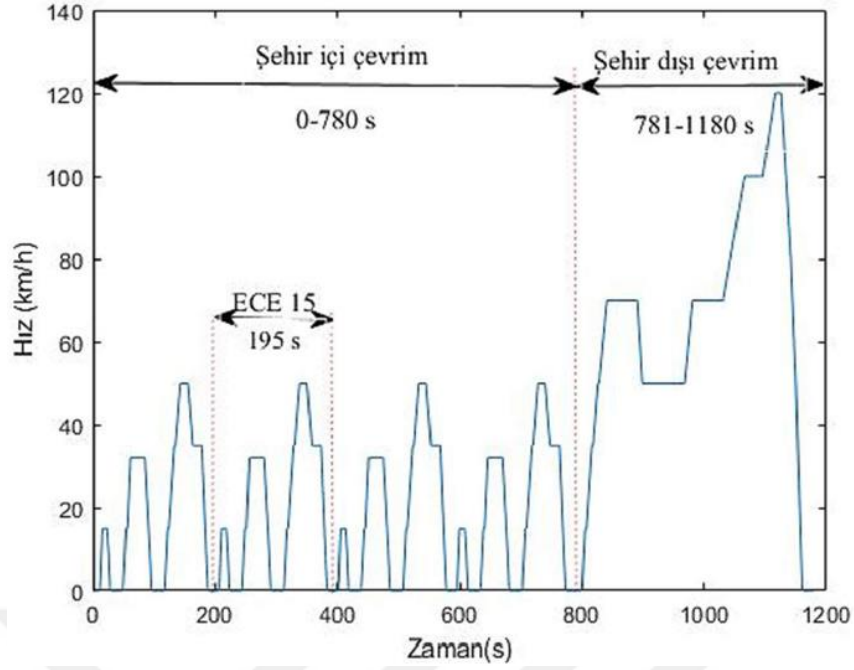
NEDC Sürüş döngüsünde yapılan teorik çalışmalarında eğimin olmadığı düz bir yolda ve çevre koşullarında hava yoğunluğu, rüzgâr ihmal edilerek simülasyonu yapılmaktadır. Test sırasında araçtan elektrik enerjisi çekecek tüm aksesuarlar (klima, ısıtma sistemleri, lambalar vb.) kapatılır. Test ortamı, hava direnci ve araç ataleti sebebiyle benzer etki gösteren elektrikli tamburlardan meydana gelmektedir (Gögebakan, 2019). Sürüş çevriminde 40 saniyelik ön çalıştırma (rölanti periyodu)

çıkılarak araçların daha gerçekçi sonuçlar almasını sağlamıştır. Elektrikli aracın ilk çalıştırmada batarya soğuk olduğu için batarya optimum sıcaklığa gelene kadar daha çok akım çekecek ve elektrik tüketimine etki etmektedir.

NEDC sürüş döngüsü iki fazdan oluşmaktadır. Avrupa Ekonomik Komisyonu (ECE) çevrimi Paris veya Roma gibi araç kullanım ve trafik yoğunluğu fazla olan Avrupa'nın önemli şehirlerini temsil etmek için oluşturulmuştur. Dur-kalk'ların fazla olduğu düşük hızlar için kullanılan şehir içi sürüş çevrimidir. Şehir Dışı Sürüş Çevrimi (EUDC) otoyol sürüş çevrimini temsil etmekte olup daha agresif ve yüksek hızlara ulaşılabilen çıkılabilen bir şehir dışı sürüş çevrimidir (Uzun, 2010). Yani NEDC aracın otoban ve şehir içi karma kullanımı, ECE-15 aracın şehir içi kullanımını ve EUDC ise aracın otoyolda yüksek hızlarda kullanımını ifade etmektedir (Kocakulak ve Solmaz, 2019). İlk olarak ECE-15 çevrimi 0-780 saniyeye kadar 4 kez tekrarlanır. Sonrasında EUDC çevrimi 780-1180 saniye aralığında devreye girer ve çevrim tamamlanmış olur. Toplam mesafe 11007 m, süre 1180 saniye ve ortalama hız 33,35 km/h olarak belirlenmiştir.

**Tablo 4.1** NEDC özellikleri

Etkin çevrim süresi	Şehir içi döngü	Şehir dışı döngü	Karma döngü
Mesafe (km)	780	400	1180
Maksimum Hız (km/h)	4052	6,955	11,007
Ortalama Hız (km/h)	19	62,6	33,35

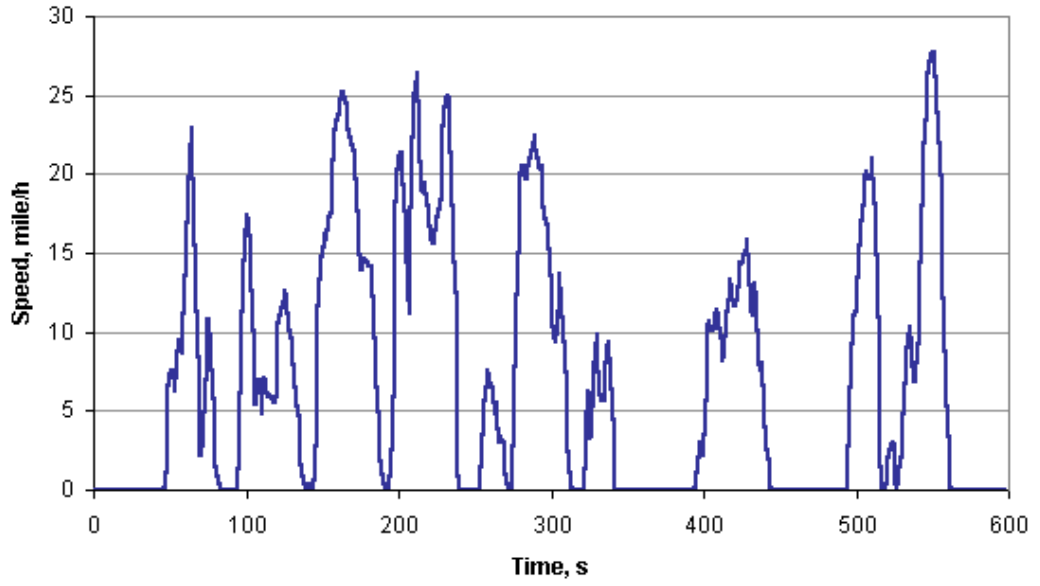


Şekil 4.2 NEDC şehir içi ve şehir dışı hız-zaman grafiği

### 4.3. New York Şehir Çevrimi

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma ajansı (US EPA) New York Şehir Çevrimi (NYCC) testi şasi dinamometre testi ile hafif taşıtlar için oluşturulmuştur, emisyon çevrimleri için NYCC (Emission Test Cycles: NYCC) şehir trafiği açısından en iyi sonuç alınan çevrimdir, ayrıca 60 km/h hızlara çıkılmaktadır. Benzer değerler İstanbul'da köprü trafiği esnasında da gözlemlenmektedir (Gökçe vd., 2010). Elektrikli araçlarda enerji geri kazanımı otoyol gibi trafiğin az olduğu ve frenlemenin nadir olarak kullanıldığı yerlerde yok denecek kadar azdır. NYCC döngüsü trafiğin yoğun olduğu dur-kalk hareketinin sürekli tekrarlandığı bir sürüş çevrimidir. Bu nedenle araç üreticileri tarafından sıklıkla araçların deneyleri ve testleri NYCC döngüsü ile gerçekleştirilmektedir.

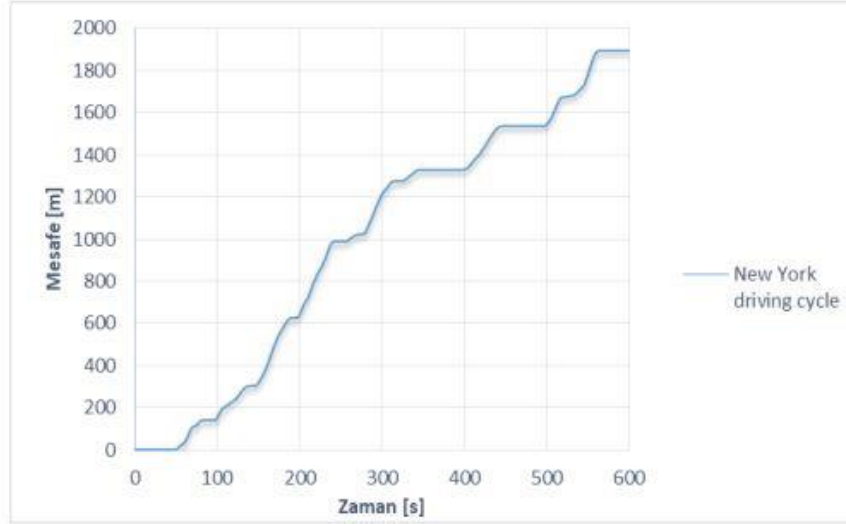




Şekil 4.3 NYCC döngüsü grafiği (Emission Test Cycles: NYCC)

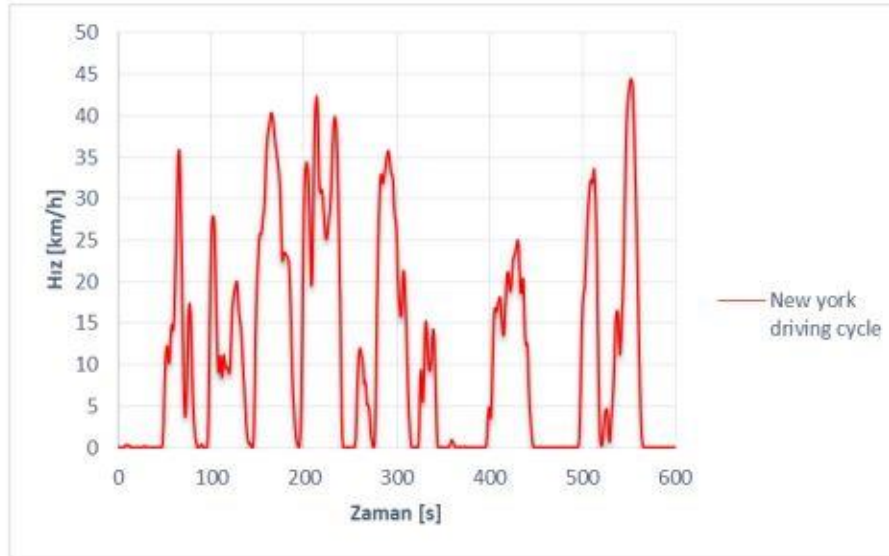
Tablo 4.2 NYCC verileri

Veriler	Değerler	Birim
Süre	598	S
Mesafe	1,9	km
Maksimum hız	44,58	km/h
Ortalama hız	11,41	km/h
Ortalama ivme	2,68	m/s <sup>2</sup>
Maksimum yavaşlama ivmesi	-2,64	m/s <sup>2</sup>
Rölanti süresi	210	s
Duraklama süresi	18	



Şekil 4.4 NYCC zaman-mesafe grafiği

Şekil 4.4’de NYCC sürüş çevriminin zaman-mesafe grafiği verilmiştir. Duraklamaların ne kadar fazla olduğu grafikte açıkça görülmektedir. Toplam duraklama sayısı 18 adet olmakla birlikte rejeneratif frenleme açısından oldukça önemlidir. Rölanti süresi 210 saniyedir. Toplam şehir çevrimi 598 saniyeden oluşmaktadır. Çevrimin uzunluğu ise 1,9 km dir.



Şekil 4.5 NYCC hız-zaman grafiği

Şekil 4.5’de zaman bağlı taşıt hızı değişimi gösterilmiştir. NYCC şehir içi trafiğin yoğun olduğu dur-kalkların fazla olduğu bir çevrimdir. Buna bağlı olarak hızlanma ivmesi  $2,68 \text{ m/s}^2$ , yavaşlama ivmesi ise  $-2,64 \text{ m/s}^2$  olarak gerçekleşmiştir. Çevrim esnasında maksimum hız  $44,58 \text{ km/h}$  ve ortalama hızı  $11,41 \text{ km/h}$ ’dir.

## 5. MATERYAL VE METOT

Dünya genelinde hızla yaygınlaşan, oyun, eğlence kullanımlarının yanı sıra ulaşım aracı olarak sektörde kendisine önemli bir alan açılan EKS'ye ilgi her geçen gün artmaktadır. Özellikle metropol şehirlerde kısa mesafelerde ve toplu ulaşım araçlarının istasyonları arasında etkin olarak kullanılmakta, bireysel kullanımın yanı sıra bir arayüz dahilinde, çoklu kişiler tarafından kullanılan scooterlerin, geliştirilmeye muhtaç problemlerinden birisi bataryadaki enerji ile alınacak mesafedir. Bu problemin çözüme kavuşturulması ve mevcut sistemlerin geliştirilmesine yönelik literatürde ve sektörde pek çok çalışmaya rastlanmaktadır. Bu doğrultuda önerilen tez kapsamında bahsedilen mevcut problemlerin çözülmesine ve geliştirilmesine yönelik olarak elektrikli scooter da çok hücreli akü sisteminden ayarlanabilir güç direnci kullanarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemi uygulanarak rejeneratif frenleme uygulaması gerçekleştirilecektir. Şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemi uygulanarak, standart akımlarda motor beslenirken daha yüksek akımlarda batarya beslenecektir. Ayarlanabilir güç direnci kullanarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemiyle birlikte rejeneratif frenleme, lityum iyon bataryalar ve kurşun asit batarya türlerinin verimlerinin karşılaştırılarak scooter'ın menzilin artırılması amaçlanmıştır.

Scoterlar'ın kullanım alanlarının genel olarak şehir içi trafikte olduğu düşünüldüğünde enerji verimliliği ve menzil araştırmalarında şehir içi sürüş çevrimlerinin ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu sebeple Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüsünde gerçek sürüş çevrimi gerçekleştirilmiştir. Teorik olarak ise MATLAB programında EKS'nin test analizleri yapılacaktır. Ayrıca tez kapsamında lityum iyon bataryalar ve kurşun asit bataryaların menzile etkisi ve batarya doluluk oranları araştırıldı.

### 5.1. EKS Seçimi

Deneyde kullanılacak olan EKS piyasada kolaylıkla bulunabilen bir araçtır. EKS'nin hafif olması, uzun ömürlü lityum iyon batarya'ya sahip olması, şasi ve motorunun 100-150 kg ağırlıklara kadar taşıma kapasitesi olması gibi birçok parametreler dahilinde seçilmiştir. Aşağıda deneylerde kullanılan şekil 5.1'de EKS resmi ve tablo 5.1'de EKS özellikleri tablosu gösterilmektedir.

**Tablo 5.1** EKS özellikleri

EKS Özellikleri	Türü
Frenleme	E-ABS ve Disk freni
Eğim Açısı	%20
Eni	1080 mm
Boyu	1140 mm
Ağırlık	14,2
Katlanabilme	Var
Kullanıcı kütlesi	80 kg
Ön yüzey alan	0,8 m <sup>2</sup>
Tekerlekler	8,5 inç ön ve arka pnömotik tekerlekler



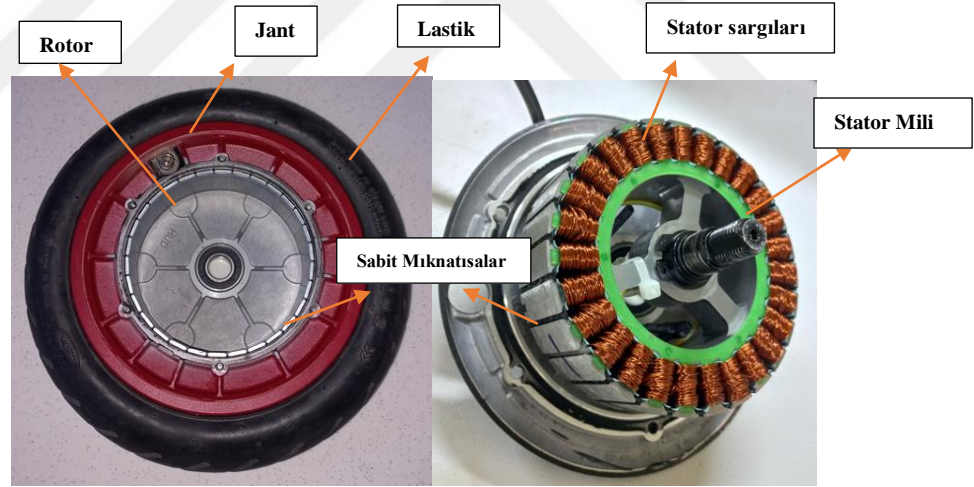
Şekil 5.1 EKS (Günümüz Scooter)

## 5.2. EKS Şasi

EKS seçimi yapılırken en önemli unsurlardan birisi de şasisinde kullanılan malzeme türüdür. EKS şasisinin üzerinde elektrik motoru, batarya ve sürücü gibi ağır yüklere dayanıklı olmak zorundadır. Bu yükleri değişen yol şartlarına göre taşıyabilmeli ve aynı zamanda hafif olarak kullanılacak enerji tüketimine de katkı sağlamalıdır. Bu parametreler ışığında EKS şasisi havacılık sektöründe de sıklıkla kullanılan alüminyum alaşımlı malzeme kullanılmıştır. Böylelikle scooter'ın iskelet yapısında hafif, güçlü ve şık görünüş elde edilmiştir.

### 5.3. EKS’de Kullanılan Elektrik Motoru

Elektrik motoru elektrikli kick scooterlarda iki şekilde konumlandırılmaktadır. İlki tekerleklere gücü dişli zincir sistemi tarafından iletilir, diğeri ise direkt tekerlek göbeğine yerleştirilmiş Hub motorlardır. Dişli zincir mekanizmasında, bataryadan alınan güç zincir ve dişli sistemleri ile tekerleklere aktarılır. Bu sistemde tekerlek ve batarya arasında farklı bileşenler olduğu için güç kaybı meydana gelmektedir. Elektrikli kick scooterda zincir-dişli mekanizmasının dezavantajından dolayı bu sistem seçilmemiştir. Tekerlek içi motorda ise batarya ve tekerlek arasında bir mekanizma olmadığı için motorun gücü direk tekerleklere iletilmektedir. Tez çalışmasında elektrikli kick scooter için tekerlek içi motor seçilmiştir. Tekerlek içi motor ile güç direk tekerleklere aktarılacak ve yavaşlama anında ise kazanılan geri enerji direkt olarak bataryada depo edilecektir. Tez kapsamında kullanılacak olan EKS’nin elektrik motoru, sabit mıknatısı rotorda bulunan senkron bir dc motor türüdür. Şekilde EKS’in dış rotorlu Hub motor yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.2 EKS’nin dış rotorlu Hub motor yapısı

Tablo 5.2 EKS’de kullanılan Hub motorun özellikleri

Parametre	Değer
Maksimum güç	600 watt
Anma gücü	300 watt
Anma momenti	4,54 Nm
Giriş gerilimi	37 volt
Maksimum hız	25 km/h

#### 5.4. EKS'de Kullanılan Batarya Türleri

Gerçek sürüş çevrimlerinde EKS'de lityum iyon ve kurşun asit batarya olmak üzere 2 çeşit batarya türü kullanılacaktır. Bu tür bataryalar elektrikli taşıtlarda yaygın olarak kullanıldıkları için seçilmişlerdir. Tez kapsamında iki çeşit bataryanın rejeneratif frenleme ile kazanılan enerji miktarlarının karşılaştırılması yapılacaktır. Kurşun asit batarya olarak kuru tip jel akü kullanılmıştır. Şekil 5.3 ve 5.4'de kullanılan bataryalar gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Lityum iyon batarya



Şekil 5.4 Kurşun asit batarya

Tablo 5.3 Kurşun asit batarya özellikleri

Parametre	Değer
Pil tipi	Kuru tip jel
Nominal kapasite	60 Ah
Batarya ağırlığı	11,713 kg
Nominal gerilim	36 Volt DC
Maksimum şarj gerilimi	42 Volt DC

**Tablo 5.4** Lityum iyon batarya özellikleri

Parametre	Değer
Pil tipi	Lityum iyon
Nominal kapasite	12,4 Ah
Batarya ağırlığı	5 kg
Nominal gerilim	36 Volt DC
Maksimum şarj gerilimi	42 Volt DC

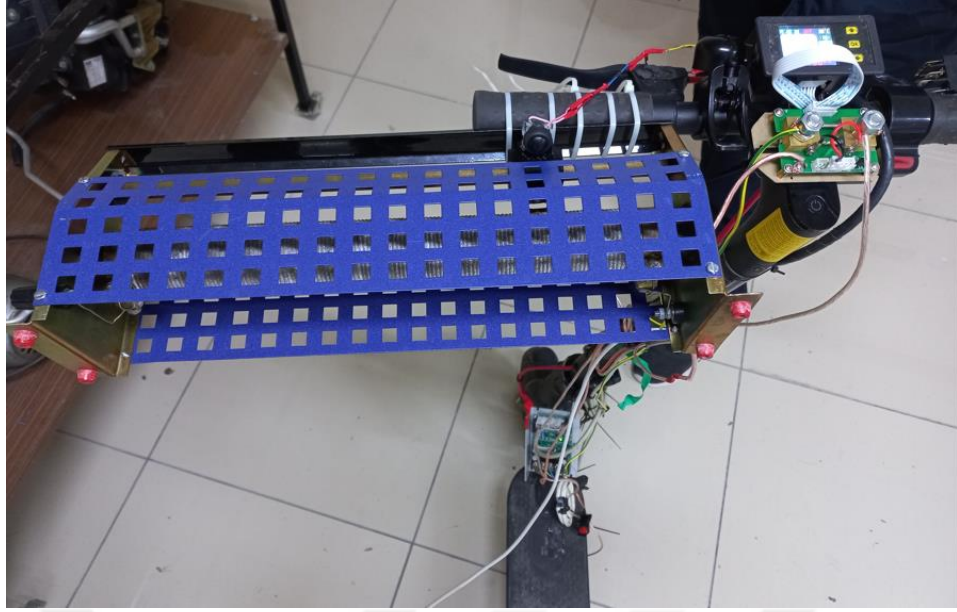
### 5.5. Ayarlı Güç Direnci

EKS’de uygulanacak olan rejeneratif frenleme tekniği için ayarlı güç direnci kullanılacaktır. Çok hücreli bir akü sisteminden ayarlı güç direnci ile ayarlanabilir direnç kullanarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemi kullanılarak rejeneratif frenleme uygulaması gerçekleştirilecektir. Şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemiyle, standart akımlarda motor beslenirken daha yüksek akımlarda batarya beslenecektir. Sürgülü bir yapısı olan ayarlı güç direncinin frenleme anında sürgüsü çekilerek bataryaya giden akımı yükselterek daha fazla enerji depo edilmesini sağlayacaktır. Bu sistem basit olmakla birlikte oldukça etkili ve ucuz bir yöntemdir.

Şekilde rejeneratif frenleme sisteminde kullanılacak olan 20  $\Omega$  20 Ah ayarlı güç direnci gösterilmektedir. Kullanılan ayarlı güç direncinin ohm değeri çok yüksek olduğu için kendi sistemimize yetecek kadar ohm değeri ayarlanmıştır. Ayarlı güç direncinin ohm değeri OHM metre ile ölçülüp belirlenmiştir. Tez kapsamında yapılacak deneylerde ayarlı güç direncinin ısınmasından kaynaklı oluşabilecek enerji kaybı ihmal edilebilir düzeyde olduğu için ihmal edilecektir.



**Şekil 5.5** Ayarlı Güç Direnci



Şekil 5.6 Ayarlı güç direncinin EKS'ye montajı

### 5.6. Güç Ölçüm Cihazı

EKS gerçek sürüş testlerinde ne kadar enerji tükettiğini ve bataryaya ne kadar enerji depoladığını belirlemek için akımı çift yönlü ölçebilen bir güç ölçüm cihazı kullanılmıştır. Güç ölçüm cihazında bataryanın voltajı, amper ve watt değerlerinin yanı sıra batarya doluluk oranlarını küçük bir ekran sayesinde okunabilmektedir.



Şekil 5.7 Güç ölçüm cihazı

### 5.7. Motor Sürücüsü

EKS'nin Hub motorunu kontrol etmek için sürüş parametreleri değiştirilebilir bir motor sürücüsü kullanılmıştır. Motor sürücüsü Hub motor için uygun torku ve hız bilgilerini ayarlayarak daha efektif kullanmamızı sağlar. Motor sürücüsü için bir arayüz kullanılarak motordan alınan bilgiler kolaylıkla okunabilmektedir. Motor sürücüsü ile besleme voltajı, motorun çektiği akım, motorun torku, sürücü sıcaklığı,



hız gibi değerler arayüz dahilinde okunabilmektedir. Ayrıca motor sürücüsü ile kurşun asit batarya ve lityum iyon bataryanın karşılaştırılmasını yapabilmek için her iki bataryanın akımını 12400 mAh ile sınırlandırılarak kıyaslaması objektif yapılmıştır. Aşağıdaki resimde EKS'ye montajı yapılan motor sürücünü gösterilmektedir.



Şekil 5.8 Motor sürücüsünün EKS montajı

## 6. SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ SÜRÜŞ ÇEVİRİMİ (SCUDC)

Gerçek sürüş testlerini gerçekleştirebilmek için Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüsünde EKS ile gerçek zamanlı hava ve çevre koşullarında sürüş döngüsü yapılmıştır. Sürüş testleri onlarca kez tekrarlanıp günün farklı saatlerinde gerçekleştirilmiştir (Wreikat vd., 2021). Motor sürücüsünden saniyede 10 kez veriler alınarak sürüş çevrimi yapılmıştır. Çevre koşulları olarak; yolda araç ve yaya sıklığı, trafik kurallarına dikkat etme, trafik ışıklarında bekleme, havanın sıcaklık değerleri, yoldaki hız azaltma tümsekleri ve yaya geçitleri gibi birçok parametreler dikkate alınmıştır. Hava şartlarında ise; sabah, öğlen ve akşam saatlerinde ve farklı günlerde sürüş çevrimleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1’de Google Earth programı ile belirlenen Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sürüş Çevrimine (SCUDC) ait rota gösterilmektedir.



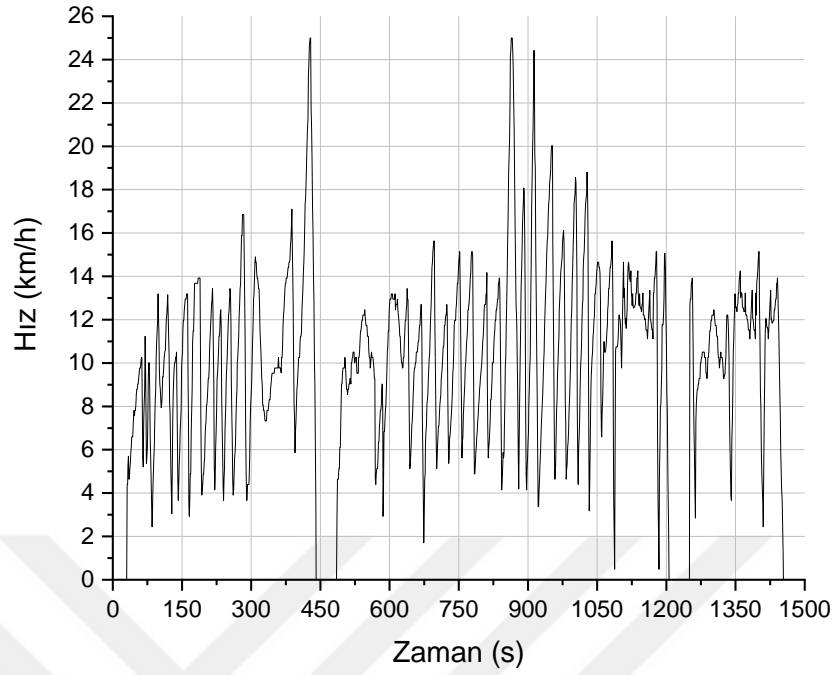
Şekil 6.1 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sürüş Çevrimi



Şekil 6.2 SCUDC’de farklı zamanlarda ve koşullarda yapılan sürüş testleri

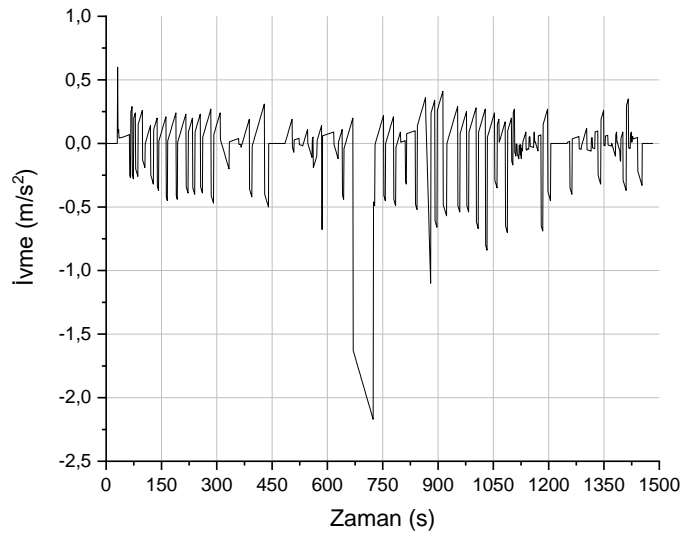
Yapılan testlerde EKS ağırlığı 15 kg, Sürücü 80 kg, veri almak için sırt kısmında bulunan laptop yaklaşık 3 kg olmak üzere toplamda 98 kg ağırlıkla sürüş testleri tamamlanmıştır.

SCUDC toplam mesafe 4,55 km olup, maksimum eğim 6,8 ve -9,1 aralığında, ortalama eğim ise 1,7 ve -1,8 aralığındadır. Toplam 1483 saniye, azami hızı yasalar gereği 25 km/h sabitlenmiştir. İlk kalkışta 30 saniye, çevrim sonunda 30 saniye ve 2 trafik ışıklarında 45’er saniye beklenerek toplam rölanti süresi 150 saniyedir. EKS rölanti zamanında enerji harcamamıştır ve doğaya herhangi bir olumsuz etkisi olmamıştır. Toplam frenleme süresi 212 saniyedir ve bu süre zarfında bataryaya elektrik enerjisi depolanmıştır. EKS’nin elektrik enerjisi harcadığı toplam süre ise 1121 saniyedir. EKS yol boyunca çok kez durma ve kalkma eylemleri gerçekleşmiştir. Bunlardan 10 tanesi hız tümseği olmak üzere toplam 38 defa durma ve kalkma eylemi göstererek rejenerasyon işlemi gerçekleştirmiştir. Şekil 6.3’de SCUDC’nin hız-zaman grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6.3 SCUDC hız-zaman grafiği

SCUDC trafiğin yoğun olduğu dur-kalkların fazla olduğu bir çevrimdir. Şekil 6.4'te EKS'nin ivme-zaman grafiğinde gösterildiği gibi EKS maksimum hızlanma ivmelenmesi  $0,6 \text{ m/s}^2$  ve maksimum yavaşlama ivmelenmesi ise  $-2,17 \text{ m/s}^2$ 'dir. Ortalama ivme ise  $-0,073 \text{ m/s}^2$  'dir. Maksimum hız  $25 \text{ km/h}$ , ortalama hız ise  $9,57 \text{ km/h}$ 'dir.

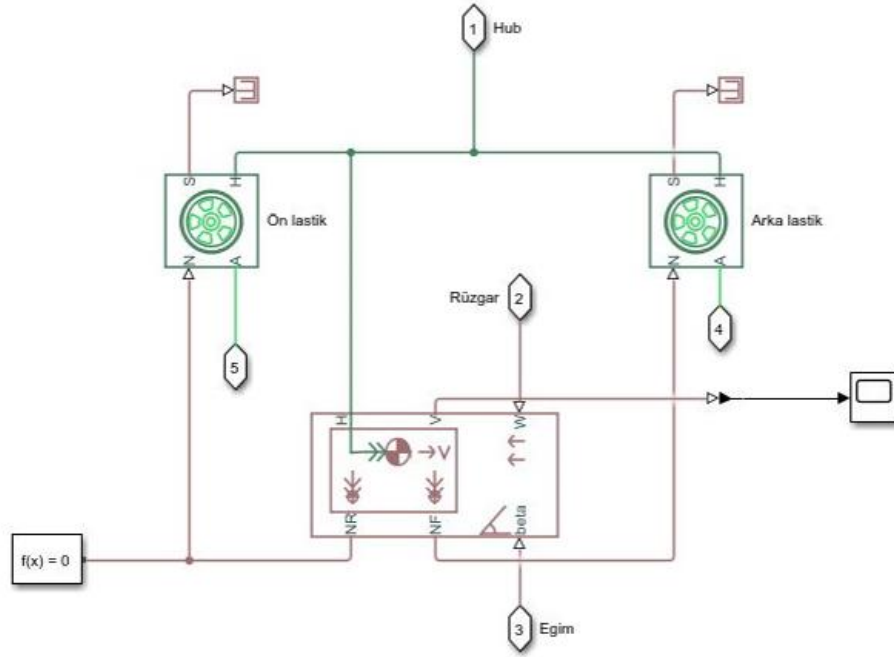


Şekil 6.4 SCUDC ivme-zaman grafiği

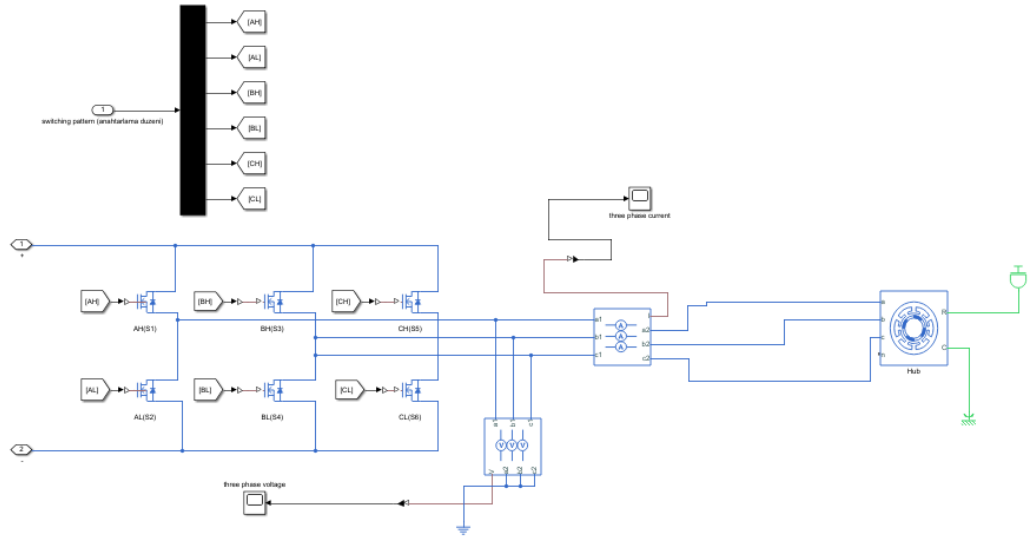
## 7. EKS 'NİN MATLAB MODELİ

Tez kapsamında EKS bileşenleri ve sürüş çevrimlerini modelleme işlemi, MATLAB/simulink tabanında tasarlanmıştır. Bu tür simülasyon yazılımları sayesinde bilim insanları ve üreticiler zamanını efektif kullanmaktadırlar. Aynı zamanda simülasyonlar sayesinde tasarlanacak olan aracın hataları önceden belirlenerek üreticileri ve bilim insanlarını büyük bir maddi masraftan da kurtarmaktadır. Benzetim çalışmaları çok önemli olmasına karşın maddi imkanlar dahilinde tasarlanan araçlar üretilip gerçek saha koşullarında tepkisi incelenmelidir. Bilgisayar ortamında Simülasyonlar eşliğinde ölçülen yakıt tüketimi, emisyon ölçümü ve araç performansı gibi değerlerin doğruluğunu teyit etmek için gerçek sürüş testleri ile kıyaslanmalıdır. Benzetim çalışmaları ile gerçek sürüş testleri birbiriyle aynı ve yakın değerlerdeyse o zaman literatüre gerçek anlamda katkı sağlanıp geleceğe yön verilebilir.

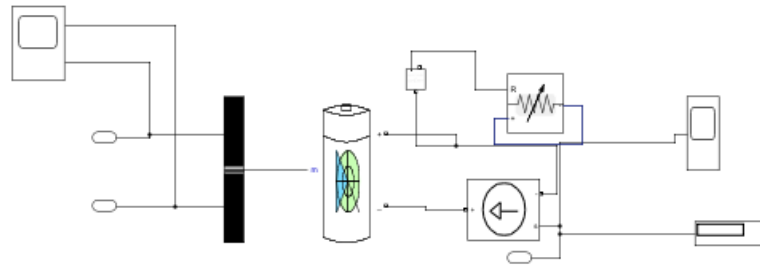
Matlab programında tasarlanan EKS'nin blok diyagramları aşağıdaki resimlerde gösterilmektedir.



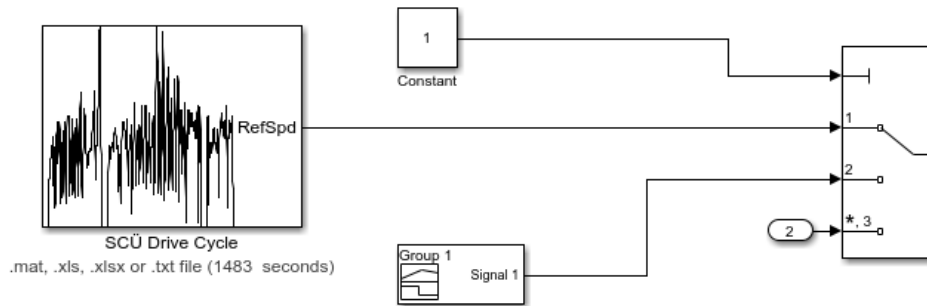
Şekil 7.1 EKS'nin dinamik modeli



Şekil 7.2 EKS'nin motor sürücüsü ve hub motor bloğu



Şekil 7.3 EKS'nin batarya modeli

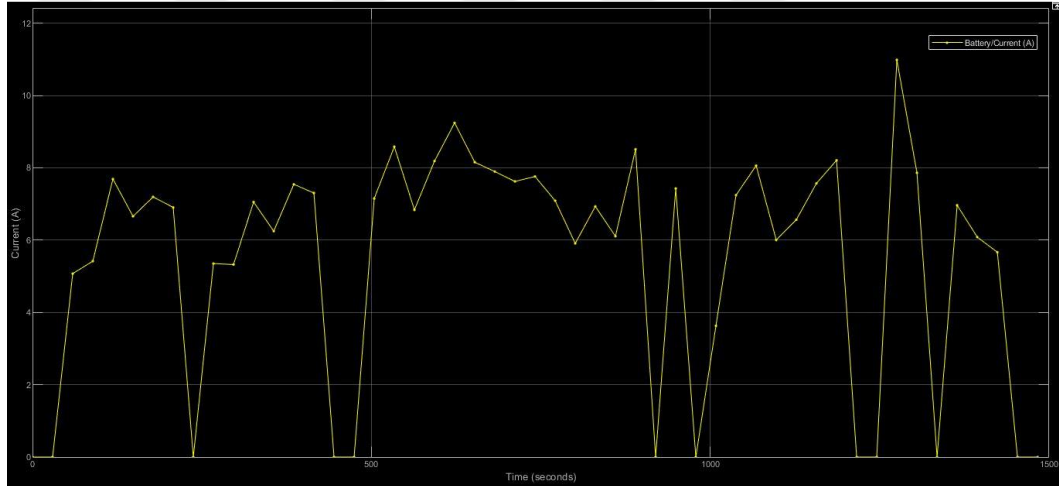


Şekil 7.4 SCU DC MATLAB/simulink blok diyagramı

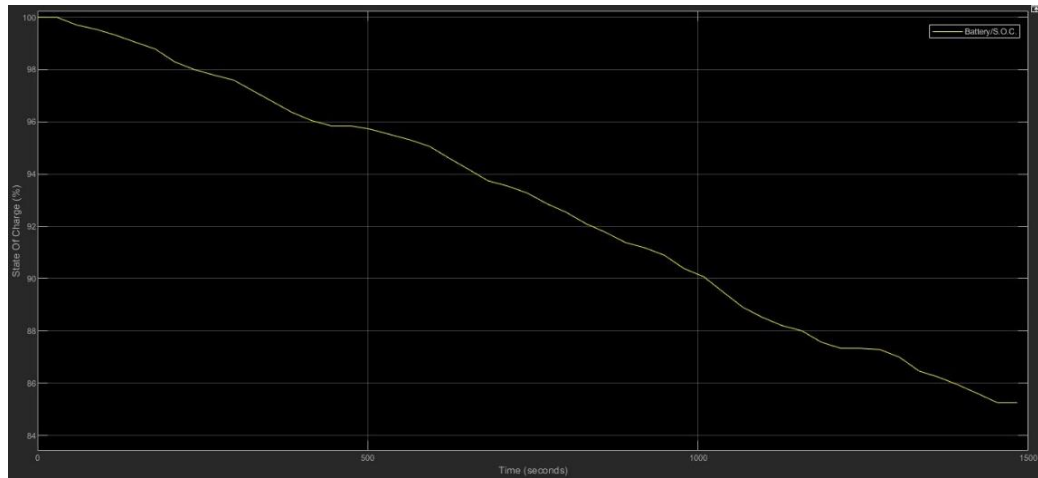
MATLAB/simulink programında teorik olarak gerçekleştirilen deneylerde kurşun asit batarya ve lityum iyon batarya grubu kullanılmıştır. Lityum iyon batarya maksimum 12400 mAh akım çekebilmektedir. Bu nedenle objektif bir kıyaslama yapabilmek için

kurşun asit bataryada maksimum 12400 mAh motor sürücüsü yardımı ile ayarlanmıştır. EKS'nin toplam ağırlığı ortalama 100 kg olarak tespit edilmiştir ve her iki batarya tipi için eşitlenmiştir. Bu iki batarya türünün de ayarlı güç direnci ile rejeneratif frenleme yaparak kazandığı enerji miktarı ve batarya doluluk oranları (B.D.O.) kıyaslanmıştır. Aynı zamanda rejeneratif frenleme olmadan ne kadar enerji kaybedildiği de incelenmiştir.

Aşağıdaki şekillerde lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme yapılmadan oluşan değerleri gösterilmektedir. Şekil 7.5'te X eksenini zaman değerini ve Y eksenini ise akım değerlerini, şekil 7.6'da X eksenini zaman değerini ve Y eksenini B.D.O göstermektedir. Yapılan simülasyonlar sonucu lityum iyon batarya ile rejeneratif frenleme kullanılmadan 8847,223 J enerji bataryadan çekilmiştir ve toplam 4,55 km yol gidilmiştir. Rejeneratif frenleme olmadan B.D.O. ise %85,25'dir.

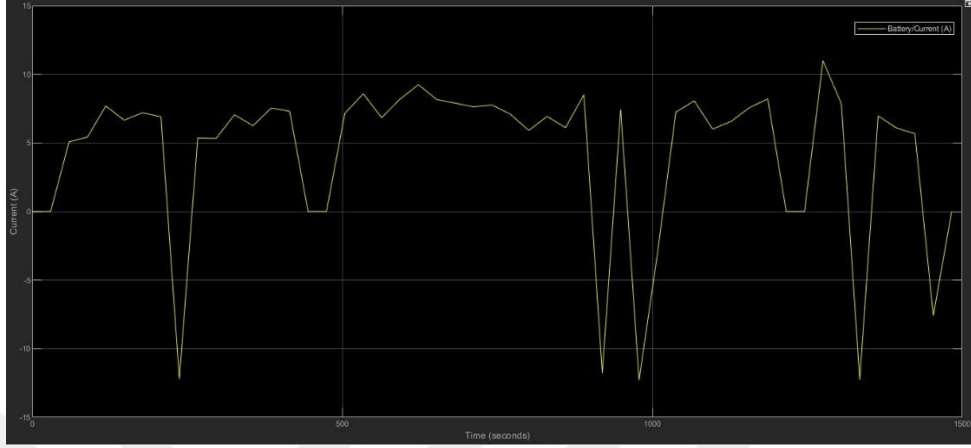


Şekil 7.5 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme olmadan akım-zaman grafiği

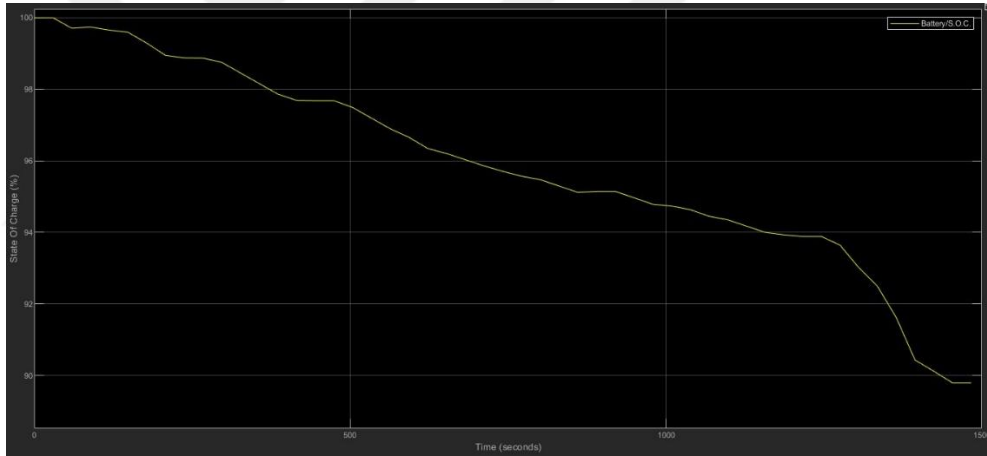


Şekil 7.6 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme olmadan B.D.O

Aşağıdaki şekillerde lityum iyon bataryanın ayarlı güç direnci ile yapılan rejeneratif frenleme değerleri gösterilmektedir Şekil 7.7’te X eksenini zaman değerini ve Y eksenini ise akım değerlerini, şekil 7.8’de X eksenini zaman değerini ve Y eksenini B.D.O göstermektedir.



Şekil 7.7 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme ile akım-zaman grafiği



Şekil 7.8 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme ile B.D.O

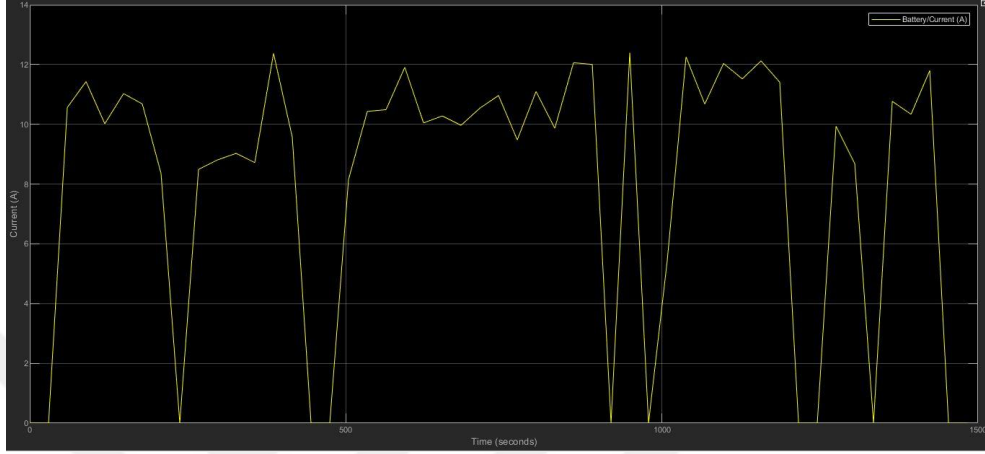
Ayarlanabilir güç direnci kullanılarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemiyle toplamda 6344,331 J enerji bataryadan çekilmiştir ve toplam 4,55 km yol alınmıştır. Buda gösteriyor ki rejeneratif frenleme ile bataryaya 2502,89 J enerji depo edilmiştir. Ayrıca B.D.O. %89,79'dur.

Ayarlanabilir güç direnci kullanılarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemi kullanılarak lityum iyon batarya ile 4,55 km'de, 1,29 km menzile etki etmektedir. Böylelikle yapılan simülasyon sonucu lityum iyon bataryanın menzile etkisi %28,35 olarak bulunmuştur.

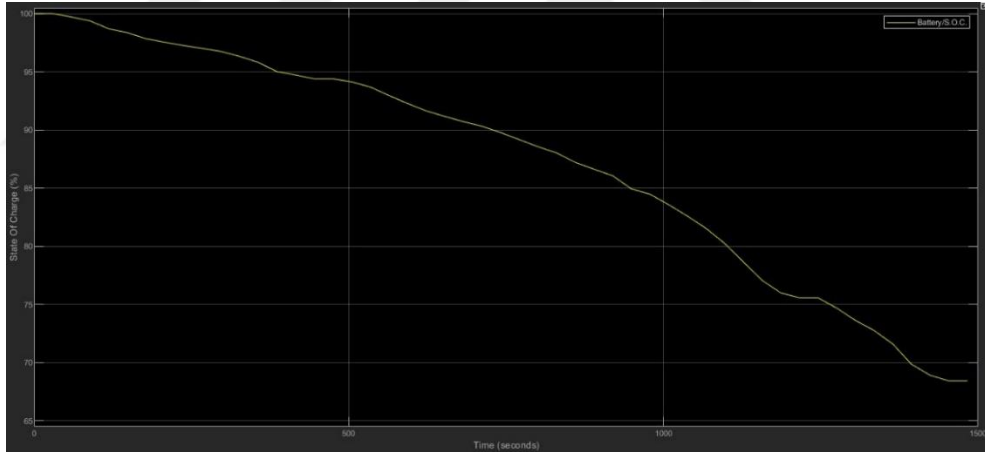
Aşağıdaki şekillerde kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme yapılmadan oluşan değerleri gösterilmektedir. Şekil 7.9'da X eksenini zaman değerini ve Y eksenini ise akım



değerlerini, şekil 7.10'da X eksenini zaman değerini ve Y eksenini B.D.O göstermektedir. Yapılan simülasyonlar sonucunda kurşun asit batarya ile rejeneratif frenleme kullanılmadan 11568,0709 J enerji bataryadan çekilmiştir ve toplam 4,55 km yol gitmiştir. Rejeneratif frenleme olmadan B.D.O. ise %68,43'tür.

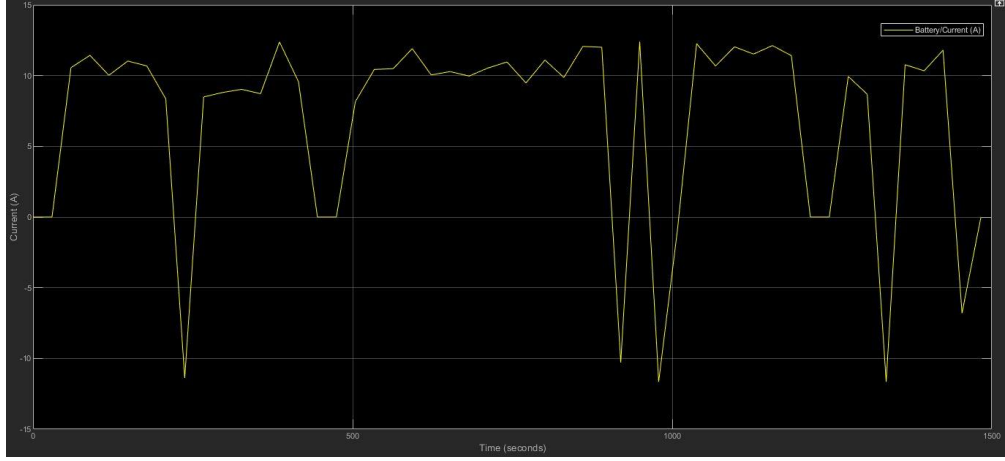


Şekil 7.9 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme olmadan akım-zaman grafiği

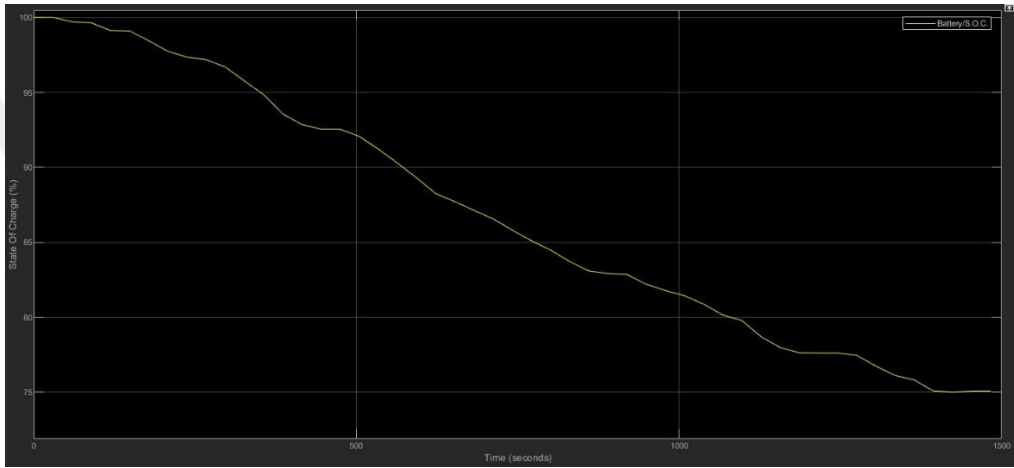


Şekil 7.10 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme olmadan B.D.O.

Şekil 7.11' de kurşun asit bataryanın ayarlanabilir güç direnci kullanılarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemiyle yapılan rejeneratif frenlemenin akım-zaman grafiğini ve şekil 7.12'de kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme ile B.D.O. gösterilmektedir. Şekil 7.11'de X eksenini zaman değerini ve Y eksenini ise akım değerlerini, şekil 7.12'de X eksenini zaman değerini ve Y eksenini B.D.O göstermektedir.



Şekil 7.11 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme ile akım-zaman grafiği



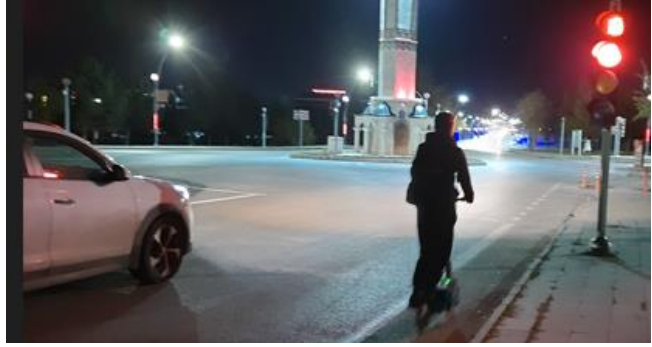
Şekil 7.12 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme ile B.D.O.

Ayarlanabilir güç direnci kullanılarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemi ile yapılan rejeneratif frenleme ile toplamda 9129,2139 J enerji bataryadan çekilmiştir ve toplam 4,55 km yol almıştır. Buda gösteriyor ki rejeneratif frenleme ile bataryaya 2438,857 J enerji depo edilmiştir. Ayrıca B.D.O. %75,07'dir.

Ayarlanabilir güç direnci kullanılarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemi ile kurşun asit batarya ile 4,55 km'de, 0,96 km menzile etki etmektedir. Böylelikle yapılan simülasyon sonucu kurşun asit bataryanın menzile etkisi %21,09 olarak bulunmuştur.

## 8. GERÇEK SÜRÜŞ ÇEVİRİMİ

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsünde gerçekleştirilen SCUDC gerçek zamanlı bir çevrimdir. Bu çevrim rejeneratif frenleme için oldukça uygulanabilir. Aşağıdaki resimlerde EKS'in sürücü ile trafik kurallarına uyularak gerçekleştirilen sürüş çevrimini göstermektedir.



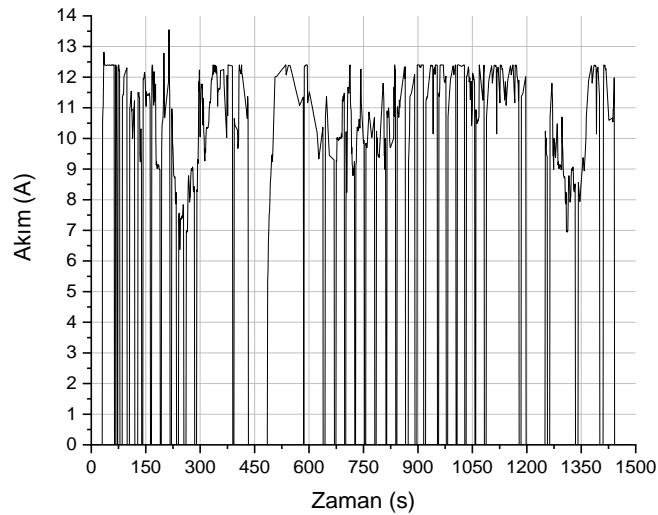
Şekil 8.1 SCÜSÇ trafik koşullarında uygulanması

Çevrim esnasında kullanılan kurşun asit batarya deney aşamasında 3 adet 12 volt / 60 AH kurşun asit batarya seri bağlanılarak kullanılmıştır. Her birinin ağırlığı 11.713 kg'dır. Çevrimde kullanılan lityum iyon batarya 36 volt / 12,4 AH ve 5 kg ağırlığa sahiptir.

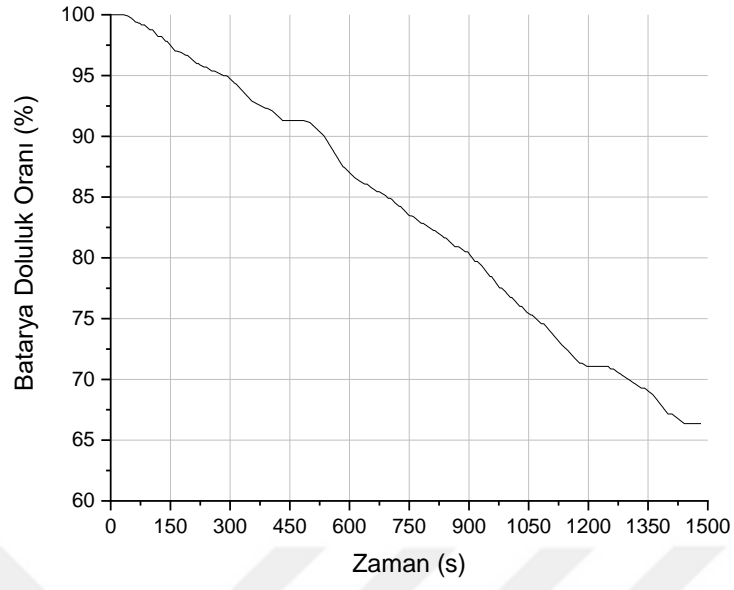


Şekil 8.2 Kurşun asit batarya ve lityum iyon batarya

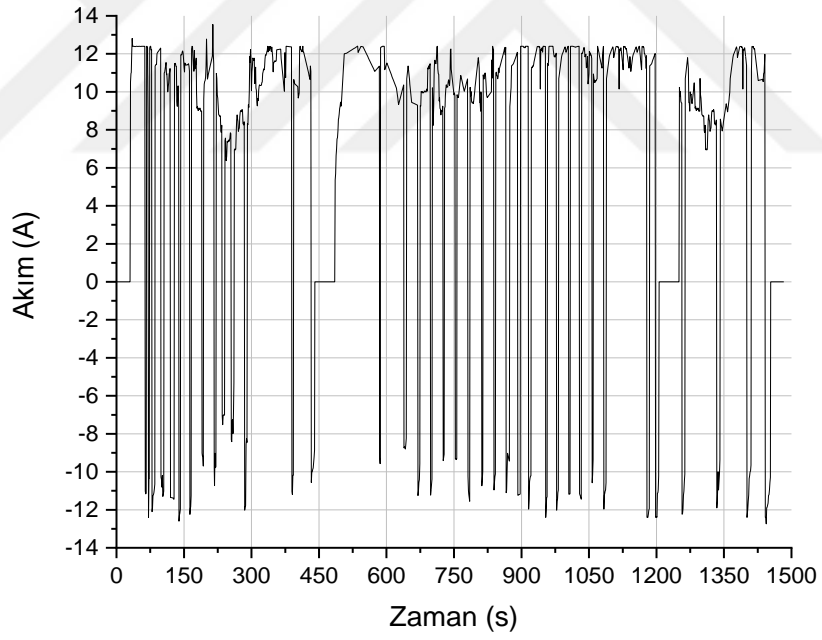
SCUDC yapılan deneylerde lityum iyon bataryaya binen yük 99,886 kg, kurşun asit bataryaya binen yük ise 130,286 kg'dır. Yapılan deneylerin verileri motor sürücünde bulunan bir arayüz sayesinde alınarak akım ve B.D.O. gibi değerlere ulaşılmaktadır. Şekil 8.3'de kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme olmadan akım-zaman grafiği gösterilmektedir. Şekil 8.4'de ise kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme olmadan B.D.O. gösterilmektedir. SCUDC yapılan deneyler sonucu kurşun asit batarya ile rejeneratif frenleme kullanılmadan 12325,1105 J enerji bataryadan çekilmiştir ve toplam 4,55 km yol gitmiştir. Rejeneratif frenleme olmadan B.D.O. ise %66,36'dır.



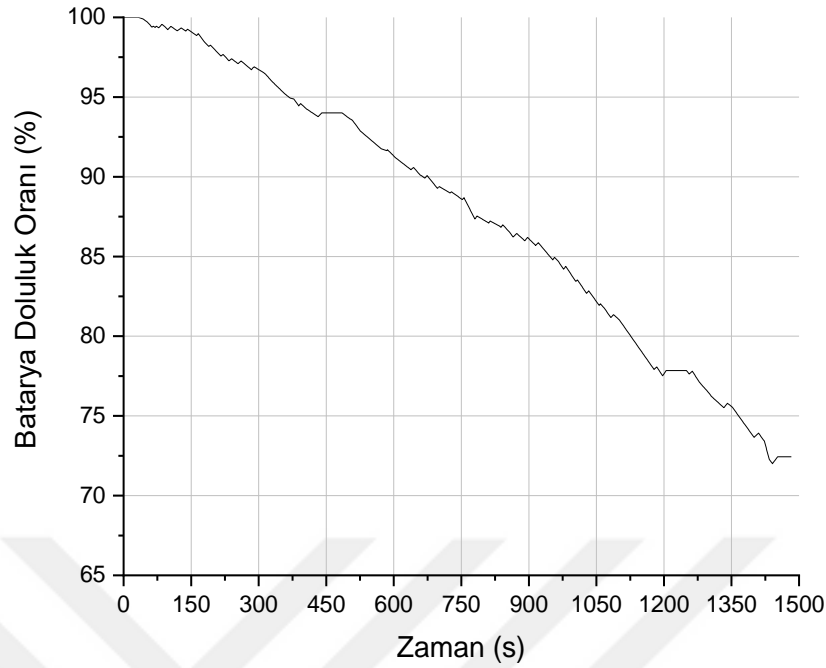
Şekil 8.3 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme olmadan akım-zaman grafiği



Şekil 8.4 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme olmadan B.D.O.



Şekil 8.5 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme aktifken akım-zaman grafiği

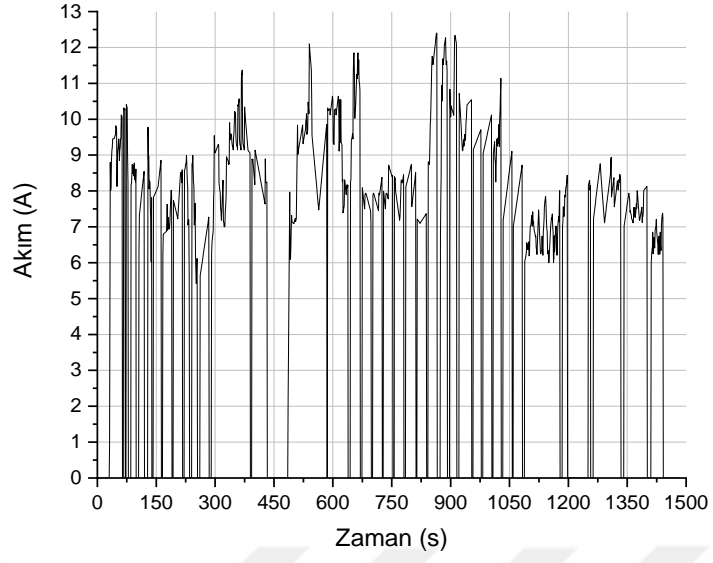


Şekil 8.6 Kurşun asit bataryanın rejeneratif frenleme aktifken B.D.O.

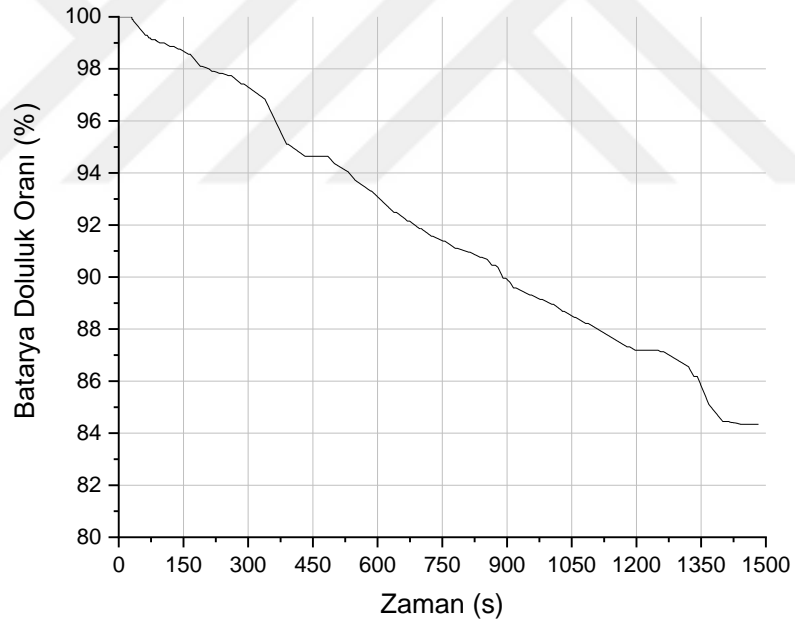
Şekil 8.5'te kurşun asit bataryanın ayarlı güç direnci aktifken akım zaman grafiği ve şekil 8.6'da kurşun asit bataryanın ayarlı güç direnci aktifken B.D.O. gösterilmektedir. Ayarlı güç direnci ile yapılan rejeneratif frenleme ile toplamda 10092,0355 J enerji bataryadan çekilmiştir ve toplam 4,55 km yol almıştır. Yapılan deneyler sonucunda rejeneratif frenleme ile bataryaya 2233,07 J enerji depo edilmiştir. Ayrıca B.D.O. %72,44'dür.

Kurşun asit batarya ile rejeneratif frenleme olmadan ve rejeneratif frenleme aktifken SCUDC gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler ışığında ayarlanabilir güç direnci kullanılarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemiyle yapılan rejeneratif frenleme ile kurşun asit batarya ile 4,55 km'de, 0,83 km menzile etki etmektedir. Böylelikle yapılan deneyler sonucunda kurşun asit bataryanın menzile etkisi %18,24 olarak bulunmuştur.

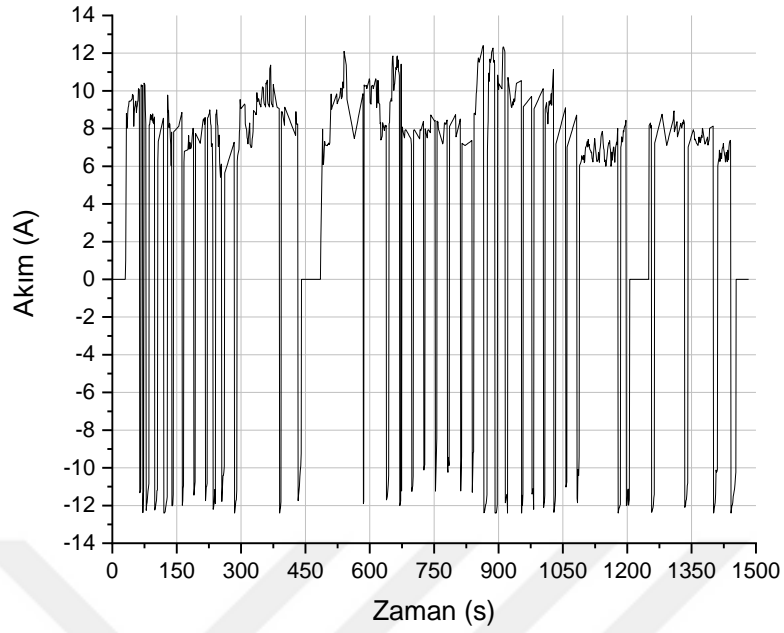
Şekil 8.7'de lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme olmadan akım-zaman grafiği ve şekil 8.8'de ise lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme olmadan B.D.O. gösterilmektedir. SCUDC yapılan deneyler sonucu lityum iyon batarya ile rejeneratif frenleme kullanılmadan 9413,3445 J enerji bataryadan çekilmiştir ve toplam 4,55 km yol gitmiştir. Rejeneratif frenleme olmadan B.D.O. ise %84,34'dür.



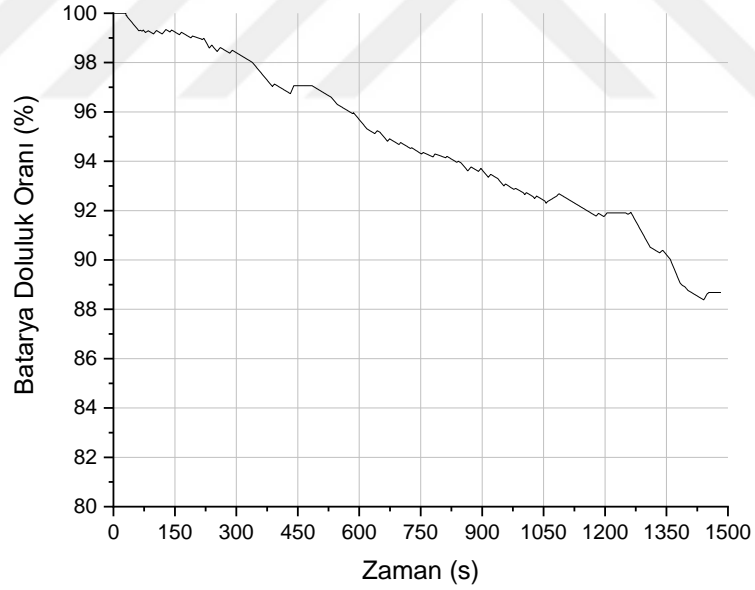
Şekil 8.7 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme olmadan akım-zaman grafiği



Şekil 8.8 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme olmadan B.D.O.



Şekil 8.9 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme aktifken akım-zaman grafiği



Şekil 8.10 Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme aktifken B.D.O

Şekil 8.9' da lityum iyon bataryanın ayarlı güç direnci kullanılarak yapılan rejeneratif frenlemenin akım-zaman grafiği ve şekil 8.10'da ise lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme aktifken B.D.O. gösterilmektedir. Ayarlanabilir güç direnci kullanılarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemiyle yapılan rejeneratif frenleme ile toplamda 7027,9305 J enerji bataryadan çekilmiştir ve toplam 4,55 km yol almıştır. Buda



gösteriyor ki rejeneratif frenleme ile bataryaya 2385,14 J enerji depo edilmiştir. Ayrıca B.D.O. %88,68'dir.

SCUDC yapılan deneyler sonucunda ayarlı güç direnci kullanılarak rejeneratif frenleme ile lityum iyon batarya 4,55 km'de, 1,154 km menzile etki etmektedir. Böylelikle yapılan deneyler sonucunda lityum iyon bataryanın menzile etkisi %25,36 olarak bulunmuştur.



## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Rejeneratif frenleme uygulamaları menzil sorunu yaşayan elektrikli araçlar için kaçınılmaz bir sondur. Günümüz teknolojisi ile geliştirilen bataryalar sınırlı bir menzil imkânı sunmaktadır. Bu nedenle menzilin artırımını sağlamak için ek sistemler kullanılmaktadır. Bunların en başında ve en popüler olan rejeneratif frenleme sistemidir. Rejeneratif frenleme sistemleri ile menzil aralığı istenilen seviyelere gelebilmektedir. Literatür taramalarında birçok rejeneratif frenleme yöntemi kullanılarak farklı sonuçlar elde edilmiştir. Üyelik fonksiyonları ekleme, P-kanallı MOSFET tasarımını sisteme ekleme, H Köprü İnverter Devresi tasarımı, çok katmanlı yükseltici dönüştürücü stratejisi, stator voltajını değiştirme, bulanık mantık yöntemi, buck-boost dönüştürücü sistemi, taşınabilir bileşik pil yönetim sistemi, düşük yuvarlanma direncine sahip lastikler kullanma, tek pedallı kontrol sistemi, tek kutuplu anahtarlamalı yöntemi ile iki kutuplu anahtarlamalı yöntemleri, süperkapasitör, volan, değişken anahtarlama stratejisi, hall sensöründen gelen sinyalleri değiştirme uygulaması, fren kuvveti dağıtım algoritması gibi yöntemler ile aracın menziline etki edilmeye çalışılmıştır. (Abirami vd., 2021; Baque Billah vd., 2018; Bhatt vd., 2019; Biao vd., 2021; Demirkale ve Güven, 2018; Erdem ve Taçlı, 2018; Islameka vd., 2020; Kazan, 2009; Kim vd., 2022; Kocakulak ve Solmaz, 2019; Kunt, 2020, 2022; Lv vd., 2015; Mamur ve Candan, 2020; Naseri vd., 2016; Naveed vd., 2022; Palanisamy vd., 2021; M. Yang vd., 2009; Yang vd., 2011; Yoong vd., 2010; Zhang vd., 2010). Bu sistemlerden birçoğunun kurulumunun pahalı olması ve birçoğunun ise karmaşık sistemler olması bu yöntemleri dezavantajlı kılmaktadır. Ancak tez kapsamında sunulan ayarlanabilir güç direnci kullanılarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemi sistemi çok basit ve araç menziline etkisi oldukça yüksektir.

Tez kapsamında EKS için rejeneratif frenleme deneyleri hem teorik hem gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. EKS için 2 farklı batarya tipi kullanılmıştır. Bu bataryalar ile rejenerasyon anında kazanılan elektrik enerjisi irdelenmiştir. Ayrıca teze üstünlük katan ve literatür araştırmalarına göre daha yüksek verimlilik sağlayan ayarlanabilir güç direnci kullanılarak şarj ve şarj akımlarının değiştirilmesi yöntemi sistemi kullanılmıştır.

EKS ile yapılan SCUDC’de kurşun asit batarya güç direnci kullanılarak %18,24 oranında ve MATLAB programı ile de %21,09 oranında bataryaya şarj işlemi

gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda SCUDC ile lityum iyon batarya güç direnci kullanılarak %25,36 oranında ve MATLAB programı ile de %28,35 oranında bataryaya geri enerji depolanmıştır. Teorik sonuçlar gerçek sürüş testlerine göre farklı çıkmasının neden çevre ve ortam koşullarının aynı olmamasından kaynaklanmaktadır.

B.D.O. açısından bakılırsa kurşun asit bataryanın lityum iyon bataryaya göre daha fazla boşaldığı gözlemlenmiştir. Kurşun asit batarya eski bir teknoloji olup güç yoğunluğu lityum iyon bataryalara göre oldukça düşüktür. Halen elektrikli araçların bir kısmında kurşun asit bataryalar kullanılmaktadır. Ancak lityum iyon batarya ve türevlerin gelişim göstermesiyle yavaş yavaş kurşun asit bataryalardan vazgeçilecektir.

Gerçek sürüş çevrimlerinde kullanılan güç direnci yerine EKS için dizayn edilmiş kompakt ve küçük bir güç direnci kullanılarak daha verimli sonuçlar elde edileceği kaçınılmazdır. Kullanılan kurşun asit bataryalar ise büyük araç tiplerin için uygundur, bu sebeple çok ağır ve büyük oldukları için verimleri lityum iyon bataryaya göre oldukça düşük çıkmıştır.

Güç direnci sistemi oldukça basit ve elektrikli araçlar için uygulanabilir bir sistemdir. Sonraki araştırmalarda daha farklı hafif elektrikli araçlarda, otomobillerde ve ağır taşıtlarda kullanılarak ayarlı güç direncinin verimliliği araştırılacaktır.

## KAYNAKÇA

**Elektrikli Scooter yönetmeliği.** alındığı tarih: 28.12.2022 *14 Nisan 2021*

ÇARŞAMBA. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/04/20210414-3.htm>

**A Brief History of Electric Kick Scooters.** alındığı tarih: 20.10.2022

<https://nobleurban.com/history-of-electric-kick-scooters/>

**Abirami, S., Devi, M. A., Geerthana, N., Harini, M., ve Jithisha, K. V.** (2021).

Enhancing the Efficiency of Regenerative Braking by Using Multi-Level Boost Converter. *2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, 1233–1237.

<https://doi.org/10.1109/ICACCS51430.2021.9441838>

**Aksöz, A.** (2018). Vuruntu torku azaltılmış şebeke bağlantılı üç faz sabit mıknatıslı senkron motor sürücüsü tasarımı ve denetimi [Gazi üniversitesi].

<https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>

**Al-Wreikat, Y., Serrano, C., ve Sodré, J. R.** (2021). Driving behaviour and trip condition effects on the energy consumption of an electric vehicle under real-world driving. *Applied Energy*, 297, 8.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117096>

**Ayarlı güç direnci.** alındığı tarih: 20.09.2022

<https://elektrikinfo.com/reosta-nasil-calisir/>

**Baque Billah, S. M., Jakaria, M., ve Nath, P.** (2018). A novel regenerative braking system of BLDC Motor for lightweight electric vehicles: An analysis of braking characteristics. *2nd International Conference on Electrical and Electronic Engineering, ICEEE 2017, December*, 1–4.

<https://doi.org/10.1109/CEEE.2017.8412907>

**Bhatt, A., Kadam, A., Mredhul, K., ve Asodariya, J.** (2019). Design and Fabrication of Regenerative Braking System. *VIVA-Tech International Journal for Research and Innovation*, 1(2), 1–6.

**Bhurse, S. S., ve Bhole, A. A.** (2018). A review of regenerative braking in electric vehicles. *7th IEEE International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication, ICCPEIC 2018*, 363–367.

<https://doi.org/10.1109/ICCPEIC.2018.8525157>

**Biao, J., Xiangwen, Z., Yangxiong, W., ve Wenchao, H.** (2021). Regenerative braking control strategy of electric vehicles based on braking stability requirements. *International Journal of ...*, 22(2), 465–473.

<https://doi.org/10.1007/s12239>

**Bruce, P. G., Scrosati, B., ve Tarascon, J.-M.** (2008). Nanomaterials for Rechargeable Lithium Batteries. *Angewandte Chemie International Edition*, 47(16), 2930–2946. <https://doi.org/10.1002/anie.200702505>

**Büyük buhran.** alındığı tarih: 01.10.2022

[https://tr.wikipedia.org/wiki/Büyük\\_Buhran](https://tr.wikipedia.org/wiki/Büyük_Buhran)

**Can, I.** (2012). Experimental investigation effects of blend hazelnut oil on compression ignition engine performance characteristics and emission. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 4(4), 1–9.

<https://doi.org/10.1063/1.4737921>

**Can, I.** (2009). LPG ile çalışan benzinli bir motora kademeli dolgu yapılmasının performans üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Fırat üniversitesi.

**Chemali, E., Preindl, M., Malysz, P., ve Emadi, A.** (2016). Electrochemical and electrostatic energy storage and management systems for electric drive vehicles: State-of-the-Art review and future trends. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 4(3), 1–18.

<https://doi.org/10.1109/JESTPE.2016.2566583>

**Chen, Y., Zhou, L., Ning, X., ve Zhao, C.** (2013). Design of hybrid electric bus on regenerative braking system. *Applied Mechanics and Materials*, 300–301, 333–337. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.300-301.333>

**Chung, S.-U., Moon, S.-H., Kim, D.-J., ve Kim, J.-M.** (2016). Development of a 20-Pole–24-Slot SPMSM with consequent pole rotor for In-Wheel direct drive. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(1), 302–309.

<https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2472375>

**Demirkale, B., ve Güven, F.** (2018). Kinetik enerji geri kazanım sistemlerinin elektrikli araçlarda kullanımının incelenmesi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(6), 1550–1557. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.336863>

**Di Fonso, R., ve Cecati, C.** (2020). Test cycle simulation of an electric car with regenerative braking. *2020 AEIT International Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive, AEIT AUTOMOTIVE 2020*, 15–19. <https://doi.org/10.23919/aitautomotive50086.2020.9307414>

**Efe, Ş., & Güngör, Z. A.** (2021). Geçmişten günümüze batarya teknolojisi. *European Journal of Science and Technology*, 32, 947–955. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1048673>

### **Electric Scooter History - Complete Timeline of the Revolution -**

**EScooterNerds.** alındığı tarih: 14.10.2022 <https://escooternerds.com/electric-scooter-history/>

**Emission Test Cycles: NYCC.** alındığı tarih: 25.04.2022 <https://dieselnet.com/standards/cycles/nycc.php>

**Erdem, Y.** (2019). Rejeneratif frenlemenin elektrikli araçlarda etkileri ve güç analizi. Yıldız teknik üniversitesi.

**Erdem, Y., ve Taçlı, M. S.** (2018). Effect of regenerative braking and power analysis in electric vehicles. *Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology*, 4(2), 75–88. <https://doi.org/10.26579/jocrest-4.2.6>

**Ertuğrul YEŞİLBAĞ.** (2015). Eksenel akıllı fırçasız doğru akım motoru tasarımı ve radyal akıllı fırçasız doğru akım motoruyla karşılaştırılması. İstanbul teknik üniversitesi.

**Fergus, J. W.** (2010). Recent developments in cathode materials for lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*, 195(4), 939–954. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.08.089>

**Gao, Q., Lv, C., Zhao, N., Zang, H., Jiang, H., Zhang, Z., ve Zhang, F.** (2018). Regenerative braking system of PM synchronous motor. *AIP Conference Proceedings*, 1955(1). <https://doi.org/10.1063/1.5033775>

**Garche, J., ve Moseley, P. T.** (2017). Lead-acid batteries for E-bicycles and E-scooters. In *Lead-Acid Batteries for Future Automobiles*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63700-0.00018-0>

**Göğebakan, E.** (2019). Bir dizel motorun nedc ve wltc yöntemlerine göre emisyon değerlerinin karşılaştırılarak incelenmesi. Sakarya üniversitesi.

**Gökçe, C., Karakaya, U., Yılmaz, M., Şengür, A., ve Çiftçioğlu, M.** (2010). Ağır şehir içi trafik koşulları için motor miline entegre dur&çalıştır özellikli hafif hibrit elektrikli aracın elektrikli güç aktarma sisteminin geliştirilmesi. *OTEKON'16*, 1–7.

**Günümüz scooter.** alındığı tarih: 22.12.2022 <https://listelist.com/en-iyi-elektrikli-scooter/>

**Hanifah, R. A., Toha, S. F., ve Ahmad, S.** (2015). Electric Vehicle Battery Modelling and Performance Comparison in Relation to Range Anxiety. *IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS, 76(Iris)*, 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.350>

**He, G., Ji, X., ve Nazar, L.** (2011). High “c” rate Li-S cathodes: Sulfur imbided bimodal porous carbons. *Energy and Environmental Science*, 4(8), 2878–2883. <https://doi.org/10.1039/c1ee01219c>

**History of electric scooter.** alındığı tarih: 20.11.2022 <https://walksmart.com.au/blog/History-Of-Electric-Scooter.php>

**Honda Did The Whole Bird Scooter Thing in the '70s With the Kick 'N Go.** alındığı tarih: 20.10.2022 <https://www.motortrend.com/news/honda-kick-n-go-scooter-1970s-history-photos/>

**Hüner, E., Ekren, N., ve Akıncı, tahir çetin.** (2008). Teker motorlar ve teker motorların elektrikli araçlarda kullanımına ilişkin bir inceleme. *Natural and Applied Sciences*, 3(2), 296–309. <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf%0Ahttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Six+easy+pieces:+essentials+of+physics,+explained+by+its+most+brilliant+teacher#0%0Ahttp://arxiv.org/abs/1604.07450%0Ahttp://www.theory>

**Ifedi, C. J., Mecrow, B. C., Brockway, S. T. M., Boast, G. S., Atkinson, G. J., ve Kostic-Perovic, D.** (2013). Fault-tolerant in-wheel motor topologies for high-performance electric vehicles. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 49(3), 1249–1257. <https://doi.org/10.1109/TIA.2013.2252131>

**Islameka, M., Kusuma, C., ve Budiman, B.** (2020). Influence of braking strategies for electric trike energy consumption. *International Journal of Sustainable*

*Transportation Technology*, 3(1), 20–25.

<https://doi.org/10.31427/ijstt.2020.3.1.4>

**Kazan, F. Alpaslan.** (2009). Kalıcı mıknatıslı senkron motorun kontrolü [Selçuk üniversitesi]. [http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/development/the-world-economy\\_9789264022621-en#.WQjA\\_1Xyu70%23page3%0Ahttp://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1191273%0Ahttps://greatergood.berkeley.edu/images/application\\_uploads/Diener-Subje](http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/development/the-world-economy_9789264022621-en#.WQjA_1Xyu70%23page3%0Ahttp://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1191273%0Ahttps://greatergood.berkeley.edu/images/application_uploads/Diener-Subje)

**kick scooter yarışları.** alındığı tarih: 15.12.2022 <https://www.markut.net/sayi-14/scooter-tasarim-tarihi/>

**Kim, J., Park, S. H., ve Kim, I. D.** (2022). A study on the regenerative braking of electric scooter using BLDCM. *SCEMS 2022 - 2022 IEEE 5th Student Conference on Electric Machines and Systems*. <https://doi.org/10.1109/SCEMS56272.2022.9990615>

**Kivanc, O. C., ve Ustun, O.** (2021). Investigation of regenerative braking performance of brushless direct current machine drive system. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/app11031029>

**Kılıç, R., ve Aslan, V.** (2016). Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerjinin iktisadi büyüme üzerindeki etkisi: 28 OECD ülkesi üzerine ampirik bir çalışma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 12(1), 1–12.

**Kıyaklı, A. O., ve Solmaz, H.** (2018). Modeling of an electric vehicle with MATLAB/Simulink. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 2(4), 9–15. <https://doi.org/10.30939/ijastech..475477>

**Kocakulak, T., ve Solmaz, H.** (2019). Elektrikli bir aracın modellenmesi ve rejeneratif fren sisteminin bulanık mantık yöntemi ile kontrol edilmesi. *The 1st International Symposium On Automotive Science And Technology*, September 5-6.

**Kunt, M. A.** (2019). Advisor Based Modeling of the Effect of Rolling Resistance on Regenerative Braking in All-Electric Passenger Cars. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2019(3), 847–855. <https://doi.org/10.31202/ecjse.603421>

**Kunt, M. A.** (2020). Advisor Based Modelling of Regenerative Braking



Performance of Electric Vehicles at Different Road Slopes. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 4(2), 98–104.  
<https://doi.org/10.30939/ijastech..717097>

**Kunt, M. A.** (2022). Investigation of the Effect of Movement Resistances on Battery Performance of a Passenger-Type Fuel Cell Vehicle Using Advisor Software. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 9(1), 189–202.  
<https://doi.org/10.31202/ecjse.956474>

**Lee, J. Y., Woo, B. C., Kim, J. M., ve Oh, H. S.** (2017). In-wheel motor design for an electric scooter. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 12(6), 2307–2316. <https://doi.org/10.5370/JEET.2017.12.6.2307>

**Liu, W., Qi, H., Liu, X., ve Wang, Y.** (2020). Evaluation of regenerative braking based on single-pedal control for electric vehicles. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 15(1), 166–179. <https://doi.org/10.1007/s11465-019-0546-x>

**Liu, Y., ve Cui, Y.** (2017). Lithium Metal Anodes: A Recipe for Protection. *Joule*, 1(4), 649–650. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.12.001>

**Lv, C., Zhang, J., Li, Y., ve Yuan, Y.** (2015). Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electrified vehicles. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 92, 469–482. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.092>

**Lyu, Y., Wu, X., Wang, K., Feng, Z., Cheng, T., Liu, Y., Wang, M., Chen, R., Xu, L., Zhou, J., Lu, Y., ve Guo, B.** (2020). An overview on the advances of LiCoO<sub>2</sub> Cathodes for lithium-ion batteries. *Advanced Energy Materials*, 11(2), 1–29. <https://doi.org/10.1002/aenm.202000982>

**Ma, K., Chu, L., Yao, L., ve Wang, Y.** (2012). Study on Control Strategy for Regenerative Braking in a Pure Electric Vehicle. *Proceedings of the 2nd International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (2012)*, 1875–1878.  
<https://doi.org/10.2991/emeit.2012.415>

**Ma, Z., Huang, X., Jiang, Q., Huo, J., ve Wang, S.** (2015). Enhanced Cycling Stability of Lithium-Sulfur batteries by Electrostatic-Interaction. *Electrochimica Acta*, 182, 884–890. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.10.009>

- Mamur, H., & Candan, A. K.** (2020). Detailed simulation of regenerative braking of BLDC motor for electric vehicles. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 63–72. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.646901>
- Manjare, A. A., Patil, V. M., Bhalekar, M. M., ve Ubare, P. R.** (2019). Regenerative model for electric vehicle application. *2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 1936–1939. <https://doi.org/10.1109/ICCES45898.2019.9002103>
- Micro Mobility Systems - Vikipedi.** alındığı tarih: 15.04.2022  
[https://tr.wikipedia.org/wiki/Micro\\_Mobility\\_Systems](https://tr.wikipedia.org/wiki/Micro_Mobility_Systems)
- Montesinos-Miracle, D., ve Ruiz-Bassols, T.** (2017). Regenerative braking in electric scooters. *2017 19th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE 2017 ECCE Europe, 2017-Janua*, 1–8. <https://doi.org/10.23919/EPE17ECCEurope.2017.8099275>
- Nagao, M., Hayashi, A., ve Tatsumisago, M.** (2011). Sulfur-carbon composite electrode for all-solid-state Li/S battery with Li<sub>2</sub>S-P<sub>2</sub>S<sub>5</sub> solid electrolyte. *Electrochimica Acta*, 56(17), 6055–6059. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.04.084>
- Naseri, F., Farjah, E., ve Ghanbari, T.** (2016). An efficient regenerative braking system based on battery/supercapacitor for electric, hybrid and plug-in hybrid electric vehicles with BLDC motor. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(5), 15. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2611655>
- Naveed, H., Nagrial, M., Hellany, A., ve Rizk, J.** (2022). Advanced regenerative braking system design and prototype for an electric bicycle. *2022 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications, ICECTA 2022*, 387–394. <https://doi.org/10.1109/ICECTA57148.2022.9990478>
- Nelson, R. F.** (2000). Power requirements for batteries in hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 91(1), 2–26. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(00\)00483-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(00)00483-3)
- Nian, X., Peng, F., ve Zhang, H.** (2014). Regenerative braking system of electric vehicle driven by brushless DC motor. *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)*, 61(10),

5798–5808. <https://doi.org/10.1109/ICPCSI.2017.8392101>

- Ocak, C.** (2013). *Elektrikli araçlar için üç kademeli yeni bir fırçasız DA motoru tasarımı, analizi ve uygulaması*. Gazi üniversitesi.
- Öner, Y., ve Öztürk, M.** (2015). Yeni tip Eksenel Akili Anahtarlama Relüktans Motor Manjeti Analizi Ve Tasarımı. *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*, 30(3), 461–474.
- Özcan, Ö. F., Karadağ, T., Altuğ, M., ve Özgüven, Ö. F.** (2021). A review study on the characteristics and advantages of battery chemicals used in electric vehicles. *Gazi University Journal of Science*, 8(2), 276–298.
- Özçira, S., Bekiroğlu, N., Şenol, İ., ve Ayçiçek, E.** (2012). Sürekli mıknatıslı senkron motorlarda doğrudan moment kontrolünün İncelenmesi ve benzetim çalışmasının gerçekleştirilmesi. *EMO Bilimsel Dergi*, 2(3), 1–6.
- Öztürk, H. Ali Taha.** (2010). İstanbul şehir çevriminin ABD ve Avrupa test çevrimleri ile emisyon faktörleri ve yakıt tüketimi açısından deneysel olarak karşılaştırılması. İstanbul teknik üniversitesi.
- Palanisamy, R., Sahasrabudde, R., Hiteshkumar, M. K., ve Puranik, J. A.** (2021). A new energy regeneration system for a BLDC motor driven electric vehicle. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11(4), 2986–2993. <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i4.pp2986-2993>
- Poposyan, A.** (2010). *Regenerative braking control model and simulation for an electric scooter*. CALIFORNIA STATE UNIVERSITY.
- Priscilla Norman - Wikipedia.** alındığı tarih: 22.10.2022  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Priscilla\\_Norman](https://en.wikipedia.org/wiki/Priscilla_Norman)
- Randive, P., Bondre, A., Pardhi, M., Rotake, V., Belkhede, C., ve Wanare, P.** (2022). *Design and fabrication of regenerative braking system*. 10(5), 134–138.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-16-4851-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-16-4851-9_5)
- Samarium–cobalt magnet - Wikipedia.** (n.d.). Retrieved December 28, 2022, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Samarium–cobalt\\_magnet](https://en.wikipedia.org/wiki/Samarium–cobalt_magnet)
- Sariışık, B. E., ve Ercoşkun, Ö. Y.** (2021). Dünyada ve türkiye’de mikro hareketlilikte e-scooter sistemleri. *Eksen Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık*

*Fakültesi Dergisi*, 2(1), 72–94.

**Scrosati, B., ve Garche, J.** (2010). Lithium batteries: Status, prospects and future.

*Journal of Power Sources*, 195(9), 2419–2430.

<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.11.048>

**Sel, E.** (2010). *Benzinli binek araçlarda, işletme koşullarının sera gazı ve diğer kirlenici egzoz emisyonlarına etkileri*. İstanbul teknik üniversitesi.

**Serter, B., Kıvanç, Ö. C., ve Üstün, Ö.** (2020). Elektrikli “kick scooter” sürüş sistemi analizi ve tasarımı. *12th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 233–236.

**Stan, A.-I., Swierczynski, M., Stroe, D.-I., Teodorescu, R., & Andreasen, S. J.**

(2014). Lithium ion battery chemistries from renewable energy storage to automotive and back-up power applications — An overview. *2014 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, 713–720. <https://doi.org/10.1109/OPTIM.2014.6850936>

**Sürgülü Reostalar - Erk Rezistans.** alındığı tarih: 27.12.2022

<https://www.erkrezistans.com.tr/surgulu-reostalar/>

**Synák, F., Gaňa, J., Rievaj, V., ve Mokričková, L.** (2019). Ways of Reducing Carbon Dioxide From Road Transport. *Archiwum Motoryzacji*, 86(4), 41–54.

**Tarascon, J.-M., ve Armand, M.** (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, 414(6861), 359–367.

<https://doi.org/10.1038/35104644>

**The History of Electric Scooters. Many might believe that electric... | by TAUR**

**| Lotus Fruit | Medium.** alındığı tarih: 11.11.2022 <https://medium.com/lotus-fruit/the-history-of-the-first-electric-scooter-5c00e0053468>

**The Motorized Scooter Boom That Hit a Century Before Dockless Scooters |**

**History| Smithsonian Magazine.** alındığı tarih: 09.08.2022

<https://www.smithsonianmag.com/history/motorized-scooter-boom-hit-century-dockless-scooters-180971989/>

**Totev, V., ve Gueorgiev, V.** (2020). Efficiency of regenerative braking in electric vehicles. *2020 21st International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2020 - Proceedings*, 4–7.

<https://doi.org/10.1109/SIELA49118.2020.9167153>

**Tuan, V. T., Kreuawan, S., Somsiri, P., Tungpimolrut, K., ve Huy, P. N.** (2020).

Switched reluctance motor and induction machine for e-scooter based on driving cycles design comparisons. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 15(6). <https://doi.org/10.1002/tee.23136>

**Türkiye nin Lider Pil Tedarikçisi.** alındığı tarih: 15.11.2022

<https://birikimpilleri.net/blog/pilleri-verimli-kullanmak-icin-oneriler>

**Uçarol, H.** (2003). Karma elektrikli araç. İstanbul teknik üniversitesi.

**Uzun, H.** (2010). Standart seyir çevrimlerinde minimum yakıt tüketimini sağlayan vites çevrim oranlarının belirlenmesi. Yıldız teknik üniversitesi.

**Van den Bossche, P., Vergels, F., Van Mierlo, J., Matheys, J., ve Van Autenboer, W.** (2006). SUBAT: An assessment of sustainable battery technology. *Journal of Power Sources*, 162(2 SPEC. ISS.), 913–919. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.07.039>

**Varol, G.** (2019). *Elektrikli araçlarda enerji deepolama ve geri kazanımlı frenleme sistemlerinin incelenmesi.* Kocaeli üniversitesi.

**Vidyanandan, K. V.** (2019). Batteries for Electric Vehicles. *New Materials & New Processes*, 1–7. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316090978>

**Vo-Duy, T., Nguyen, B. H., Ta, M. C., Trovao, J. P., ve Nguyen, N. H. P.** (2020). Different voltage and current control schemes for multi-pack battery of electric scooters. *2020 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2020 - Proceedings.* <https://doi.org/10.1109/VPPC49601.2020.9330937>

**Wager, G., Whale, J., ve Braunl, T.** (2018). Performance evaluation of regenerative braking systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 232(10), 14. <https://doi.org/10.1177/0954407017728651>

**Wang, B., Choi, J. H., Song, H. W., Choi, H. K., ve Hwang, S. H.** (2014). Development of the performance simulator for electric scooters with an in-wheel motor. *International Journal of Automotive Technology*, 15(5), 835–841. <https://doi.org/10.1007/s12239-014-0087-6>

- Wang, J. Z., Lu, L., Chouair, M., Stride, J. A., Xu, X., ve Liu, H. K.** (2011). Sulfur-graphene composite for rechargeable lithium batteries. *Journal of Power Sources*, 196(16), 7030–7034. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.09.106>
- Wang, Y., ve Huang, H.-Y. shadow.** (2011). Comparison of lithium-ion battery cathode materials and the internal stress development. *International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, 1–10.
- Wen, J., Zhao, D., ve Zhang, C.** (2020). An overview of electricity powered vehicles: Lithium-ion battery energy storage density and energy conversion efficiency. *Renewable Energy*, 162, 1629–1648. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.055>
- Wilcke, W. W., ve Kim, H.-C.** (2016). The 800-km battery lithium-ion batteries are played out. Next up: lithium-air. *IEEE Spectrum*, 53(3), 42–62. <https://doi.org/10.1109/MSPEC.2016.7420398>
- Xie, J., ve Lu, Y.C.** (2020). A retrospective on lithium-ion batteries. *Nature Communications*, 11(1), 1–3. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16259-9>
- Xu, B., Qian, D., Wang, Z., ve Meng, Y. S.** (2012). Recent progress in cathode materials research for advanced lithium ion batteries. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 73(5), 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2012.05.003>
- Xu, G., Li, W., Xu, K., ve Song, Z.** (2011). An intelligent regenerative braking strategy for electric vehicles. *Energies*, 4(9), 1461–1477. <https://doi.org/10.3390/en4091461>
- Xu, R., Yue, J., Liu, S., Tu, J., Han, F., Liu, P., ve Wang, C.** (2019). Cathode-Supported All-Solid-State Lithium–Sulfur Batteries with High Cell-Level Energy Density. *ACS Energy Letters*, 4(5), 1073–1079. <https://doi.org/10.1021/acseenergylett.9b00430>
- Yang, M., Jhou, H., Ma, B., ve Shyu, K.** (2009). A Cost-effective method of electric brake with energy regeneration for electric vehicles. 56(6), 2203–2212.
- Yang, Y.P., Liu, J.J., ve Hu, T.-H.** (2011). An energy management system for a directly-driven electric scooter. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 621–629. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.07.038>

- Yi, T. F., Jiang, L. J., Shu, J., Yue, C. B., Zhu, R. S., ve Qiao, H. Bin.** (2010). Recent development and application of  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  as anode material of lithium ion battery. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 71(9), 1236–1242. <https://doi.org/10.1016/j.jpccs.2010.05.001>
- Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. K., Tan, K. M., ve Mithulanathan, N.** (2015). A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 365–385. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.130>
- Yoong, M. ., Gan, Y. ., Gan, G. ., Leong, C. ., Phuan, Z. ., Cheah, B. ., ve Chew, K. .** (2010). Studies of regenerative braking in electric vehicle. *2010 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology, November*, 40–45. <https://doi.org/10.1109/STUDENT.2010.5686984>
- Yüksel, T., ve Kapicioglu, A.** (2021). Experimental investigation of the effect of nanofluid supported vehicle engine cooling system on engine emission values. *II. International Conference on Innovative Engineering Applications (CIEA' 2021)*, 405–413.
- Yüksel, T., ve Temizer, İ.** (2018). *The Effects on Engine Emission Parameters of the Uses of Canola Oil Methyl Ester as Biodiesel Fuel in a Single-Cylinder Diesel Engine*. 1032–1038.
- Zhang, Z., Xu, G., Li, W., ve Zheng, L.** (2010). The Application of Fuzzy Logic in Regenerative Braking of EV. *2010 Second International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, 2, 124–128. <https://doi.org/10.1109/IHMSC.2010.130>