

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA ALTERNATÖR VE BATARYA YÖNETİM  
SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ VE ENERJİ  
VERİMLİLİĞİNE KATKILAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Teoman AKDOĞAN**

**Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA ALTERNATÖR VE BATARYA YÖNETİM  
SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ VE ENERJİ  
VERİMLİLİĞİNE KATKILAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Teoman AKDOĞAN  
(504091081)**

**Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Derya Ahmet KOCABAŞ**

**HAZİRAN 2019**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504091081 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Teoman AKDOĞAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA ALTERNATÖR VE BATARYA YÖNETİM SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE KATKILAR” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Dr. Öğr. Üyesi Derya Ahmet Kocabaş** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Dr. Öğr. Üyesi Murat Yılmaz** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Kamuran Nur Bekiroğlu** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **03 Mayıs 2019**  
**Savunma Tarihi** : **13 Haziran 2019**





*Gamze ve Kızım Eylül'e,*



## ÖNSÖZ

2009 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Lisans Programından mezun oldum ve 2010 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Elektrik Mühendisliği programına başladım.

2010 yılından beri Ford Otosan Otomotiv A.Ş. şirketinde çalışmaktayım. Otomotiv sektöründe uzun yıllar boyunca çalıştım ve bu alanda yaptığım çalışmalar doğrultusunda yüksek lisans tezimi belirledim. İş hayatımda araç sistemleri, elektroniği ve yazılımları konusunda tecrübeler edindim ve bu tecrübelerden faydalanarak araç şarj sisteminin modellenmesi üzerine tez çalışmasını yürüttüm.

Yüksek Lisans tezimde bana yön gösteren, yönlendiren ve her zaman beni motive eden Dr. Öğr. Üyesi Derya Ahmet KOCABAŞ'a teşekkür ederim.

Tüm Yüksek Lisans tez çalışması boyunca sabırla bana yardımcı olan eşim Gamze'ye ve minik kızım Eylül'e de teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Teoman Akdoğan  
(Elektrik Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| <b>ÖNSÖZ</b> .....  | vii          |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....  | ix           |
| <b>KISALTMALAR</b> .....  | xi           |
| <b>SEMBOLLER</b> .....  | xiii         |
| <b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....  | xv           |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....  | xvii         |
| <b>ÖZET</b> .....   | xix          |
| <b>SUMMARY</b> .....  | xxiii        |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....   | <b>1</b>     |
| 1.1 Tezin Amacı .....   | 2            |
| <b>2. ALTERNATÖR</b> .....  | <b>5</b>     |
| 2.1 Alternatörün Araç Şarj Sistemindeki Yeri .....                                | 5            |
| 2.2 Alternatörün İç Devre Yapısı ve Elektriksel Bağlantısı.....                   | 6            |
| 2.3 Alternatörün Yapısal Tasarımı .....   | 8            |
| 2.3.1 Alternatörün rotoru ve statoru .....  | 9            |
| 2.3.2 Alternatörün doğrultucu devresi, gerilim regülatörü ve diğer parçaları .... | 11           |
| 2.4 Alternatörün Manyetik Eş Değer Devresi .....                                  | 12           |
| 2.5 Alternatörün Diğer Senkron Makinalar ile Karşılaştırılması .....              | 16           |
| <b>3. AKÜ</b> .....   | <b>19</b>    |
| 3.1 Kurşun Asit Akü.....  | 19           |
| 3.2 Kurşun Asit Akülerin Yapısı ve Elektrokimyasal Tepkime.....                   | 19           |
| 3.3 Akünün Eşdeğer Devresi.....   | 21           |
| 3.3.1 Akünün sıcaklık değişimindeki karakteristiği .....                          | 22           |
| 3.4 Akü Durumları ve İfadeleri .....  | 23           |
| 3.4.1 Deşarj derinliği .....  | 23           |
| 3.4.2 Akü doluluk oranı .....   | 23           |
| 3.4.3 Akü sağlık durumu .....   | 23           |
| 3.4.4 Akü fonksiyon durumu .....  | 24           |
| <b>4. ARAÇ ŞARJ SİSTEMİNİN MODELİ VE BENZETİMİ</b> .....                          | <b>25</b>    |
| 4.1 Alternatör Parametrelerinin Belirlenmesi.....                                 | 25           |
| 4.1.1 Alternatörün stator ve rotor direncinin belirlenmesi.....                   | 26           |
| 4.1.2 Alternatörün stator endüktansının belirlenmesi.....                         | 26           |
| 4.1.3 Alternatörün makina katsayısının belirlenmesi.....                          | 30           |
| 4.2 Alternatörün Matlab/Simulink Yardımıyla Modellenmesi .....                    | 32           |
| 4.2.1 Alternatör modelinin doğrulanması ve sonuçlar.....                          | 36           |
| 4.3 Akünün Matlab/Simulink Yardımıyla Modellenmesi .....                          | 41           |
| 4.3.1 Akü modelinin doğrulanması ve sonuçlar .....                                | 46           |
| 4.4 Akıllı Şarj Algoritması .....   | 48           |
| 4.4.1 Alternatör Şarj Algoritmalarının Modellenmesi.....                          | 51           |
| 4.5 Motor Devri ve Gaz Pedalı Fonksiyon Blokları.....                             | 55           |
| 4.6 Araç Yüklerinin Modellenmesi .....  | 57           |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.7 Araç Şarj Sisteminin Modellenmesi .....                                | 59        |
| 4.7.1 Araç şarj modelinin PI katsayılarının belirlenmesi.....              | 61        |
| <b>5. ARAÇ ŞARJ SİSTEMİNİN BENZETİM ÇALIŞMASI .....</b>                    | <b>63</b> |
| 5.1 Akıllı Şarj Sistemi 1 .....  | 64        |
| 5.2 Akıllı Şarj Sistemi 2 .....  | 68        |
| 5.3 Geleneksel Şarj Sistemi .....  | 71        |
| 5.4 Şarj Sistemlerinin Karşılaştırılması ve Çıkan Sonuçlar .....           | 73        |
| 5.4.1 Geleneksel şarj ile akıllı şarj sistemi 1'in karşılaştırılması.....  | 73        |
| 5.4.2 Geleneksel şarj ile akıllı şarj sistemi 2'nin karşılaştırılması..... | 78        |
| 5.5 Benzetim Çalışmalarının Sonuçları .....                                | 83        |
| <b>6. SONUÇ .....</b>  | <b>85</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>  | <b>89</b> |
| <b>EKLER.....</b>  | <b>93</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>  | <b>95</b> |



## KISALTMALAR

|                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| <b>AA</b>              | : Alternatif Akım            |
| <b>AD</b>              | : Akü Durumu                 |
| <b>ADO</b>             | : Akü Doluluk Oranı          |
| <b>Ah</b>              | : Amper-Saat                 |
| <b>CAN</b>             | : Control Area Network       |
| <b>CO<sub>2</sub></b>  | : Karbon Dioksit             |
| <b>DA</b>              | : Doğru Akım                 |
| <b>DC</b>              | : Direct Current             |
| <b>DD</b>              | : Deşarj Derinliği           |
| <b>Dev/dk</b>          | : Devir/Dakika               |
| <b>Dk</b>              | : Dakika                     |
| <b>EKÜ</b>             | : Elektronik Kontrol Ünitesi |
| <b>HC</b>              | : Heavy Commercial           |
| <b>I</b>               | : Integral                   |
| <b>LIN</b>             | : Local Interconnet Network  |
| <b>N</b>               | : Kuzey                      |
| <b>P</b>               | : Proportional(Oransal)      |
| <b>Rpm</b>             | : Round per minute           |
| <b>S</b>               | : Güney                      |
| <b>Sa</b>              | : Saat                       |
| <b>Sn</b>              | : Saniye                     |
| <b>SoC</b>             | : State of Charge            |
| <b>SoC<sub>0</sub></b> | : State of Charge Initial    |
| <b>Wh</b>              | : Watt-Saat                  |



## SEMBOLLER

|               |  |
|---------------|--|
| $\Omega$      | : Ohm  |
| $p$           | : Kutup çifti sayısı                             |
| $f$           | : Frekans  |
| $X_s$         | : Stator reaktansı                               |
| $L$           | : Endüktans                                      |
| $VP_1, VP_2$  | : Direnç ve endüktans üzerindeki gerilim         |
| $V_A$         | : Alternatör çıkış gerilimi                      |
| $I_A$         | : Alternatör 1 faz stator akımı                  |
| $I_o$         | : Alternatör çıkış akımı                         |
| $K_a, K_c$    | : Alternatör makina katsayısı, Carter katsayısı  |
| $E_1, E_A$    | : Statorunda endüklenen gerilim                  |
| $N_1$         | : Bir fazdaki stator sarım sayısı                |
| $n$           | : Alternatör devir sayısı                        |
| $k_{w1}$      | : Sargı faktörü                                  |
| $\emptyset_1$ | : Alternatör bir faz stator akısı                |
| $B_1$         | : Alternatör hava aralığı manyetik akı yoğunluğu |
| $A$           | : Akının aktığı alan                             |
| $\tau$        | : Kutup adımı                                    |
| $l_s$         | : Stator uzunluğu                                |
| $\alpha_p$    | : Rotor pençe aralığı                            |
| $F_{10}$      | : Magneto motor kuvvet                           |
| $I_R, I_o$    | : Rotor uyarma, alternatör çıkış akımları        |
| $N_r$         | : Rotor sarım sayısı                             |
| $g$           | : Hava aralığı                                   |
| $R_g$         | : Hava aralığı relüktansı                        |
| $K_{ap}$      | : Kutup pençe aralığı katsayısı                  |
| $w_e$         | : Elektriksel açısal hız                         |
| $w_g$         | : Geometrik açısal hız                           |
| $\mu_0$       | : Boşluğun manyetik geçirgenliği                 |
| $i_d$         | : Deşarj akımı                                   |
| $i_c$         | : Şarj akımı                                     |
| $t$           | : Zaman  |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 3.1: Kurşun asit akü eşdeğer devre elemanlarının açıklamaları. ....           | 21 |
| Çizelge 4.1: Deney ölçümleri ve alternatör $K_a$ parametresi hesap çizelgesi.....     | 31 |
| Çizelge 4.2: Alternatörün parametreleri. ....   | 34 |
| Çizelge 4.3: Akü parametrelerinin ifadeleri. ....                                     | 41 |
| Çizelge 4.4: Elektriksel yükler ve ortalama yük tüketim çizelgesi.....                | 58 |
| Çizelge 5.1: Akıllı şarj 1 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması 1. .... | 73 |
| Çizelge 5.2: Akıllı şarj 1 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması 2. .... | 74 |
| Çizelge 5.3: Akıllı Şarj 1 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması 3.....  | 75 |
| Çizelge 5.4: Akıllı şarj 2 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması 1. .... | 78 |
| Çizelge 5.5: Akıllı şarj 2 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması 2. .... | 79 |
| Çizelge 5.6: Akıllı Şarj 2 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması 3.....  | 80 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1: Ağır ticari araçlarda kullanılan içten yanmalı motor ve alternatör [4]. | 5  |
| Şekil 2.2: Araç şarj sistemi ve alternatör [1].                                    | 6  |
| Şekil 2.3: Alternatörün araç sistemine bağlantısı.                                 | 7  |
| Şekil 2.4: Pençe rotorlu alternatörün parçalarına ayrılmış görünümü [6].           | 8  |
| Şekil 2.5: Alternatörün yapısal tasarımı ve alt parçaları.                         | 9  |
| Şekil 2.6: Alternatör rotoru [3,8].  | 10 |
| Şekil 2.7: Alternatör statoru ve sargıları [9].                                    | 11 |
| Şekil 2.8: Alternatörün 3 fazlı köprü doğrultucusu.                                | 12 |
| Şekil 2.9: Alternatör regülatörü, fırça ve kapasitesi.                             | 12 |
| Şekil 2.10: Alternatör yüksüz durumda hava aralığı manyetik alan yoğunluğu [10].   | 13 |
| Şekil 2.11: Relüktans ve manyetik akının kutuplar arası izlediği yol [10].         | 14 |
| Şekil 2.12: Çıkık kutuplu rotor ile pençe rotorun karşılaştırılması [12].          | 17 |
| Şekil 2.13: Güçlerine göre farklı alternatörlerin kıyaslanması [16].               | 18 |
| Şekil 3.1: Akü hücrelerinin deşarj ve şarj tepkimeleri [18].                       | 20 |
| Şekil 3.2: Kurşun asit akü eşdeğer devresi [20].                                   | 21 |
| Şekil 3.3: Akü iç direncinin geriliminin sıcaklıkla değişim grafiği [20].          | 22 |
| Şekil 4.1: (a) Stator direnci ölçümü, (b) Rotor direncinin ölçümü.                 | 26 |
| Şekil 4.2: Değeri bilinen bir direnç.  | 27 |
| Şekil 4.3: Değeri bilinen endüktans $L=100\mu H \pm 10\%$ .                        | 27 |
| Şekil 4.4: Endüktans ölçüm devresi-1.  | 27 |
| Şekil 4.5: Endüktans ölçüm devresi-2.  | 28 |
| Şekil 4.6: Alternatör stator endüktansı ölçüm devresi-1.                           | 29 |
| Şekil 4.7: Alternatör stator endüktansı ölçüm devresi-2.                           | 29 |
| Şekil 4.8: Benzetim modeliyle $VP_1$ ve $VP_2$ 'nin karşılaştırılması.             | 30 |
| Şekil 4.9: Alternatör $K_a$ parametresi belirleme çalışması.                       | 32 |
| Şekil 4.10: Alternatör fazör diyagramı [22].                                       | 32 |
| Şekil 4.11: Alternatörün simulink modeli.  | 35 |
| Şekil 4.12: Araçtan alınan motor hızı-zaman grafiği.                               | 36 |
| Şekil 4.13: Alternatör akım-zaman grafiği.   | 37 |
| Şekil 4.14: Alternatör simulink modelinin gerçek veri ile karşılaştırılması.       | 38 |
| Şekil 4.15: Gerilim karşılaştırma grafiği.   | 39 |
| Şekil 4.16: Alternatörün üç faz alternatif ve doğru gerilim çıkışları.             | 40 |
| Şekil 4.17: Alternatör akım-devir karşılaştırma grafiği.                           | 40 |
| Şekil 4.18: Denklem (4.12)'in simulinkte modeli.                                   | 42 |
| Şekil 4.19: Denklem (4.11) ve denklem (4.13)'nin simulinkteki modeli.              | 43 |
| Şekil 4.20: Denklem (4.10)'un simulinkteki modeli.                                 | 43 |
| Şekil 4.21: Simulinkte akü şarj geriliminin modellenmesi.                          | 45 |
| Şekil 4.22: 28 V DA'da sabit gerilimde akü modelinin şarj edilmesi.                | 46 |
| Şekil 4.23: Sabit gerilim ve farklı sıcaklıklarda akü şarj akım değişimi.          | 46 |
| Şekil 4.24: Akü şarj doluluk oranlarının sıcaklık ile değişimi.                    | 47 |
| Şekil 4.25: Sabit gerilim ve farklı sıcaklıklarda akü şarj akım değişimi.          | 48 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.26: Akıllı akü sensörü ve araç şarj sistemi [24].....                   | 49 |
| Şekil 4.27: Akü doluluk oranına göre alternatör kontrol algoritmaları. ....     | 51 |
| Şekil 4.28: Akıllı şarj algoritması matlab/simulink bloğu. ....                 | 53 |
| Şekil 4.29: Şarj algoritması ve regülatör bloğu-2. ....                         | 54 |
| Şekil 4.30: Motor devri ve ivmelenme bloğu. ....                                | 56 |
| Şekil 4.31: (a) Motor hızı-zaman grafiği, (b) gaz pedalı-zaman grafiği. ....    | 56 |
| Şekil 4.32: Araç yük modeli. ....   | 58 |
| Şekil 4.33: Araç yük modeli simulink bloğu. ....                                | 59 |
| Şekil 4.34: Araç şarj sisteminin matlab/simulink modeli. ....                   | 60 |
| Şekil 4.35: Gerilim kontrolü için PI katsayısı belirleme. ....                  | 61 |
| Şekil 4.36: Akım kontrolü için PI katsayılarının belirlenmesi. ....             | 62 |
| Şekil 5.1: Motor devri zaman grafiği. ....                                      | 64 |
| Şekil 5.2: Akıllı şarj sistemi 1 - 63% ile 78% arası ADO grafiği. ....          | 66 |
| Şekil 5.3: Akıllı şarj sistemi 1 - 88% ile 92% arası ADO grafiği. ....          | 67 |
| Şekil 5.4: Akıllı şarj sistemi 2 - 63% ile 77.5% arası ADO grafiği. ....        | 69 |
| Şekil 5.5: Akıllı şarj sistemi 2 - 88.7%-92% arası ADO grafiği. ....            | 70 |
| Şekil 5.6: Geleneksel şarj sistemi grafiği. ....                                | 72 |
| Şekil 5.7: Akıllı şarj 1 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırılması 1. ....  | 76 |
| Şekil 5.8: Akıllı şarj 1 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırılması 2. ....  | 77 |
| Şekil 5.9: Akıllı şarj 2 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırılması 1. ....  | 81 |
| Şekil 5.10: Akıllı şarj 2 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırılması 2. .... | 82 |

# AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA ALTERNATÖR VE BATARYA YÖNETİM SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL MODELLEMESİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE KATKILAR

## ÖZET

Gelişen otomotiv sektörü ile beraber araçlarda kullanılan elektrikli bileşenlerin sayısı artarken araçlardan talep edilen enerji miktarı da artmaktadır. Gittikçe artan sıkı emisyon kuralları ve yakıt tüketimi yönetmelikleri, güvenli, temiz ve yüksek verimli kara taşımacılığın geliştirilmesine olan ilgiyi teşvik etmektedir.

Otomotiv sektöründe üretilen yeni araçların, verimliliği arttırılarak hem yakıt ekonomisine katkı sağlanılmaktadır, hem de CO<sub>2</sub> salınımı azaltarak doğaya olan etkileri azaltılmaktadır. Artan güç ve enerji talebi ile beraber araçların elektrikli sistemlerinde yapılacak olan iyileştirmeler önem kazanmıştır. Araç şarj sisteminin etkili kullanılması durumunda elektrik enerjisinden kazanç sağlanılacağı gibi yakıt ekonomisinde de bir kazanç sağlamak mümkündür.

Bu çalışma kapsamında ağır ticari araçların şarj sisteminde enerji tasarrufu sağlamak amacı ile alternatör, akü yük ve akıllı şarj algoritmasının matematiksel modelleri geliştirilmiş olup, benzetim çalışması yapılarak, önerilen yeni modeller ile geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması yapılmış, elde edilen performans değerleri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Günümüzde kullanılan içten yanmalı motorlu araçların elektrikli mimarisi incelendiğinde, araçların elektrikli sistemi alternatör, marş motoru, şarj ve batarya yönetim sistemleri üzerine kurulmuştur. Gelişen teknolojiler ile araçlardaki elektronik parçaların artmasıyla araçtaki güç ve enerji ihtiyacını arttırmıştır. Araçlarda kullanılan elektronik kontrol üniteleri, elektrik motorları, aydınlatma sistemleri, ısıtıcılar, valfler, sensörler ve benzeri elektrikli yüklerin ihtiyacını alternatör ve batarya sistemleri karşılamaktadır.

Bu çalışma kapsamında alternatör, akü, yük ve akıllı şarj algoritmasının matematiksel modelleri geliştirilmiş ve benzetim çalışması yapılmıştır. Daha sonra tüm bu modeller birleştirilmiş ve araç şarj sisteminin benzetimi yapılmıştır.

Alternatör içten yanmalı motor tarafından tahrik edilir ve içten yanmalı motor çalıştığında enerji üretmeye başlar ve bir kayış yardımıyla dönerek içten yanmalı motordan güç talep eder. Alternatör içten yanmalı motordan ne kadar az güç talep ederse içten yanmalı motorun da ürettiği güç bu oranda azalır, yakıt ekonomisine katkı sağlar, CO<sub>2</sub> emisyonu azalır ve dolayısıyla doğaya olan zararı azalır. Alternatör özel bir tasarıma sahip senkron generatördür ve rotoru senkron generatörden farklı olarak pençe şeklinde tasarlanmıştır. Alternatör uyarma akımını ilk olarak aküden alır ve daha sonra üzerinde bulunan köprü diyotlar yardımıyla hem kendisini besler, hem de doğru

gerilim üretir. Alternatör rotoru her ne kadar senkron generatörden farklı olsa da benzer şekilde pençe rotorda fırça ve bilezik yapısı bulunur.

Senkron makinalardan farklı olarak alternatörün pençe tipi rotoru, yüksek hızlarda çalışmaya elverişli olarak tasarlanmıştır. Alternatörün pençe tipi rotoru ağır ticari araçlarda 2200-12000 devir/dk aralığındaki hızlarda dönebildiğinden yüksek hızlarda oluşan merkez kaç kuvvetine dayanıklıdır. Çıkık kutuplu veya yuvarlak rotorlu senkron generatörlere kıyasla rotor çapları daha küçüktür ve araçlarda dar alandaki paketleme sıkıntılarından dolayı avantaj yaratır. Ayrıca bu makinalara kıyasla daha fazla güç üretirler. Alternatör yüksek hızlarda çıkık kutuplu senkron makinalara göre daha az ısınır. Çıkık kutuplu senkron generatörler yüksek hızlarda girdap akımı kayıplarından ötürü güçlerinin bir kısmı ısıya dönüşür. Bu nedenle araçlarda alternatör kullanılmaktadır.

Araç şarj sisteminin bir diğer kritik parçası da bataryalardır. İçten yanmalı motorlu araçlarda kullanılan bataryalar kurşun asit bataryalardır. Kurşun asit bataryanın avantajları yüksek akım kapasiteli, hızlı şarj olabilen, yüksek adetlerde kolay ve ucuza üretilebilmesidir. Bunun yanında kg başına verdiği enerji düşük olduğundan dolayı ağırdır. Kurşun asit akülerin kullanılmasının en önemli nedeni hızlı şarj olması, marş anında yüksek akım kapasitesi sağlaması ve anlık yüksek güçleri karşılamasıdır. Bunun yanında bakımı kolaydır.

Ağır ticari araçlarda kullanılan marş motorlarının nominal gerilimi 24 V DA iken binek araçlarda kullanılan marş motorlarının nominal çalışma gerilimi 12 V DA'dır. Ağır ticari araçların bu nedenle tüm elektriksel sistemleri 24 V DA üzerine kurulmuştur ve elektriksel mimarisindeki parçalar 24 V DA nominal geriliminde çalışmaktadır. Bu nedenle ağır ticari araçlarda iki adet birbirine seri bağlanmış 12 V DA batarya bulunur. Ağır ticari araçlar kullanılan bataryaların kapasitesi çoğunlukla 225 Ah'tir. Bu yüzden benzetim çalışmalarında bu değer kullanılmıştır.

Bataryaların eş değer devresi incelendiğinde şarj ve deşarj karakteristiklerinin farklı olduğu ortaya çıkmıştır. Bataryalar doldukça iç direncini arttırmaktadır ve şarj akımını kısımlatırlar. Sıcaklık arttıkça da bataryalar şarj akım kapasitesini arttırmaktadır. Hava soğudukça da tam tersi davranış göstererek iç direncini arttırmakta ve şarj akımını kısıtlamaktadır. Bataryaların kapasitesine bağlı olan paralel iç direnci bataryaların boşalmasına neden olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında alternatörün modelini oluşturmak için 1 adet ağır ticari araçtan alınan alternatör parçalarına ayrılmış ve üzerine alınan ölçümler sonucu çıkan değerler matematiksel modelde kullanılmıştır. Matematiksel modelden çıkan veriler, araçtan alınan veriler ile karşılaştırılmış ve bir fark olmadığı gözlemlenerek güvenilirliği doğrulanmıştır.

Bataryanın matematiksel modeli matlab/simulink'te oluşturulmuştur. Oluşturulan model sayesinde bataryaların doluluk oranı hesaplanmıştır. Bataryalar ile ilgili en önemli parametre ADO(akü doluluk oranı)'dır. ADO bilinmesi durumunda akıllı şarj algoritmaları ile araçların şarj sistemleri verimli bir şekilde geliştirilebilir. Burdan elde edilen veri akıllı şarj algoritmasında bir girdi olarak kullanılmıştır. Oluşturulan modelin sıcaklıkla olan değişimi incelenmiş ve sıcaklıkla olan değişiminin beklenildiği gibi olduğu ortaya konulmuş ve güvenilirliği doğrulanmıştır.

Araçtaki yükler belirlenmiş ve araçtaki yüklerin kullanım sıklığı bir eş zamanlılık katsayısı ile belirlenerek aracın ortalama yük ihtiyacı belirlenmiştir. Burda elde edilen

veriler benzetim çalışmasında kullanılmıştır. Ayrıca araçta bulunan içten yanmalı motorun en fazla kullanıldığı aralık 1100-1500 dev/dk'da değişen hızlarda bir sürüş senaryosu oluşturulmuş, bu senaryoya göre motor devri modellenmiş, artan azalan ve sabit devir aralıklarında motor devrinin benzetimi yapılmıştır. Tüm şarj senaryoları için aynı sürüş senaryosu kullanılmıştır.

Geleneksel şarj yönteminin yanısıra enerji verimini arttırmak için iki adet şarj algoritması geliştirilmiştir. ADO bir girdi olarak bu modelde kullanılmıştır. Akıllı şarj algoritması 1 ve 2'de ADO 65%'den sonra sistem gerilimini 28.5 V DA'dan 28 V DA'a çekerken motor devrinin negatif olduğu noktalarda tekrardan 28.5 V DA'a çekmiştir. ADO 75% ile 92% arasındayken akıllı şarj algoritması 1 aküleri 5 A sabit akımla şarj etmiş ve akıllı şarj algoritması 2 de 8 A ile sistemi şarj etmiştir. Bu aralıkta motorun negatif ivmelendiği noktalarda sistem gerilimi 28.5 V DA'da tam şarja çekilmiştir. ADO 92%'yi geçtikten sonra ise sadece yükleri karşılayacak şekilde alternatörden devrede tutulmuştur. Şarj algoritması kapsamında oransal ve integral değerleri, PI değerleri, iteratif olarak belirlenmiş ve benzetimde kullanılmıştır.

Geleneksel şarj sistemlerinde ise sabit gerilimde araçlar sürekli olarak şarj edildiğinden alternatör üzerinde bir kontrol mekanizması bulunmamaktadır. Alternatör 28.5 V DA sabit gerilimde araç sistemini şarj etmektedir. Bu durumun aküleri fazla şarja götürdüğü ve akü ömrünün azalmasına neden olduğu bilinmektedir.

Aynı sürüş ve sıcaklık senaryosunda akıllı şarj sistemi 1'in bataryaları hem geleneksel şarj sistemine göre, hemde akıllı şarj sistemi 2'ye göre daha verimli doldurduğu ortaya çıkmıştır. Geleneksel şarj sistemine göre elde edilen kazanç 6,48%'dir. Akıllı şarj sistemi 2 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırıldığında bu verim 5,02%'dir. Motorun negatif ivmelendiği noktalarda aküye aktarılan enerjiler kıyaslandığında ise akıllı şarj sistemi 1, geleneksel şarj sistemine göre 102,93% daha fazla enerjiyi aküye depolamıştır. Akıllı şarj sistemi 2 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırıldığında ise bu oran 81,16%'dir. Sonuç olarak şarj akımı azaldıkça verimliliğin arttığı ortaya çıkmıştır.

Aynı sürüş, sıcaklık senaryosu ve aynı şarj süresi boyunca karşılaştırma yapıldığı zaman akıllı şarj sistemi 1 ve akıllı şarj sistemi 2, geleneksel şarj sisteminden daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır. Akıllı şarj sistemleriyle alternatör aynı süre içinde daha az enerji üretmiş ve yakıt ekonomisine katkı sağlamıştır. Yapılan çalışmada akıllı şarj sistemi 1'in geleneksel şarj sistemine göre alternatörden talep ettiği enerji 18,98% daha azdır. Bu kazanç 3146,39 Wh'tir. Benzer şekilde akıllı şarj sistemi 2 ile geleneksel şarj sistemi kıyaslandığında alternatörden talep edilen enerji 14,43% daha azdır. Burdaki kazanç 1932,65 Wh'tir.

Aynı şarj süresinde motorun negatif ivmelendiği noktalarda elde edilen kazançlar kıyaslandığında ise akıllı şarj sistemi 1, geleneksel şarj sistemine göre %15,11 daha fazla enerji üreterek yakıt ekonomisine katkı sağlamıştır. Bu değer 419,73 Wh'tir. Benzer şekilde akıllı şarj sistemi 2 ile geleneksel şarj sistemi motorun negatif ivmelendiği noktada kıyaslandığında ise akıllı şarj sistemi 2, 14,89% daha fazla enerji üretmiştir. Bu noktadaki kazanç 334,22 Wh'tir.

Belirlenen sürüş senaryosu dahilinde akıllı şarj algoritması 1, akıllı şarj algoritması 2'den ve geleneksel şarj sisteminden hem elektriksel olarak, hem de yakıt ekonomisi olarak daha fazla katkı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak geliştirilen akıllı şarj algoritması yardımıyla ağır ticari araçlar için alternatör ve batarya yönetim sisteminin matematiksel modeli kullanılarak enerji verimliliğine katkı sağlanmıştır.



# **MATHEMATICAL MODELING OF ALTERNATOR AND BATTERY MANAGEMENT SYSTEM IN HEAVY COMMERCIAL VEHICLES AND CONTRIBUTIONS TO ENERGY EFFICIENCY**

## **SUMMARY**

With the developing automotive industry, the number of electrical components used in the vehicles increases, and the amount of energy requested by the vehicles is growing too. New strict regulations and fuel consumption rules encourage interest in the development of safe, clean and high efficient land transportation.

By improving the efficiency of new vehicles produced in the automotive sector, fuel economy is contributed to both by reducing CO<sub>2</sub> emissions and reducing the impact on the environment. With the increasing power and energy demand, the improvements in the electrical charging systems of the vehicles have gained importance. In case of effective use of the car charging system, it is possible to have a gain not only in electrical energy and but also in the fuel economy.

In the scope of this study, mathematical models are created in order to save energy in the charging system of heavy commercial vehicles. Simulation studies are carried out and new proposed models are compared with conventional charging systems and performance values are compared. Mathematical models of alternator, battery, loads and smart charge algorithm have been developed and simulated. All these models are then combined and simulated to analyze heavy commercial vehicle electrical charge system.

When the electrical architecture of the internal combustion engine vehicles is examined, the electrical system of the vehicles is built on alternator, starter, charging and battery management systems. With the increasing technologies and the increase of electronic components in the vehicles, the need for power and energy has increased. Electronic control units used in vehicles, electric motors, lighting systems, heaters, valves, sensors and similar electrical loads are feeded by alternators and battery systems.

The alternator is driven by the internal combustion engine and starts producing energy while the internal combustion engine is running. In vehicles the alternator is driven by a belt and requires power from the internal combustion engine. The less power the alternator requires from the internal combustion engine, the less the power the internal combustion engine produces, contributing to fuel economy, reducing CO<sub>2</sub> emissions and therefore reducing the impact to the environment. The alternator is a special designed synchronous generator having claw type rotor. The alternator first receives the excitation current from the battery and then feeds itself through the bridge rectifier diodes on it and generates DC voltage. Although the alternator rotor is different from

the synchronous generator, the claw pole rotor has a similar brush and bracelet structure.

Unlike synchronous machines, the alternator's claw type rotor is designed to operate at high speeds. Since the claw type rotor of the alternator is able to rotate at speeds between 2200-12000 rpm in heavy commercial vehicles, it is resistant to the centrifugal forces at high speeds. Rotor diameters are smaller compared to synchronous generators with salient or non salient type rotors, and are advantageous in packaging due to narrow spaces. They also produce more power compared to these machines. The alternator is less heated at high speeds than the non salient pole synchronous machines. Non salient pole synchronous generators are transformed into heat due to fuko losses at high speeds. Therefore, alternator is preferred.

Batteries are another critical part of the car charging system. Batteries used in internal combustion engines are lead acid batteries. The advantages of the lead acid battery are high current capacity, fast charge, high quantity and easy to produce. In addition, the energy per kg is small and that's why lead acid batteries are heavy. The most important reason for the use of lead acid batteries is fast charging, high current capacity at start-up, and instantaneous high power. Easy to maintain.

The rated voltage of the starter motors used in heavy commercial vehicles is 24 V DC and the rated operating voltage of the starter motors used in passenger cars is 12 V DC. For this reason, all electrical systems of heavy commercial vehicles are built on 24 V DC and the components in electrical architecture operate at a nominal voltage of 24 V DC. Therefore, heavy commercial vehicles have two 12 V DC batteries connected in series. Generally the capacity of the batteries used in heavy commercial vehicles is 225 Ah. That's why this value is used in simulation studies.

When the equivalent circuit of the batteries is examined, it is revealed that the charge and discharge characteristics are different. As the batteries are charged, they increase the internal resistance and reduce the charging current. As the temperature increases, the batteries increase the charging current capacity. In cold temperatures, it acts in the opposite way, increases its internal resistance and limits the charge current. The parallel internal resistance inside the battery reduces the capacity.

In order to build the model of the alternator, one fo the HC vehicle alternator is disassembled into pieces to get measurements and the values obtained are used in mathematical model. The data from the mathematical model are compared with the data obtained from vehicle and it is observed that there is no difference and the accuracy of the model is verified.

The mathematical model of the battery is created in matlab / simulink. With the help of the model, charge rate of the batteries are calculated. The most important parameter for batteries is SoC(State of charge). In the known case of SoC, intelligent charging algorithms can be developed and the charging systems of the vehicles can be efficiently modeled. The data obtained here is used in the intelligent charging algorithm. The change in temperature of the model is investigated and it is revealed that the change in temperature is as expected.

The loads in the vehicle are determined and the frequency of load usage in the vehicle is determined by a coefficient of simultaneity and the average load requirement of the

vehicle is determined. The data obtained here are used in the simulation study. In addition, a driving scenario is defined and according to this driving scenario, the engine speed is modeled at speeds ranging from 1100 to 1500 rpm and the engine speed is simulated at steady, increased and decreased speed ranges for a specified driving condition. The defined driving scenario is used in all charging systems.

In addition to conventional charging system, two more charging algorithms have been developed to increase energy efficiency. SoC is used as an input in this model. In smart charging algorithms 1 and 2, after 65% SoC, smart charging algorithms have been reduced the system voltage set point from 28.5 V DC to 28 V DC. While engine has a negative deceleration after 65% SoC, intelligent charging algorithms takes alternator voltage set point to 28.5 V DC again to gain and save energy from internal combustion engine inertia. While the SoC is between 75% and 92%, smart charging algorithm 1, charges the batteries with 5 A constant current and smart charging algorithm 2 charges with 8 A constant current. When internal combustion engine rpm is decelerating, then both algorithms takes voltage set point to 28.5 V DC to gain energy. For simulation models, Proportional and integral values are calculated iteratively and calculated values are used in simulation.

In conventional charging systems, there is no control mechanism on the alternator since the vehicles are continuously charged at constant voltage. The alternator charges the vehicle system at a constant voltage of 28.5 V DC. It has been known that this leads to overcharging of batteries and decreasing the battery life.

In the same driving and weather temperature conditions, the conventional charging system and the new proposed smart charging systems 1 and 2 are compared to perform their performance. Smart charging system 1 has been found to charge the batteries more efficiently than the conventional charging system and smart charging system 2. The gain obtained by the smart charging 1 when compared to conventional charging system is 6,48%. When compared to the conventional charging system with the smart charging system 2, this efficiency is 5.02%. In comparison with the energies transferred to the battery at the negative acceleration of engine, the smart charging system 1 has 102.93% more energy stored in the battery than the conventional charging system. When the smart charging system 2 is compared with the conventional, this ratio is 81.16%. As a result, as the charge current decreases, the efficiency increases.

According to same driving and weather conditions and also during the same charging period, the smart charging system 1 and the smart charging system 2 become more efficient than the conventional charging system. In the study, the smart charge system 1 demanded 18,98% less energy than the conventional charging system. This gain is 3146,39 Wh. Similarly, when the conventional charging system is compared with the smart charging system 2, the energy demanded by the alternator is 14.43% less. The gain here is 1932,65 Wh.

In the same driving and weather temperature conditions and during the same charging period, when compared to the gains obtained at the points where the motor is decelerated, the smart charging system 1 contributed to the fuel economy by producing 15.11% more energy than the conventional charging system. The calculated value is 419,73 Wh. Similarly, when the conventional charging system with the smart charging

system 2 compared to the negative acceleration of the motor, the smart charging system 2 produced 14.89% more energy. The gain at this point is 334,22 Wh.

It has been concluded that the intelligent charging algorithm 1, from the smart charging algorithm 2 and from the conventional charging system, contributes more both electrically and as fuel economy.

As a result, the intelligent charging algorithm used in mathematical model of alternator and battery management system, contributed to electrical energy efficiency and reduced the total amount of energy which is produced by an alternator to save fuel consumption.



## 1. GİRİŞ

Günümüz otomotiv sektöründe, içten yanmalı motorlu olarak geliştirilen araçların elektrik alt yapısı ve mimarisi incelendiğinde bir çok farklı sistemin uyum içinde çalıştığı gözlemlenmiştir. Her geçen gün elektroniğin gelişmesiyle araçlarda kullanılan elektriksel bileşenlerle beraber güç tüketimi de artmaktadır [1]. Ağır ticari araçlarda bulunan temel elektrik sistemlerini ve bunları oluşturan parçaları sıralayacak olursak; alternatör, marş motoru, akü, iç ve dış aydınlatma lambaları, valfler, cam ve silecek motorları, ayna motorları, klima kompresörü, butonlar, kapı kilit motorları, elektronik kontrol üniteler (EKÜ), sensörler gibi parçalar araçta bulunan temel elektriksel parçalardır. Bu parçalar bir araya geldiğinde ve birbirleriyle beraber uyum içinde çalışmaya başladığında aracın elektriksel sistemini oluşturmaktadır.

Bir aracın temel elektriksel sistemini oluşturan bileşenler dört ana başlıkta toplanır. Bu parçalar sırasıyla, enerji depolamaya yarayan akü, enerji üretimini sağlayan alternatör, enerji iletimini veya veri aktarımını sağlayan tesisatlar ve son olarak enerji tüketimine neden olan yüklerdir [1].

Alternatör içten yanmalı motordan aldığı mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren ve özel bir rotor tasarımına sahip olan senkron generatörüdür. İçten yanmalı motor çalıştığı zaman devreye girer, hem aracın aküsünü şarj eder, hem de araçtaki yükleri besler. Alternatör devrede olmadığı zaman da aracın tüm elektriksel yükleri akü üzerinden beslenir. Akü araç sistemlerinin en temel parçasıdır ve akü olmadan içten yanmalı motor çalıştırılmaz [1].

Günümüzde CO<sub>2</sub> salınımını azaltmak için çıkarılan regülasyonlar ve yakıt ekonomisinde verimliliği arttırmak için yapılan çalışmalarda araç şarj sistemlerinin de büyük bir önemi bulunmaktadır. Araç şarj sistemlerinin verimliliği artırıldığı durumda içten yanmalı motordan alternatöre aktarılan enerji azalır ve araç daha az yakıt tüketir [1,2].

Yol kamyonu, tır veya çekici, inşaat kamyonları kısaca ağır ticari araçlar binek araçlardan daha güçlü makinalar olduğundan çok fazla yakıt harcarlar ve bu araçların yakıt ekonomisinde yapılan bir iyileşme hem CO<sub>2</sub> salınımını, hem de işletme

maliyetlerini azaltacaktır. Bu çalışmada ağır ticari araçlar üzerinde durulmuş ve ağır ticari araçların şarj sistemleri modellenmiştir.

Ağır ticari araçlarda kullanılan elektrik sistemlerinin nominal çalışma gerilimi 24 V DA iken binek araçların nominal çalışma gerilimi 12 V DA'dır. Ağır ticari araçlarda bulunan içten yanmalı motorun ataleti daha fazla olduğundan, bu araçlarda kullanılan marş moturu 24 V DA olarak tasarlanmıştır. Bu yüzden tüm araç sisteminin gerilimi 24 V DA'da çalışmaktadır. Bu kapsamda ağır ticari araçlarda tasarlanan alternatörler binek araçlardan daha farklıdır. Aynı zamanda bu araçların elektrik sisteminde kullanılan akü sayısı da iki adettir. İki adet 12 V DA akü seri bağlanarak araç gerilimi 24 V DA'a yükseltilmiştir. Tüm elektriksel komponentler ve modüller 24 V DA nominal gerilimi destekleyecek şekilde çalışmaktadır.

Bu çalışma kapsamında 24 V DA nominal gerilimde çalışan ağır ticari araçların yakıt ekonomisinin ve şarj sisteminin verimini arttırmak için alternatör ve şarj yönetim sistemi geliştirilmiş ve geleneksel şarj algoritmaları ile kıyaslaması yapılmıştır.

## **1.1 Tezin Amacı**

Çalışmanın amacı belirlenmiş belirli bir sürüş senaryosu ve hava sıcaklığında, araçlarda kullanılan alternatör, akü, yük, motor devri ile beraber araç şarj sistemlerinin matematiksel modelini oluşturarak, enerji verimliliğini arttıran, yakıt tüketimini azaltan, yeni ve akıllı şarj algoritmaları geliştirerek, önerilen yeni akıllı şarj algoritmalarının geleneksel olarak kullanılan şarj algoritmasına karşı olan üstünlüklerini ortaya koymaktır.

İlk olarak bu çalışmada otomotiv sektöründe kullanılan pençe rotorlu alternatörün elektriksel ve yapısal tasarımı incelenmiş, daha sonra manyetik eş devresi çıkarılmış ve diğer generatörlere olan üstünlükleri ortaya konulmuştur. Pençe rotorlu alternatörlerin verimi 40% ile 55% arasında değişmektedir [3]. Ağır ticari araçlar uzun yollar katetmektedir veya uzun saatlar boyunca çalışmaktadır. Enerji verimliliğini arttırmak için yapılan iyileşmeler ile yakıt ekonomisinin ve araç elektriksel sisteminin verimliliğini arttırmak hedeflenmiş ve yapılan benzetim çalışması sonuçları karşılaştırmalı olarak ortaya konulmuştur.

Ağır ticari araçlarda kurşun asit akü kullanılır. Bu çalışma kapsamında kullanılan kurşun asit aküler incelenmiş ve akülerin davranışları üzerinde durulup burdan çıkan

sonuçlar çerçevesinde Şarj algoritması ŐekillendirilmiŐtir. Akünnün sıcaklıkla olan iliŐkisi ve davranışı çıkarılmıştır.

Bu alıŐma kapsamında ağır ticari araçlarda kullanılan bir adet alternatör parçalarına ayrılmış, alternatörün parametreleri belirlenmiş ve belirlenen bu parametreler yardımıyla alternatörün matematiksel modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model üzerinde araçtan alınan veriler ile beraber bir benzetim çalışması yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Kurşun asit akünnün matematiksel modelinden faydalanılmıŐ ve ağır ticari araçlarda kullanılan akü kapasitesi göz önünde bulundurularak benzetim çalışması için modellenmiştir. Akünnün modellenmesi yapılırken, sıcaklık ve ADO parametreleri bu modelin bir çıktısı olarak kullanılmıştır. ADO parametresi ise akıllı Şarj algoritması yönetilmiŐtir. Modelleme sonucu benzetim çalışması yapılmış ve farklı sıcaklarda akünnün davranışları gözlemlenmiştir.

Ağır ticari araçların işletme Şartları düşünülerek akıllı Şarj algoritmaları geliştirilmiştir. Geliştirilen akıllı Şarj algoritmaları modellenmiş ve modelleme sonucunda oluşan bloklar araç Şarj sistemlerinde kullanılmıştır. Akım ve gerilim kontrolü için PI kontrol kullanılmış ve iteratif yöntemler ile PI katsayıları belirlenmiştir.

Araçta kullanılan yükler ve içten yanmalı motorun devir hızının belirli aralıklarda modellenmesi yapılmıştır. Yapılan model ıktıları araç Şarj sisteminde kullanılmıştır.

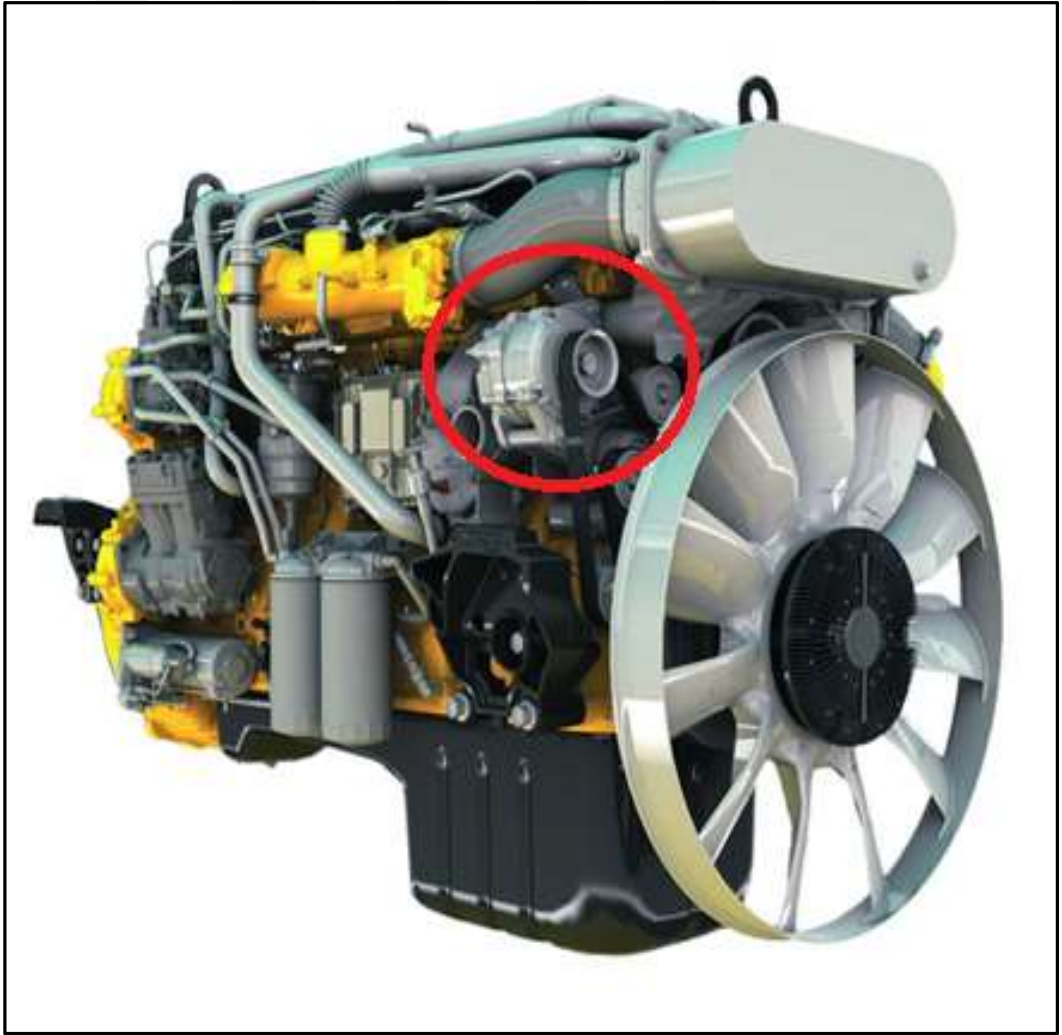
Bu kapsamda araçların alternatör, akü, yük, Şarj algoritması ve içten yanmalı motorun değişken devir modelleri çıkarılarak bu modeller bir araya getirilmiş ve araç Şarj sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan Şarj sistemi üzerinde farklı Şarj algoritmaları, işletme Şartları düşünülerek modellenmiş ve bu algoritmaların birbirlerine olan üstünlükleri karşılaştırmalı olarak çıkarılarak üstünlükleri ortaya konulmuştur.



## 2. ALTERNATÖR

### 2.1 Alternatörün Araç Şarj Sistemindeki Yeri

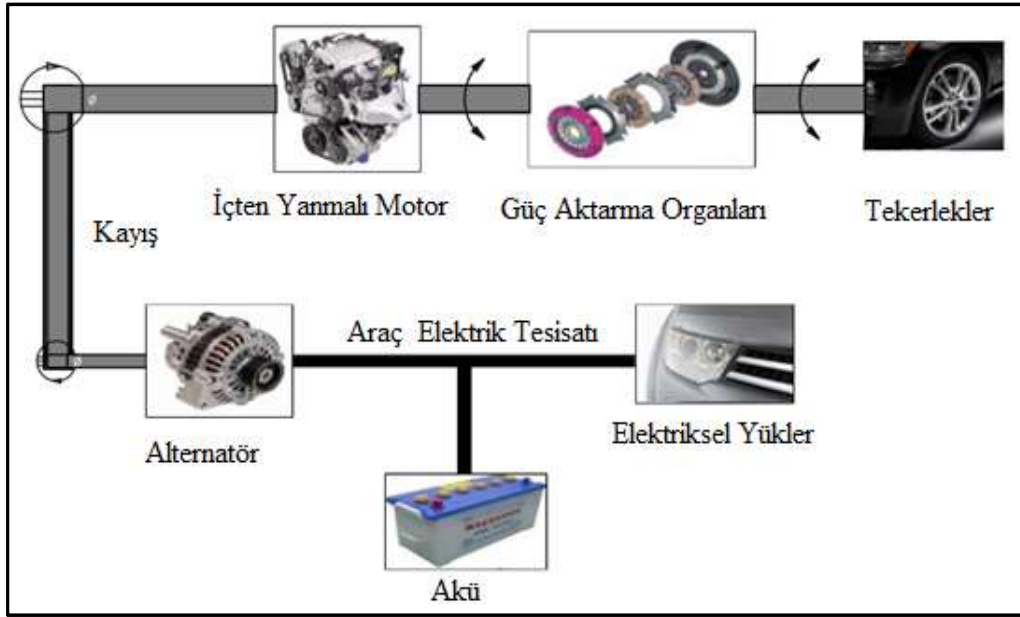
Araçlarda kullanılan alternatörler şarj sisteminin tek ve en önemli parçasıdır. Alternatör aracın elektrik enerjisini üretir. Aküleri ve yükleri besler. Alternatör, içten yanmalı motor çalıştığında enerji üretmeye başlar. Araç çalışmadığı zaman yükler akülerde depolanmış olan enerji tarafından beslenir. Araçlarda elektrik enerjisini üretmek için alternatör kullanılır. Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi alternatörler araçlarda içten yanmalı motor bloğunun üzerine monte edilir ve bir kayış yardımıyla motordaki gücün bir kısmı alternatöre, elektrik enerjisi üretmesi için aktarılır.



Şekil 2.1: Ağır ticari araçlarda kullanılan içten yanmalı motor ve alternatör [4].

Alternatör, içten yanmalı motorun dönme hızına bağlı olarak farklı hızlarda döner. Ağır ticari araçlarda motor devir hızı araç çalıştığında 550 ile 3000 devir/dk aralığında değişir. Alternatör kayışının çevrim oranı ağır ticari araçlarda motor devrinden 4 kat daha fazladır. Bu durumda alternatör rotorunun dönüş hızı 2200 ile 12000 devir/dk aralığında değişmektedir.

Alternatörün araç şarj sistemindeki yeri Şekil 2.2’de de görüleceği gibi içten yanmalı motor ile elektriksel yükler arasında bulunmaktadır. Bu sayede hem elektriksel yükleri beslerken, hem de aküyü şarj edebilmektedir.



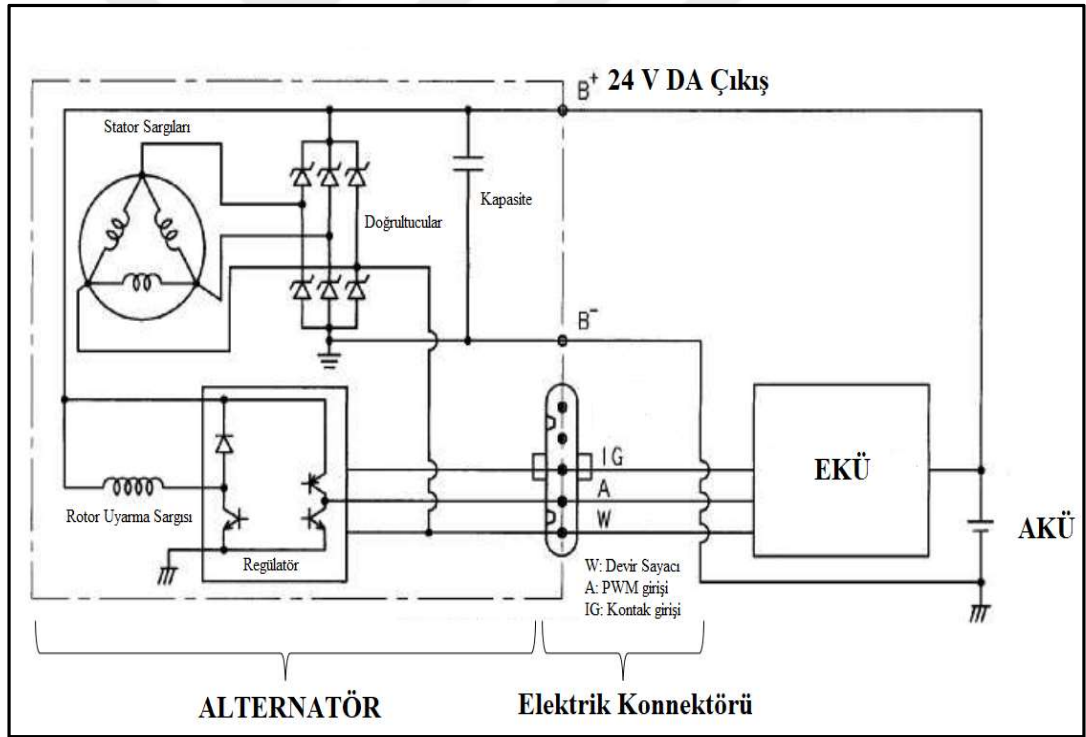
Şekil 2.2: Araç şarj sistemi ve alternatör [1].

Ağır ticari araçlarda araç sistemlerinin nominal gerilimi 24 V DA’dır. Bu yüzden ağır ticari araçlarda iki adet birbirine seri bağlanmış 12 V DA aküler bulunur. Ağır ticari araçlarda bulunan alternatörler de binek araçlarda kullanılan alternatörlerden farklıdır. Ağır ticari araçlardaki alternatörler 24V DA nominal gerilimde çalışırken binek araçlardaki alternatörler 12V DA nominal gerilimde çalışır.

## 2.2 Alternatörün İç Devre Yapısı ve Elektriksel Bağlantısı

Alternatör bir elektrik makinasıdır ve elektrik enerjisi ürettiğinden araçlarda generatör olarak çalışmaktadır. Alternatör çalışma prensibi olarak incelendiğinde bir senkron generatördür. Tüm senkron generatörlerde olduğu gibi alternatörlerde de stator ve rotor bulunur. Rotor sargılarında uyarma devresi bulunur. İçten yanmalı motorun

alternatörü tahrik etmesi ile birlikte rotor sargılarına uygulanan doğru akım ile dönen manyetik alan oluşur. Bu dönen manyetik alan stator sargılarında gerilim endükler. Senkron generatörler mekanik enerjiyi elektriksel enerjiye çevirir ve alternatif gerilim üretirler. Araç sistemlerinde doğru gerilim kullanılır ve alternatörlerde üretilen enerji alternatif olduğundan araçta bu şekilde kullanılamaz. Bu yüzden alternatörlerin içinde entegre olarak doğrultucu köprü diyotlar bulunur. Bu diyotlar ile alternatif gerilim doğru gerilime dönüştürülür ve araç sistemleri beslenir. Şekil 2.3’de alternatörün araç sistemine olan bağlantısı bulunmaktadır. Ağır ticari araçlarda kullanılan alternatörlerin statoru üçgen olarak bağlanmıştır. Stator sargılarının çıkışında 3 fazlı doğrultucu köprü diyotlar bulunur ve alternatif gerilimi doğru gerilime çevirir [1-3,5]. Bir elektronik kontrol ünitesi yardımıyla rotor uyarma sargısından akan akım değiştirilebilir ve endüklenen gerilim değerinde değişiklik yapılarak alternatörden aküye aktarılan akım değerini değiştirmek mümkündür.



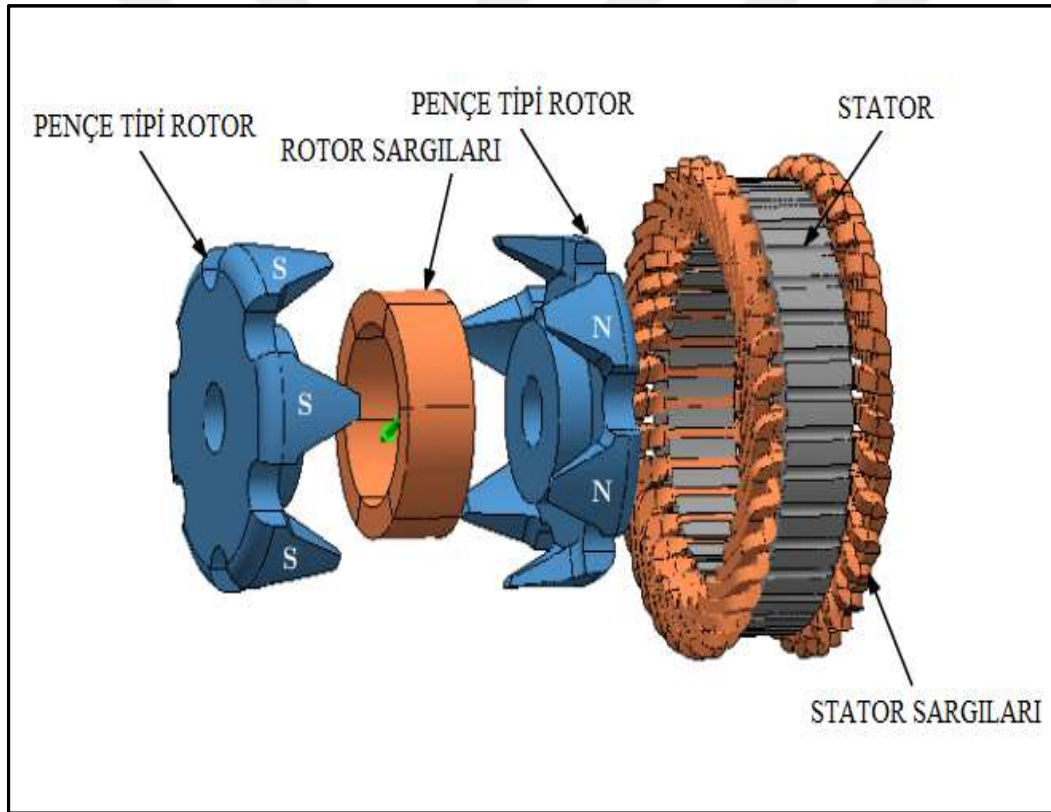
**Şekil 2.3:** Alternatörün araç sistemine bağlantısı.

Otomotivde kullanılan alternatörlerin rotor uyarma sargıları gerilim regülâtörleri ile kontrol edilir. Bir elektronik kontrol ünitesi yardımıyla gerilim regülâtörleri otomotivde kullanılan CAN ve LIN gibi haberleşme protokolleri üzerinden de kontrol edilebilir. Aynı zamanda alternatörün içinde bulunan bu regülâtörler darbe genişlik modülasyon sinyalleri ile kontrol edilir [5]. Elektronik kontrol ünitesi tarafından

alternatöre gönderilen bir darbe genişlik modülasyon sinyali ile alternatörün çıkış gerilimi değiştirilebilir.

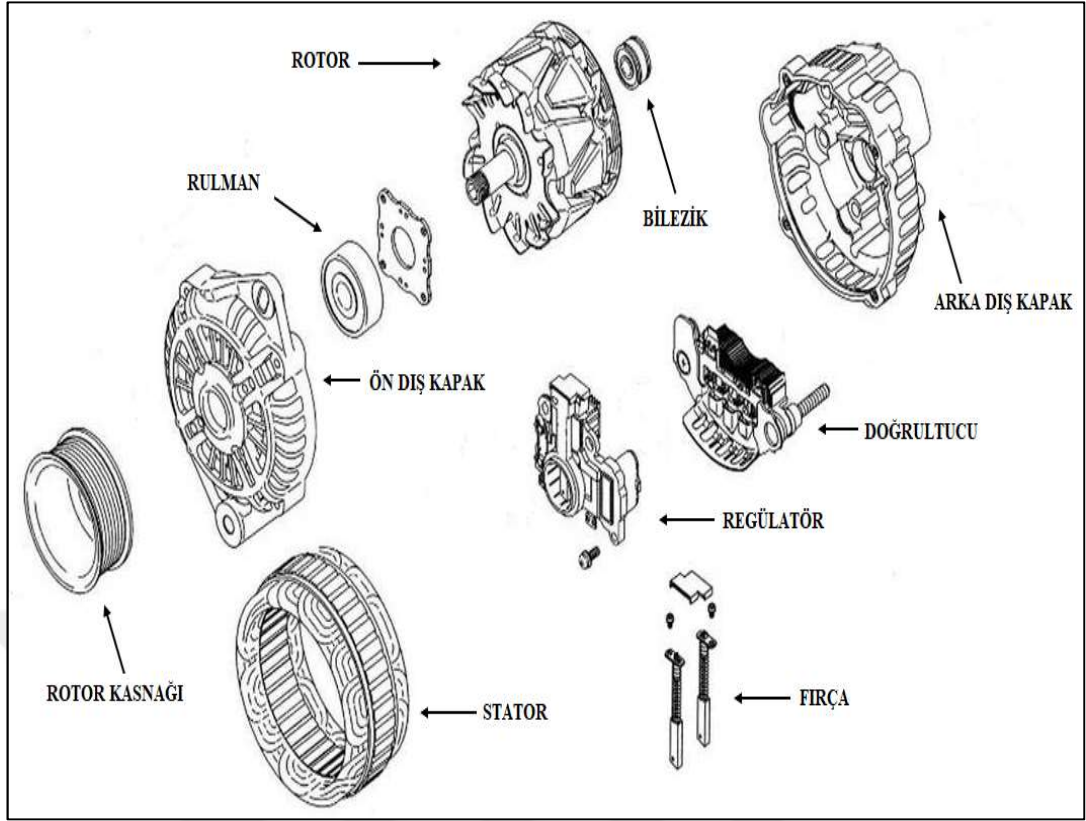
### 2.3 Alternatörün Yapısal Tasarımı

Alternatörün rotor yapısı bilinen senkron generatörlerin yapısından farklıdır. Alternatörde pençe tipi rotor kullanılır. Şekil 2.4’de otomotivde kullanılan alternatörün yapısı gösterilmektedir. Rotor sargılarının yönü çıkık kutuplu senkron generatör ve yuvarlak rotorlu senkron generatöründen farklı olarak rotorun dönme yönü ile aynı yöndedir. 12000 devir/dk gibi yüksek hızlarda rotor döndüğünden dolayı, yüksek hızlarda oluşan merkez kaç kuvvetinden sargılar etkilenmesin diye pençe kutuplu rotor kullanılır [12].



Şekil 2.4: Pençe rotorlu alternatörün parçalarına ayrılmış görünümü [6].

Alternatörün içinde gerilim regülatörü, doğrultucu devresi, bilezik, fırça, rotor kasnağı, rulman, stator ve rotordan oluşur. Şekil 2.5’de alternatör alt parçalarına ayrılmış şekli görülmektedir. Alternatör bir çok mekanik ve elektriksel parçaların birleşiminden oluşur. Rotorunda üçgen şeklinde bulunan çıkıntılara pençe denir. Bu üçgen çiftleri aynı zamanda kutup çiftidir.



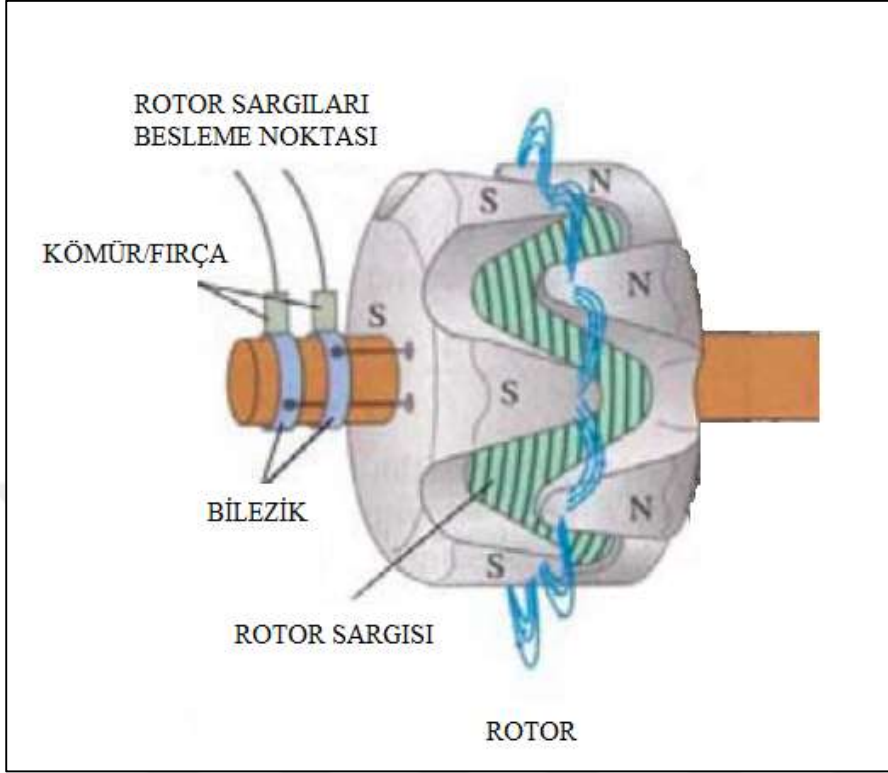
**Şekil 2.5:** Alternatörün yapısal tasarımı ve alt parçaları.

Alternatörde bulunan fırça ve bilezik yapısı ile rotorda bulunan uyarma sargıları enerjilenir. Senkron generatörlerde de fırça bilezik yapısı bulunur. Alternatörde farklı olarak Şekil 2.5’de de görüldüğü üzere regülatör ve doğrultucu devresi bulunur. Alternatör doğrultucu devre üzerinden regülatörü besler ve rotor sargılarını, statorda ilk gerilim endüklendiğinde veya alternatör ilk dönmeye başladığında, kendi kendini uyarır. Alternatör ilk enerjiyi üretmek için aküden alacağı beslemeye ihtiyaç duyar.

### 2.3.1 Alternatörün rotoru ve statoru

Pençe kutuplu rotorlar alternatör için özel olarak geliştirilmiştir. Bu rotor tipi yuvarlak rotorlu veya çıkık kutuplu senkron generatörden tamamen farklıdır. Şekil 2.6’da görüleceği üzere pençeler N ve S kutuplarını oluştururlar. Rotor sargılarının oluşturduğu manyetik akı pençelerin üzerinden hava aralığına, hava aralığından statora, statordan tekrardan hava aralığına ve son olarak karşı tarafta bulunan pençe üzerinden tekrardan rotor sargılarına geri döner. Yuvarlak rotorlu veya çıkık kutuplu senkron generatörlerde rotor sargıları, rotor dönme eksenine dik iken pençe kutuplu rotordaki sargıların dönüş yönü rotor yönü ile aynıdır. Rotorda kullanılan malzemede laminasyon bulunmamaktadır. Rotorda kullanılan malzeme döküm karbon çeliktir [7].

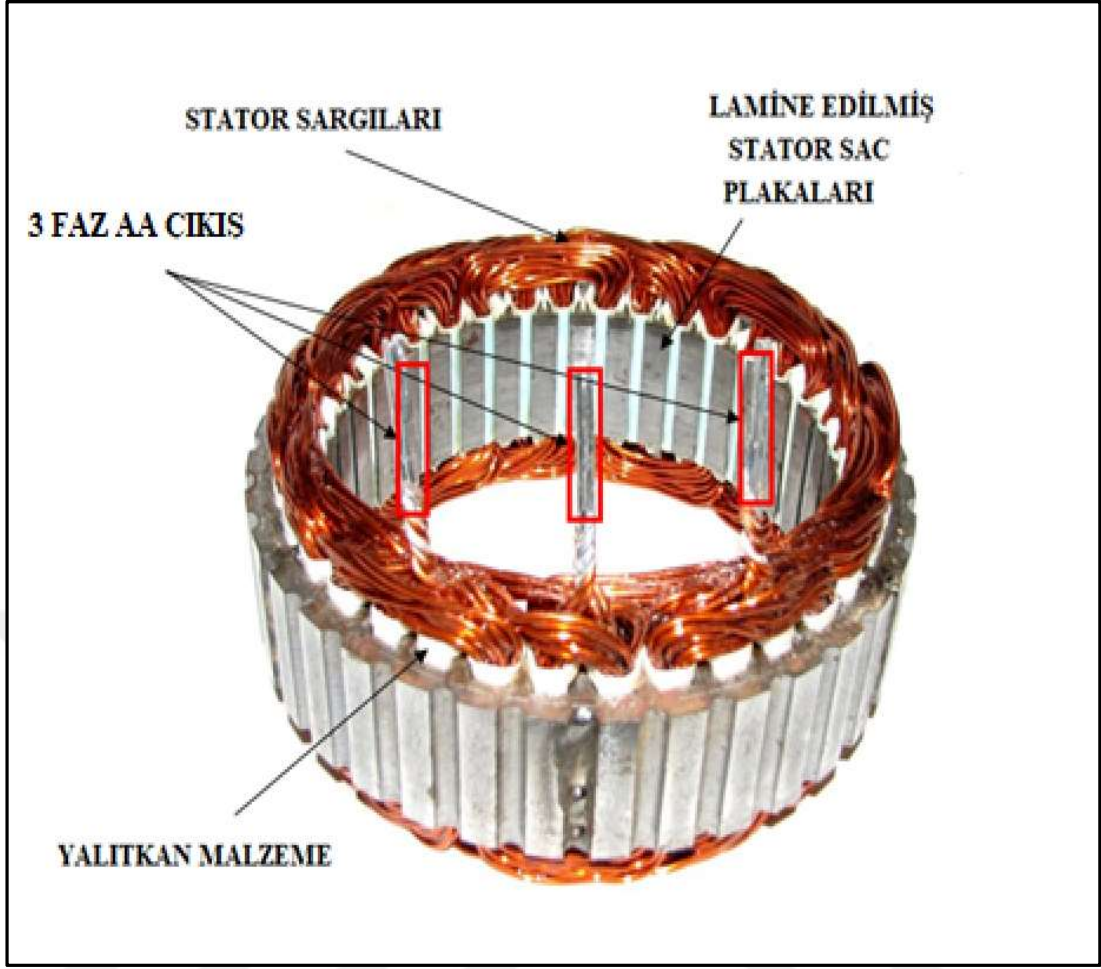
Rotor iki parçadan oluşur. Bu parçalardan 1 tanesi N kutbunu oluşturan döküm parça, diğeri S kutbunu oluşturan döküm parçadır.



Şekil 2.6: Alternatör rotoru [3,8].

Şekil 2.7’de alternatörün statoru görülmektedir. Pençe kutuplu alternatörülerin statorları laminasyon saclarının birleşmesinden oluşur. Sac plakalarının kalınlıkları 0.5 mm’dir [7]. Stator sargılarında alternatif akım endüklenir. Bu alternatif akımın meydana getirdiği manyetik alandan ötürü girdap akımı ve histerizis kayıpları oluşur. 0.5 mm kalınlığında kullanılan sacların 1 tarafı yalıtkan malzeme ile kaplanır ve bu saclardan akan akım azalır dolayısıyla girdap akımı kayıpları da azalır.

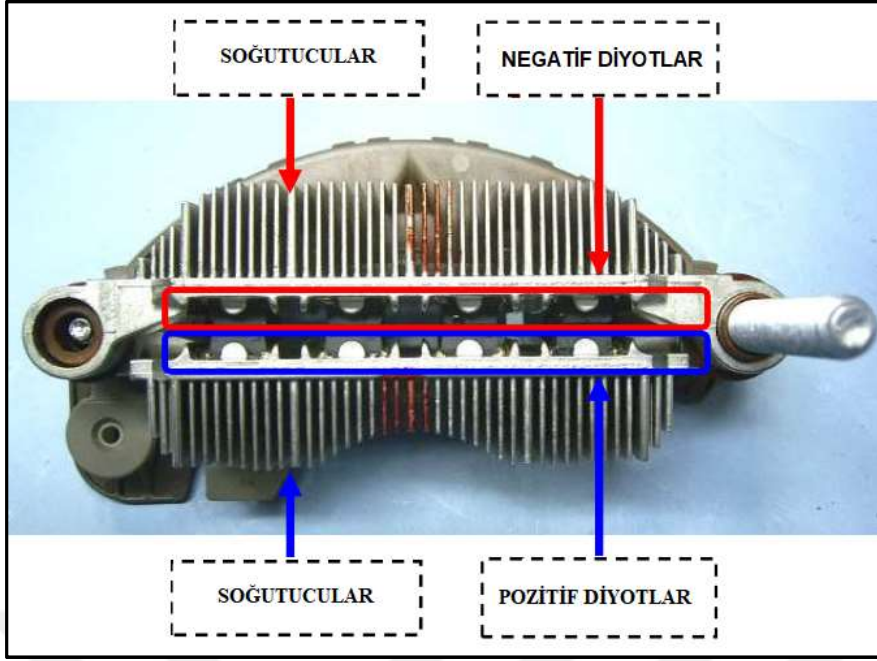
Stator oluklarının içinde stator sargı iletkeni bulunur. Bu iletkene endüvi sargısı da denir. Rotordaki uyarma sargısından akan doğru akım, manyetik alan oluşturur. Rotorun dönmesi ile stator sargılarında gerilim endüklenir. Alternatörlerin stator sargıları 3 fazlıdır. Alternatörün statorunda alternatif akım oluşur. Alternatörlerin stator sargıları yıldız veya üçgen bağlı olabilir. Stator sargıları bakır iletkenden oluşur ve lamine edilmiş sac ile stator sargıları titreşimden kısa devre olmasın diye aralarına yalıtkan bir malzeme konur. Bu makineler aracın titreşimli ortamında çalıştığı için iletken ve sac plakalar zamanla aşınabilir. Bu amaçla araya yalıtkan bir malzeme konulmuştur.



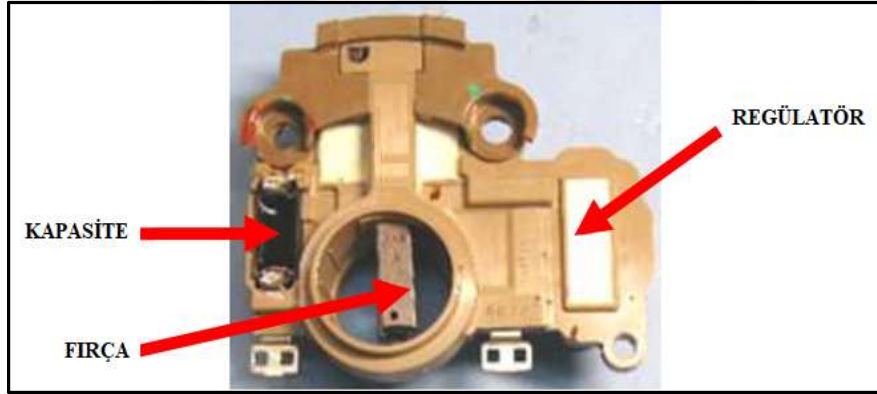
Şekil 2.7: Alternatör statoru ve sargıları [9].

### 2.3.2 Alternatörün doğrultucu devresi, gerilim regülatörü ve diğer parçaları

Alternatör senkron generatör olarak alternatif gerilim üretir fakat araç sistemleri doğru gerilim ile çalışmasından ötürü endüklenen alternatif gerilimin doğrultulması gerekmektedir. Şekil 2.8’de görüldüğü üzere 3 fazlı köprü doğrultucu diyotlar, alternatörün içinde bulunmaktadır. Şekil 2.8’de görüldüğü üzere diyotlar alüminyum soğutucular yardımıyla soğumaktadır ve rotor döndükçe soğutucuların içinden hava akımı geçmektedir. Bu sayede ısınan diyotlar soğumaktadır. Ağır ticari araçlarda kullanılan alternatörlerin nominal çıkış akımı çoğunlukla 130 A’dır. 24 V nominal doğru gerilim ve 130 A nominal akım üreten bir alternatörün doğrultucu diyotlarında yüksek güç ve enerjiden dolayı ısı oluşur. Bu ısı soğutucular yardımıyla düşer. Şekil 2.8’de görüldüğü üzere negatif ve pozitif iletimde olan diyotlar ve üzerlerinde bulunan soğutucular paylaşılmıştır. Şekil 2.9’da da alternatörün içinde bulunan regülatör, kapasite ve fırça görülebilir. Bu parçalar alternatörün içinde bulunur. Fırça bilezik yardımıyla rotor sargılarını besler.



Şekil 2.8: Alternatörün 3 fazlı köprü doğrultucusu.



Şekil 2.9: Alternatör regülatörü, fırça ve kapasitesi.

Alternatörün içinde bulunan regülatör bir EKÜ yardımıyla sürülür ve alternatörün çıkışında verilmesi istenilen gerilim değerini ayarlar. Regülatör, alternatör dönmeye başladıktan sonra köprü doğrultucu diyotlar üzerinden beslenir ve rotor uyarma sargılarını besler.

#### 2.4 Alternatörün Manyetik Eş Değer Devresi

Alternatör bir senkron generatör olduğundan statorda endüklenen gerilimi denklem (2.1)'deki gibi ifade edebiliriz. Alternatörün yüksüz ise statorda endüklenen gerilim çıkış gerilimine eşittir. Denklem (2.1)'de yüksüz durumda statorda endüklenen gerilim ifadesi verilmiştir [10].

$$E_1 = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f \cdot N_1 \cdot k_{w1} \cdot \phi_1 \quad (2.1)$$

$E_1$ : Statorun, bir fazında endüklenen gerilim [V],  $f$ : frekans [Hz],  $N_1$ : bir fazdaki stator sarım sayısı,  $k_{w1}$ : sargı faktörü,  $\phi_1$ : stator akısı[Wb]'dir.

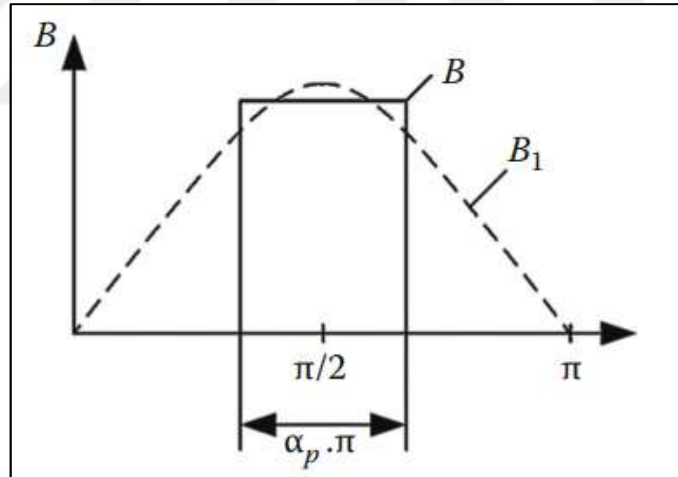
Statorda akan akı denklem (2.2)'deki gibi ifade edilir;

$$\phi_1 = B_1 \cdot A \quad (2.2)$$

$B_1$ : Hava aralığı manyetik alan yoğunluğu[Wb/m<sup>2</sup>] ve  $A$ : akının aktığı alanı ifade eder. Statordan akan akının şiddeti ve alanı denklem (2.3)'deki gibi ifade edilir.  $\tau$ : kutup adım aralığı,  $l_s$ : stator uzunluğudur.

$$\phi_1 = B_1 \cdot A = B_1 \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \tau \cdot l_s \quad (2.3)$$

[10]'da ideal ve yüksüz durumda hava aralığındaki akı yoğunluğu Şekil 2.10'daki gibi ifade edilmiştir.



**Şekil 2.10:** Alternatör yüksüz durumda hava aralığı manyetik alan yoğunluğu [10].

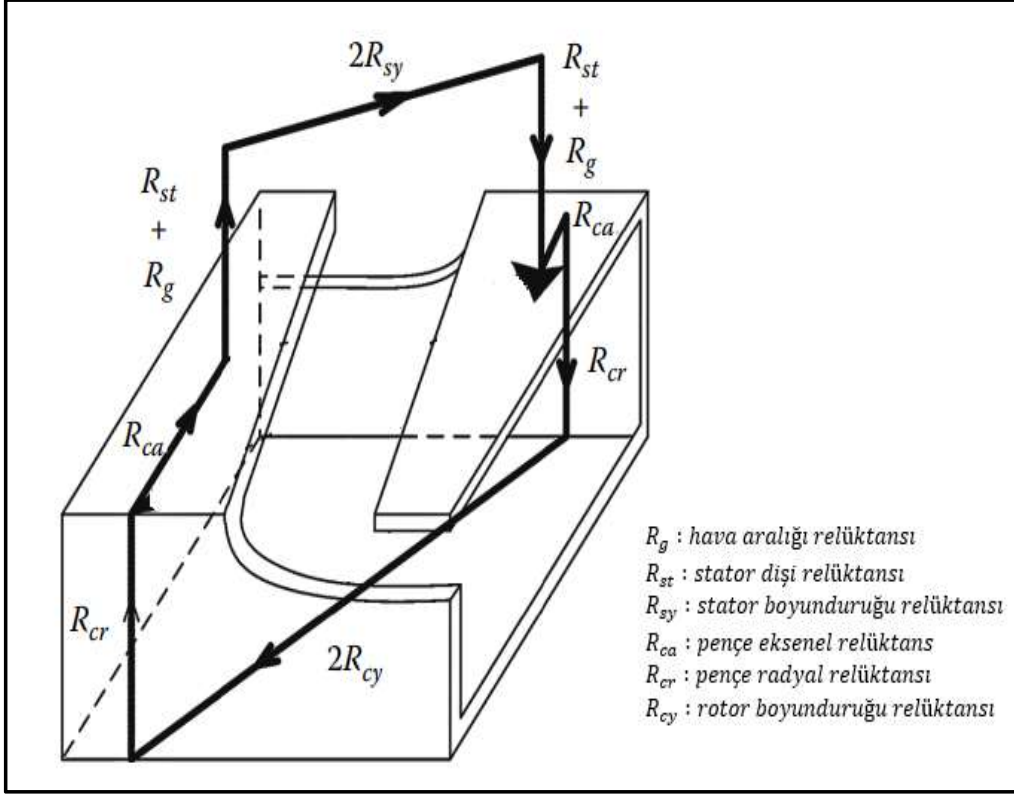
$\alpha_p$ : Rotor pençe aralığıdır. Ortalama rotor pençe açıklığı ile hesaplanan dikdörtgen dağılım  $B$ ,  $B_1$  hava boşluğunda temel ve ideal akı yoğunluğunu oluşturur. Bu alanlar birbirini cinsinden denklem (2.4)'teki gibi ifade edilir [10].

$$B_1 = \frac{4}{\pi} \cdot B \cdot \sin\left(\alpha_p \frac{\pi}{2}\right) = K_{\alpha_p} \cdot B \quad (2.4)$$

Manyetik akı yoğunluğu, manyetik akı cinsinden denklem (2.5)'teki gibi ifade edilir.

$$\phi_1 = K_{\alpha_p} \cdot \phi = \frac{4}{\pi} \cdot \sin(\alpha_p \frac{\pi}{2}) \cdot \phi \quad (2.5)$$

Rotordaki sargının sarım sayısı ve üzerinden geçen akım magneto motor kuvvetini oluşturur. Manyetik akının izlediği yol aşağıdaki Şekil 2.11’de paylaşılmıştır. Şekil 2.11’de de görüldüğü gibi manyetik akı iki defa hava aralığından geçer.



**Şekil 2.11:** Relüktans ve manyetik akının kutuplar arası izlediği yol [10].

Şekil 2.11’den yola çıktığımızda magnetomotor kuvvet için denklem (2.4)’teki ve denklem (2.5)’teki manyetik alan yoğunluğu ve manyetik alan ifadesi kullanılarak aşağıdaki denklem (2.6)’da olduğu gibi ifade edilir. Akı değerini en fazla etkileyen değer hava aralığı relüktansı olduğundan diğer relüktanslar değerleri ihmal edilmiştir.

$$F_{10} = \phi_1 \cdot R_g = \phi \cdot K_{\alpha_p} \cdot R_g \quad (2.6)$$

Magnetomotor kuvveti rotor uyarma akımı  $I_r$  ve rotor sargısı  $N_r$  cinsinden denklem (2.7)’deki gibi ifade edilir;

$$2 \cdot F_{10} = N_r \cdot I_r \cdot K_{\alpha_p} = 2 \cdot \phi_1 \cdot R_g \quad (2.7)$$

Bu durumda manyetik akı denklem (2.8)’deki gibi ifade edilir.

$$\Phi_1 = \frac{N_r \cdot I_r \cdot K_{\alpha_p}}{2 \cdot R_g} \quad (2.8)$$

Pençe kutuplu alternatörün manyetik hava aralığı relüktansı  $R_g$ 'nin carter katsayısı  $K_c$  ile aşağıdaki gibi ifade edebiliriz [10].  $g$  stator ile rotor arasındaki hava aralığı olarak ifade edilmiştir.

$$R_g = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{g \cdot K_c}{\alpha_p \cdot \tau \cdot l_s} \quad (2.9)$$

Denklem (2.9)'da elde ettiğimiz ifadeyi denklem (2.8)'de yerine koyacak olursak;

$$\Phi_1 = \frac{N_r \cdot I_r \cdot K_{\alpha_p} \cdot \mu_0 \cdot \alpha_p \cdot \tau \cdot l_s}{2 \cdot g \cdot K_c} \quad (2.10)$$

Denklem (2.10)'daki ifadeyi elde ederiz. Denklem (2.4) ve (2.5)'deki  $K_{\alpha_p}$  katsayısını denklem (2.10)'da yerleştirdiğimizde aşağıdaki ifadeyi elde ederiz.

$$\Phi_1 = \frac{N_r \cdot I_r \cdot 4 \cdot \sin(\alpha_p \cdot \frac{\pi}{2}) \cdot \mu_0 \cdot \alpha_p \cdot \tau \cdot l_s}{2 \cdot g \cdot K_c \cdot \pi} \quad (2.11)$$

Senkron makinalarda elektriksel açısal hız;  $w_e$ , ile geometrik açısal hız;  $w_g$ , arasında kutup sayısı ile orantılı bir ilişki vardır. Kutup sayısı arttıkça elektriksel açısal hız da artar. Bu aradaki ilişkiyi kutup çifti sayısı  $p$  ile denklem (2.12)'deki gibi ifade edilir;

$$w_e = w_g \cdot p \quad (2.12)$$

Elektriksel açısal hızı , frekansı ile denklem (2.13)'teki gibi ifade edilir;

$$2 \cdot \pi \cdot f = w_g \cdot p \quad (2.13)$$

Bu durumda frekansın değeri denklem (2.14)'teki gibi elde edilir.

$$f = \frac{w_g \cdot p}{2 \cdot \pi} \quad (2.14)$$

Frekans kutup çifti sayısı ile doğru orantılıdır. Pençe rotorlu alternatörün kutup çifti sayısı arttıkça frekans da benzer şekilde artar. Denklem (2.11) ile (2.14)'te elde edilen ifadeler denklem (2.1)'deki yerlerine konulursa denklem (2.15)'teki gibi yüksüz durumda endüklenen gerilim ifadesi elde edilir.

$$E_1 = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{w_g \cdot p}{2 \cdot \pi} \cdot N_1 \cdot k_{w1} \cdot \frac{N_r \cdot I_r \cdot 4 \cdot \sin\left(\alpha_p \cdot \frac{\pi}{2}\right) \cdot \mu_0 \cdot \alpha_p \cdot \tau \cdot l_s}{2 \cdot g \cdot K_c \cdot \pi} \quad (2.15)$$

Denklem (2.15)'deki alternatöre ait değişmeyen mekanik tasarım parametreleri bir araya getirilir ve aşağıdaki denklem (2.16)'daki gibi düzenlenir.

$$E_1 = \left( \pi \cdot \sqrt{2} \cdot N_1 \cdot k_{w1} \cdot \frac{N_r \cdot 4 \cdot \sin\left(\alpha_p \cdot \frac{\pi}{2}\right) \cdot \mu_0 \cdot \alpha_p \cdot \tau \cdot l_s}{2 \cdot g \cdot K_c \cdot \pi} \right) w_g \cdot I_r \quad (2.16)$$

Denklem (2.16)'da parantez içindeki ifade alternatörün mekanik tasarım parametrelerinden oluşur ve sabit bir katsayı değeri alır. Bu ifadeye alternatör katsayısı;  $K_a$ , olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$K_a = \left( \pi \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{p}{2 \cdot \pi} \cdot N_1 \cdot k_{w1} \cdot \frac{N_r \cdot 4 \cdot \sin\left(\alpha_p \cdot \frac{\pi}{2}\right) \cdot \mu_0 \cdot \alpha_p \cdot \tau \cdot l_s}{2 \cdot g \cdot K_c \cdot \pi} \right) \quad (2.17)$$

Denklem (2.16) ile (2.17)'yi birleştirdiğimizde yük olmadığı durumda endüklenen gerilimin alternatörün açısal hızı ve rotordaki uyarma akımı ile doğru orantılı olarak değiştiği görülecektir.

$$E_1 = K_a w_g \cdot I_r \quad (2.18)$$

Denklem (2.18)'de elde edilen ifade içten yanmalı motorun dönüş hızı, rotor uyarma akımı doğru orantılıdır ve bu değerler değiştirilerek alternatörün çıkış gerilimi kontrol edilebilir.

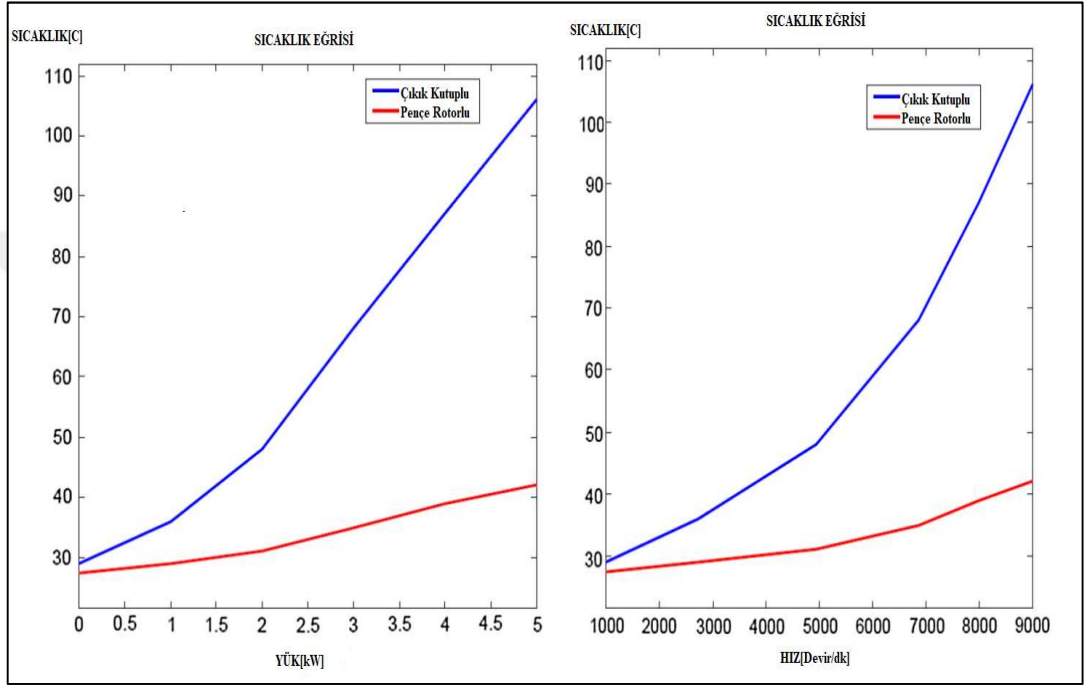
## 2.5 Alternatörün Diğer Senkron Makinalar ile Karşılaştırılması

Pençe rotorlu alternatör, yaygın olarak kullanılan çıkık kutuplu veya yuvarlak rotorlu generatörler gibi elektrik enerjisi üretir. Otomotivde çıkık kutuplu senkron generatör yerine veya yuvarlak rotorlu senkron generatör yerine pençe rotorlu alternatör kullanılmasının nedenleri vardır.

Pençe rotorlu alternatörler çıkık kutuplu senkron generatörlere göre daha fazla güç üretirler [11]. Çıkık kutuplu senkron generatörler daha düşük hızlarda çalışmak için tasarlanmıştır ve yüksek hızlarda çıkık kutuplu senkron generatörler kısa süre içinde

çok daha fazla ısınır. Ayrıca çıkık kutuplu generatörlerin rotor çapları büyük ve aksel olarak boyları kısadır. Bu makinelerin çıkış güçleri girdap akımı kayıplarından dolayı ısıya dönüşür. Bu da kısa süre içerisinde ısınmasına neden olur [11].

Şekil 2.12’de, [12]’de yapılan çalışmanın karşılaştırması bulunmaktadır. Bu noktada pençe rotorlu alternatörün ısınması, çıkık kutuplu senkron generatöre göre yüksek hızlarda daha azdır ve yük arttıkça sıcaklığının da daha az arttığı belirtilmiştir.



**Şekil 2.12:** Çıkık kutuplu rotor ile pençe rotorun karşılaştırılması [12].

Stator bobinin ucundaki çok sayıda elektrik iletkeni, statora giren soğutma havasının akış yönü ile kesişen bir yönde uzanır, böylece soğutma havası, bobin ucunun elektrik iletkenleri boyunca akar [13]. Bu da diğer elektrik makinelerine oranla daha iyi bir soğuma sağlar.

Pençe rotorlu alternatörler, çıkık kutuplu senkron generatörlerden ve yuvarlak rotorlu senkron generatörden daha fazla hava aralığına sahip olduklarından dolayı içeriye daha fazla hava alır ve bu durum soğuma avantajı yaratır fakat yüksek doyma ve yüksek manyetik kayıplardan dolayı pençe rotorlu alternatörlerin verimleri düşüktür [11,14].

Pençe rotorlu alternatörler çok yüksek hızlarda dönerler ve yüksek hızlarda döndüklerinden rotorda merkezkaç kuvveti oluşur. Merkezkaç kuvvetinden dolayı rotor, yekpare ve katı olarak üretilir çünkü merkez kaç kuvvetine karşı daha fazla dirençlidir [12,15].

Şekil 2.13’de farklı rotor yapısına sahip olan alternatör tipleri ürettikleri maksimum güce göre kıyaslanmıştır.  $K_{wf}$  sargı faktörü,  $p$  kutup çifti sayısı olmak üzere yapılan kıyaslamada çizelgeden de anlaşılacağı üzere pençe rotorlu alternatör en fazla gücü üreten generatördür, ikinci olan eşkutuplu generatör iken üçüncü ve sonuncu olan generatörler sırasıyla çıkık kutuplu ve yuvarlak rotorlu olanlardır. [16].

Aynı yükte en fazla gücü veren alternatör pençe rotorlu alternatör olduğundan tercih edilir [16].

Pençe rotorlu alternatörler genelde  $2p=12$  kutuplu veya  $p=6$  kutup çifti olarak tasarlanır. Alternatörde bulunan tüm parametreleri aynı tutmamız durumunda ve sadece kutup sayısını arttırmamız durumunda yüksek hızlarda frekans artmasından dolayı demir kayıpları ve girdap akımı kayıpları artar ve verimliliği düşer fakat ağır ticari araçlarda veya otobüslerde bulunan içten yanmalı motor binek araçlardaki kadar yüksek devirli olmadığından kutup sayısı daha fazla güç elde etmek için tercih edilebilir [10].

| ALTERNATÖR TİPLERİ | YUVARLAK ROTORLU | ÇIKIK ROTORLU | PENÇE ROTORLU  | EŞKUTUPLU         |
|--------------------|------------------|---------------|----------------|-------------------|
| YUVARLAK ROTORLU   | 1                | $1/k_{wf}^2$  | $p^2/k_{wf}^2$ | $p^2/(2k_{wf}^2)$ |
| ÇIKIK ROTORLU      |                  |               | $p^2$          | $p^2/2$           |
| PENÇE ROTORLU      |                  |               | 1              | $1/2$             |
| EŞKUTUPLU          |                  |               |                | 1                 |

Şekil 2.13: Güçlerine göre farklı alternatörlerin kıyaslanması [16].

### 3. AKÜ

Tüm araçlar elektrik enerji ihtiyacını akülerden karşılar. Aküler araçların enerji deposudur. Alternatör çalışmaya başladığında aküye enerji aktarır ve aküleri doldurur. Aküler olmadan araçlardaki hiç bir fonksiyon çalışmaz. Günümüzde kullanılan araçların çalışması için ilk hareketi marş motoru üzerinden alması gerekmektedir. Araçlar marş motoru üzerinden ilk hareketi almak için aküden enerji alırlar. Araçlarda bulunan EKÜ'ler ve yükler aküden enerji alır ve araçtaki fonksiyonların çalışmasını sağlar. Ağır ticari araçlarda iki adet akü bulunur ve bu aküler birbirlerine seri olarak bağlanırlar. Her bir nominal gerilimi 12 V DA olan bu aküler seri bağlandığında aracın nominal gerilimi 24 V DA olur. İçten yanmalı motorlu araçlarda kullanılan aküler kurşun asit akülerdir [17].

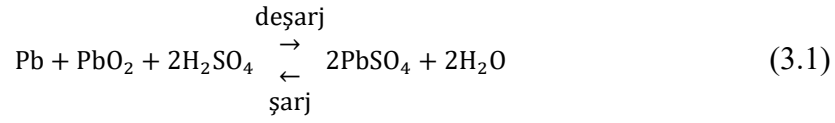
#### 3.1 Kurşun Asit Akü

Kurşun asit aküler 1859 yılında Gaston Planté tarafından ilk olarak icat edilmiş olup daha sonrasında 160 yıl boyunca geliştirilerek bir çok alanda kullanılmıştır. Kurşun asit akünün bir çok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajları yüksek akım kapasiteli, hızlı şarj olabilen, yüksek adetlerde kolay ve ucuza üretilen bir aküdür. Bunun yanında kg başına verdiği enerji düşük olduğundan dolayı ağırdır ve içinde bulunan kurşundan dolayı çevre dostu değildir. Otomotiv sektöründe içten yanmalı motorlu araçlarda kurşun asit akü kullanılır. 2010 yılında tahmin edilen yıllık pazar payı 38 milyar dolardır. Kurşun asit akülerin kullanılmasının en önemli nedeni hızlı şarj olması, marş anında yüksek akım kapasitesi sağlaması ve anlık yüksek güçleri karşılamasıdır. Bunun yanında bakımı kolaydır [17].

#### 3.2 Kurşun Asit Akülerin Yapısı ve Elektrokimyasal Tepkime

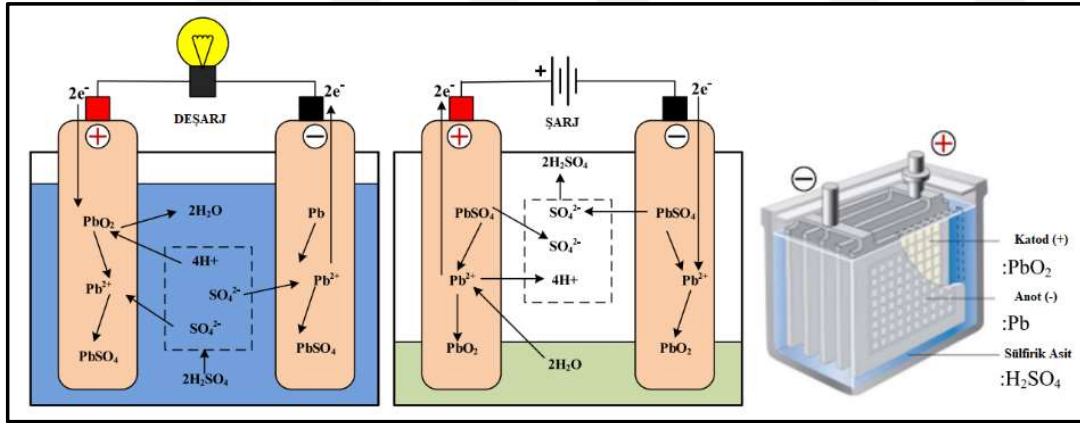
Kurşun asit aküler hücrelerden oluşur. Her bir hücre nominal 2 V gerilim sağlar ve bu hücreler pozitif ve negatif elektrodlardan oluşur. Kurşun oksit ( $PbO_2$ ) pozitif elektrodu oluştururken, kurşun (Pb) ise negatif elektrodu oluşturur. Pozitif ve negatif elektrodlar arasına çoğunlukla üç birim su ( $H_2O$ ) ve bir birim sülfirik asit konur ( $H_2SO_4$ ) [17].

Kurşun asit akü tamamen kimyasal tepkime sonucu elektronlar hareketleri ile şarj ve deşarj olur. Tepkime denklem (3.1)'de ifade edilmiştir [18].



Akü deşarj durumundayken denklem (3.1)'de belirtildiği gibi reaksiyona girer. Sülfirik asit iyonlarına ayrılır ve hidrojen atomları ( $\text{H}^+$ ), pozitif elektroda başka bir ifade ile kurşun oksite yönelir. Sülfat iyonları ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ise tam tersi yönden negatif elektroda, kurşun tabakaya yönelir.

Hidrojen atomlarının kurşun oksit ile olan tepkimesi konusunda su ( $\text{H}_2\text{O}$ ) oluşur. Bu sırada kurşun ile sülfat tepkimeye girer ve katod plakasında kurşun sülfat oluşur ( $\text{PbSO}_4$ ). Aynı şekilde sülfatın anotta kurşun ile tepkimesi sonucunda kurşun asit oluşur ( $\text{PbSO}_4$ ) [19]. Bu sayede iki plaka arasında elektriksel olarak elektronun dengesi bozulur ve plakalar arasında bir potansiyel oluşur. Şekil 3.1'de tepkimelerin nasıl oluştuğu ve akü plakaları gösterilmiştir. Bu plakalar arasına bir yük bağlanması durumunda bu yük üzerinden bir akım akar. Bu akım ile akü deşarj durumuna geçer.



Şekil 3.1: Akü hücrelerinin deşarj ve şarj tepkimeleri [18].

Akü şarj durumundayken harici olarak bağlanan bir güç kaynağı yardımıyla şarj başladığında hidrojen atomları katotta bulunan sülfat ile tepkimeye girer ve daha önceden katod plakasında bulunan kurşun sülfatı kurşun oksite çevirmeye başlar. Bu tepkime sonucunda sülfirik asit oluşur. Benzer şekilde anotta bulunan kurşun sülfat, şarj durumunda üzerinde bulunan sülfat iyonlarını bırakır ve bu iyonlar hidrojenle birleşmesi sonucu sülfirik asit tekrardan oluşur. Akülerin anot plakası tekrardan kurşuna döner [18,19].

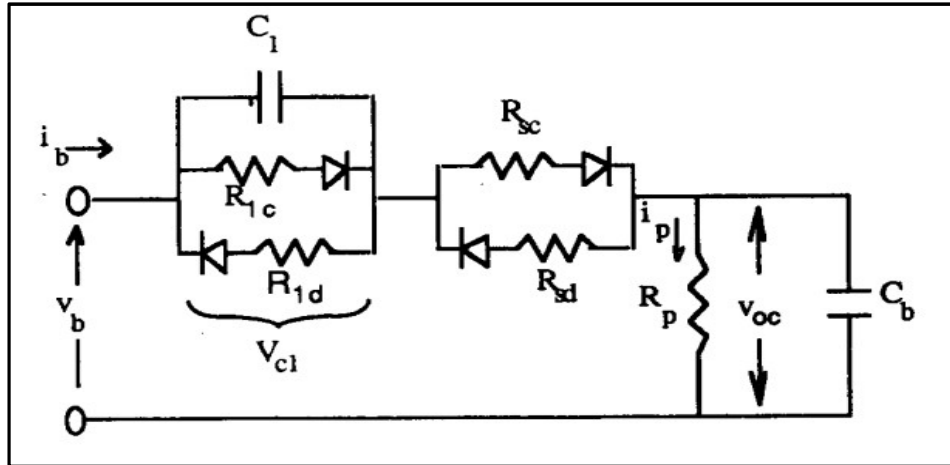
### 3.3 Akünün Eşdeğer Devresi

Bölüm 3.2’de akünün kimyasal tepkimelere bağlı olarak nasıl deşarj ve şarj olduğunu ifade edilmişti. Akülerin şarj ve deşarj olduklarında farklı karakteristikler gösterirler. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda akünün Thevenin devre modeli aşağıda Şekil 3.2’de olduğu gibi ifade edilebilir [20]. Çizelge 3.1’de de kısaltmalar mevcuttur.

**Çizelge 3.1:** Kurşun asit akü eşdeğer devre elemanlarının açıklamaları.

| Sembol   | Açıklama                   | Sembol   | Açıklama                   |
|----------|----------------------------|----------|----------------------------|
| $C_1$    | Aşırı gerilim kapasitesi   | $C_b$    | Akü kapasitesi             |
| $i_b$    | Akım kaynağı               | $i_p$    | Paralel akım               |
| $R_{1c}$ | Aşırı gerilim şarj direnci | $R_{1d}$ | Aşırı gerilim deşarj akımı |
| $R_p$    | Akü iç direnci             | $R_{sc}$ | Akü şarj direnci           |
| $R_{sd}$ | Akü deşarj direnci         | $V_b$    | Akü gerilimi               |
| $V_{oc}$ | Akü açık devre gerilimi    | $V_{c1}$ | Aşırı gerilim              |

Şekil 3.2’den de anlaşılacağı üzere akü şarj ve deşarj anında farklı direnç karakteristikleri gösterir. Akü şarj ve deşarj direnç değerleri farklı olmasından ötürü önlerine ideal bir diyot konur. Bu diyotların amacı akım yönüne göre hangi direncin üzerinden akım geçeceğini belirlemek içindir. Şekil 3.2’de bir nokta daha da önemlidir. Akü kapasitesine bağlı bir iç direnç bulunmaktadır. Bu iç direnç akü açık devre olsa bile sürekli olarak kapasiteyi boşaltmaktadır [20]. Akülerin kullanılmadığı durumda şarj oranlarının azalmasının nedeni bu iç direnç ile eşdeğer devrede modellenmiştir.



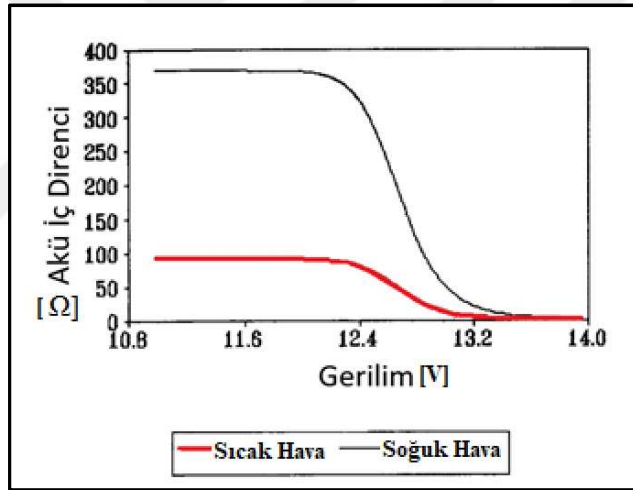
**Şekil 3.2:** Kurşun asit akü eşdeğer devresi [20].

Akü iç direnci akü şarj oldukça artar ve bu sayede akü doluluk oranı arttıkça iç direnç ( $R_{sc} + R_p$ ) artışından dolayı aldığı şarj akımı azalır, benzer şekilde akü deşarja geçtiğinde eşdeğer devrede olduğu gibi farklı ( $R_{sd} + R_p$ ) direnci artış gösterir. Bu yüzden akü deşarj oldukça dışarıya verdiği akım zamanla azalır [20].

### 3.3.1 Akünün sıcaklık değişimindeki karakteristiği

Akü kimyasal tepkime sonucunda anot ve katot arasında bir potansiyel fark oluşturmaktadır. Bu potansiyel fark sayesinde akü enerji depolar veya enerji üretir.

[20]'de yapılan çalışmada soğuk havalarda akünün iç direnç değerinin arttığı görülmüştür, hava sıcaklığı arttıkça iç direnç küçülmektedir. Şekil 3.3'de iç direncin sıcak ve soğuk havadaki değişimi bulunmaktadır. Akü soğuk havalarda daha yavaş boşalırken sıcak havalarda daha hızlı boşalır. Bu yüzden aküleri kullanmadan önce soğuk ortamlarda bekletirler.



Şekil 3.3: Akü iç direncinin geriliminin sıcaklıkla değişim grafiği [20].

[21]'de yapılan bir çalışmada hava sıcaklığı 25° C'den fazla olması durumunda akünün kapasitesinin arttığı fakat ömrünün azaldığı benzer bir şekilde de sıcaklığın 25° C'den az olduğu durumlarda akünün kapasitesinin azaldığı fakat ömrünün arttığı ortaya konulmuştur.

Akü içindeki kimyasal bileşenler sıcak havalarda daha fazla tepkimeye girdiğinden akünün kapasitesi artar. Hava soğudukça kimyasal tepkimeler azaldığından ötürü soğuk havalarda akünün kapasitesi azalır. Akü çok hızlı deşarj edilirse de kapasitesi azalacaktır. Akülerin hızlıca deşarj edilmemesi durumunda kapasitesileri daha uzun olur ve artar [21].

### 3.4 Akü Durumları ve İfadeleri

Akülerin kullanım, sağlık ve fonksiyoneliyetini belirtmek için kullanılan durumlar veya ifadeler bulunmaktadır. Bu ifadeler deşarj derinliği, şarj durumu, enerji durumu, sağlık durumu ve fonksiyoneliyet durumu. Bu ifadeler yardımıyla akünün durumunu anlaşılır ve bu verileri kullanarak akünün sağlık durumuna göre koruma algoritmaları oluşturulacaktır.

#### 3.4.1 Deşarj derinliği

Deşarj derinliği (DD) aküden çıkarılan enerji oranı için tanımlanmış bir ifadedir. Yüzdesel olarak ifade edilir. Akünün nominal kapasitesine oranla ne kadar kapasitesinin kullanıldığını ifade etmek için kullanılır.  $I_d$ , deşarj akımı, zamanla aküden harcanan akımı ifade eder ve  $t$  anında kapasiteden harcanan akım aşağıdaki denklem (3.2)'deki gibi ifade edilir.

$$DD = \frac{\int_0^t i_d \cdot dt}{Kapasite} \quad (3.2)$$

#### 3.4.2 Akü doluluk oranı

Benzer şekilde akünün kalan kapasitesini ifade etmek için akü durumu (AD) kullanılır. Akünün kapasitesini ifade eder. Benzer bir şekilde akünün doluluk oranını da burdan öğrenebiliriz. AD,  $i_c$  şarj akımı cinsinden denklem (3.3)'teki gibi ifade edilir [17].

$$AD = \frac{\int_0^t i_c \cdot dt}{Kapasite} \quad (3.3)$$

#### 3.4.3 Akü sağlık durumu

Bu ifade aküdeki aşınma ve yıpranmayı anlamak için kullanılır. Aküyü tamamen deşarj etmemiz durumunda elde edilen kapasite ile akünün nominal kapasitesine oranı olarak da ifade edilebilir. Akü sağlık durumu denklem (3.4)'teki gibi ifade edilir. Bu ifade yardımıyla zamanla akü şarj ve deşarj çevrimlerinde oluşan iç dirençteki bozulma ortaya çıkar. Akü iç direncinin bozulması denklem (4.3)'deki gibi ifade edilir. Bir sensör yardımıyla alınan bu değer ile araçlardaki akünün ömrü ile ilgili olarak kestirim yapılması mümkün olup algoritma geliştirmek için kullanılabilir.

$$AD[\%] = \frac{\text{Deşarj Kapasitesi}}{\text{Nominal Kapasite}} \quad (3.4)$$

#### 3.4.4 Akü fonksiyon durumu

Bu ifade akünün bir sonraki süre içerisinde görevini yerine getirip getiremeyeceğini anlamak için kullanılan bir ifadedir. Akü fonksiyon durumunu farklı bir dille ifade etmek gerekirse, otomotivde marş motoru çalıştığında aküden anlık olarak yük yüksek akım çeker. Bunun nedeni marş motorunun içten yanmalı motora ilk hareketi vermesidir. Eğer akünün fonksiyon durumu iyi değilse marş için ihtiyaç duyulan akımı sağlayamaz ve aracı çalıştıramaz. Bu yüzden otomotivde akü fonksiyon durumu araçlarda takip edilir ve aracın bir sonraki marşta çalışıp çalışmayacağını ön gören bir parametredir.

#### **4. ARAÇ ŞARJ SİSTEMİNİN MODELİ VE BENZETİMİ**

Bu çalışmada ağır ticari araçlarda kullanılan alternatörün parametreleri ölçülmüştür. Makina katsayısı, stator ve rotor direnci ve stator endüktansı belirlenmiştir. Elde edilen endüktans değeri ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Alternatörün matematiksel modeli matlab/simulinkte kurulmuş ve alınan ölçümler doğrultusunda oluşan model ile araçta alınan ölçümler karşılaştırılmıştır.

Kurşun asit akünün matematiksel modeli matlab/simulink programı yardımıyla kurulmuştur. Akü modellenirken sıcaklık ve ADO parametresi benzetim çalışmasına yansıtılmıştır. Akünün farklı sıcaklıklarda olan davranışı çıkarılmış ve kıyaslanmıştır. Bununla beraber akıllı şarj algoritmaları geliştirilmiş, ADO'na göre alternatörün farklı gerilimlerde ve farklı akımlarda aracı şarj etmesi hedeflenmiştir. İçten yanmalı motorun farklı hızlarda dönmesi göz önünde bulundurularak yakıt ekonomisinin en etkili olduğu aralıkta farklı hızlarda motor devrinin benzetimi yapılmıştır ve motorun negatif ivmelendiği noktalar belirlenmiştir. Araçta bulunan yükler benzetim çalışması kapsamında modellenmiştir ve ortalama yüklerin çektiği akım belirlenmiştir.

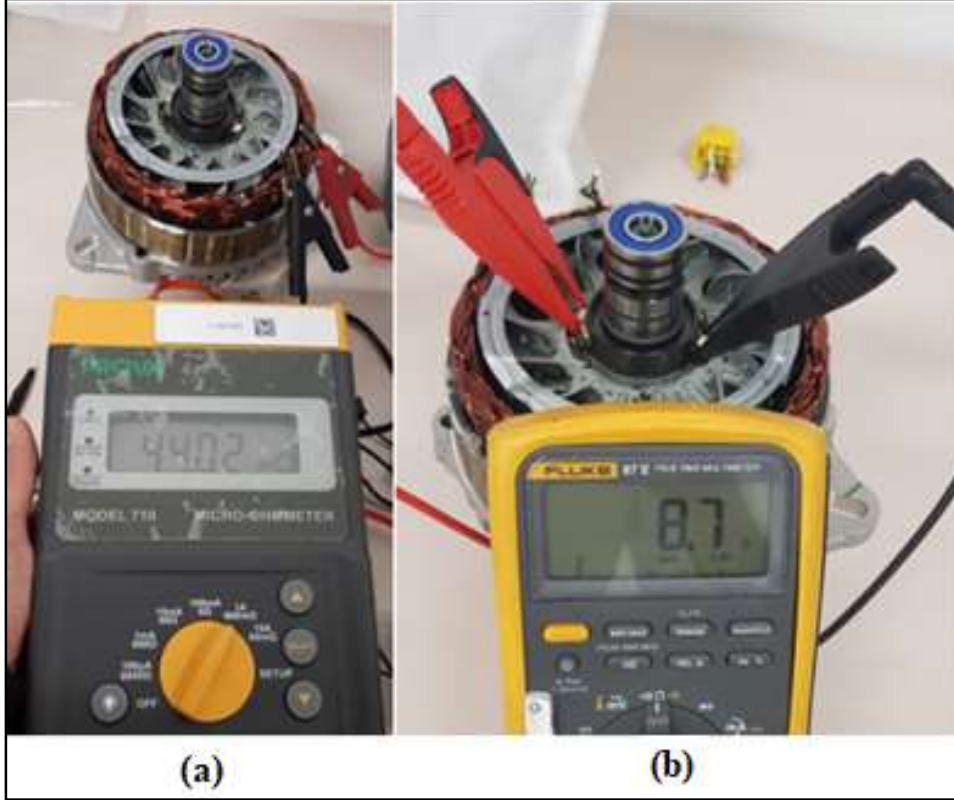
Son olarak tüm modeller bir araya getirilmiş ve matlab/simulinkte model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model ve akıllı şarj algoritmaları kapsamında akıllı şarj algoritmasında kullanmak için "P" ve "I" katsayıları belirlenmiştir.

##### **4.1 Alternatör Parametrelerinin Belirlenmesi**

Alternatörün modelini oluşturmak için kutup sayısı, makina katsayısı, stator endüktansı, rotor ve stator direnci gibi parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Benzetim çalışmasında, belirlenen bu parametreler yardımıyla alternatörün çıkış gerilimi ve çıkış akımı hesaplanacaktır. Bu kapsamda alternatörün stator endüktansı ölçülecek, ve ölçüm metoduyla elde edilen değerden çıkan sonuçlar PSIM programına konularak karşılaştırılacaktır. Ağır ticari araçlarda kullanılan alternatör incelediğinde alternatörde bulunan kutup çifti sayısının 12 olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden kutup sayısı  $p=6$  olarak modellerde kullanılmıştır.

#### 4.1.1 Alternatörün stator ve rotor direncinin belirlenmesi

Alternatörün stator direncini belirlemek için bir adet alternatör parçalarına ayrılmış ve statorundan direnç değerleri bir mikro-ohm metre yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 4.1 (a)'da ölçümde kullanılan alternatörün statoru üçgen bağlı olduğundan dolayı iki faz arası alınan ölçüm statorun bir fazındaki direnç değerini verecektir. Şekil 4.1 (b)'de ise rotor direnci ölçülmüştür.

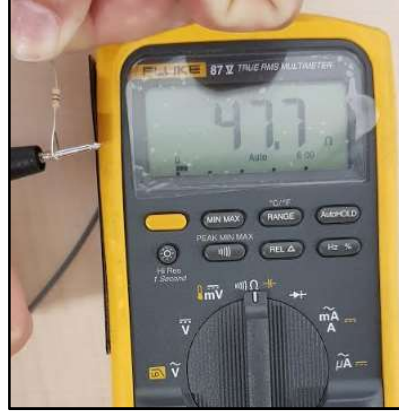


Şekil 4.1: (a) Stator direnci ölçümü, (b) Rotor direncinin ölçümü.

Alınan ölçümlerde bir faz stator sargısının direnci  $44.02 \text{ m}\Omega$  olarak ölçülmüştür. Parça üreticisinin stator sargısı için belirlediği aralık  $40\text{-}49 \text{ m}\Omega$ 'dur. Alınan ölçümler istenilen aralıktadır.  $R_1 = 44.02 \text{ m}\Omega$  olarak benzetimde kullanılacaktır. Benzer şekilde alternatörün rotor direnci ölçüldüğünde  $8.7 \text{ }\Omega$  olduğu tespit edilmiştir. Üreticinin belirlediği aralık  $8.3\text{-}10.1 \text{ }\Omega$  olduğundan istenilen aralıktadır. Benzetim ve modelleme çalışmalarında bu değerler kullanılacaktır.

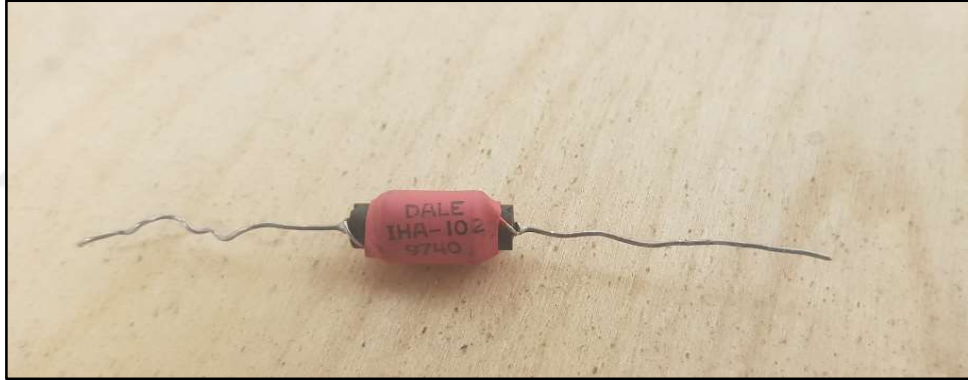
#### 4.1.2 Alternatörün stator endüktansının belirlenmesi

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi bir multimetre yardımıyla ölçülen  $47.7 \text{ }\Omega$ 'luk bir direnç yardımıyla alternatörün endüktansı hesaplanacaktır.

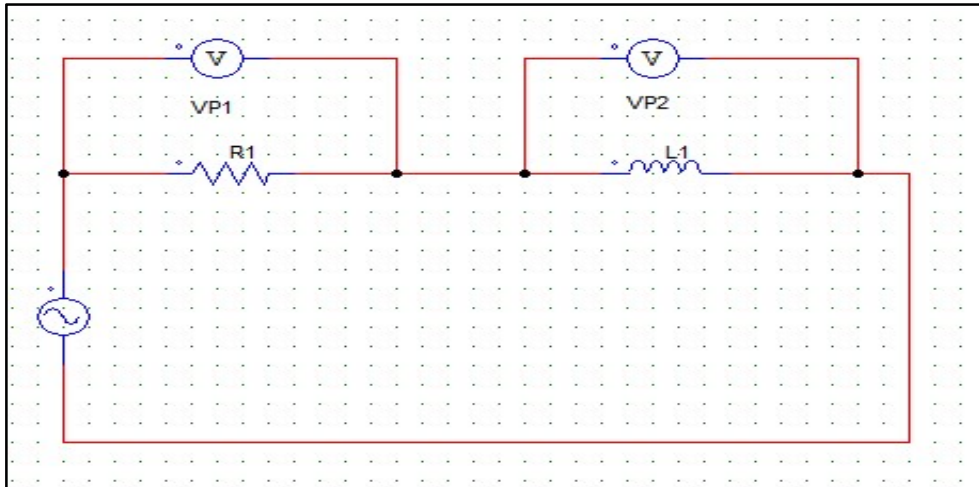


Şekil 4.2: Değeri bilinen bir direnç.

Alternatörün endüktansını ölçmeden önce öncelikle belirlenen yöntem ile değeri bilinen bir endüktans üzerinde ölçümü alınmış ve yöntemin doğruluğu araştırılmıştır. Bu kapsamda Şekil 4.3'te görülen endüktans 47.7  $\Omega$  'luk bir dirence Şekil 4.4'te olduğu gibi seri bağlanarak ölçülmüştür.



Şekil 4.3: Değeri bilinen endüktans  $L=100\mu\text{H} \pm 10\%$ .



Şekil 4.4: Endüktans ölçüm devresi-1.

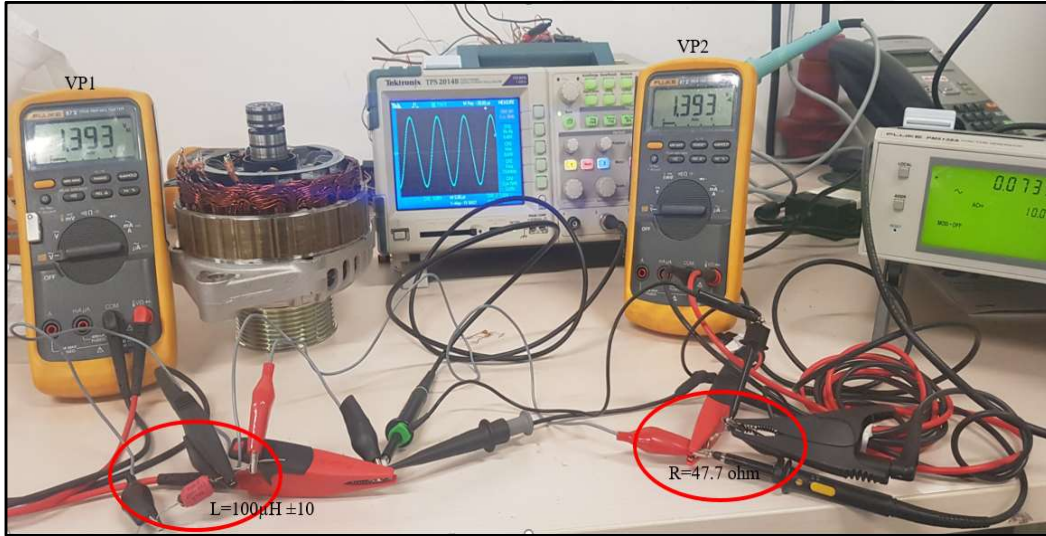
Frekansı değiştirerek  $VP_1 = VP_2$  olduğu noktada eşdeğer devre aşağıdaki denklem (4.1)'deki gibi ifade edilir;

$$I \cdot R_1 = I \cdot X_1 \quad (4.1)$$

Tüm elektriksel komponentler birbirlerine seri olarak bağlanıldığından, üzerinden geçen akım değerleri aynıdır ve bu durumda denklem (4.1), denklem (4.2)'deki gibi sadeleştirildiğinde endüktans formülü elde edilir.

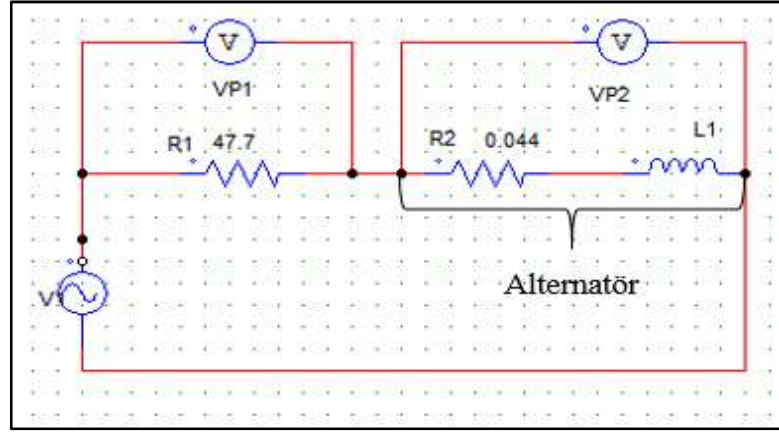
$$L_1 = \frac{R_1}{2\pi f} \quad (4.2)$$

şekil 4.5'te alınan ölçümlerde  $f=73.5$  kHz'de  $VP_1=VP_2$  olmuştur. Denklem (4.2)'deki eşitlikte bulunan değerler yerine konulduğunda bu metod ile endüktansın değeri  $L=102.63$   $\mu$ H olarak ortaya çıkmıştır. Bulunan bu değer tolerans değerleri içindedir ve bu yöntemin güvenilirliği doğrulanmıştır.



**şekil 4.5:** Endüktans ölçüm devresi-2.

Endüktans ölçümü istenilen aralıkta çıktığından aynı yöntem alternatörün stator endüktansını hesaplamak için kullanılacaktır. Alternatörün statorunu  $R_2$ ,  $L_1$  devresi olarak modelleyecek olursak şekil 4.6'daki gibi değerini bildiğimiz bir direnci,  $R_1$  direncini, seri olarak bağlarız. Güç kaynağının frekansını değiştirerek  $L_1$  endüktansının frekansa bağlı olarak oluşturduğu  $X_1=2\pi \cdot f \cdot L_1$  reaktansı, frekansa bağlı olarak değişeceğinden ötürü  $VP_1$  gerilimi  $VP_2$  gerilimine eşit olduğu noktada endüktans değeri hesaplanmıştır.



**Şekil 4.6:** Alternatör stator endüktansı ölçüm devresi-1.

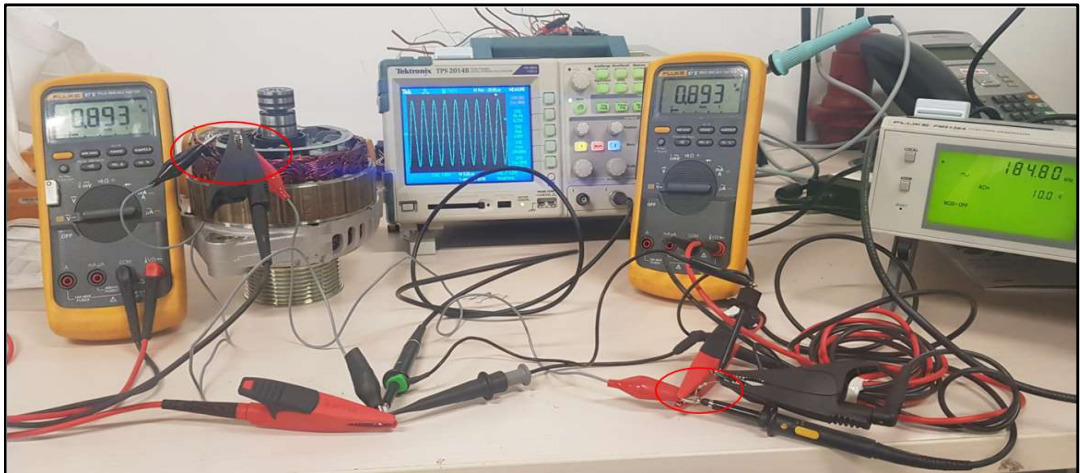
Bu noktada stator direncini de hesaba dahil etmemiz gerektiğinden denklem 4.1'deki eşitliği olduğu gibi kullanamayız. Frekansını değiştirerek  $VP_1 = VP_2$  olduğu noktada alternatör eşdeğer devresi aşağıdaki denklem (4.3)'deki gibi ifade edilir.

$$I \cdot R_1 = I \cdot (R_2 + X_1) \quad (4.3)$$

Tüm elektriksel komponentler birbirlerine seri olarak bağlanıldığından üzerinden geçen akım değerleri aynıdır ve bu durumda denklem (4.3) aşağıdaki denklem (4.4)'deki gibi sadeleştirildiğinde endüktans formülü elde edilir.

$$L_1 = \frac{(R_1 - R_2)}{2\pi f} \quad (4.4)$$

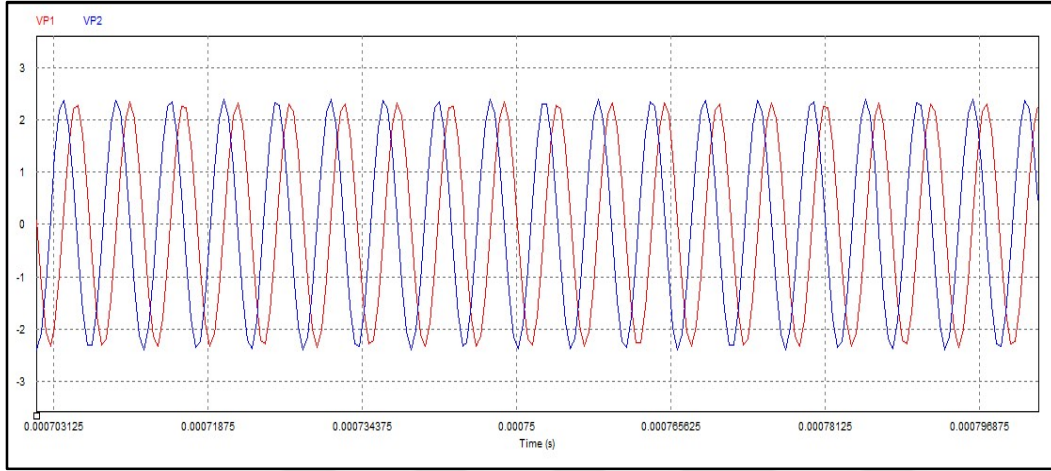
Şekil 4.7'de yapılan deney çalışma sonucunda  $f=184.8\text{kHz}$ 'de  $VP_1=VP_2$  olmuştur. Stator direncini bir önceki bölümde ölçmüştü ve bilinen direnç değerimiz  $47.7 \Omega$ 'dur.



**Şekil 4.7:** Alternatör stator endüktansı ölçüm devresi-2.

Bu durumda denklem (4.4)'teki tüm değerleri yerine koyduğumuzda ve statorun endüktansını hesapladığımızda  $L_2= 41 \mu\text{H}$  olarak hesaplanmıştır.

PSIM programında aldığımız ölçümleri yerine koyarak karşılaştırdığımızda Şekil 4.6'da bulunan devrenin ölçüm sonuçları ile osiloskopun ölçüm sonuçları Şekil 4.8'de olduğu gibi aynı çıkmıştır.  $VP_1$  ve  $VP_2$  gerilim değerleri  $L_2= 41 \mu\text{H}$ 'de 184.8 kHz'de aynı çıkmıştır.



**Şekil 4.8:** Benzetim modeliyle  $VP_1$  ve  $VP_2$ 'nin karşılaştırılması.

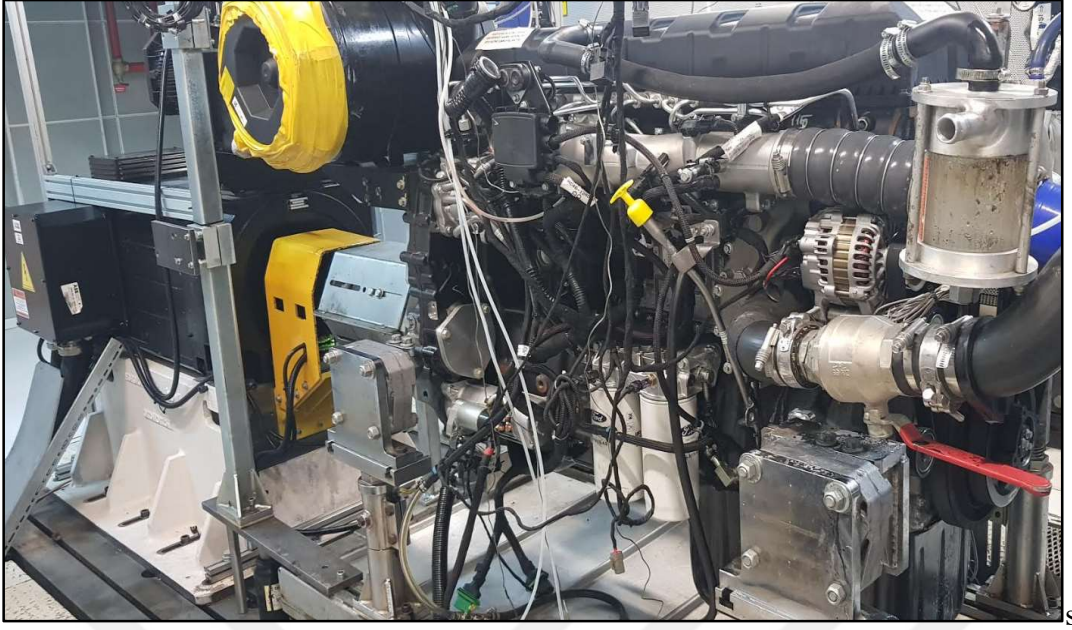
Alternatörün endüktans değeri bu çalışmada belirlenmiştir. Benzetim çalışmalarında endüktans değeri  $L_2= 41 \mu\text{H}$  olarak kullanılacaktır.

#### 4.1.3 Alternatörün makina katsayısının belirlenmesi

Ağır ticari aracın içten yanmalı motoru dinamometrede Şekil 4.9'da görüldüğü gibi farklı hızlarda döndürülmüştür. Ölçümler sırasında alternatörün çıkışında bulunan ve aküyü besleyen hattın sigortası çıkarılmış ve tüm deney çalışması boyunca alternatör yüksüz olarak çalıştırılmıştır. Motor kontrol ünitesi ile alternatör arasında bulunan bağlantıdan ise bir ampermetre yardımıyla uyarma akımının ölçümleri alınmıştır. Daha önceden denklem (2.18)'de alternatörde endüklenen gerilimin rotor hızı, uyarma akımı ve alternatör makina katsayısı olan  $K_a$  ile orantılı olduğu matematiksel olarak belirtilmişti. Alternatör yüksüz durumunda aşağıdaki Çizelge 4.1'de belirtildiği üzere farklı hızlarda ve uyarma akımlarında ölçümler alınmıştır. Motor ile alternatör arasındaki kayışın çevrim oranı 4.025'tir. Alternatör üçgen bağlantılı olduğu için  $E_1$  faz-faz gerilimidir. Çizelgede belirtildiği gibi farklı hızlarda alternatör dönüdürlmüş ve çıkan  $K_a$  parametrelerinin ortalaması alınmıştır. Elde edilen  $K_a$  değerinin ortalaması benzetim çalışmalarında alternatörü modellemek için kullanılacaktır.

**Çizelge 4.1:** Deney ölçümleri ve alternatör  $K_a$  parametresi hesap çizelgesi.

| Ölçümler | Alternatör Çıkış Gerilimi [V]-[DC] | [DC]'den [AC]'ye geçiş $\pi/(3*\sqrt{2})$ | $E_1(\text{rms})$ Alternatör 1 faz Gerilimi [V]-[AC] | $N_{\text{motor}}$ İçten Yanmalı Motor Hızı [devir/dk] | Kayıp Oranı | $N_{\text{mekanik}}$ İçten Yanmalı Motor Hızı [devir/dk] | $\omega_{\text{alternator}}$ Alternatör Hızı [rad/s] | $I_r$ Rotor Uyarma Akımı[A] | $K_a$             |
|----------|------------------------------------|---|--|--|-------------|--|--|-----------------------------|-------------------|
| 1        | 28,60                              | 0,7405                                    | <b>21,18</b>   | 550  | 4,025       | 2214   | <b>231,823</b>                                       | <b>1,00</b>                 | <b>0,09134299</b> |
| 2        | 28,65                              | 0,7405                                    | <b>21,21</b>   | 750  | 4,025       | 3019   | <b>316,123</b>                                       | <b>0,72</b>                 | <b>0,09319718</b> |
| 3        | 28,70                              | 0,7405                                    | <b>21,25</b>   | 1000   | 4,025       | 4025   | <b>421,497</b>                                       | <b>0,53</b>                 | <b>0,09512133</b> |
| 4        | 28,80                              | 0,7405                                    | <b>21,32</b>   | 1250   | 4,025       | 5031   | <b>526,870</b>                                       | <b>0,42</b>                 | <b>0,09636184</b> |
| 5        | 29,00                              | 0,7405                                    | <b>21,47</b>   | 1500   | 4,025       | 6038   | <b>632,246</b>                                       | <b>0,35</b>                 | <b>0,09703102</b> |
| 6        | 29,00                              | 0,7405                                    | <b>21,47</b>   | 1750   | 4,025       | 7044   | <b>737,620</b>                                       | <b>0,30</b>                 | <b>0,09703102</b> |



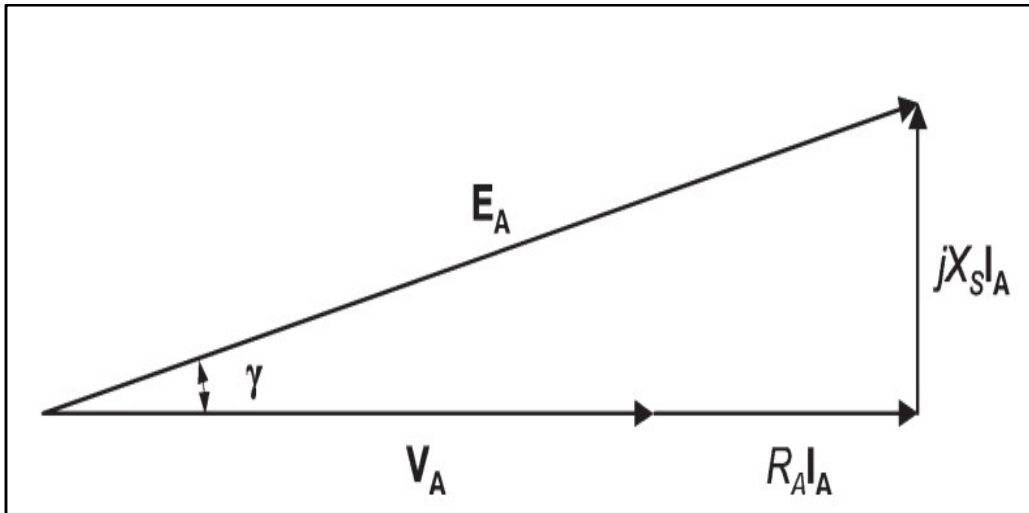
Şekil 4.9: Alternatör  $K_a$  parametresi belirleme çalışması.

Alınan ölçümler sonucunda Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi alternatörün parametresinin ortalama değeri alınmıştır ve  $K_a = 0,0950142$  olarak belirlenmiştir.

#### 4.2 Alternatörün Matlab/Simulink Yardımıyla Modellenmesi

Alternatörün matematiksel modeli yardımıyla, ağır ticari araçta kullanılan alternatörün çıkış gerilimi hesaplanacaktır. Öncesinde alternatörün stator endüktansı, direnci, rotor endüktansı ve  $K_a$  parametresi yapılan çalışmalarda belirlenmiştir.

Alternatörün basitleştirilmiş fazör diyagramı Şekil 4.10’daki gibi ifade edilebilir [22].



Şekil 4.10: Alternatör fazör diyagramı [22].

Daha önceden yüksüz durumda statorunda endüklenen gerilimin ifadesini ikinci bölümde aşağıdaki denklem (4.5)'deki gibi ifade edilmiştir.

$$E_A = K_a \omega_g \cdot I_r \quad (4.5)$$

Fazör diyagramdan yararlanarak  $V_A$  gerilimini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz [22].

$$V_A = E_A - jX_S \cdot I_A - R_S \cdot I_A \quad (4.6)$$

Burda akünün kapasitif yapısı araçtaki cihazlarda bulunan endüktif yükleri nötrleştirir. Bu durumda  $V_A$  stator gerilimi ve  $I_A$  stator akımını aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Bu model ile yapılan karşılaştırmada hata payının 1,7% ila 2,5% olarak belirtilmiştir.  $I_R$  uyarma akımı ve  $I_O$  alternatörün çıkış akımı olmak üzere denklem (4.7) ve denklem (4.8)'daki gibi ifade edilir [22].

$$V_A = \sqrt{E_A^2 - X_S^2 I_A^2} - R_S \cdot I_A \quad (4.7)$$

$$I_A = \frac{\sqrt{6}}{\pi} (I_R + I_O) \quad (4.8)$$

Alternatör içinde bulunan 3 fazlı tam dalga köprü doğrultuculardan dolayı çıkış gerilimi her bir faz için iki diyot aynı anda iletimde olmasından dolayı oluşan gerilim düşümü 1.4 V'dur ve Şekil 4.11'de çıkış gerilimi üzerinden bu değer düşülmüştür. Şekil 4.11'de 3 fazlı alternatör için sinüs blokları kullanılmıştır. Her bir blok arasına  $120^\circ$  faz farkı konulmuştur. Bu blokların frekansı motor devrine bağlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Alternatörün ürettiği alternatif gerilim değerlerini doğrultmak için sinüs blokları doğrultucu bloğuna eksi değerleri ile çarpılarak girilmiş ve çıkışta oluşan maksimum değerler alınmıştır. Rotordan gelen uyarma akımı için transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Rotordaki sargıların endüktif yapısından ötürü endüktanstan geçen akım bir anda düşmez. Bu yüzden modelde akımın davranışı için transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Elektriksel frekansı hesaplarken kutup çifti sayısı Şekil 4.11'de hesaba katılmıştır. Motor ile alternatör arasındaki kayış çevrim oranında bir kazanç bloğu yardımıyla modelin içine konulmuştur. Benzetim çalışmasında zaman bir rampa fonksiyonu ile modellenmiştir ve bu rampa fonksiyonu saniyede bir değerini arttırmaktadır. Alternatörün ürettiği akım bir girdi olarak modelde oluşturulmuştur. Araç şarj sistemi çalışmasında alternatörün ürettiği akımı hesaplanarak ve fonksiyon bloğuna bir girdi olarak Şekil 4.11'de kullanılmıştır.

Fazör diyagram sonucu elde edilen denklem (4.7) ve (4.8) benzetim çalışmasında kullanılacaktır. Alternatöre ait parametreler parametreler daha önceden Çizelge 4.2'deki gibi belirlenmiştir. Bu parametrelerden yararlanarak ve denklem (4.5) ile (4.8) arasındaki eşitliklerden faydalanılarak Şekil 4.11'deki gibi alternatörün simulink modeli oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.2:** Alternatörün parametreleri.

| Çevrim Oranı | devir/dk<br>→ rad/s | Ka      | Xs[H]    | Rs[ohm] | Rr[Ohm] | 2p | Vdiyot[V] |
|--------------|---------------------|---------|----------|---------|---------|----|-----------|
| 4,025        | $2\pi/60$           | 0,09501 | 41 $\mu$ | 44.02m  | 0,8     | 12 | 0,7       |

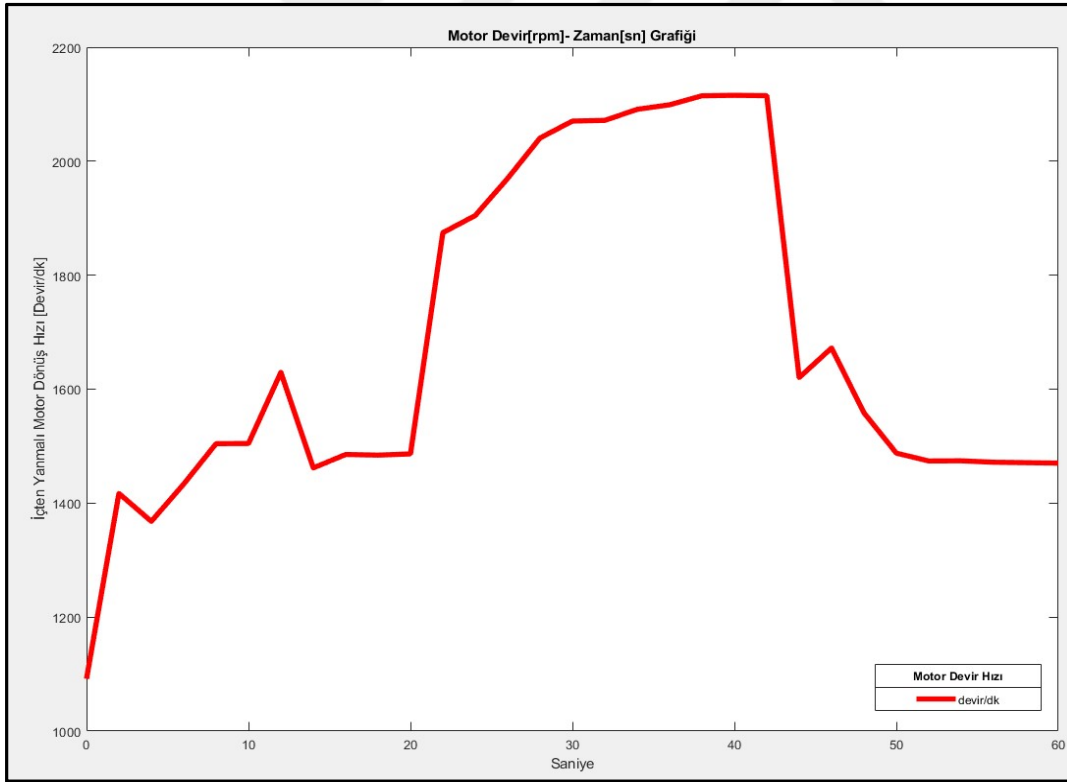


#### 4.2.1 Alternatör modelinin doğrulanması ve sonuçlar

Alternatör modelini doğrulamak için aracın haberleşme (CAN) hattından alınan veriler ile matematiksel modelin karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 4.11’de oluşturulan alternatörün simulinkteki matematiksel modeli sonucu elde edilen gerilim ile aracın CAN hattından alınan gerilim karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada kullanılmak üzere aracın CAN hattından okunan motorun dönüş hızı ve alternatörün aküye verdiği akım değerleri benzetime girdi olarak kullanılmış ve benzetim sonucu oluşan gerilim ile aracın CAN hattından okunan gerilim karşılaştırılmıştır.

Aracın CAN hattından okunan verileri bir excel dökümanına işlenip, simulinkte bulunan sinyal üreteçlerine konulmuştur.

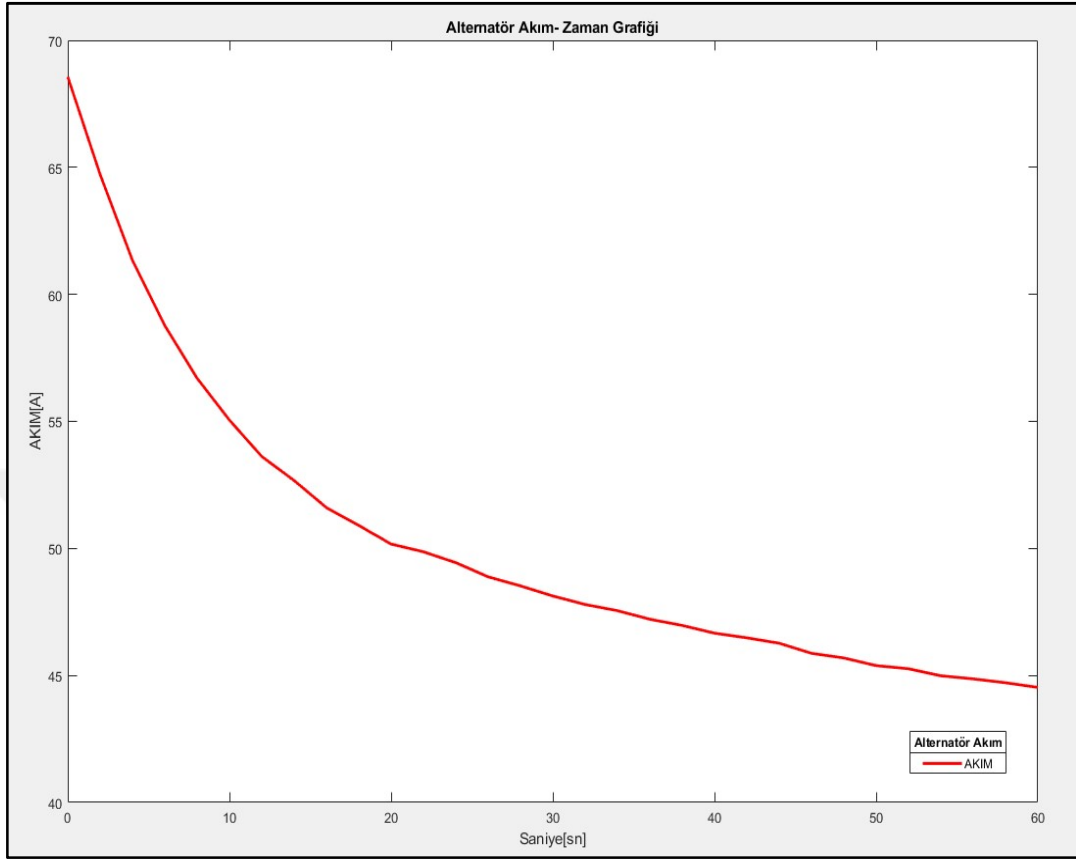
Araçtan alınan 60 saniyelik devir hızı verisi Şekil 4.12’de görülmektedir. Bu noktada araçta 60 sn süre boyunca farklı devir hızlarında içten yanmalı motor döndürülmüştür. Bu veri benzetim çalışmasında bir girdi olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.12: Araçtan alınan motor hızı-zaman grafiği.

Benzer şekilde aracın CAN hattından alternatörün aküye verdiği akım değeri Şekil 4.13’te gösterilmiştir. Bu noktada alternatörün ürettiği akım değeri benzetim çalışmasında bir girdi olarak kullanılmıştır. Daha önceden bölüm üçte belirtildiği gibi

akü karakteristiği nedeniyle şarj oldukça iç direnci artıyor ve şarj akım kapasitesi Şekil 4.13'te görüldüğü gibi azalmaktadır.

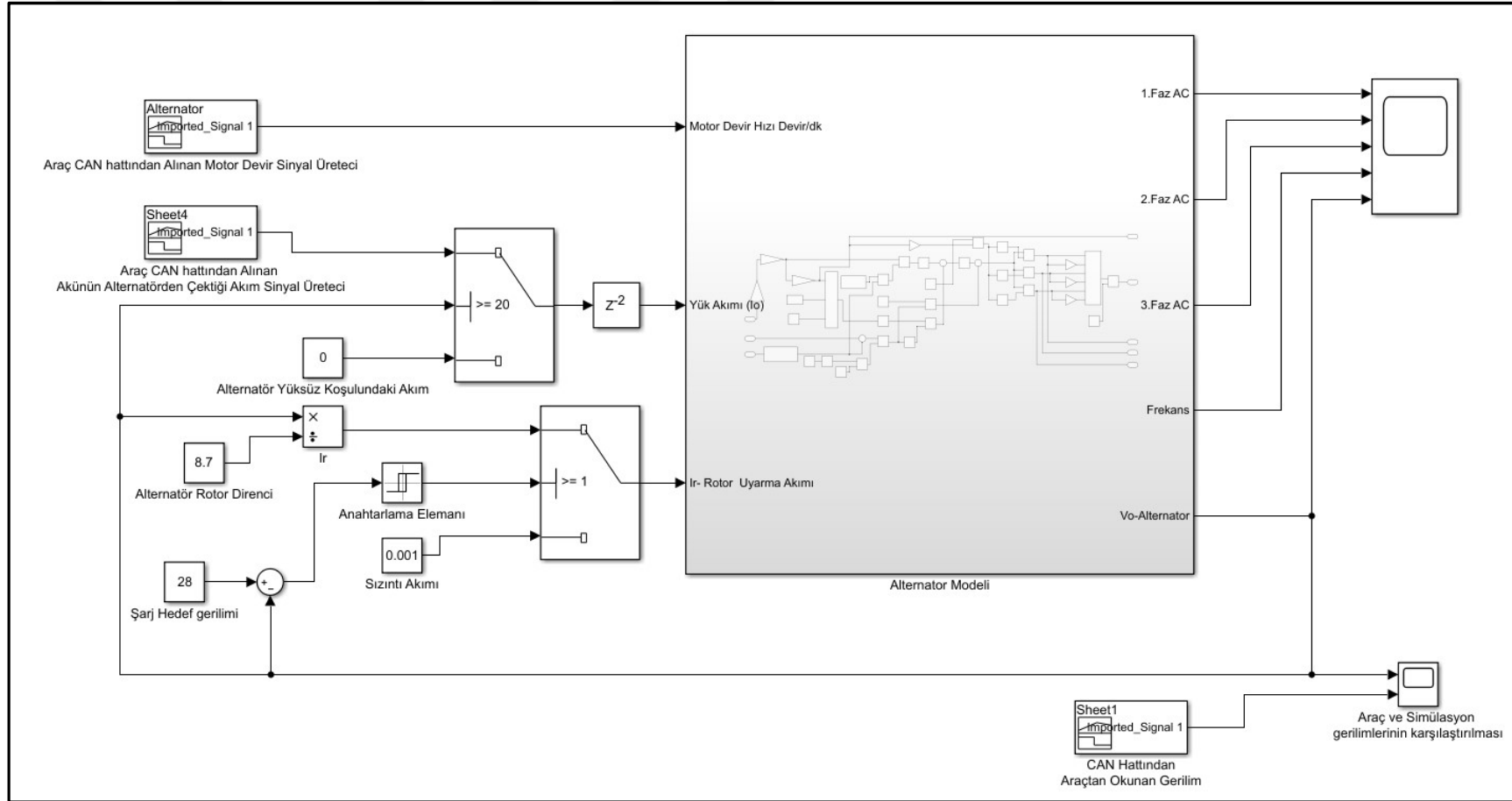


Şekil 4.13: Alternatör akım-zaman grafiği.

Her iki şekildeki verilen araçtan okunan değerlerdir. Bu değerler sonucunda araçtan okunan ve alternatörün ürettiği çıkış gerilimi ile benzetim çıktısı olan çıkış gerilimi karşılaştırılmıştır. Araçta alternatörü yöneten içten yanmalı motor kontrol ünitesinin verdiği hedef şarj gerilimi, 60 saniye boyunca 28 V DA'dır.

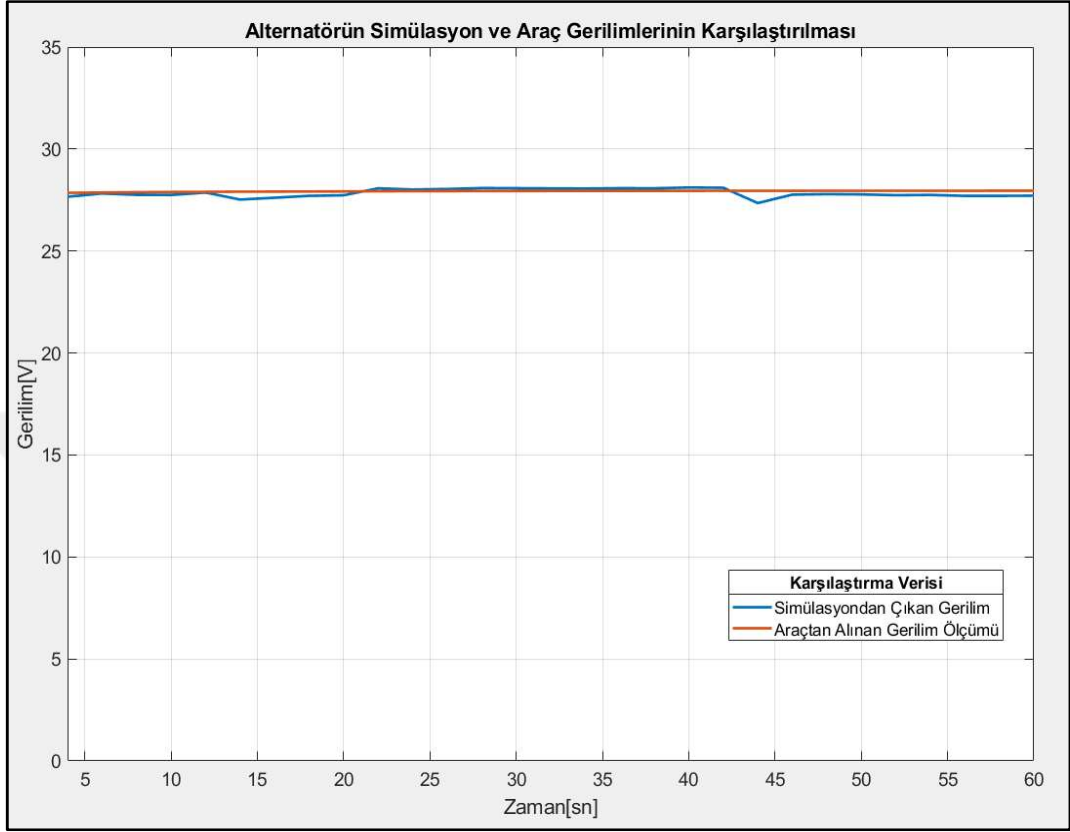
Ayrıca daha önceden bölüm 4.1.1'de alternatörün rotor direncini  $8.7 \Omega$  olarak ölçmüştü. Burda elde edilen değer Şekil 4.14'de rotor uyarma sargısını modellemek için kullanılmıştır. Alternatörün Şekil 4.14'de modeli kurulurken modelin çıkışında oluşan gerilim ile rotor direnci beslenmiş ve benzetim çalışmasında kullanılan modelin kendi kendine uyarılması sağlanılmıştır. Alternatörün benzetim modeli kurulmuş ve araç CAN hattından alınan veriler simulink bloğuna girdi olarak tanımlanmıştır.

Şekil 4.14'deki modelde yapılan çalışmada alternatörün çıkış geriliminin benzetim çalışmasını yapmak için regülatör devresi modellenmiştir. Bu sayede modelin çıkış gerilim değeri istenilen hedef gerilime ayarlanmaktadır.



Şekil 4.14: Alternatör simulink modelinin gerçek veri ile karşılaştırılması.

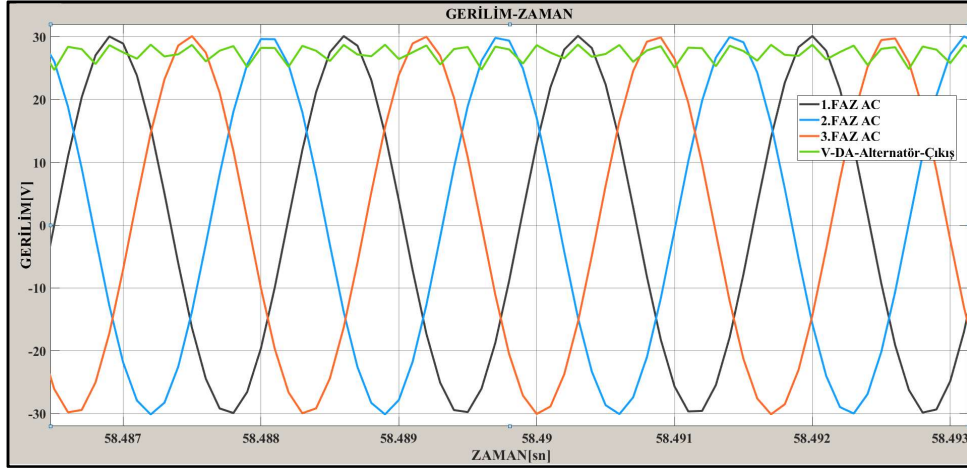
Yapılan çalışma sonucunda araçtan alınan veriler ile simulinkten çıkan gerilim değerleri karşılaştırıldığında Şekil 4.15’de görüldüğü kırmızı ve mavi grafik çizgileri üst üste örtüşmüştür.



Şekil 4.15: Gerilim karşılaştırma grafiği.

60 saniye boyunca farklı akım değerlerinde ve farklı motor devir sayılarında araçtan alınan veriler benzetim çalışmasına girdi olarak işlenmiş ve kurulan alternatör modeli ile araçtan alınan veriler örtüştüğü gözlemlenmiştir. Araç şarj sisteminin modellenmesinde bu model kullanılacaktır.

Ayrıca elde edilen modelde statorda endüklenen gerilimler alternatif gerilimdir. Statorda bulunan üç fazın her biri arasında  $120^0$  açı farkı bulunmaktadır. Üç fazlı tam dalga köprü doğrultucu yardımıyla Şekil 4.16’daki gibi gerilim dalga formları elde edilir. Her bir faz iletimde olduğu zaman her bir diyottan 0.7V’luk toplamda 1.4V’luk gerilim düşümü oluşur. Şekil 4.16’da de görüldüğü üzere yeşil olan çizgi doğrultulmuş gerilim formudur. Endüklenen AA gerilimden bu yüzden 1.4V’luk daha düşük bir değer almaktadır. Alternatörün çıkışına paralel olan bir kapasite sayesinde gerilimdeki pulslar daha düzgün bir dalga formu alacaktır. Şekil 4.15’de daha düzgün dalga formu görülmektedir.

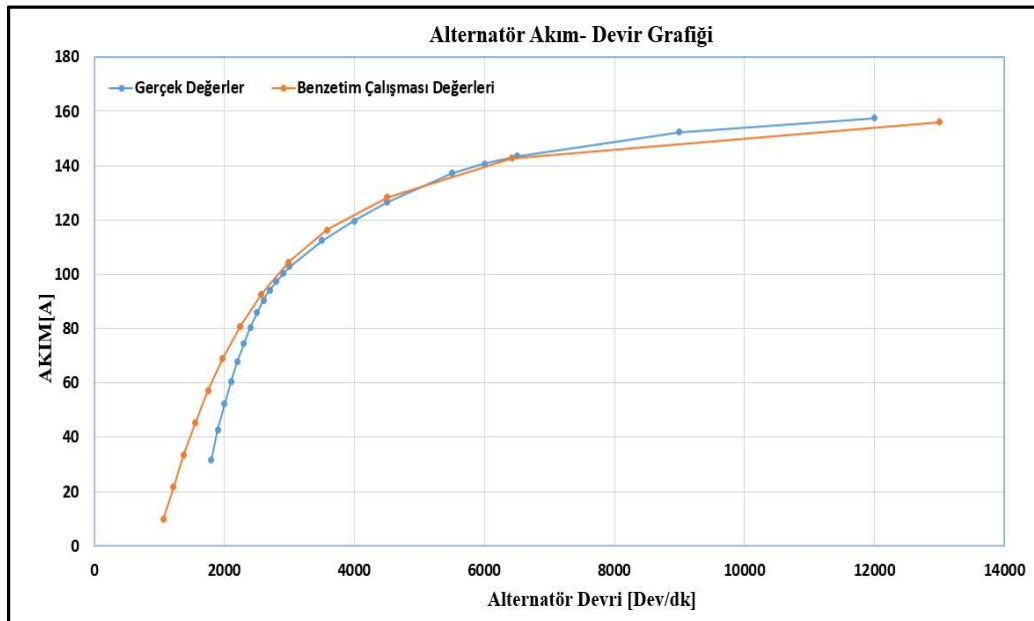


Şekil 4.16: Alternatörün üç faz alternatif ve doğru gerilim çıkışları.

Denklem (4.7)'den faydalanarak ve Çizelge 4.2'de daha önceden alternatör için elde ettiğimiz değerleri kullanmak suretiyle alternatörün akım-devir grafiğini çizmemiz mümkündür. Denklem (4.7)'deki ifadeyi denklem (4.9)'daki gibi ifade edebiliriz.

$$n = \frac{\sqrt{(V_A + I_A R_A)^2 + X_S^2 I_A^2}}{K_a * I_r * 2\pi} \quad (4.9)$$

Denklem (4.9)'da elde edilen ifade ve denklem (4.8)'deki alternatörün  $I_0$  DA çıkış ifadesini kullanarak Şekil 4.17'deki gibi alternatörün akım-devir grafiğini çizdirmemiz mümkündür. Alternatör imalatçısından alınan akım değerleri mavi çizgi ile ifade edilmiş olup ölçüm sonucu alınan değerler turuncu çizgi ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.17: Alternatör akım-devir karşılaştırma grafiği.

Şekil 4.17’de yapılan karşılaştırma değerleri alternatörün çıkış gerilimi 27 V doğru gerilimde sabitken verdiği akımın devire bağlı değişimini göstermektedir. Gerçek değerler parça imalatçısının, 27 C<sup>0</sup> sabit sıcaklıkta ve 27 V sabit gerilimdeki değerleri olup mavi çizgi ile gösterilmiştir. Turuncu çizgiler ise devir sayısının artması sonucu elde edilen değerlerdir. Yapılan çalışma sonucunda benzetim çalışması sonuçları ile gerçek değerler örtüşmektedir. Aradaki fark ölçüm sonucu yapılan hatalardan, üreticinin stator ve rotor direnci için belirlediği tolerans değerlerinden ve [22]’de model için belirtilen 1.7% ila 2.5%’lik hata payından kaynaklanmaktadır. Benzetim çalışmasında, güvenilirliği doğrulanmış alternatör modeli kullanılacaktır.

### 4.3 Akünün Matlab/Simulink Yardımıyla Modellenmesi

Akünün şarj ve deşarj karakteristiklerinin farklı olduğu bölüm 3’te incelenmişti. Kaynak [26,27,28]’de akünün şarj gerilim denklemleri 2 V’luk tek bir hücre için denklem (4.10), (4.11), (4.12), (4.13) ve (4.14)’te aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Yapılan çalışmalarda sıcaklık, akü şarj durumu değişkenlerine göre akü şarj gerilimi hesaplanabilmektedir. Akü şarj durumu bilgisini kullanarak araç sistemi için geri bildirim mekanizması kurulacaktır. Bunun dışında sıcaklık parametresine bağlı olarak da akünün üzerindeki etkiyi görmek mümkün olacaktır. Çizelge 4.3’de de bu eşitliklerdeki parametrelerin ifadeleri bulunmaktadır.

**Çizelge 4.3:** Akü parametrelerinin ifadeleri.

| Sembol   | Açıklama          | Sembol     | Açıklama                         |
|----------|-------------------|------------|----------------------------------|
| $C$      | Akünün kapasitesi | $C_{10}$   | 10 saatlik kapasitesi            |
| $SOC$    | Akü şarj durumu   | $Q$        | Kullanılan kapasite              |
| $\eta_c$ | Verim oranı       | $SOC_0$    | İlk durumdaki şarj yüzdesi       |
| $\tau$   | Zaman katsayısı   | $I$        | Akım                             |
| $T$      | Ortam sıcaklığı   | $\Delta T$ | Oda sıcaklık değerine göre delta |

Denklem 4.13 ve denklem 4.11’de görüleceği üzere aküyü şarj ederken kullanılan akım değeri ne  $I_{10}$  akım değerinden küçük olması durumunda akü daha verimli bir şekilde doldurulmaktadır. Denklem 4.10’da belirtilen gerilim değeri ise bir hücreyi temsil etmektedir. Ağır ticari araçlarda bu değer 24 V sistemler için 12 ile çarpılır.

$$V_c = [2 - 0,16 \cdot SOC] \frac{I}{C_{10}} \left( \frac{6}{1 + I^{0,86}} + \frac{0,48}{(1 - SOC)^{1,2}} + 0,036 \right) \cdot (1 - 0,025 \cdot \Delta T) \quad (4.10)$$

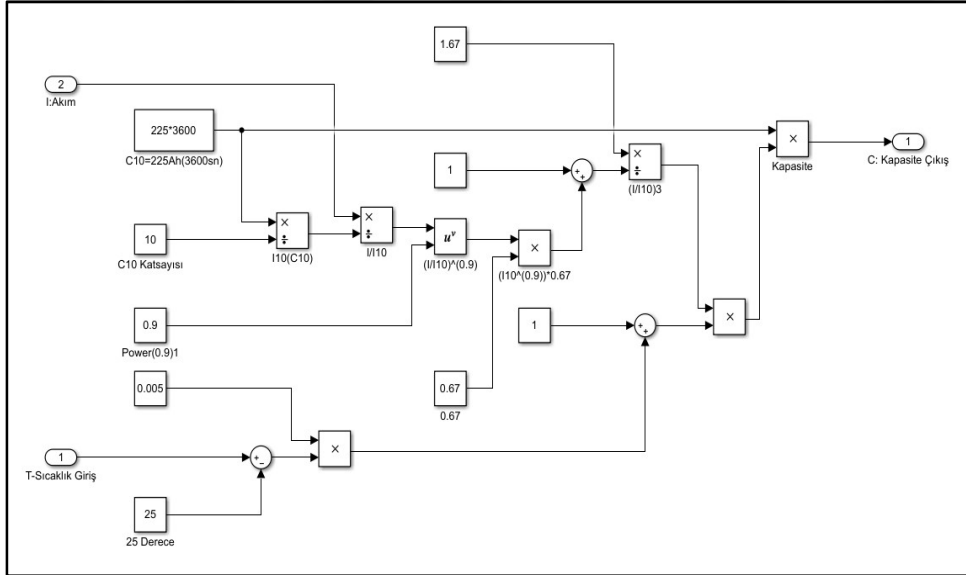
$$SOC = SOC_0 + \frac{\eta c \cdot Q}{C} \quad (4.11)$$

$$\frac{C}{C_{10}} = \frac{1,67}{1 + 0,67 \cdot \left( \frac{I}{I_{10}} \right)^{0,9}} \cdot (1 + 0,005 \cdot \Delta T) \quad (4.12)$$

$$\eta c = 1 - \exp \left[ \frac{20,73}{\frac{I}{I_{10}} + 0,55} \cdot (SOC - 1) \right] \quad (4.13)$$

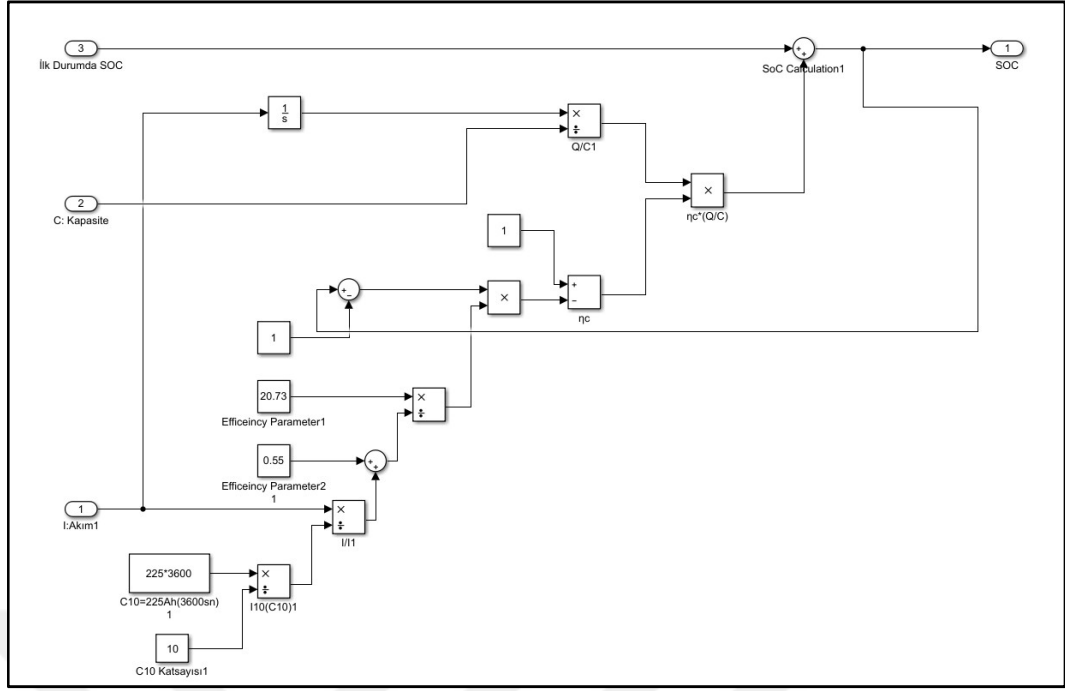
$$\Delta T: T - 25 \quad (4.14)$$

Bu denklemler yardımıyla simulinkte matematiksel modeller kurulmuştur. Bu ifadeleri kullanırken ağır ticari araçlarda çoğunlukla kullanılan akü kapasitesi baz alınacaktır. Ağır ticari araçlarda kullanılan akünün kapasitesi  $C_{10}=225$  Ah'dir. Saniye cinsinden değeri için 3600 ile çarpılarak tüm modeller oluşturulmuştur. Şekil 4.18'de denklem (4.12)'deki matematiksel ifadeler yerlerine konulmuştur.



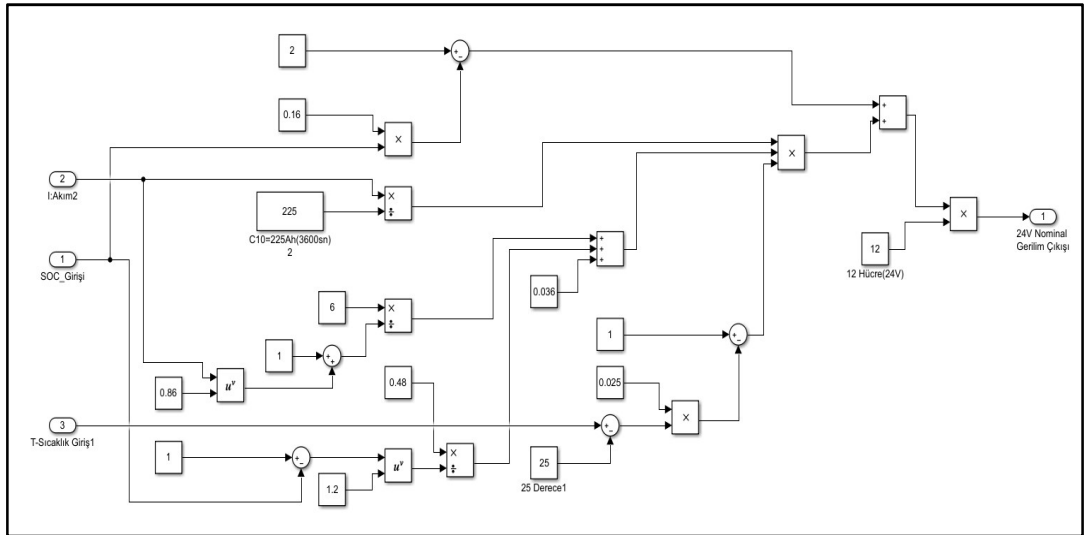
**Şekil 4.18:** Denklem (4.12)'in simulinkte modeli.

Şekil 4.19'da matlab/simulink'te denklem (4.11) ve (4.13)'deki ifadelerin matematiksel modelleri oluşturulmuştur. Q kapasitesi zamana bağlı toplanarak ifade edilmiştir. Şekil 4.19'da akü durumunu belirten SoC değeri bir çıktı olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.19:** Denklem (4.11) ve denklem (4.13)'nin simulinkteki modeli.

Şekil 4.20’de matlab/simulink’te akünün çıkış gerilimi ifade edilmiştir. Denklem (4.10)’daki ifade sadece 1 hücreyi yansıttığından ötürü ve 1 hücre 2 V DA nominal gerilim sağladığından, ağır ticari araçlarda da 12 hücre olmasından ötürü çıkış gerilimi 12 ile çarpılmıştır.



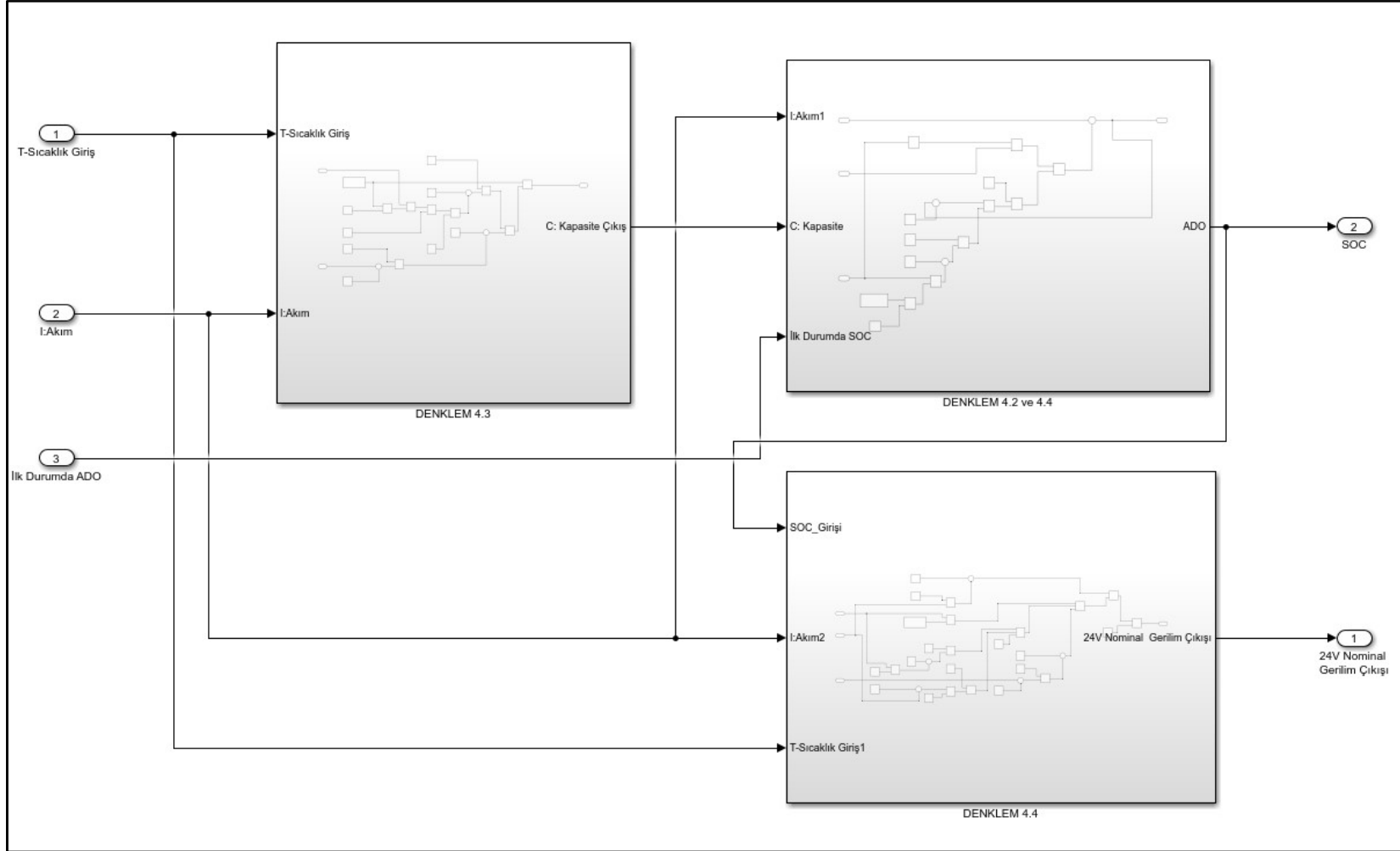
**Şekil 4.20:** Denklem (4.10)’un simulinkteki modeli.

Denklemleri matlab/simulinkte alt fonksiyonlar olarak bir araya getirdiğimizde Şekil 4.21’deki gibi matlab/simulink modelini elde ederiz. Tüm denklemleri bir araya getirdiğimizde 3 girişi ve 2 çıkışı olan bir sistem olarak akü modeli oluşturulmuştur.

Akü modelinin girişleri sıcaklık, şarj akımı ve ilk durumdaki akü doluluk oranıdır. Akü modelinin çıkışında ise çıkış gerilimi ve şarj olduğu süre boyunca akünün son şarj yüzdesi veren ADO'dır.

Şekil 4.21'de akü sistemi oluşturulmuştur. Araç şarj sistemi modellenirken Şekil 4.21'de oluşturulan sistemi Şekil 4.22'de olduğu gibi alt fonksiyon halinde gösterilecek olup tek bir blok halinde kullanılmıştır.

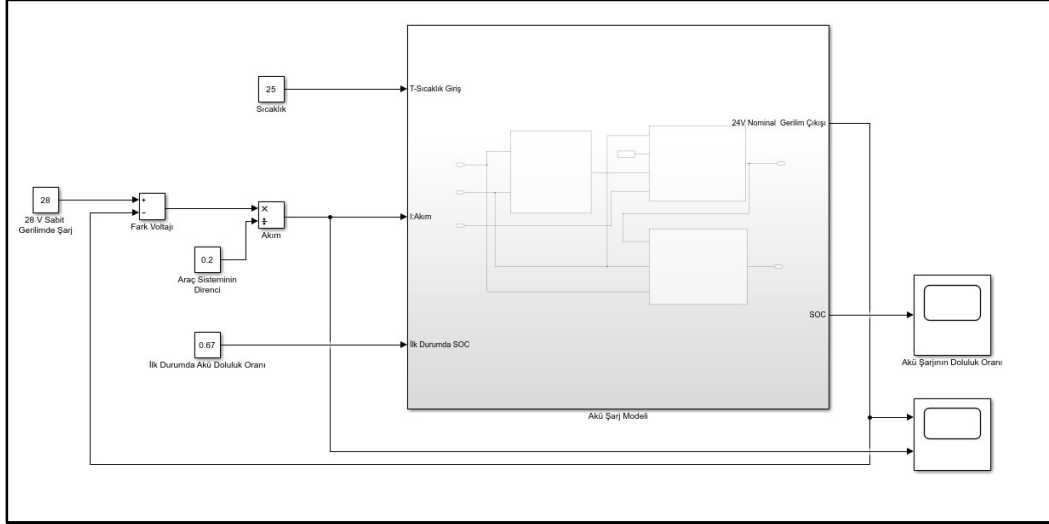




Şekil 4.21: Simulinkte akü şarj geriliminin modellenmesi.

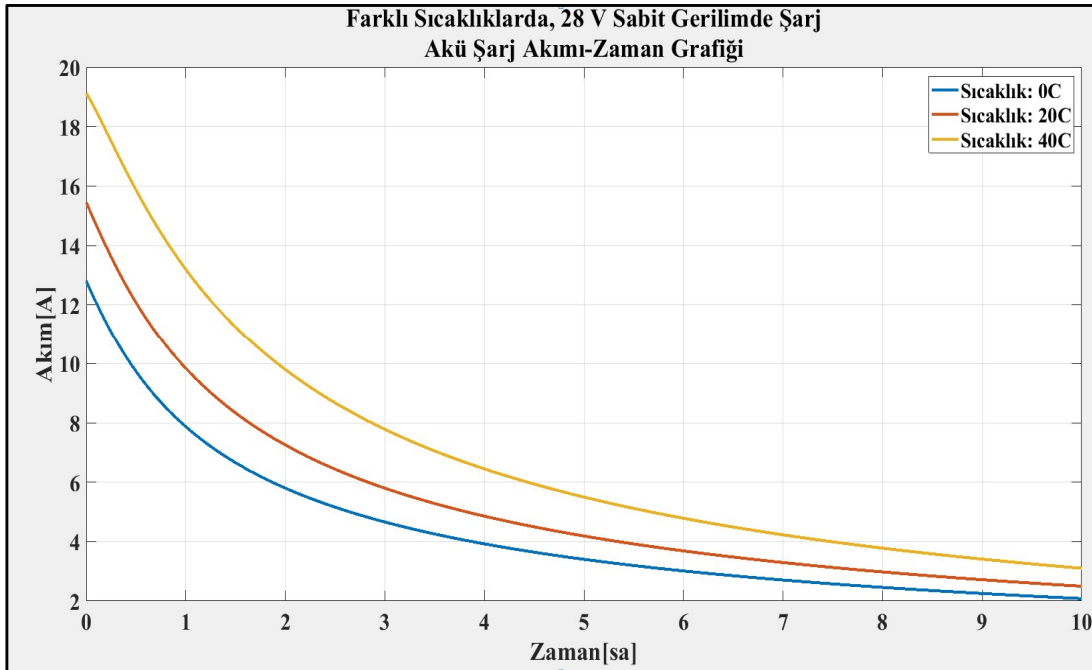
### 4.3.1 Akü modelinin doğrulaması ve sonuçlar

Şekil 4.22’de akü modeli 28 V sabit gerilimde, 25C° sıcaklıkta ve 67% ilk akü doluluk oranında şarj edilmiştir. Bu noktada 0.2  $\Omega$  araç sisteminin direnci olarak kabul edilmiştir.



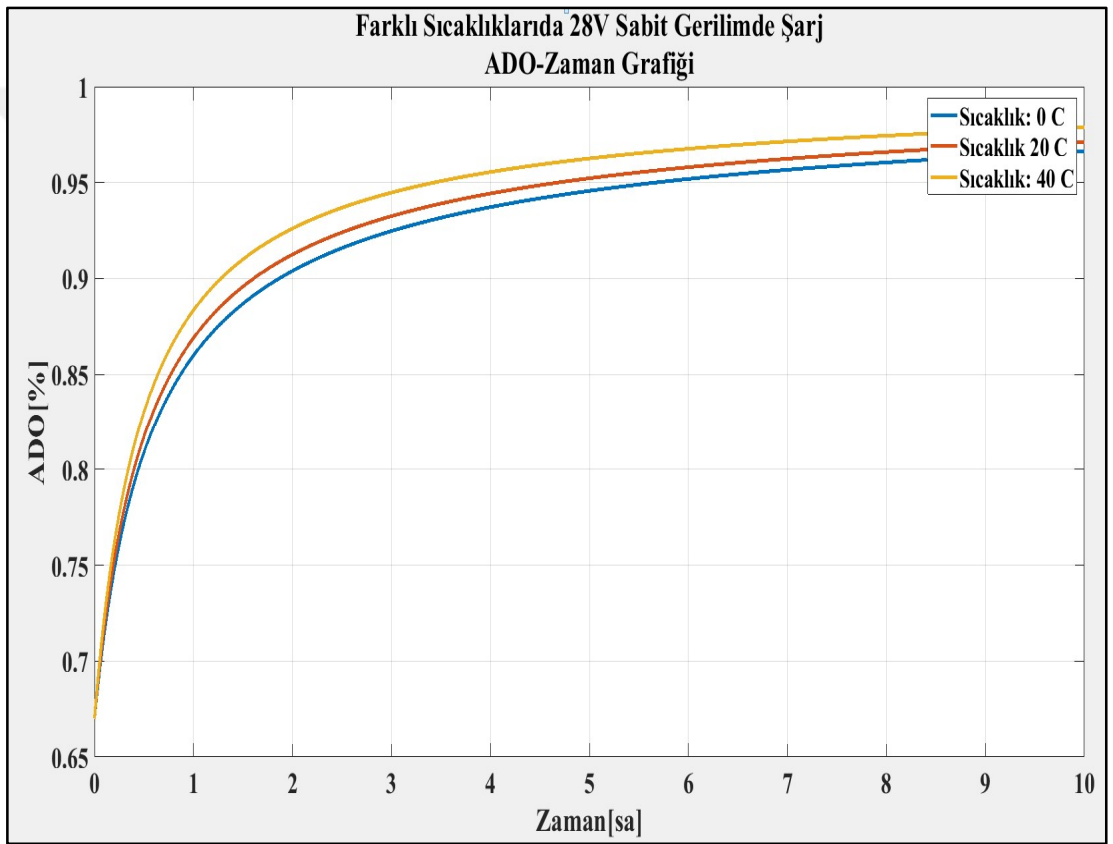
Şekil 4.22: 28 V DA’da sabit gerilimde akü modelinin şarj edilmesi.

Şekil 4.23’de olduğu gibi akünün iç direncinin şarj oldukça artmasından çektiği akım azalmaktadır. Benzer şekilde akü şarj oldukça akünün çıkış gerilimi artmaktadır. Simülasyon 36000 sn (10 saat) boyunca koşturulmuştur.



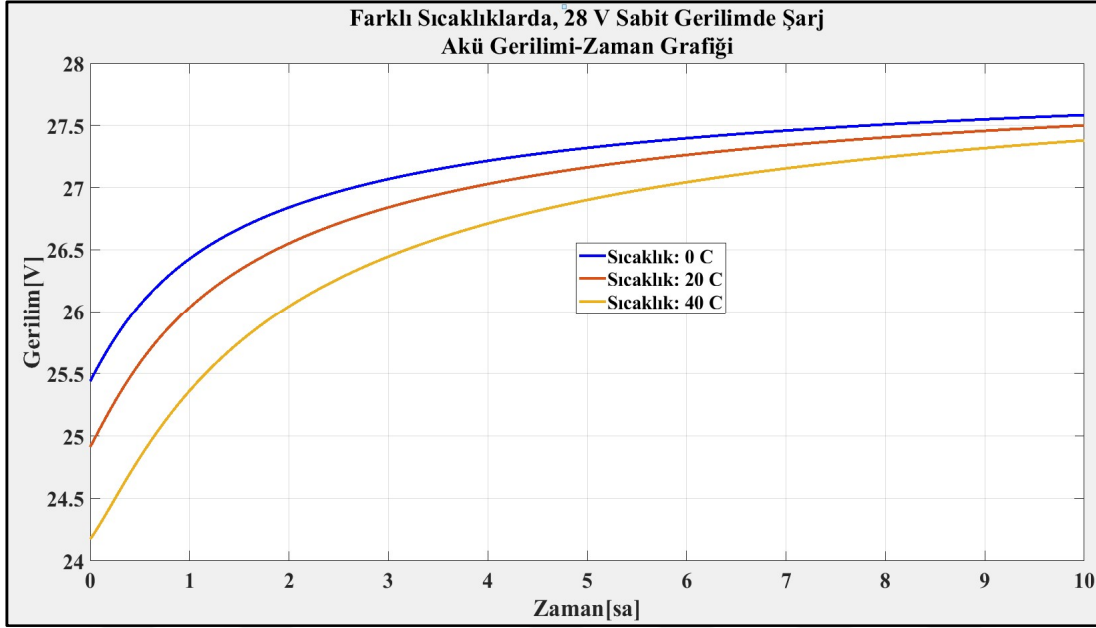
Şekil 4.23: Sabit gerilim ve farklı sıcaklıklarda akü şarj akım değişimi.

Şekil 4.23’de görüldüğü gibi ve daha önceden [20]’de de bahsedildiği gibi sıcak havalarda akünün iç direnci düşer. Akünün iç direnci düştüğü için de akünün şarj alma akım kapasitesi artar. Yapılan benzetim çalışmasında 3 farklı sıcaklık değeri üzerinde çalışılmıştır. Sıcaklık arttıkça akünün şarj alma akım değerinin yükseldiği görülmüştür. Sıcaklık azaldıkça akünün iç direnci artmış ve şarj akım kapasitesi azalmıştır. Benzer şekilde, Şekil 4.24’te de görüldüğü gibi sabit gerilimde ve yüksek sıcaklıkta akülerin doluluk oranı daha hızlı yükselmiştir. Bunun nedeni akü yüksek sıcaklıklarda daha fazla akım ile şarj olma eğiliminde olmasıdır. Akünün sıcaklık değeri düştükçe akü daha yavaş dolar çünkü akü iç direncini artırır.



**Şekil 4.24:** Akü şarj doluluk oranlarının sıcaklık ile değişimi.

Ayrıca sıcaklık değişimlerinden farklı olarak [19]’da belirtildiği üzere akünün şarj gerilimi arttıkça akünün iç direnci artar. Şekil 4.23 ve 4.25’te görüldüğü üzere sabit bir sıcaklık değerinde akünün çektiği akım azalırken, akünün gerilimi de artmaktadır. Bu noktada da benzetim modelinde de sabit sıcaklık değerinde akü şarj oldukça iç direnci ve gerilimi arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.25’te görüldüğü üzere sıcaklık arttıkça akü gerilimi düşer. Akü çıkış geriliminin düşmesi potansiyel farkı açar ve şarj alma akım kapasitesini artırır.



Şekil 4.25: Sabit gerilim ve farklı sıcaklıklarda akü şarj akım değişimi.

#### 4.4 Akıllı Şarj Algoritması

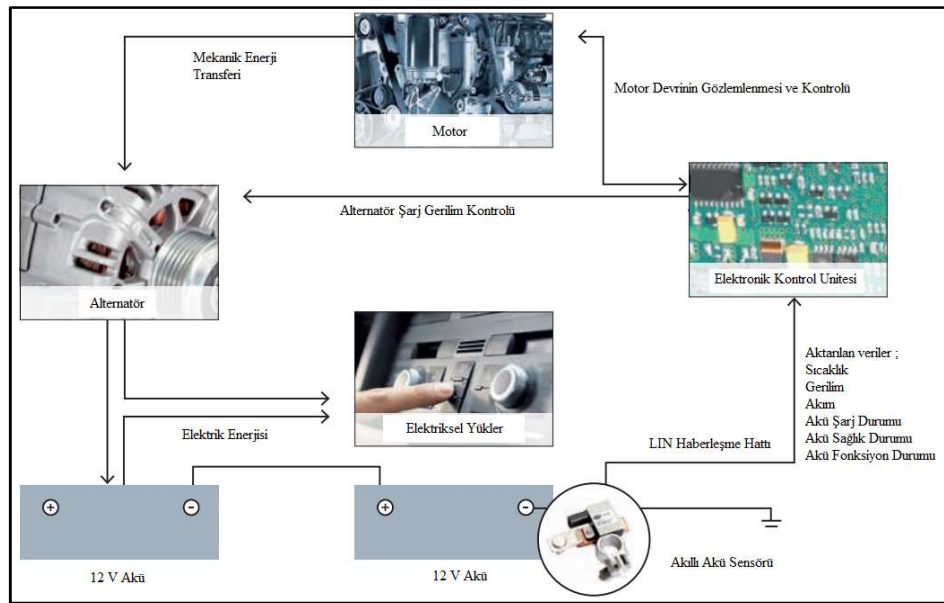
Araç şarj sistemini geliştirirken göz önünde bulunması gereken en önemli durum aracın bir sonraki çalışmasında aküden yeterli enerjiyi çekip, marş motorunu çalıştıracak kapasitede enerjiyi aküde tutmasıdır. Akünün sıcaklıkla ilgili olarak nasıl bir karakteristik izlediğini bir önceki bölümde incelenmişti. Bir araç için en kötü durum soğuk havadır. Havalar soğudukça akünün kapasitesi azalır ve marş için gerekli enerjiyi sağlayamayabilir. Otomotiv sektöründe akülerin şarj durumunun 50%'nin altına düşmesi istenmeyen bir durumdur.

Bunun dışında araç uzun süre çalışmadığında kontak anahtarı kapalı olsa bile bir çok EKÜ direk olarak aküden beslendiğinden dolayı, aküden miliamperler seviyesinde de olsa akım çekerler. Uzun süreli olarak kullanılmayan araçlarda bu akımın aküyü boşaltmasından ve ayrıca akü eşdeğer devresinde bulunan akünün iç direncinin kapasitesine paralel bağlı olmasından ötürü bir sonraki marş riske girer. Bu yüzden araçların 1 ay boyunca çalışmaması durumunu göz önünde bulundurarak akülerin şarj durumunun araç motoru kapatıldığında minimum 75%'de olması istenir. 1 ay sonunda akünün 50% ADO'na düşmesi hedeflenir.

Daha önce akülerin şarj oldukça iç direncinin arttığından ve bu yüzden de şarj oldukça çektikleri akım değerlerinin azaldığından bahsetmiştik. Akünün daha fazla akım çekmesi için alternatör ile akü arasındaki potansiyel farkın açılması istenir. Ağır ticari

araçlar 24 V nominal gerilimde çalıştığından işletme esnasında gerilimin 18-32 V doğru gerilim arasında salınmasına izin verilir fakat gerilim yükseldikçe elektriksel bileşenlerin çektikleri akım da artar. Gece karanlıkta yola çıkmış bir aracın farları yandığında gerilim seviyesindeki oynamalardan dolayı parlaklığının değişmesi istenmez. Bu yüzden ağır ticari araçlarda izin verilen en yüksek sistem gerilimi 28.5 V doğru gerilimdir. Alternatörün şarj geriliminin 28.5 V'un üzerine çıkması istenilmez.

Geleneksel şarj sistemlerinde alternatör aküyü şarj ederken daha önceden belirlenmiş olan sabit bir gerilim değeri seçilir ve alternatör motor çalıştığı süre boyunca regülatör yardımıyla bu gerilim değerinde aracı şarj etmeye çalışır. Geleneksel şarj sistemlerinde akünün ne kadarının dolduğunu gösteren geri bildirim mekanizmaları bulunmamasından ötürü bu şarj sistemlerinin akıllı olarak kontrol edilmesinin imkanı da yoktur. Bu yüzden sabit bir gerilim değerinde aracın içten yanmalı motoru çalıştıkça aküler şarj edilmektedir. Bu kadar uzun süreli olarak akülerin şarj edilmesi hem yakıt ekonomisine, hem de akünün sağlığına zarar vermektedir. Daha fazla fosil yakıt yakılması günümüz hayatında küresel ısınmaya ve enerji kaynaklarının tükenmesine neden olmaktadır. Gittikçe artan sıkı emisyon kuralları ve yakıt tüketimi yönetmelikleri, güvenli, temiz ve yüksek verimli kara taşımacılığın geliştirilmesine olan ilgiyi teşvik etmektedir [23]. Bu nedenle akıllı şarj algoritmaları günümüz araçlarında kullanılmaktadır. Şekil 4.26'da akıllı şarj sisteminin topolojisi bulunmaktadır.



Şekil 4.26: Akıllı akü sensörü ve araç şarj sistemi [24].

Otomotivde teknolojilerin gelişmesi ile birlikte yeni sensörler geliştirildi. Otomotivde ADO, gerilim değeri, akım, akü sağlık durumu ve akü fonksiyon durumlarını öğrenip bu durumlardan gelen verilere göre bir EKÜ yardımıyla akıllı bir şarj algoritması geliştirmek mümkündür. Araçlarda kullanılan akıllı akü senörünü Şekil 4.26'da belirtilmiştir. Bu sensör LIN haberleşme hattı vasıtasıyla araçlarda bulunan elektronik kontrol ünitelerine akünün durumlarını aktarır ve elektronik kontrol üniteleri de bu sayede akıllı bir algoritma yardımıyla alternatörün çıkış gerilimini değiştirir [24].

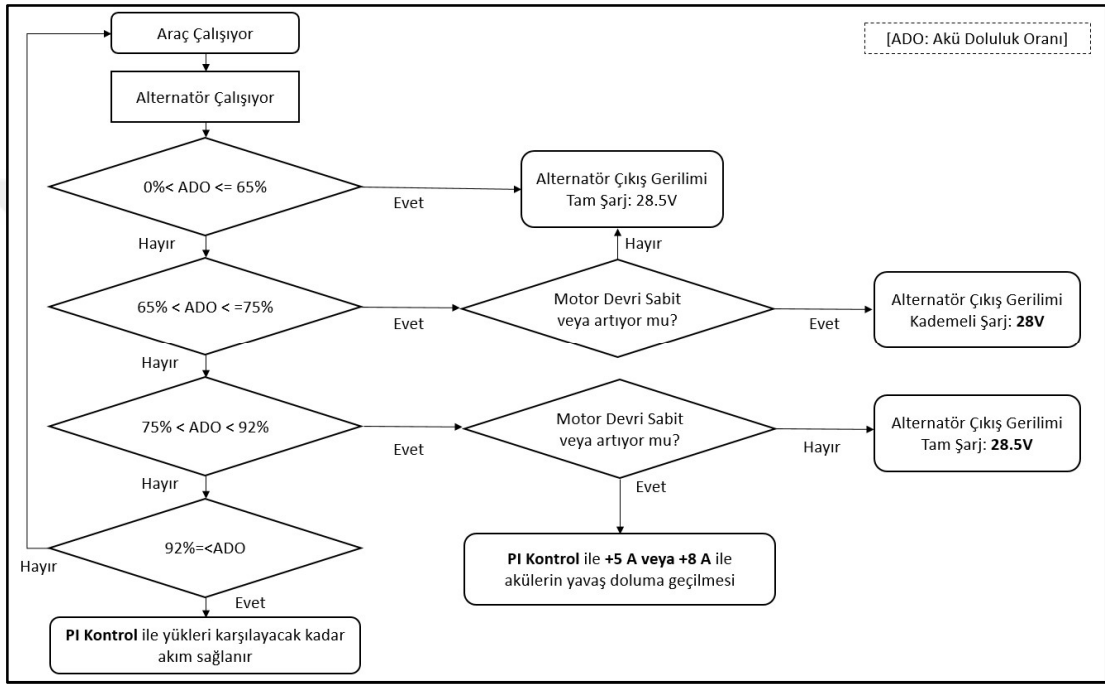
Akıllı şarj algoritması kullanılan araçlarda elektrik sistemlerinin veriminin arttığı, alternatörün veriminin arttığı, hava kirliliğinin azaldığı ve araç yakıt ekonomisine 5% ile 6.6% oranında katkı sağladığı belirtilmiştir[4,25].

Şekil 4.27'deki akış diyagramında belirtildiği üzere araç çalışıp alternatör devreye girdikten sonra akıllı akü sensörü yardımıyla akünün şarj durumuna veya ADO yüzdesine bakılır. Önceden de belirtildiği üzere bir sonraki çalışmada marş sağlaması için akü şarj durumunun 50%'in altında olması istenmez. Akıllı şarj algoritması yardımıyla araçtaki akülerin şarj durumu 65%'in altında olduğunda tam şarjda 28.5 V doğru gerilimde aküler şarj edilecektir. Akü şarj durumu 65% ile 75% arasında olduğunda ise yakıt ekonomisine katkı sağlamak için aküler 28 V doğru gerilimde şarj edilecektir. Ağır ticari araçlar uzun yol kat eder ve günlük sefer süreleri 10 saatin üzerinde olduğundan 65% ile 75% arasında tam şarj 28.5 V DA'da şarj etmek yerine 28 V DA'da şarj edilebilir. Eğer sürücü ayağını gazdan çektiyse veya motor devrinin ivmesi negatifse bu durumda motorun ataletinden faydalanmak için alternatör gerilimi tam şarja çekilecektir. Alternatörün uzun süre çalıştığı göz önünde bulundurulursa kademeli olarak şarj gerilimi düşürülebilir. Bu sayede motordan daha az güç ve enerji talebi olacağından yakıt ekonomisine daha fazla katkı sağlanır.

Eğer akünün şarj durumu 75%'den büyük ve 92%'den küçük olması durumunda akıllı şarj sistemi akım kontrollü yaparak devreye girer. Bu kapsamda sürücü gaza basıyorsa, PI kontroller aküyü 5 A veya 8 A ile sabit şarja alır. Her iki akım değeri için iki farklı algoritma gerçekleştirilecek ve geleneksel şarj sistemleri ile kıyaslanacaktır. Burdaki amaç aküyü yavaş yavaş şarj etmektir. Bu sayede alternatörün motordan daha az güç talep etmesi ve yakıt ekonomisine katkıda bulunulması hedeflenmiştir. Birde bunun dışında, sürücünün ayağını gazdan çektiği tespit edilen noktalarda veya motor devrinin azaldığı tespit edildiği noktalarda motor yavaşlama eğiliminde olacaktır. Motorun ataletinden dolayı oluşan bu fırsatı değerlendirmek için alternatör tam şarja çekilecek

ve bu noktadaki yavaşlamak için kullanılacak olan enerji aküye aktarmak hedeflenmiştir.

ADO 92%'yi geçmesi durumunda ise elektriksel yükleri karşılayacak kadar alternatörün akım üretmesi hedeflenmiştir. Bu sayede akülerin fazla şarj olması engellenecek ve akünün şarj durumu bu noktada sabit tutulmaya çalışılacaktır. Matlab/simulinkte yapılacak olan çalışmada Şekil 4.27'deki algoritmalar üzerinden ilerlenmiştir.



Şekil 4.27: Akü doluluk oranına göre alternatör kontrol algoritmaları.

#### 4.4.1 Alternatör Şarj Algoritmalarının Modellenmesi

Araçın şarj sistemini yönetmek için ADO'ya göre farklı kontrol metodlarını oluşturan bir şarj algoritmasının modellenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda akü şarj durumu 65%'in altındaysa, alternatör şarj gerilimi 28.5 V'da tam şarjda sabitlenecektir 65%'i geçince 28V DA'da kademeli şarja geçilecektir. Ayrıca bu durumda motor devri azalışa geçtiğinde tam şarja geçiş yapılacak ve motorun ataletinden kaynaklanan bedava enerji mümkün oldukça aküye depolanacaktır.

Öncelikli olarak aracın aküleri doldurulacak ve akünün şarjı 75%'e hızlıca varması hedeflenecektir. Araç şarj durumu 75% ile 92% arasında olduğu süreçte ise motor devrinin negatif ivmelenmesi durumuna göre şarj algoritması şekillendirilecektir. Eğer sürücü gaza basıyorsa bu durumda sistemde harcanan yüklerin 5 A veya 8 A fazlasını

karşılacak kadar akımla aküler şarj edilecektir. 75% ile 92% arasında 5 A ile yapılan şarja, akıllı şarj 1 denilecek olup benzer şekilde 8 A ile yapılan şarja akıllı şarj sistemi 2 denilecektir.

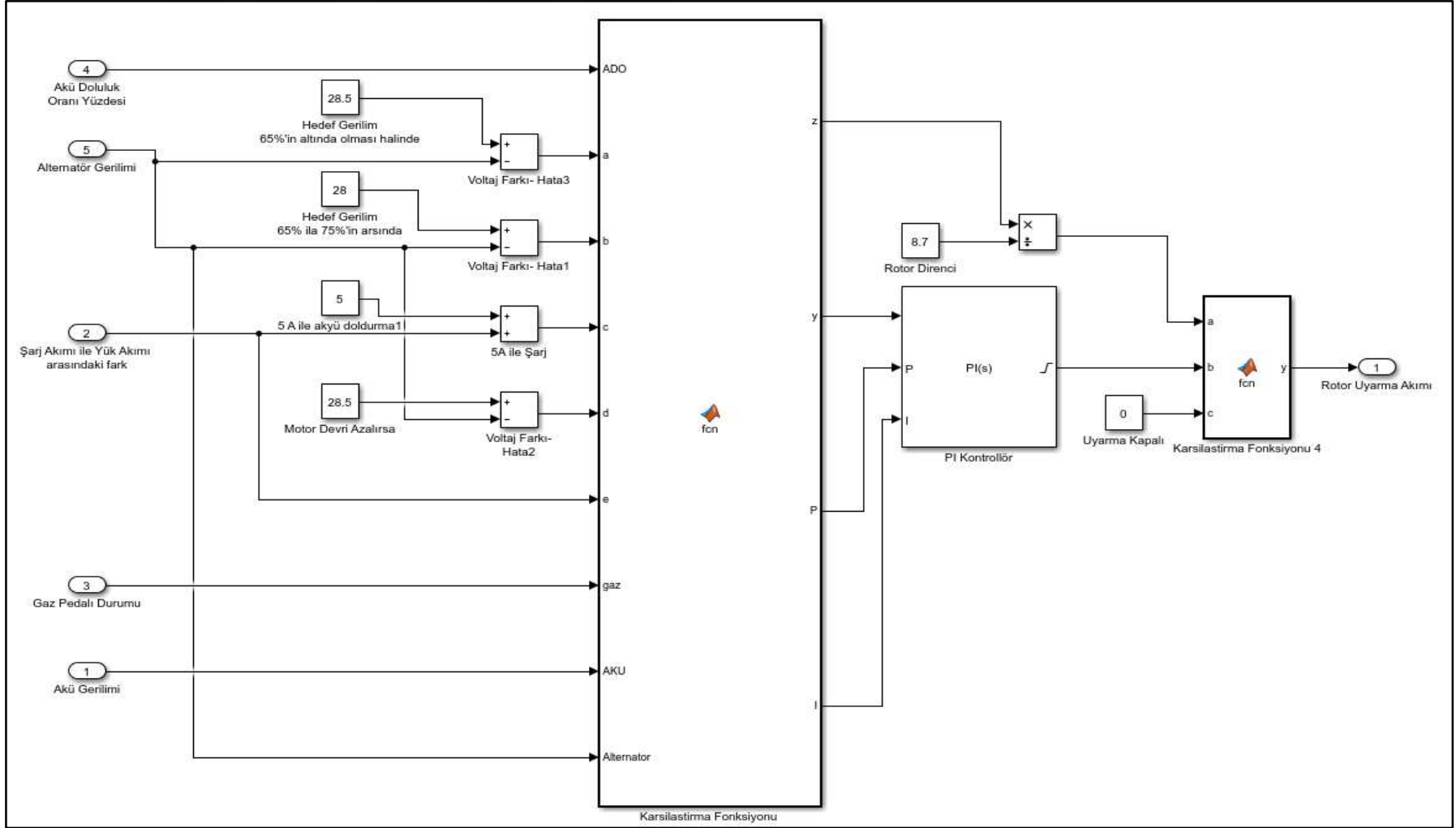
ADO 75% ile 92% arasında alternatör şarj gerilimi ihtiyaca göre farklılıklar gösterecektir. Sürücü bu aralıkta ayağını gazdan çektiğinde, araç yavaşlama eğiliminde olmasından ötürü içten yanmalı motordaki mekanik enerji maksimum düzeyde elektrik enerjisine çevrilecek ve aküleri doldurulacaktır. Bu durumda alternatör gerilimi 28.5 V doğru gerilimde tam şarja çekilecektir.

Akünün şarj durumu 92% ve üzerinde olması durumundaysa alternatör yükler tarafından harcanan akımı karşılayacak ve akünün doluluk oranı bu noktada sabit tutulacaktır.

Bu algoritmayı matlab/simulinkte modellemek için öncelikle bir PI kontrolle ihtiyaç duyulmaktadır. PI kontrollör sayesinde akünün yüklere verdiği akım ile alternatörün ürettiği akım değerleri karşılaştırılacak olup değişken yüklerin aküden talep ettiği akım kadar alternatör akım üretecektir. Bunun dışında akü şarj yüzdelerini karşılaştıracak olan bloklara ihtiyaç duyulmaktadır. Akü şarj yüzdesi değiştikçe şarj gerilim değerleri de değişecektir. Benzer şekilde bu bloklar sayesinde PI kontrollör bloğuna geçiş yapılacaktır.

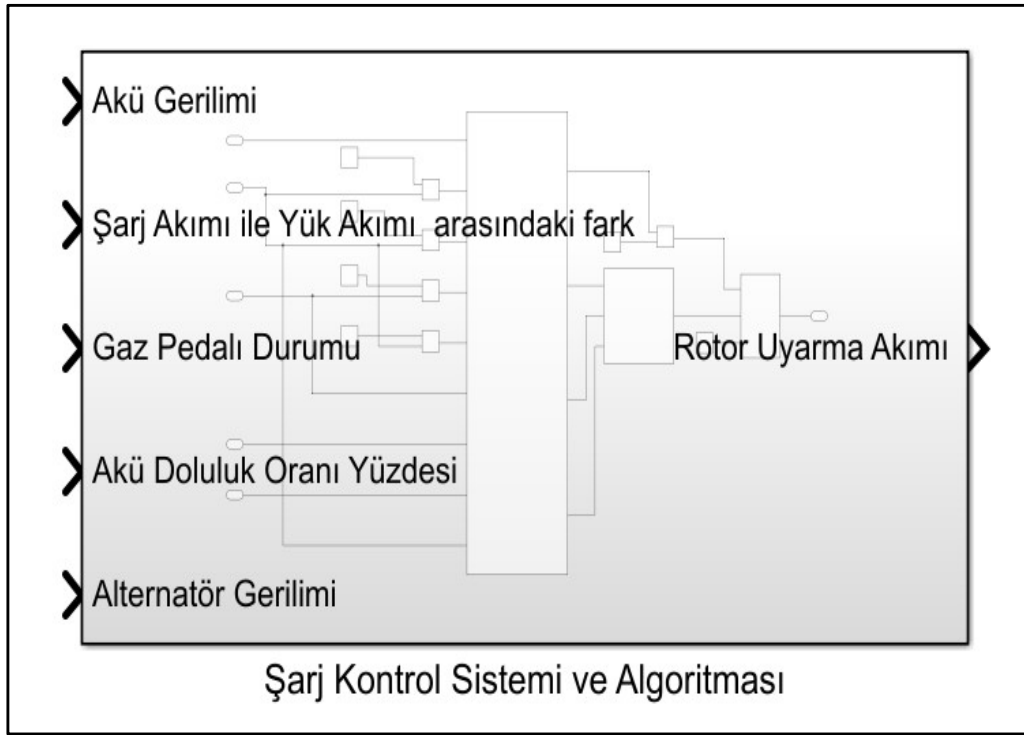
Akü şarj yüzdesi 92%'ın üzerine çıkması durumunda ise yükleri karşılayacak kadar akım üretilen ve akünün doluluk oranını sabit tutulması hedeflenecektir. Bu durumda gaz pedalına bakılmayacaktır çünkü akünün fazla şarj durumuna girmesi istenilmemektedir.

Şekil 4.28'de matlab/simulink yardımıyla ilgili kontrol algoritması kurulmuştur ve bu sayede alternatörün akü doluluk oranlarına göre farklı gerilim ve akım seviyelerinde şarj etmek mümkündür.



Şekil 4.28: Akıllı şarj algoritması matlab/simulink bloğu.

Şekil 4.28’de kullanılan bloktaki fonksiyonu Şekil 4.29’daki gibi tanımlanmıştır. Araç şarj sistemi modelleme ve benzetim çalışmasında bu fonksiyon bloğu kullanılacaktır.



Şekil 4.29: Şarj algoritması ve regülatör bloğu-2.

Şekil 4.28’de akıllı şarj 1 ve akıllı şarj 2 için iki farklı hedef akım girilecek şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da kullanılan bloklarda matlab fonksiyon blokları kullanılmıştır. Bu noktada kullanılan iki adet farklı matlab fonksiyon bloğu bulunmaktadır. Bu bloklarda kullanılan yazılım kodları ekler bölümünde belirtilmiştir.

Karşılaştırma fonksiyonu bloğunun “a” girişi akü şarj doluluk oranının 65%’in altında olması durumunda verilen hedef gerilim değeridir ve bu hedef gerilim değeri “y” çıkışından PI kontrollöre verilmektedir. “b” girişi ise akü şarj doluluk oranının 65%’den fazla ve 75%’den az olduğu durumda ve motor devrinin sabit veya arttığı durumda “y” çıkışına aktarılmaktadır. Eğer aynı şartlarda motor devri azalışa geçerse “d” girişi “y” çıkışına yönlendirilmektedir. Akü şarj doluluk oranı 75%’den fazla ve 92%’den az ise “c” girişinde bulunan 5 A ile şarj etme algoritması devreye girmektedir ve PI kontrollöre “y” çıkışının değeri verilmektedir.

Blokta bulunan “gaz” girişi motor devrinin azaldığı veya sabit ve arttığı aralıklarda dijital olarak bilgi vermektedir.

“AKU” ve “Altenator” girişleri ise “z” çıkışına gitmektedir. Eğer alternatör gerilimi aküden küçük ise alternatör uyarma akımı aküden beslenmektedir. Alternatör devreye girdikten sonra ise rotor uyarma akımını, alternatörün kendi üzerinden beslenmektedir. Araçlarda da benzer şekilde ilk uyarma akımını alternatör aküden alır ve daha sonra alternatör kendi kendisini besler.

Oransal (P) ve integral (I) katsayıları ise PI kontrollörün gerilim veya akım kontrollü olmasına göre değişkenlik göstermektedir. Bu katsayılar daha sonra araç şarj sisteminin kurulmasıyla ve tüm şarj sisteminin oluşturulmasıyla beraber belirlenecektir.

Karşılaştırma fonksiyonu 4 ile de rotor uyarma akımının PI kontrollör yardımıyla açılıp kapanması sağlanmaktadır. “b” girişi sıfırdan büyük olduğunda “y=a” olur ve “b” girişi sıfır olduğunda ise “y=c” olur. Bu sayede anahtarlama yapılarak uyarma akımı kontrol edilir.

#### **4.5 Motor Devri ve Gaz Pedalı Fonksiyon Blokları**

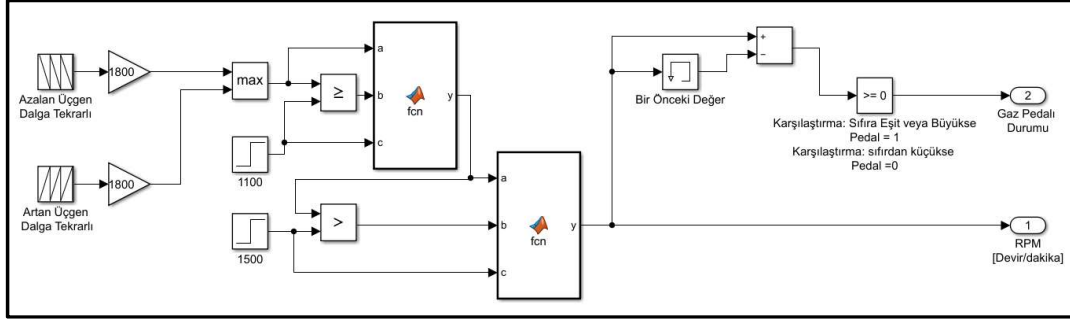
Alternatör içten yanmalı motor tarafından tahrik edilmesinden dolayı farklı hızlarda dönen bir elektrik makinasıdır. Alternatör ağır ticari araçlarda kullanıldığından yol ve işletme şartlarından ötürü farklı hızlarda çalışmaktadır. Bu durumu göz önüne alarak farklı devir hızları modelleyecek bir benzetim yapılmıştır. Geliştirilen sürüş senaryosu sayesinde artan, azalan ve sabit motor devir hızlarında alternatörün davranışını şarj sistemine yansıtmaktır.

Motor devir hızının artışı veya azalışı bize içten yanmalı motorun ivmelenme yönünü vermektedir. İvmelenmenin negatif olduğu noktalarda motor ataletinden maksimum şekilde faydalanılması hedeflenilmiştir. Eğer zamana bağlı bir önceki değer bir sonraki değerden büyükse bu durumda negatif ivmelenme vardır ve bu durumda tam şarj algoritmasını devreye sokabiliriz. Eğer bir önceki değer bir sonraki değerden küçük veya eşitse bu durumda ivmelenme pozitif veya sıfıra eşittir. İvmelenmenin sıfırdan büyük olduğu noktalarda alternatör akıllı şarj algoritması kapsamında sürülecek ve hedef gerilim değeri tam şarjda tutulmayacaktır. Bu kapsamda fonksiyon bloğu şekillenmiştir.

Uzun işletme şartlarının benzetimini yapmak için 1100 ile 1500 devir/dk arasında motor devrinin değişkenlik gösterdiği bir sürüş senaryosu tasarlanmıştır. Bu noktada

amaç içten yanmalı motorun en verimli ve en fazla çalıştığı aralıkta sürüş senaryosunu oluşturmak ve benzetim çalışmasına yansıtacaktır.

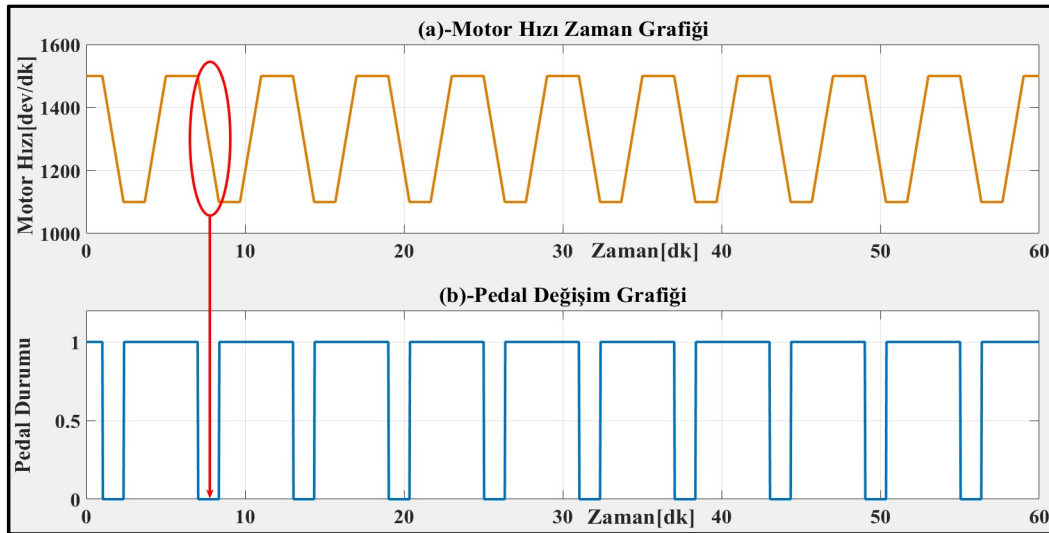
Şekil 4.30'da görüldüğü gibi simulink blokları hem gaz pedalı için, hem de motor devri için tasarlanmıştır.



Şekil 4.30: Motor devri ve ivmelenme bloğu.

Şekil 4.31 (a)'da görüldüğü gibi turuncu çizgi üzerinde sürekli tekrarlayan motor devir hızları görülmektedir. Şekil 4.31 (b)'de mavi ile gösterilen çizgi gaz pedalı göstermektedir. Motor hızı sabitken veya motor hızı artarken gaz pedalının kullanımda olduğunu ve pozitif ivmelenme olduğunu gösterirken, negatif olduğunda sürücünün ayağını gazdan çekmeye başladığını göstermektedir. Gaz pedalı değeri 1 veya 0 olarak algoritmada bir girdi olacak şekilde tasarlanmıştır.

Gaz pedalı 1 olduğunda ivmelenme pozitif veya sıfıra eşittir. Gaz pedalı durumu sıfır olduğunda ise ivmelenmenin negatif olduğunu göstermektedir. Şekil 4.31'(a) ve (b)'de kırmızı halka ile motorun negatif ivmelendiği alanda pedalın 0 olduğu görülmektedir.



Şekil 4.31: (a) Motor hızı-zaman grafiği, (b) gaz pedalı-zaman grafiği.

#### 4.6 Araç Yüklerinin Modellenmesi

Ağır ticari araçlarda bulunan elektriksel yükler içten yanmalı motor çalıştığı sırada alternatörden beslenirler. Bu araçlarda bir çok farklı karakteristikte elektriksel yükler bulunur. Cam motorları, farlar, iç tavan aydınlatma lambaları, valfler, EKÜ'ler, klima ve hava kompresörleri, ön cam ısıtma, açılır tavan motoru, silecek motoru, ayna ısıtma ve benzeri omik ve endüktif yükler araçlarda bulunmaktadır.

Ağır ticari araçlarda bulunan bu yüklerin hepsinin kullanım amaçları farklı olduğundan dolayı aynı anda devrede değildir. Bu yüzden bu yüklerin alternatörden talep ettiği yükler zamana bağlı değişkenlik göstermektedir. Bu yüklerin kullanım sıklığına göre ayrı ayrı birer eş zamanlılık katsayısı belirlenmiştir.

Eş zamanlılık katsayısı araçta kullanılan yüklerin farklı zaman aralıklarında devrede olmasından ötürü bir sürüş döngüsü içerisinde veya işletme koşullarında ortalama kullanımlarını ifade eden bir orandır. Yükler sürekli olarak aktif değildir ve bu değerleri olduğu gibi kullanmak yerine eş zamanlılık katsayısı değeri ile çarpılarak yüklerin ortalama değeri benzetim çalışmasında alınmıştır.

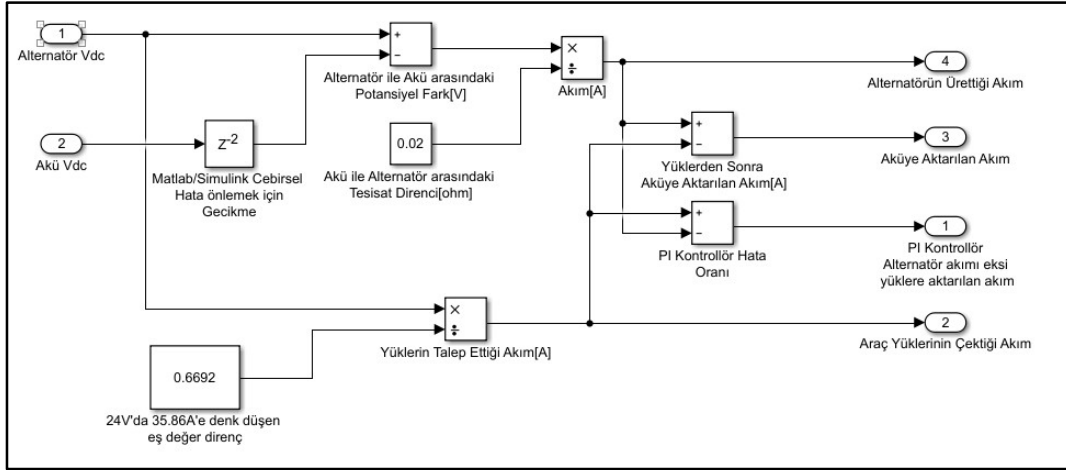
Araçta bulunan yükler ve bu yüklerin kullanım seneryolarını göz önünde bulundurarak Çizelge 4.4 hazırlanmıştır. Araçta bulunan elektriksel komponentlerin çektikleri akım, adet ve eş zamanlılık faktörü göz önünde bulundurularak ortalama 35,86 A hesaplanmıştır. Yüklerin çektiği bu akım değeri 24 V nominal gerilimde cihazlar talep etmektedir. Araçta sistem gerilimi alternatörün geriliminin değiştirmesi ile farklılık göstermesinden dolayı yük akımı değişkenlik gösterecektir. 24 V gerilimde elektriksel komponentlerin 35,86 A sağlaması için olması gereken eşdeğer direnç  $0.6692 \Omega$  olarak belirlenmiştir. Bu sayede farklı gerilim değerlerinde çekilen yük akımı ortaya çıkacaktır.

Araçta bulunan ortalama yükler dışında en önemli parametrelerden biri de akü ile alternatör arasında bulunan tesisatın iç direncidir. Alternatör, aküden daha fazla potansiyel gerilime sahip olduğu anda aralarında bulunan elektrik tesisatı üzerinden aküyü besler. Aküye aktarılan akımın artırılması için alternatör ile akü arasındaki potansiyel farkın açılması gerekmektedir. Potansiyel farkın yanında alternatör ve akü arasındaki direnç önemli bir parametredir. Bu noktada yüksek akım akması için kesiti büyük ve direnci küçük olan bakırdan yapılmış bir tesisat kullanılır. Bu tesisatın iç direnci  $0.02 \Omega$ 'dur.

**Çizelge 4.4:** Elektriksel yükler ve ortalama yük tüketim çizelgesi.

| No                          | Elektriksel Yük Tüketen Cihazlar              | Araçtaki Sayısı | Akım [A] | Toplam Akım [A] | Eş Zamanlılık Katsayısı | Eş Zamanlılık Katsayısı Sonrası |
|-----------------------------|---|-----------------|----------|-----------------|-------------------------|---------------------------------|
| 1                           | EKÜ'ler                                       | 23,00           | 0,80     | 18,40           | 0,60                    | 11,04                           |
| 2                           | Cam Motoru                                    | 2,00            | 4,80     | 9,60            | 0,10                    | 0,96                            |
| 3                           | Radyo ve Multimedya Sistemleri                | 1,00            | 12,40    | 12,40           | 0,70                    | 8,68                            |
| 4                           | Kısa Far                                      | 2,00            | 2,60     | 5,20            | 0,40                    | 2,08                            |
| 5                           | Uzun Far                                      | 2,00            | 3,30     | 6,60            | 0,05                    | 0,33                            |
| 6                           | Ayna Isıtma                                   | 2,00            | 2,00     | 4,00            | 0,10                    | 0,40                            |
| 7                           | Açılır Tavan Motoru                           | 1,00            | 5,00     | 5,00            | 0,03                    | 0,15                            |
| 8                           | Ön Cam Isıtma                                 | 1,00            | 60,00    | 60,00           | 0,02                    | 1,20                            |
| 9                           | Valf  | 6,00            | 0,70     | 4,20            | 0,20                    | 0,84                            |
| 10                          | Klima Kompresörü                              | 1,00            | 6,00     | 6,00            | 0,60                    | 3,60                            |
| 11                          | Yakıt Çalışan Isıtıcı                         | 2,00            | 4,40     | 8,80            | 0,05                    | 0,44                            |
| 12                          | İç Aydınlatma Lambaları                       | 4,00            | 0,70     | 2,80            | 0,10                    | 0,28                            |
| 13                          | Hava Kompresörü                               | 1,00            | 3,20     | 3,20            | 0,25                    | 0,80                            |
| 14                          | Gündüz Yanan Farlar                           | 2,00            | 1,20     | 2,40            | 0,60                    | 1,44                            |
| 15                          | Park Lambaları                                | 6,00            | 1,30     | 7,80            | 0,40                    | 3,12                            |
| 16                          | Diğer Yükler (fren lambaları, sinyaller v.b.) | 1,00            | 5,00     | 5,00            | 0,10                    | 0,50                            |
| <b>Ortalama Toplam Akım</b> |   |                 |          |                 |                         | <b>35,86</b>                    |

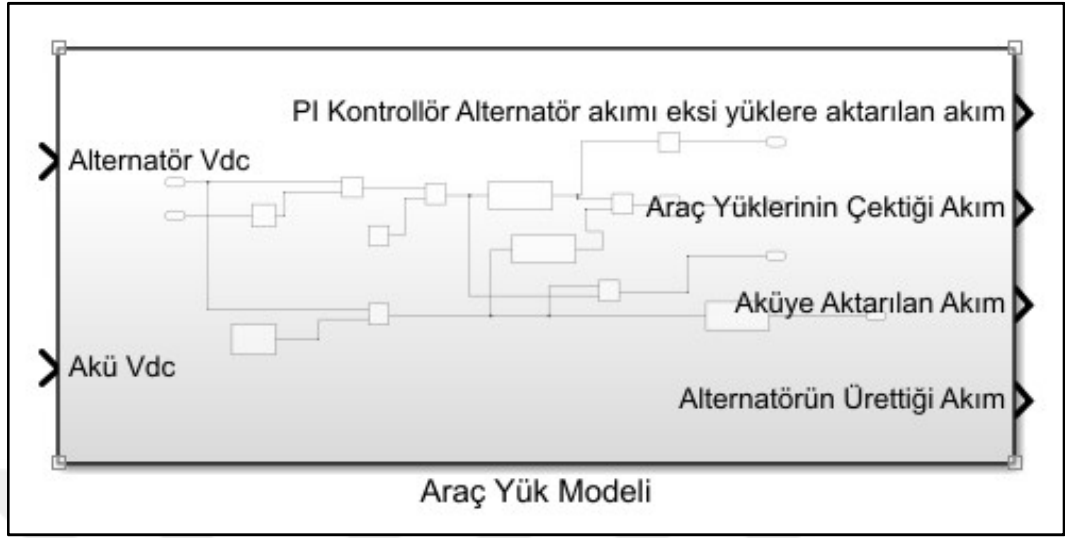
Araç yüklerinin modeli bu bilgiler eşliğinde kurulabilir. Bu noktada matlab/simulink özelinde araç yük modeli Şekil 4.32'deki gibi kurulmuştur.



**Şekil 4.32:** Araç yük modeli.

Bu yük modelinde aynı zamanda akıllı şarj sistemine geribildirim vermektedir. Bu noktada alternatörün ürettiği akım ile yüklerin çektiği akım arasındaki fark bu blokta hesaplanmaktadır ve bu fark ile akıllı şarj sisteminin yüklere göre şarj etmesi sağlanmaktadır. Bu blokta üretilen akım, aküye aktarılan akım ve yüklerin harcadığı

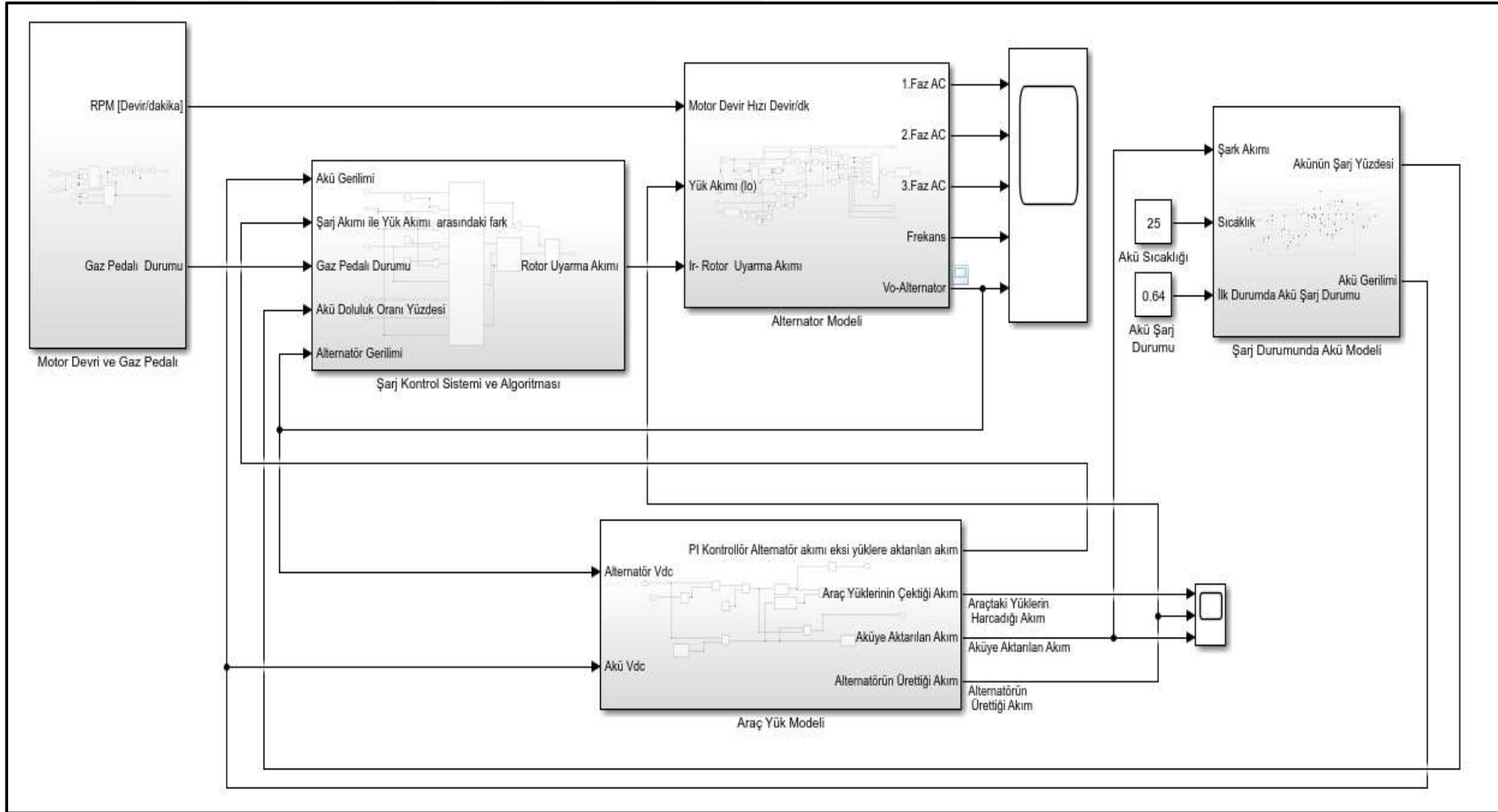
akım bilgileri çıktı olarak sağlanmaktadır. Bu noktada bloğun tasarımı Şekil 4.33'deki gibi araç benzetim çalışmasında kullanılacaktır.



Şekil 4.33: Araç yük modeli simulink bloğu.

#### 4.7 Araç Şarj Sisteminin Modellenmesi

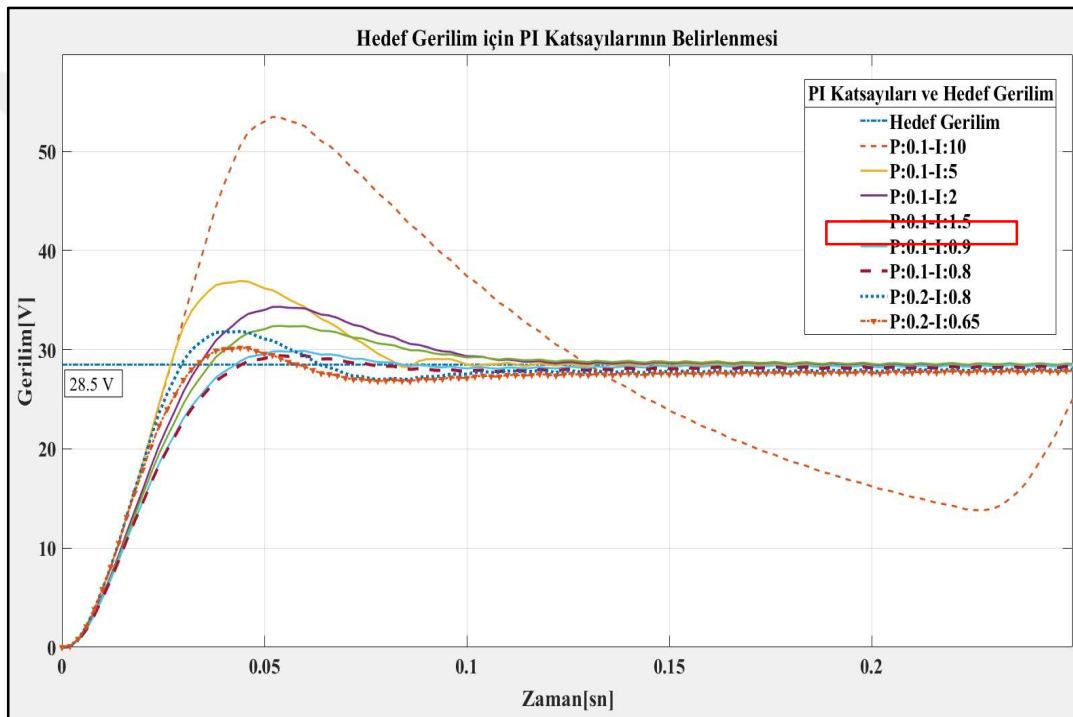
Araç yük modeli, akü modeli, alternatör modeli, akıllı şarj algoritması, gerilim regülatörü motor devri ve gaz pedalı blokları araç şarj sistemini modellemek için oluşturulmuştur. Tüm bu modeller bir araya getirildiğinde araç şarj sistemi oluşacaktır. Şekil 4.34'de tüm modellerin bir araya getirilerek oluşturulan araç şarj sistemi modeli bulunmaktadır.



Şekil 4.34: Araç şarj sisteminin matlab/simulink modeli.

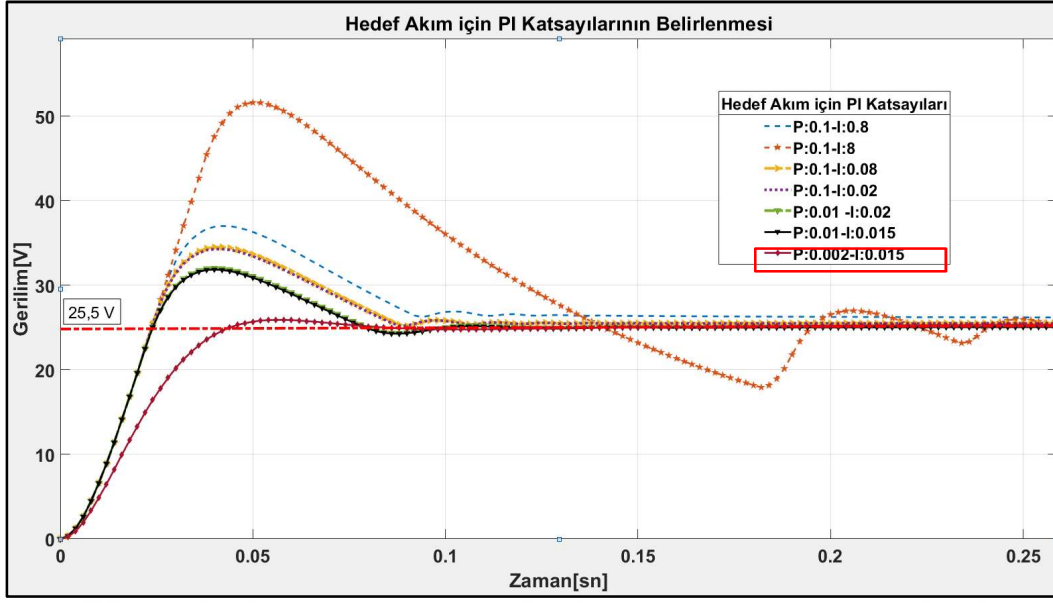
#### 4.7.1 Araç şarj modelinin PI katsayılarının belirlenmesi

Araç şarj modelini oluşturduktan sonra 28.5 V tam şarj veya 28 V’da kademeli şarj için P ve I katsayılarının belirlenmesi için Şekil 4.35’deki gibi farklı değerler denenmiş ve iterasyon metoduyla sonuca ulaşılmıştır. P: Doğrusal ve I: integral değerleri için yapılan çalışmada en uygun değer  $P=0.1$  ve  $I=0.8$  olarak bulunmuştur. Algoritmada tam şarja giden tüm noktalarda bu değerler kullanılacaktır. “I” değeri arttıkça ilk andaki gerilimin yükseldiği görülmüştür. Bu durumda “I” değeri küçültülerek seçilmiştir. Farklı “P” değerleri denenmiş fakat bu noktada sistem yeterince hızlı olduğundan dolayı “P” değeri: 0.1 olarak alınmıştır.



Şekil 4.35: Gerilim kontrolü için PI katsayısı belirleme.

Şekil 4.36’da 5 A’de sabit şarj etmek ve 8 A’de sabit şarj etmek için PI kontrollörün katsayıları belirlenmiştir. PI kontrollör katsayıları belirlenirken hedef gerilimin hızlı bir şekilde sabit bir değere oturması hedeflenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda sabit akımda aküyü şarj etmek için belirlenen değerler P: 0.002 ve I: 0.015 olarak belirlenmiştir. Akıllı şarj algoritmasında sabit akımla şarj ederken bu değerler kullanılacaktır. Burada P değeri büyüdükçe gerilimin maksimum değeri arttığı ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde I değeri de gerilimi arttırmaktadır. En uygun değerler bulunurken P ve I değerleri küçültülerek denemeler yapılmış ve iteratif olarak en uygun değerler modele yansıtılmıştır.



Şekil 4.36: Akım kontrolü için PI katsayılarının belirlenmesi.

## 5. ARAÇ ŞARJ SİSTEMİNİN BENZETİM ÇALIŞMASI

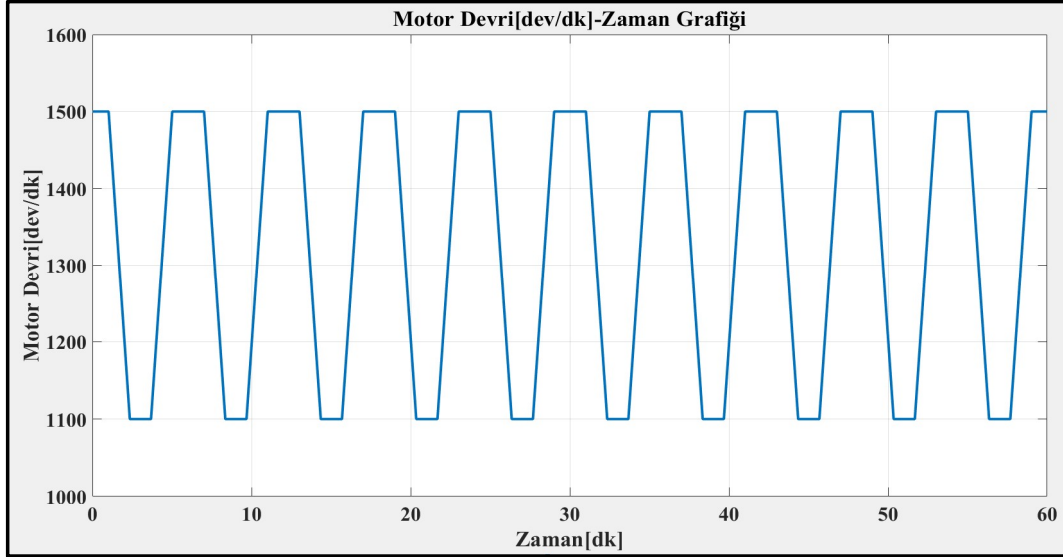
4. bölümde araç şarj sistemini modellemek için alternatör, aküler, yükler, motor devri ve akıllı şarj sistemlerini ayrı ayrı modelledikten sonra bir araya getirerek araç şarj sisteminin modeli çıkarılmıştı. Bu bölümde akıllı şarj sistemi 1, akıllı şarj sistemi 2 ve geleneksel şarj sisteminin karşılaştırılması yapılacak ve sonuçlar değerlendirilecektir.

Şarj sistemlerinin karşılaştırmasını yapmak için üç şarj sistemi için de aynı sürüş senaryosu uygulanacaktır. Bu sürüş senaryosunda sıcaklık parametresi 25 C°'de sabit alınıp, araç yükleri eş zamanlılık tablosunda çıkan değer doğrultusunda 24 V doğru gerilimde 35,86 A'e denk düşen 0.6692  $\Omega$  olarak sabit alınmıştır. Motor devri Şekil 5.1'de görüldüğü gibi 1100 ile 1500 devir/dk arasında üç sistem içinde aynı şekilde değişkenlik göstermiştir. Motor devrinin bu aralıklarda belirlenmesinin nedeni ağır ticari araçlarda içten yanmalı motorun en verimli ve en fazla kullanım aralığının bu aralıkta olmasıdır. Ayrıca şarj sistemlerinde karşılaştırma yapılırken, üç şarj sistemindeki araçların ilk akü doluluk oranları 63% olarak alınmıştır.

Bu kapsamda üç şarj sistemi karşılaştırılacak ve geleneksel şarj sistemi ile akıllı şarj sistemlerinin karşılaştırılması yapılacaktır.

Akıllı şarj sistemi 1 ve akıllı şarj sistemi 2 ADO 75% ile 65% arasındayken araç sistem gerilimini 28 V doğru gerilime çekecektir. Negatif ivmelenmenin olduğu noktalarda tekrardan sistem gerilimini 28.5 V doğru gerilime çekecektir.

Akıllı şarj sistemi 1 de 75% ile 92% arasında 5 A sabit akımla aküyü şarj edecek ve motor devrinde negatif ivmelenme olduğunda sistem gerilimini 28.5 V doğru gerilime çekecektir. Benzer şekilde akıllı şarj sistemi 2 ADO 72% ile 92% arasında 8 A ile aküleri şarj edecektir. Akıllı şarj sistemi 2 negatif ivmelenmenin olduğu noktalarda ise araç sistem gerilimini 28.5 V doğru gerilimde tam şarja çekecektir. Geleneksel şarj sisteminde ise sadece gerilim 28.5 V tutulacaktır. ADO'dan bağımsız olarak tüm şarj süresi boyunca sistem bu gerilimde tutulacaktır. Benzetim çalışmasında akıllı şarj sistemlerinin ADO 92%'ye gelmesi durumunda yükleri karşılayacak kadar akımı alternatör üretecektir. Bu noktadan sonra aküler şarj edilmeyecektir.



**Şekil 5.1:** Motor devri zaman grafiği.

Tüm şarj sistemlerinin akü doluluk oranlarının 92%'ye vardığında karşılaştırılması yapılacaktır. Bunun dışında akıllı şarj sistemlerinin 92% ADO oranına gelmesi için gereken süreye göre de karşılaştırılması yapılacak sürüş zamanlarındaki enerji üretimi ve tüketiminin kıyaslaması yapılacaktır.

Yüklerin üzerinde harcanan enerji ortaya çıkarıldıktan sonra tüm sistemler birbirleriyle karşılaştırılacaktır.

Üç sistemin karşılaştırılması sonucu elde edilen veriler doğrultusunda en etkili ve verimli olan şarj sistemi seçilecek ve bu sistemin diğer şarj sistemleri ile kıyaslaması yapılacaktır. Grafiklerde gaz pedalı durumu ile motor devrindeki ivmelenme gözlemlenecek, alternatör akımı, yük akımı ve aküye aktarılan yük akımları ortaya çıkarılacaktır. Bunun yanında ADO oranlarının zamana göre değişimi ve alternatör başka bir deyişle sistem gerilimi ve yüklerin üzerindeki gerilimler kıyaslanacaktır.

## 5.1 Akıllı Şarj Sistemi 1

Şekil 5.2'de ve 5.3'te görüldüğü gibi akıllı şarj sistemi 1 yardımıyla ADO 63% ile 65% arasıdayken sabit gerilimde aküler şarj edilmektedir. ADO 65%'e geldiğinde alternatör ve sistem gerilimi 28 V'a düşmüştür. Negatif ivmelenmenin olduğu noktalarda ise alternatör gerilimi 28.5 V'da tam şarjda aküleri şarj etmektedir. Yük akımı araç sistem geriliminden etkilenmektedir. Araç gerilimi arttıkça yüklerin çektiği akım da artmaktadır. ADO 75%'in üzerine çıktığı ve 92%'in altında olduğu durumda

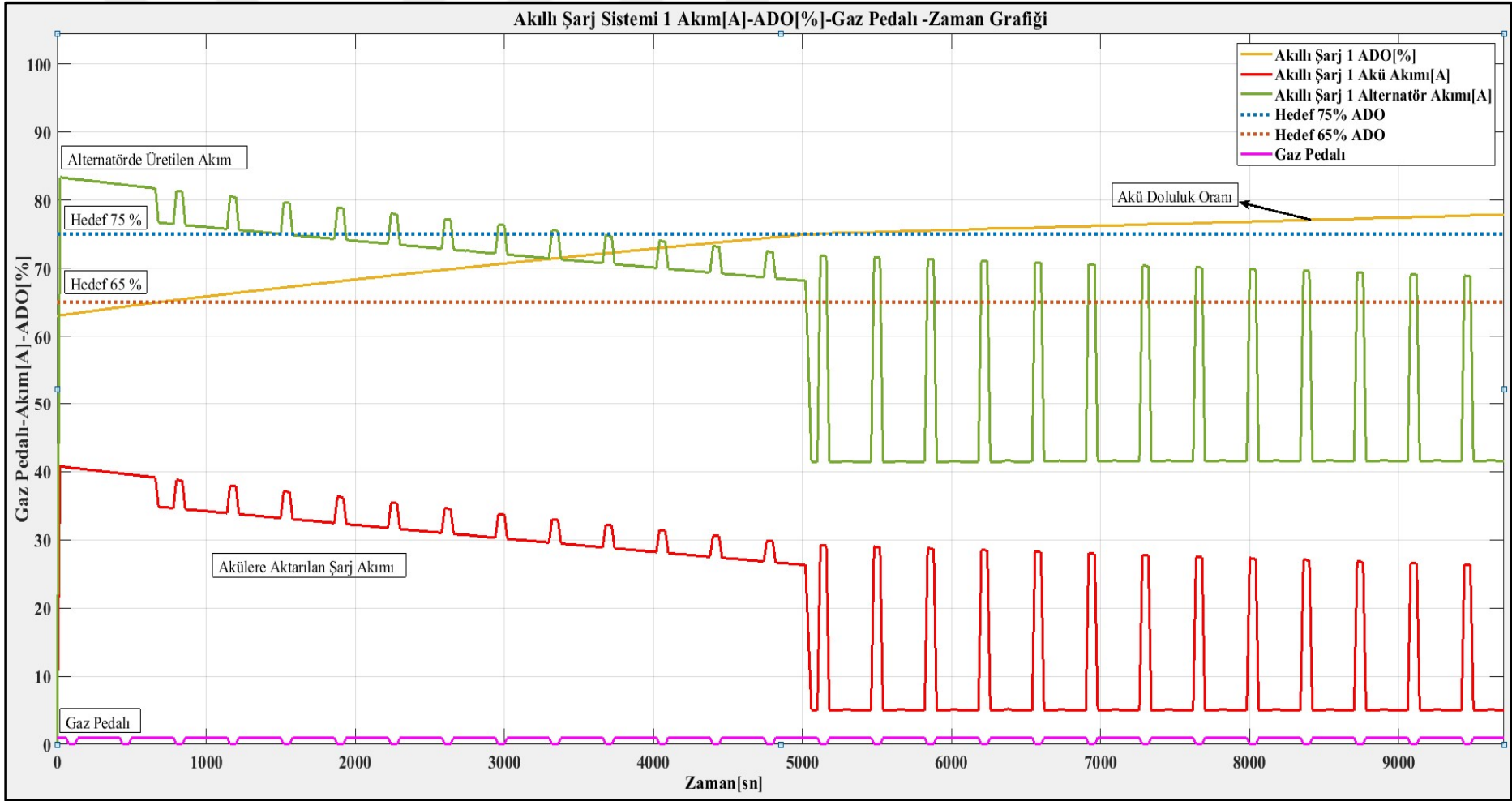
ise akülere aktarılan şarj akımı 5 A'dır. Bu noktada motor devrindeki negatif ivmelenme gözetilmiş ve devirde negatif ivmelenme yakalandığı anda alternatör gerilimi 28.5 V'da tam şarja çekilmiştir. Bu noktada aküye aktarılan akım ADO'ya göre değişkenlik göstermektedir. ADO arttıkça aküye aktarılan akım azalmaktadır. ADO 92%'yi yakaladığı durumlarda ise alternatör Şekil 5.3'de görüldüğü üzere sadece yükleri karşılayacak kadar akım üretmiş ve ADO 92%'de sabit kalmıştır.

Bu noktada PI kontrollörler yardımıyla daha önce belirlenen katsayılar yardımıyla benzetim çalışması yapılmıştır. PI katsayıları başarılı bir şekilde sabit gerilimde ve sabit akımda ADO yüzdelerine ve negatif ivmelenme durumuna göre araç şarj sisteminin algoritmasını çalıştırmıştır.

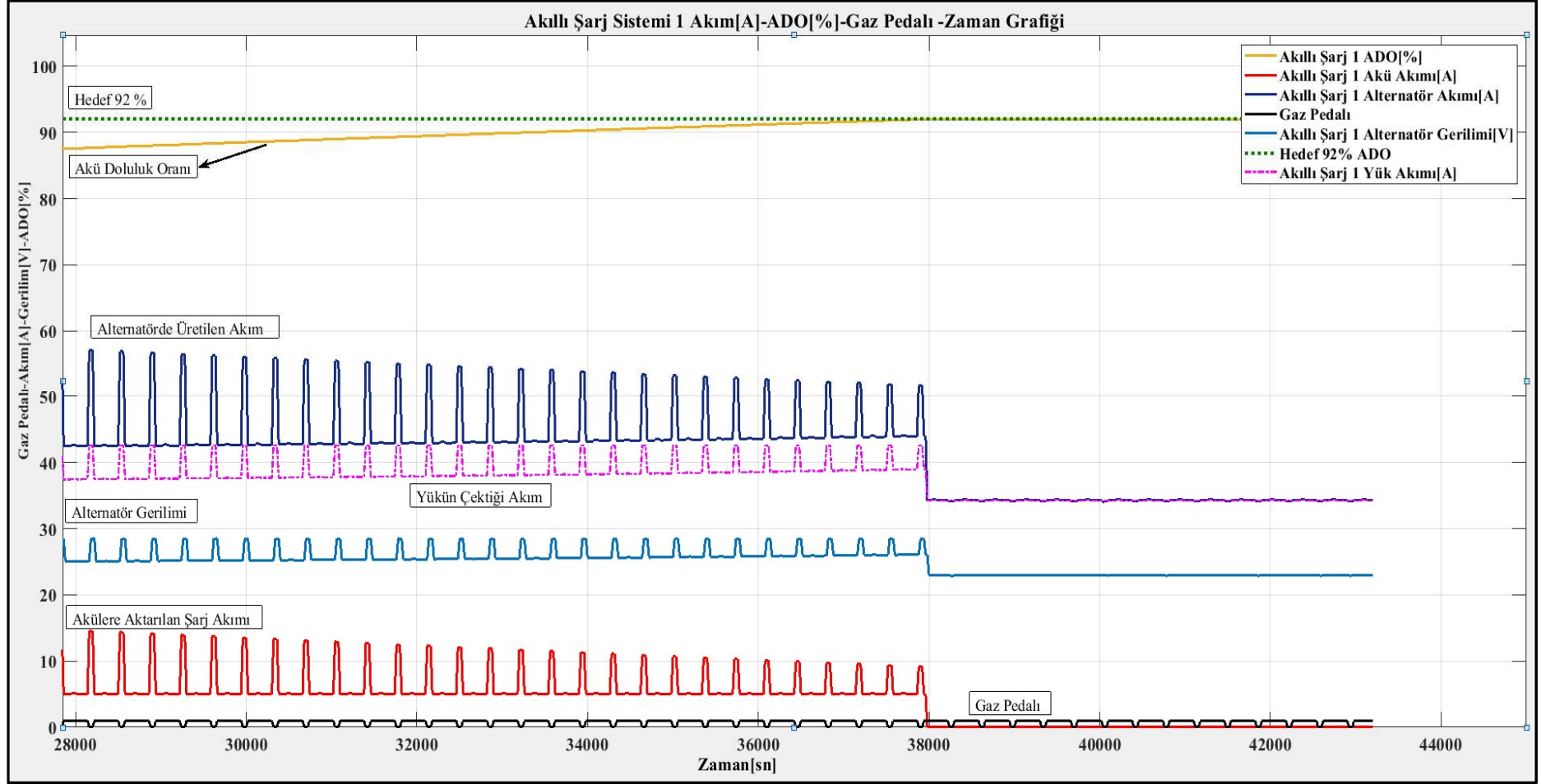
ADO 65%'e varana kadar olan artış hızı ile ADO 65% ila 75% arasında farklılık göstermektedir. Sistem gerilimi düşürüldüğü için akü dolma hızı yavaşlamıştır. Benzer şekilde ADO 75%'den sonra akünün dolma hızı daha da yavaşlamıştır.

Negatif ivmelenmenin yakalandığı noktalarda ise aküye aktarılan akım haricinde alternatörün ürettiği akım da artmaktadır. Bu noktada yüklerin çektiği akım gerilimin artmasıyla beraber artmaktadır.

Hedef 92%, hedef 75% ve hedef 65% ADO çizgilerinden sonra alternatörün sistem gerilim değişimleri Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de görülmektedir. ADO 92%'yi yakaladığı noktalarda ise yüklerin çektiği akım ve alternatörün ürettiği akım birbirine eşitlenmiştir. Bu noktada aküye aktarılan akım 0 A'dır ve aküler şarj edilmemektedir. Bu sayede akülerin fazla şarj olma riski ortadan kalkmıştır.



Şekil 5.2: Akıllı şarj sistemi 1 - 63% ile 78% arası ADO grafiği.



Şekil 5.3: Akıllı şarj sistemi 1 - 88% ile 92% arası ADO grafiği.

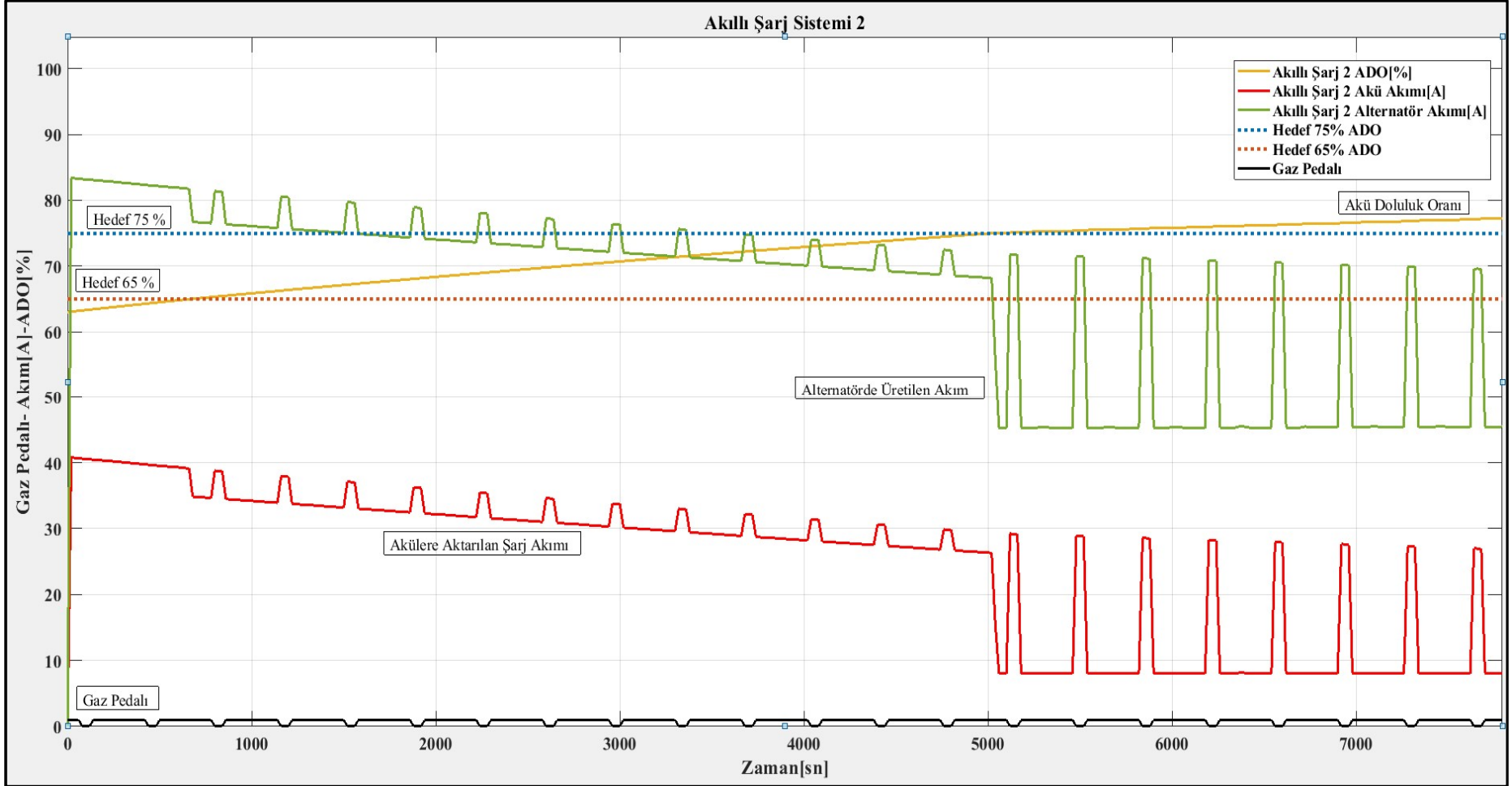
## 5.2 Akıllı Şarj Sistemi 2

Akıllı şarj sisteminin 1'den farklı olarak bu şarj sisteminde ADO 75%'in üzerinde ve 92%'in altında olduğu durumda 5 A yerine 8 A ile aküleri şarj etmektedir. Motor devrinde negatif ivmelenme olduğu anda ise kendisini tam şarja çekmektedir. Akıllı şarj algoritması 2'nin diğer bölümleri akıllı şarj algoritması 1 ile tamamen aynıdır.

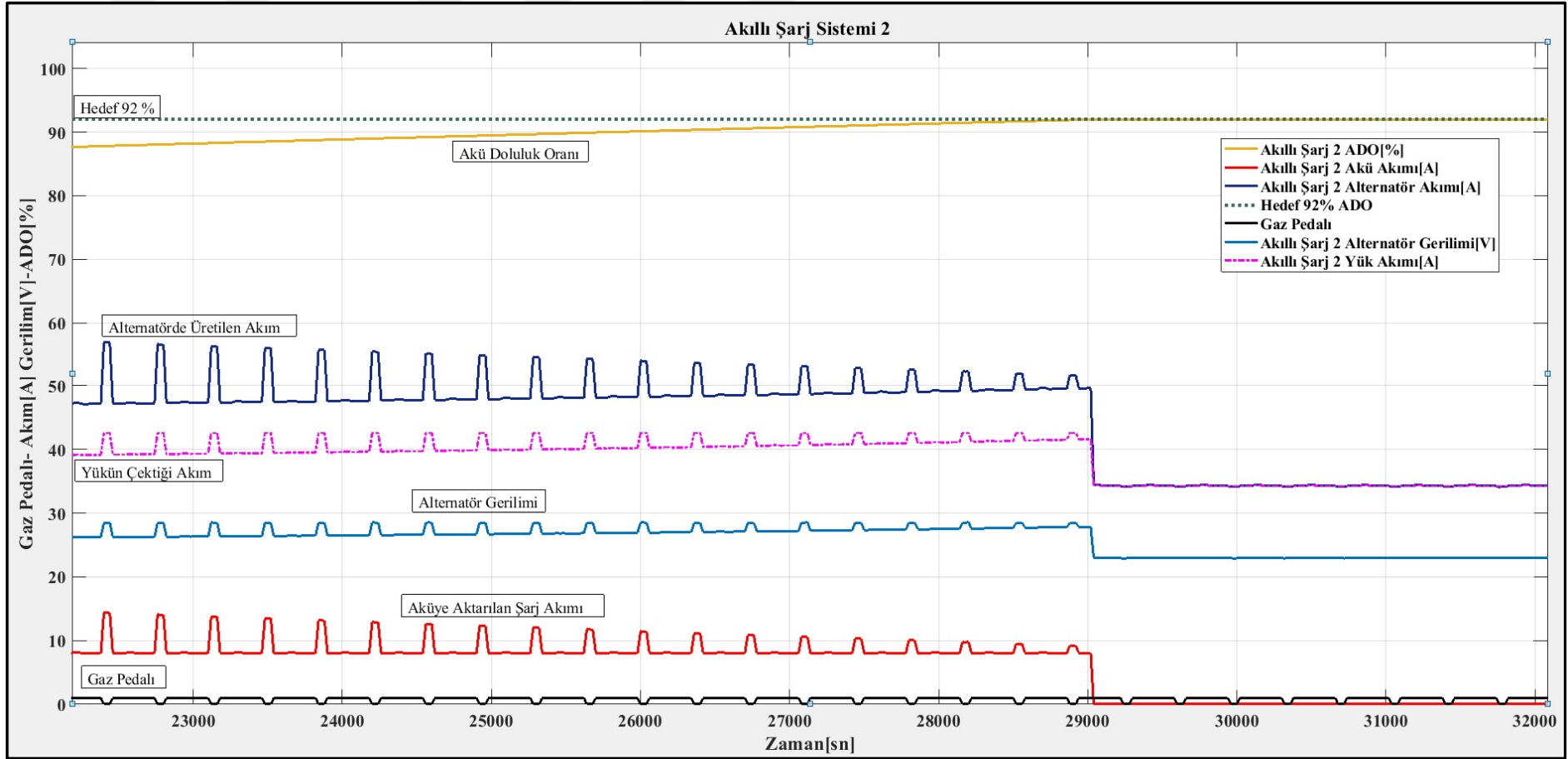
Yapılan çalışmanın detayı Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de görülmektedir. Bu sistem modellenirken tamamen aynı PI katsayıları kullanılmıştır. Sistemin davranışını gözlemlemek için benzetim çalışması Şekil 5.4'te ADO 63% ve 77.5% arasında ve Şekil 5.5'te ADO 88.7% ile 92% arasında yapılmıştır.

Akıllı şarj sistemi 2'nin ilk sisteme göre farkı ADO'nun daha hızlı yükselmiş olmasıdır. Şarj süreleri kıyaslandığında bu sistem daha etkilidir. Benzer şekilde bu sistemde de ADO 92%'yi geçtikten sonra aküler fazla şarja götürülmemiş ve korunmuştur.

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te bulunan gaz pedalının değişimine göre alternatör çıkış geriliminin değiştiği ve aküye aktarılan akımların değiştiği görülmüştür. Akıllı şarj sistemi 2, akıllı şarj sistemi 1'e göre yaklaşık olarak 2,5 saat daha erken aküleri 92% ADO'na getirmiştir.



Şekil 5.4: Akıllı şarj sistemi 2 - 63% ile 77.5% arası ADO grafiği.



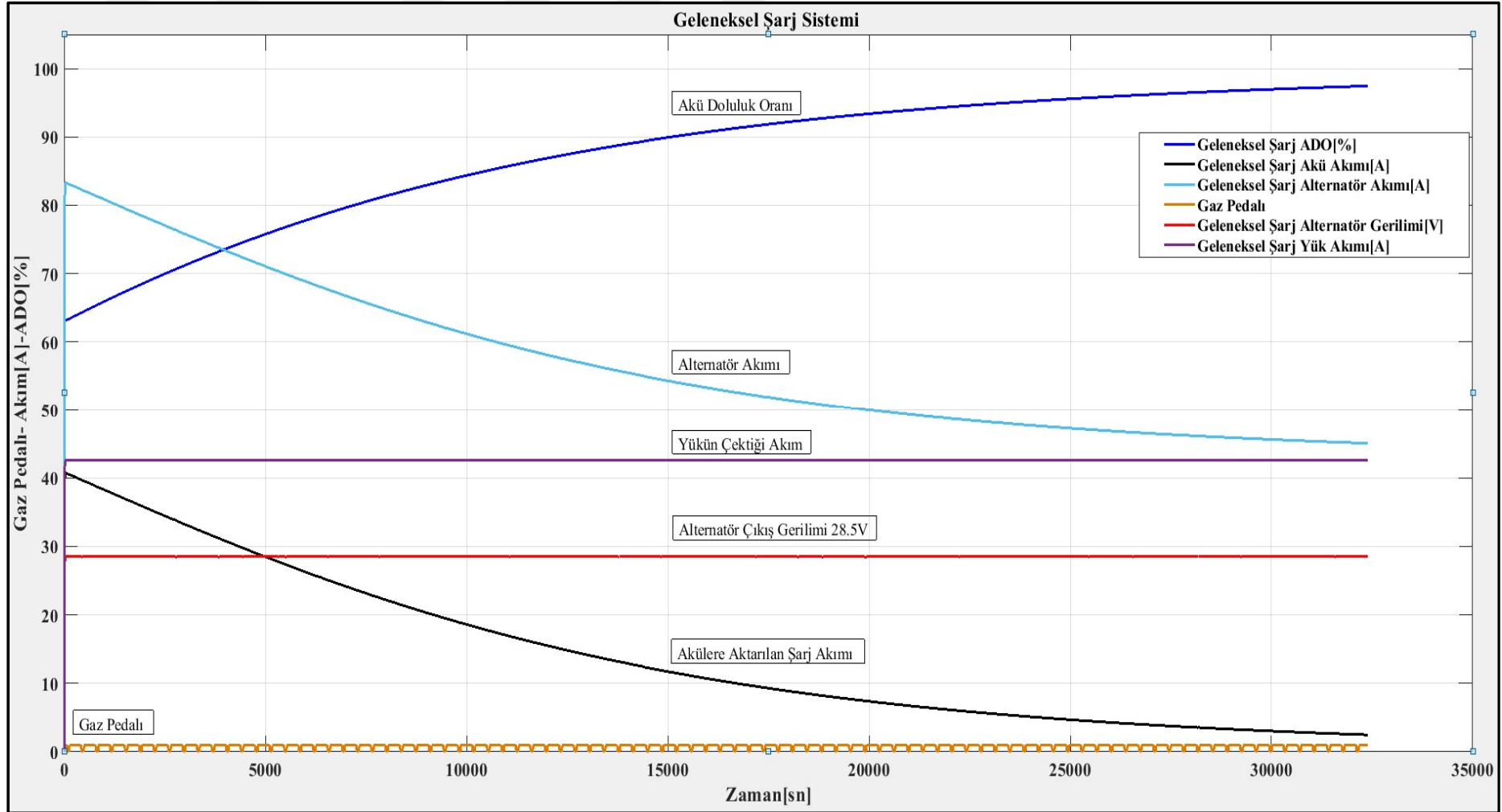
Şekil 5.5: Akıllı şarj sistemi 2 - 88.7%-92% arası ADO grafiği.

### 5.3 Geleneksel Şarj Sistemi

Geleneksel şarj sisteminde aracı şarj etmeye başladığımızda herhangi bir akıllı kontrol sistemi olmaksızın sadece araç gerilimi 28.5 V doğru gerilimde tutacak şekilde PI kontrollörümüzü ayarladığımızda Şekil 5.6'da görüldüğü gibi araç sistemi şarj olmaktadır. Bu noktada ADO'nı arttıkça akü ile alternatör gerilimi arasındaki potansiyel fark kapanmakta ve bu fark kapandığı için zamana bağlı olarak akünün aldığı şarj akımı azalmaktadır. Bu durumda alternatöründe ürettiği akım paralel olarak azalmaktadır. Tüm şarj süresi boyunca sistem gerilimi sabit kalmış ve motor ataletinden faydalanmak için bir değişikliğe gidilmemiştir.

Bu şarj sisteminde akü doluluk oranı algoritmada bir değişken olarak kullanılmamasından dolayı akülerin fazla şarja gitmesinin önü açıktır. Ağır ticari araçlar uzun yollar yaptıklarından veya uzun süreli olarak çalıştırıldıklarından dolayı fazla şarjı engelleyecek bir değişken yoktur ve bu durum akülere zarar vermesi kaçınılmazdır. Geleneksel şarj sistemi yaklaşık olarak 5 saat içinde 92% ADO'na gelmiş ve 9 saat içinde de %97.5 ADO'na ulaşmıştır.

Bunun dışında motorun negatif ivmelenmesinden faydalanılmadığı için bu noktada yakıt ekonomisine fazladan bir kazanç sağlanılmamıştır. Yük akımı hep sabit kalmıştır. Akıllı şarj sistemlerinde sistem gerilimi düşürüldüğünden yüklerin harcadığı akım dolayısıyla enerji tüketimi daha az olmaktadır. Geleneksel şarj sistemlerinde araç ve alternatör çalıştığı süre boyunca gerilim maksimum tutulmasından ötürü bu noktada da kazanç elde edilemez.



Şekil 5.6: Geleneksel şarj sistemi grafiği.

## 5.4 Şarj Sistemlerinin Karşılaştırılması ve Çıkan Sonuçlar

Geleneksel şarj sistemi ile akıllı şarj sistemleri ayrı ayrı karşılaştırılacak ve enerji kazançları tablo yardımıyla ortaya konulacaktır.

### 5.4.1 Geleneksel şarj ile akıllı şarj sistemi 1'in karşılaştırılması

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de her iki sistem benzetim ortamında beraber çalıştırılmış ve aynı sürüş senaryosunda ve aynı sürüş şartlarında elde edilen sonuçlar yansıtılmıştır. Geleneksel şarj sistemi daha hızlı bir şekilde 92% ADO'na ulaşırken akıllı şarj sistemi 1 daha yavaş bir şekilde 92% ADO'ya ulaşmıştır. Bu beklenen bir durumdur.

Aynı sürüş senaryosunda Çizelge 5.1'de görüldüğü üzere 92% ADO'ya geleneksel şarj sistemi 4,92 saate gelirken, akıllı şarj sistemi aynı ADO'ya 10,55 saatte gelmiştir. Her iki sistemde akülere aktarılan enerji kıyaslandığında akıllı şarj sistemi daha verimlidir. Geleneksel şarj sisteminden 6,48% daha verimlidir. Denklem (4.13)'de belirtilen verim oranı ile çıkan veriler örtüşmektedir. Daha küçük şarj akımı ile akülerin dolması verimi arttırmaktadır.

Benzer şekilde içten yanmalı motorun negatif ivmelendiği noktalarda aküye aktarılan enerji Çizelge 5.1'de hesaplanmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda akıllı şarj sistemi ve geleneksel şarj sistemi 92% ADO'na geldiği noktada, akıllı şarj sistemi geleneksel şarj sistemine göre %102,92 daha fazla enerjiyi aküye depolamıştır. Bu noktada içten yanmalı motorda oluşan kayıplardan 2 kat daha fazla faydalanılmıştır. Bu noktada akıllı şarj sistemi 1'in geleneksel şarj sisteminden daha verimli bir sistem olduğunu göstermektedir ve yakıt ekonomisine bu karşılaştırmada katkı sağlandığı gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1:** Akıllı şarj 1 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması 1.

| Aynı ADO'na Kadar Her İki Sistem Çalışırsa- Hedef 92%- |                           |                         |                            |                         |             |                              |                                |             |
|--|---------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Akü  | Geleneksel Şarj Değerleri | Akıllı Şarj 1 Değerleri | Geleneksel Şarj Enerji[Wh] | Akıllı Şarj Enerji [Wh] | Kazanç [Wh] | Geleneksel Pedal Kazancı[Wh] | Akıllı Şarj Pedal Kazancı [Wh] | Kazanç [Wh] |
| Gerilim[V]   | 28,50                     | 25,85                   |                            |                         |             |                              |                                |             |
| Akım[A]  | 22,11                     | 10,62                   | 3098,19                    | 2897,38                 | 200,81      | 519,13                       | 1053,49                        | 534,35      |
| Zaman[sa]  | 4,92                      | 10,55                   |                            |                         |             |                              |                                |             |
| ilk ADO[%]   | 63%                       | 63%                     | Toplam Kazanç[Wh]          |                         | 200,81      | Toplam Kazanç[Wh]            |                                | 534,35      |
| Son ADO[%]   | 92%                       | 92%                     | Kazanç Yüzdesi             |                         | 6,48%       | Kazanç Yüzdesi               |                                | 102,93%     |

Aynı ADO'na varılan noktada alternatörlerin ürettiği enerjiyi kıyaslamak doğru değildir. Araçlar farklı sürelerde çalıştığı için araçların yaptıkları işlerinde karşılaştırılması gerekir. Bu yüzden her iki şarj sisteminde alternatörlerin ürettiği enerji zaman bazlı olarak kıyaslanacaktır.

Çizelge 5.2'de alternatörlerin aynı süre içerisinde ürettiği enerjiler kıyaslanmıştır. Bu çizelgede akıllı şarj sistemi 1'in 92% ADO'na vardığı zamana kadar geçen sürede yapılan kıyaslamada akıllı şarj sistemi 1'in daha az enerji ürettiği görülmektedir. Bu noktada elde edilen kazanç geleneksel şarj sistemine göre 18,98% daha fazladır. Akıllı şarj sisteminde elde edilen bu kazanç sayesinde içten yanmalı motordan talep edilen enerji 3145,39 Wh daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu noktada alternatör daha az güç talep etmiş ve yakıt ekonomisine katkı sağlamıştır.

Çizelge 5.2'de ayrıca negatif ivmelenme anında alternatörlerin ürettiği enerjiler kıyaslanmıştır. Akıllı şarj sistemi 1, geleneksel şarj sistemine göre motor ataletinden daha fazla faydalanmış ve 15,11%'lik daha fazla enerji üretmiştir. Süre bazlı kıyaslandığında akıllı şarj sistemi daha verimli bir sistemdir. Bu noktada geleneksel şarj sisteminin tek avantajı ise ADO'dır. Aynı süre içinde geleneksel şarj sistemi ile aküler 98,29% ADO'na gelmiştir. Daha fazla enerji akülerde depolanmış olsa da aküler fazla şarja doğru gitmiştir.

**Çizelge 5.2:** Akıllı şarj 1 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması 2.

| Aynı Süre İki Sistem Çalışırsa |                           |                         |                            |                         |             |                              |                                |             |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Alternatör                     | Geleneksel Şarj Değerleri | Akıllı Şarj 1 Değerleri | Geleneksel Şarj Enerji[Wh] | Akıllı Şarj Enerji [Wh] | Kazanç [Wh] | Geleneksel Pedal Kazancı[Wh] | Akıllı Şarj Pedal Kazancı [Wh] | Kazanç [Wh] |
| Gerilim[V]                     | 28,50                     | 25,85                   |                            |                         |             |                              |                                |             |
| Akım[A]                        | 55,13                     | 49,25                   | 16576,03                   | 13430,64                | 3145,39     | 2777,16                      | 3196,89                        | 419,73      |
| Zaman[sa]                      | 10,55                     | 10,55                   |                            |                         |             |                              |                                |             |
| ilk ADO[%]                     | 63%                       | 63%                     | Toplam Kazanç[Wh]          |                         | 3145,39     | Toplam Kazanç[Wh]            |                                | 419,73      |
| Son ADO[%]                     | 98%                       | 92%                     | Kazanç Yüzdesi             |                         | 18,98%      | Kazanç Yüzdesi               |                                | 15,11%      |

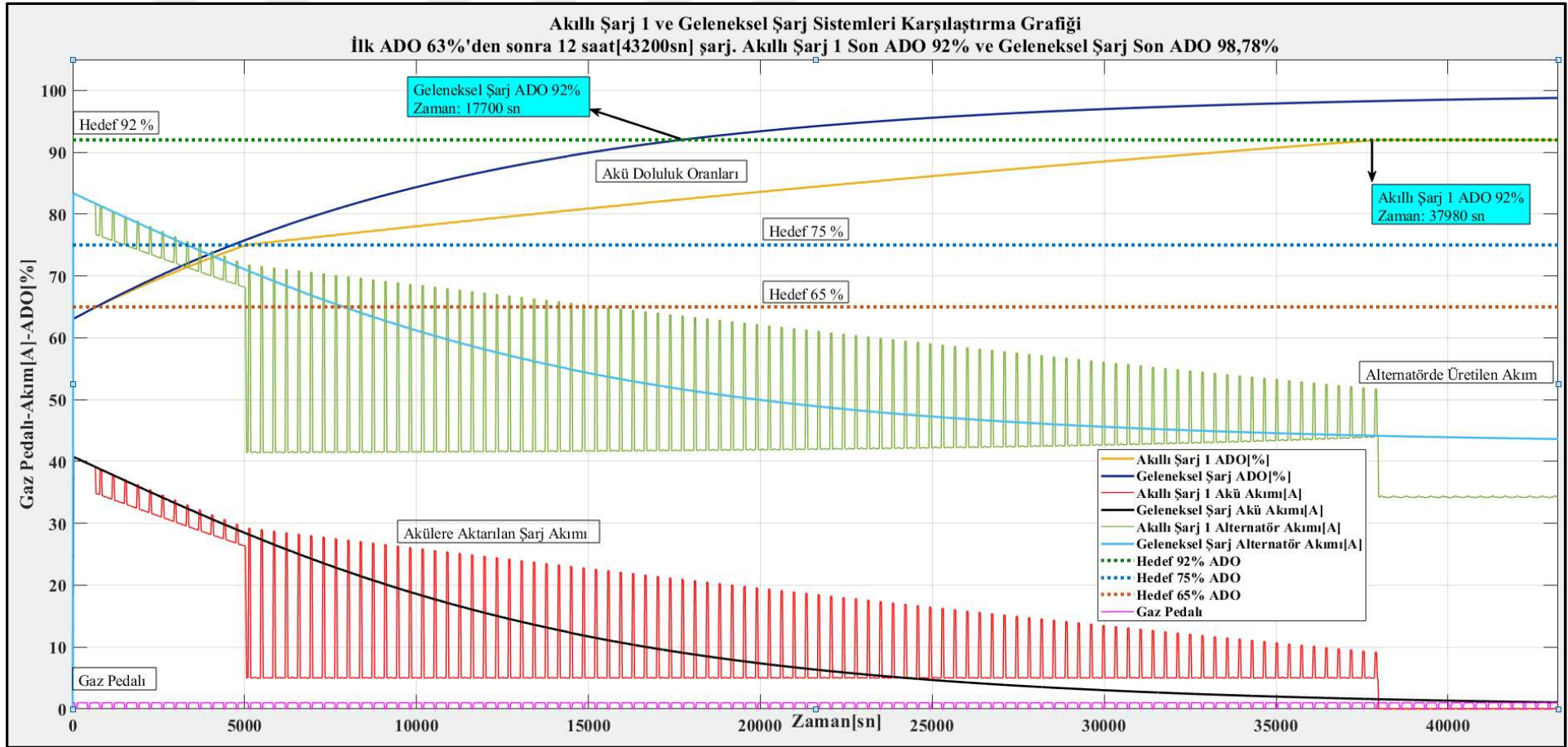
Çizelge 5.3'te ise yükler üzerinde harcanan enerji ortaya konmuştur. Akıllı şarj sistemi 1 ile geleneksel şarj sistemleri kıyaslandığında, akıllı şarj sistemi 1 ile yükler üzerinde harcanan enerji azalmıştır. Bunun temel nedeni sistem geriliminin kademeli olarak ADO'na bağlı düşmesidir.

Yükler üzerinde harcanan enerji 17,74% oranında azalmıştır. Bu noktada motorun negatif ivmelendiği noktalarda ise herhangi bir kazanç bulunmamaktadır. Motorun negatif ivmelendiği noktalarda sistem gerilimi hem akıllı şarj sistemi 1’de, hem de geleneksel şarj sisteminde aynı değerde olmasından ötürü yükler üzerinde harcanan akım aynıdır. Aynı süre içinde kıyaslama yapılmasından ötürü bu noktada yükler üzerinde bir kazanç yoktur. Çizelge 5.3’te çıkan sonuçlar birebir aynıdır. Bu beklenen bir durumdur.

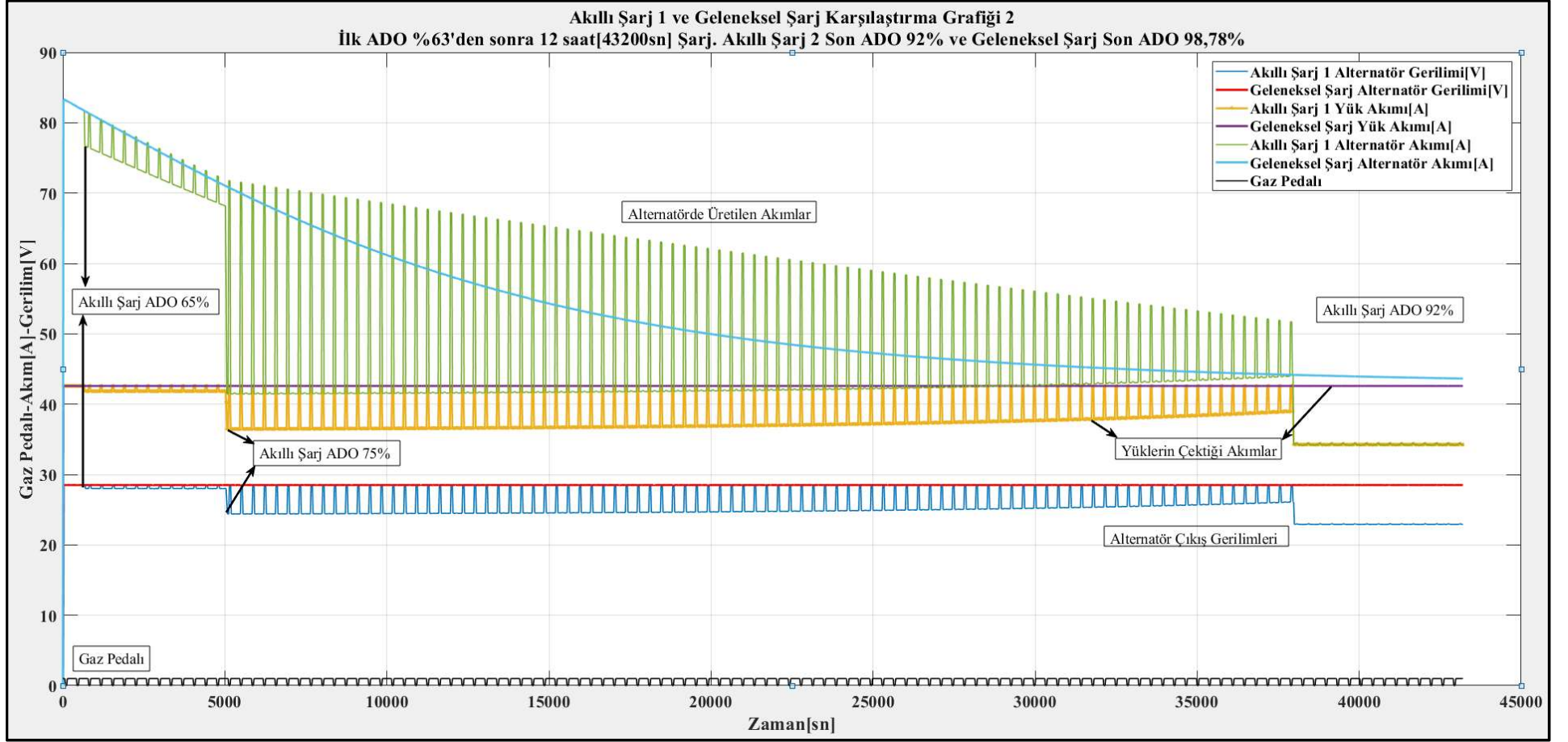
Yükler üzerindeki ve alternatör üzerindeki asıl kazanç içten yanmalı motordan aynı süre içinde daha az enerji talep edilmesidir.

**Çizelge 5.3:** Akıllı Şarj 1 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırması 3.

| Aynı Süre İki Sistem Çalışırsa |                           |                         |                             |                         |             |                               |                                |             |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Yük                            | Geleneksel Şarj Değerleri | Akıllı Şarj 1 Değerleri | Geleneksel Şarj Enerji [Wh] | Akıllı Şarj Enerji [Wh] | Kazanç [Wh] | Geleneksel Pedal Kazancı [Wh] | Akıllı Şarj Pedal Kazancı [Wh] | Kazanç [Wh] |
| Gerilim[V]                     | 28,50                     | 25,85                   |                             |                         |             |                               |                                |             |
| Akım[A]                        | 42,59                     | 38,63                   | 12805,10                    | 10533,26                | 2271,84     | 2143,97                       | 2143,41                        | -0,56       |
| Zaman[sa]                      | 10,55                     | 10,55                   |                             |                         |             |                               |                                |             |
| ilk ADO[%]                     | 63%                       | 63%                     | Toplam Kazanç [Wh]          |                         | 2271,84     | Toplam Kazanç [Wh]            |                                | -0,56       |
| Son ADO[%]                     | 98%                       | 92%                     | Kazanç Yüzdesi              |                         | 17,74%      | Kazanç Yüzdesi                |                                | -0,03%      |



Şekil 5.7: Akıllı şarj 1 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırılması 1.



Şekil 5.8: Akıllı şarj 1 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırılması 2.

#### 5.4.2 Geleneksel şarj ile akıllı şarj sistemi 2'nin karşılaştırılması

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10' da her iki sistem benzetim ortamında beraber çalıştırılmış ve aynı koşullarda ve aynı sürelerde elde edilen sonuçlar yansıtılmıştır. Geleneksel şarj sistemi daha hızlı bir şekilde 92% ADO'na ulaşırken akıllı şarj sistemi 2 daha yavaş bir şekilde 92% ADO'na ulaşmıştır. Bu beklenen bir durumdur.

Çizelge 5.4'te benzetim çalışması sonucu elde edilen veriler girilmiştir. Burada her iki şarj sistemindeki akünü aynı ADO'na geldiği noktalar karşılaştırılmıştır. Bu noktada akıllı şarj sistemi 2 daha geç 92% ADO'na gelmiş olmasına rağmen geleneksel şarj sistemine göre daha az enerjiyi alternatörden talep etmiştir. Bu noktada geleneksel şarj sistemine göre akıllı şarj sistemi 2 ile elde edilen kazanç 5,02%'dir. Denklem (4.13)'de belirtilen verim oranı ile çıkan veriler örtüşmektedir. Daha küçük şarj akımı ile akülerin dolması verimi arttırmaktadır.

Motorun devrinin negatif ivmelendiği noktalarda ise akıllı şarj sistemi 2 ile geleneksel şarj sistemi kıyaslandığında akıllı şarj sistemi 2'nin motorun ateletinden daha fazla faydalandığı görülmektedir. Geleneksel şarj sistemine göre negatif ivmelenme anında 81,16% daha fazla enerji aküde depolanmıştır.

Akıllı şarj sistemi 2 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırıldığında, 8A ile sistemi şarj etmemiz durumunda geleneksel şarj sistemine göre daha az enerji ile aküleri aynı doluluk oranına getiririz. Akıllı şarj sisteminin daha verimli olduğu bu noktada görülmektedir.

**Çizelge 5.4:** Akıllı şarj 2 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması 1.

| Aynı ADO'na Kadar Her İki Sistem Çalıştırılmalı - Hedef 92%- |                           |                         |                            |                         |             |                              |                                |             |
|--|---------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Akü  | Geleneksel Şarj Değerleri | Akıllı Şarj 1 Değerleri | Geleneksel Şarj Enerji[Wh] | Akıllı Şarj Enerji [Wh] | Kazanç [Wh] | Geleneksel Pedal Kazancı[Wh] | Akıllı Şarj Pedal Kazancı [Wh] | Kazanç [Wh] |
| Gerilim[V]   | 28,50                     | 26,59                   |                            |                         |             |                              |                                |             |
| Akım[A]  | 22,11                     | 13,73                   | 3098,19                    | 2942,54                 | 155,65      | 519,13                       | 940,43                         | 421,30      |
| Zaman[sa]  | 4,92                      | 8,06                    |                            |                         |             |                              |                                |             |
| İlk ADO[%]   | 63%                       | 63%                     | Toplam Kazanç[Wh]          |                         | 155,65      | Toplam Kazanç[Wh]            |                                | 421,30      |
| Son ADO[%]   | 92%                       | 92%                     | Kazanç Yüzdesi             |                         | 5,02%       | Kazanç Yüzdesi               |                                | 81,16%      |

Çizelge 5.5'te ise her iki sistemin ADO'ndan bağımsız olarak aynı süre zarfı içinde alternatörlerin ürettiği enerji kıyaslanmıştır. Bu noktada belirlenen süre akıllı şarj

sistemi 2'nin 92%'ye varması için gereken süredir. Alternatörlerin ürettiği enerjiyi kıyaslarken aynı ADO ile kıyaslamak doğru değildir. Bu durumda her iki aracın yaptığı işlerde birbirinden farklı olacaktır.

Çizelge 5.5'te yapılan karşılaştırmada aynı süre içerisinde üretilen enerjiler kıyaslandığında geleneksel şarj sistemine göre akıllı şarj sistemi 2, 14,43% daha az enerji üretmiştir. Başka bir deyişle araçtan daha az enerji talep etmiştir. Akıllı şarj sistemi 2 sayesinde yakıt ekonomisine katkı sağlanmıştır.

Motorun negatif ivmelendiği noktalarda üretilen enerjiler kıyaslandığında ise akıllı şarj sistemi 2 motorun ateletinden daha fazla faydalanmıştır ve bu oran 14,89%'dur. Aynı süre içinde motorun negatif ivmelendiği noktalarda akıllı şarj sistemi 2 daha fazla enerjiyi alternatör üzerinden aküye aktarmıştır.

**Çizelge 5.5:** Akıllı şarj 2 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması 2.

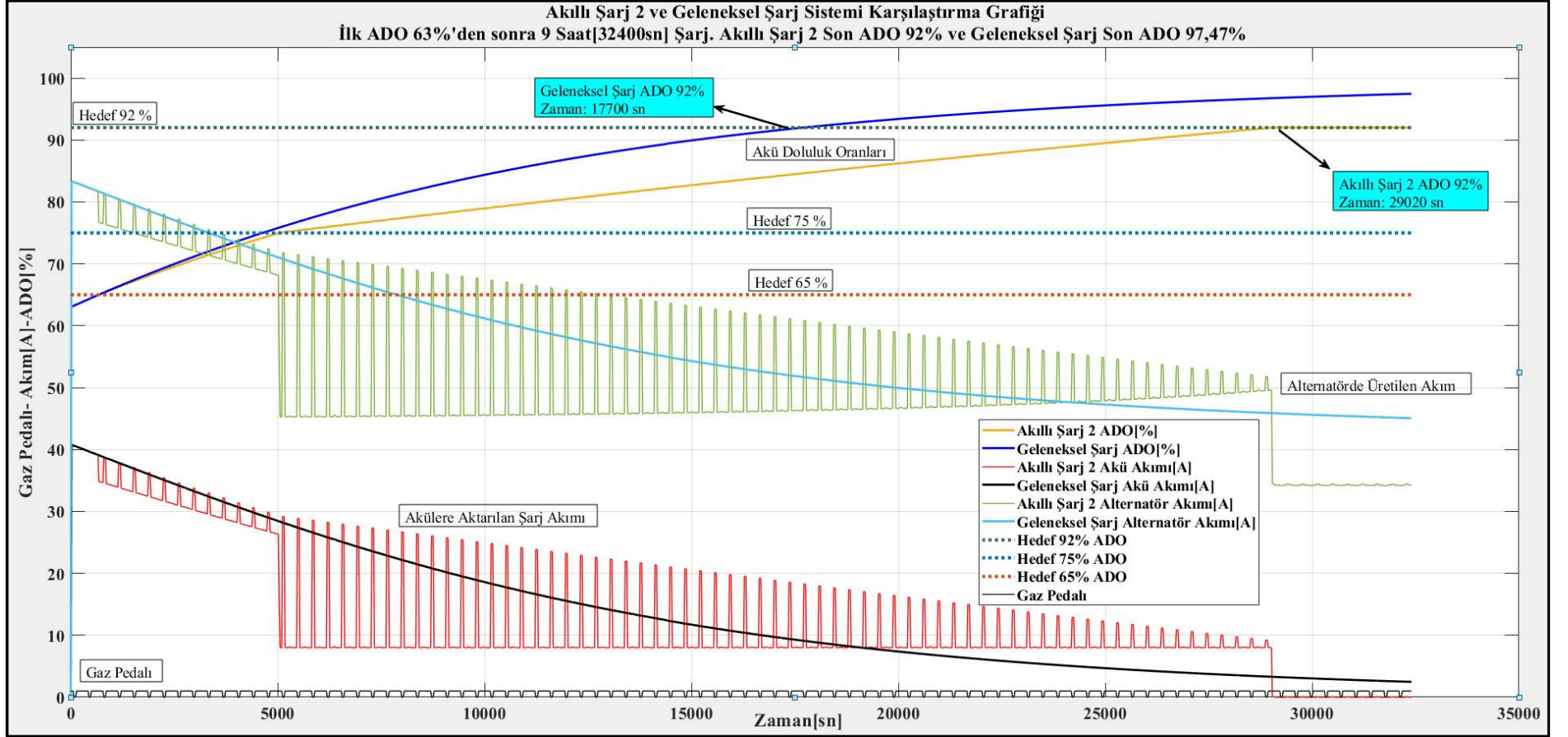
| Aynı Süre İki Sistem Çalışırsa |                           |                         |                            |                         |             |                              |                                |             |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Alternatör                     | Geleneksel Şarj Değerleri | Akıllı Şarj 1 Değerleri | Geleneksel Şarj Enerji[Wh] | Akıllı Şarj Enerji [Wh] | Kazanç [Wh] | Geleneksel Pedal Kazancı[Wh] | Akıllı Şarj Pedal Kazancı [Wh] | Kazanç [Wh] |
| Gerilim[V]                     | 28,50                     | 26,59                   |                            |                         |             |                              |                                |             |
| Akım[A]                        | 58,28                     | 53,46                   | 13389,18                   | 11456,54                | 1932,65     | 2244,26                      | 2578,48                        | 334,22      |
| Zaman[sa]                      | 8,06                      | 8,06                    |                            |                         |             |                              |                                |             |
| İlk ADO[%]                     | 63%                       | 63%                     | Toplam Kazanç[Wh]          |                         | 1932,65     | Toplam Kazanç[Wh]            |                                | 334,22      |
| Son ADO[%]                     | 97%                       | 92%                     | Kazanç Yüzdesi             |                         | 14,43%      | Kazanç Yüzdesi               |                                | 14,89%      |

Çizelge 5.6'da ise yükler üzerindeki enerjiler karşılaştırılmıştır. Bu noktada akıllı şarj sistemi 2'nin daha verimli olduğu ve yükler üzerinde harcanan enerjinin azaldığı görülmektedir. 12,98% oranında yükler üzerinde harcanan enerji düşürülmüştür. Bu noktada alternatör daha az enerji üretmiş ve yakıt ekonomisine aynı süre zarfında katkı sağlanmıştır.

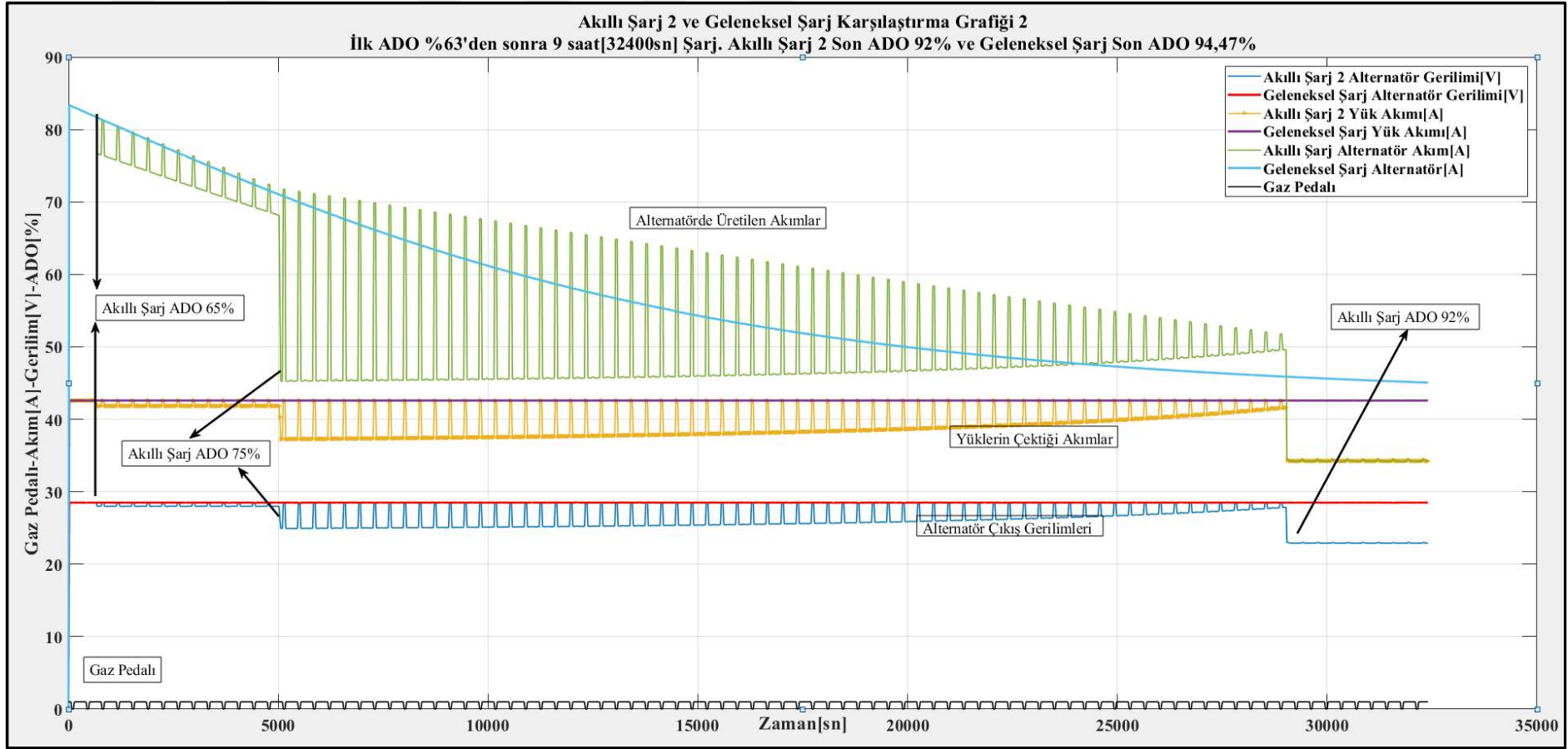
Motorun negatif ivmelendiği noktalarda ise her iki sistem karşılaştırıldığında bir fark olmadığı görülmüştür. Negatif ivmelenme anında alternatör tam şarja çekildiğinden ve geleneksel şarj sistemi ile aynı gerilim seviyesinde olduğundan dolayı yüklerin çektiği akımda aynıdır. Bu yüzden bu noktada bir kazanç oluşmamıştır.

**Çizelge 5.6:** Akıllı Şarj 2 ve geleneksel şarj sistemlerinin karşılaştırılması 3.

| Aynı Süre İki Sistem Çalışırsa |                           |                         |                            |                         |             |                              |                                |             |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Yük                            | Geleneksel Şarj Değerleri | Akıllı Şarj 1 Değerleri | Geleneksel Şarj Enerji[Wh] | Akıllı Şarj Enerji [Wh] | Kazanç [Wh] | Geleneksel Pedal Kazancı[Wh] | Akıllı Şarj Pedal Kazancı [Wh] | Kazanç [Wh] |
| Gerilim[V]                     | 28,50                     | 26,59                   |                            |                         |             |                              |                                |             |
| Akım[A]                        | 42,59                     | 39,73                   | 9784,26                    | 8514,00                 | 1270,26     | 1638,36                      | 1638,05                        | -0,31       |
| Zaman[sa]                      | 8,06                      | 8,06                    |                            |                         |             |                              |                                |             |
| İlk ADO[%]                     | 63%                       | 63%                     | Toplam Kazanç[Wh]          |                         | 1270,26     | Toplam Kazanç[Wh]            |                                | -0,31       |
| Son ADO[%]                     | 97%                       | 92%                     | Kazanç Yüzdesi             |                         | 12,98%      | Kazanç Yüzdesi               |                                | -0,02%      |



**Şekil 5.9:** Akıllı şarj 2 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırılması 1.



**Şekil 5.10:** Akıllı şarj 2 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırılması 2.

## 5.5 Benzetim Çalışmalarının Sonuçları

Araç şarj sistemi oluşturulduktan sonra üç farklı şarj sistemi benzetim çalışmaları kapsamında karşılaştırılmıştır. Akıllı şarj algoritmalarının araç şarj sistemine olan katkıları ortaya çıkmıştır.

Geleneksel şarj sisteminin tek avantajı araç akülerinin hızlı bir şekilde dolmasını sağlamaktadır. Bunun dışında akıllı şarj sistemi 1 ve akıllı şarj sistemi 2 ile kıyaslandığında bir üstünlüğü bulunmamaktadır.

Akıllı şarj sistemi 1 ve 2, geleneksel şarj sistemi ile karşılaştırıldığında hem aküleri elektriksel açıdan daha az enerji ile daha verimli doldurmaktadır, hem de alternatörün daha az enerji üretmesini sağladığı için içten yanmalı motordan daha az enerji talep etmektedir. Aynı zaman aralığında bu sistemlerin yükleri üzerinde harcanan enerji kıyaslandığında en az enerji akıllı şarj sistemi 1 ve 2 de'dir. Geleneksel şarj sistemlerinde yükler üzerinde daha fazla enerji harcanmaktadır.

Akıllı şarj sistemleri 1 ve 2 içten yanmalı motorun negatif ivmelendiği noktalarda geleneksel şarj sistemlerine göre daha fazla enerji üretmiş ve aküye aktarmıştır. Hem aynı ADO oranına göre yapılan kıyaslamada, hem de aynı sürede tutulan şarjda daha fazla enerjiyi içten yanmalı motorun negatif ivmelendiği noktalarda üretmiştir. Motorun yavaşladığı noktalarda oluşan enerjiden bu sayede daha fazla faydalanılmıştır.

ADO 75%'i geçtikten sonra akıllı şarj sistemi 5 A ile aküleri şarj ederken akıllı şarj sistemi 2 aküleri 8A ile doldurmaktaydı. Bu noktada akıllı şarj sistemi 1 ve 2 kendi aralarında kıyaslandığında akıllı şarj sistemi 1 daha verimli bir sistemdir. Aynı ADO'na göre kıyaslandığında akıllı şarj sistemi 1 daha verimlidir. Benzer şekilde her iki sistem aynı süre boyunca çalıştığında akıllı şarj sistemi 1 daha verimli bir sistemdir.

Geleneksel şarj sistemlerinde aküler fazla şarja gitmektedir. Akıllı şarj sistemi 1 ve akıllı şarj sistemi 2'de ADO 92%'de sınırlandırılmıştır ve ADO 92%'yi geçemez. Akülerin fazla şarja gitmesi durumunda aküler zarar görür [17]. Bu nedenle geleneksel şarj sistemine sahip araçların aküleri daha çabuk bozulur ve akıllı şarj sistemine sahip araçların aküler daha uzun ömürlü olur.

İşletme şartlarına, hava sıcaklığına ve akülerin ilk doluluk oranına göre bu oranlar değişkenlik gösterecektir. Benzetim çalışmasında içten yanmalı motorun devir aralığı

periyodik olarak 1100-1500 dev/dk arasında değişmektedir. Aracın normal sürüşü esnasında trafik, yol ve hava koşullarından dolayı devir aralıkları ve sürüş senaryosu değişkenlik gösterebilir fakat sonuç olarak aynı koşullar altında geleneksel şarj sistemine göre yapılan karşılaştırmalarda akıllı şarj sistemleri daha verimlidir ve daha az enerji talebinde bulunurlar.

Daha önce bölüm 4.3.1’de yapılan çalışmada hava sıcaklığı arttıkça akünün akım alma kapasitesinin arttığını tespit etmiştik. Hava sıcaklığı arttığı ve motorun negatif ivmelendiğı noktalarda daha fazla kazanç elde edilecektir. Hava sıcaklığının azaldığı noktalarda akünün akım alma kapasitesi azalacağı için bu noktalarda kazanç azalacaktır.



## 6. SONUÇ

Çalışmada ağır ticari araçlar için alternatör ve akü yönetim sisteminin matematiksel modellenmesi yapılarak enerji verimliliğine katkı sağlamak amacıyla benzetim çalışması yapılmış ve daha verimli şarj algoritmaları geliştirilerek elde edilen sonuçlar ile geleneksel olarak kullanılan modelin sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çalışmanın başlangıcında alternatörün araç sistemindeki yeri, araçtaki elektriksel bağlantıları ve yapısal tasarımı üzerinde durulmuş, alternatörün stator ve pençe tipi rotor yapısı incelenmiş ve yapılan literatür araştırmasında alternatörlerde pençe tipi rotor kullanılmasının nedeni, daha fazla güç üretmesi [11,16], daha ufak olması [11], hava aralığının daha fazla olmasından dolayı daha az ısınması [11,12], yüksek devirlerde çalışmasından dolayı oluşan merkez kaç kuvvetine daha dirençli olması olduğu görülmüştür [12,15]. Alternatörlerde kullanılan pençe tipli senkron generatör incelenerek yüksüz durumdaki matematiksel modeli sunulmuş ve endüklenen gerilimin uyarma akımı, alternatörün dönüş hızı ve makina katsayısıyla doğru orantılı olduğu görülmüştür.

Çalışmada ağır ticari araçların şarj sistemlerini oluşturmak için şarj sistem elemanlarının matematiksel modeli çıkarılmıştır. Alternatörü modellemek için öncelikle ağır ticari araçlarda kullanılan bir alternatör parçalarına ayrılmış ve alternatörün parametreleri benzetim çalışmasında kullanmak amacıyla ölçümler alınarak belirlenmiştir. Alternatörün stator endüktansı ölçülmüş ve çıkan sonuçlar benzetim programı ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ayrıca alternatörün makina katsayısını belirlemek için dinamometrede farklı hızlarda alternatör yüksüz durumdayken ölçümler alınmış ve çıkan değerlerin ortalaması alınarak makina katsayısı belirlenmiştir.

[22]'den faydalanarak alternatörün matematiksel modeli matlab/simulink'te kurulmuş ve alternatörün parametreleri benzetim çalışmasında kullanılmıştır. Araçtan alınan ölçümler ile benzetim çalışması karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda alternatörün çıkış gerilimi ile araçtan alınan gerilim birbiriyle aynı çıkmıştır. Bu noktada modelin doğruluğu ortaya konulmuştur.

Ayrıca alternatörün devir akım grafiği ile alınan ölçümler sonucu oluşturulan ve matematiksel modelden çıkan akım devir grafiği karşılaştırılarak modelin güvenilirliği doğrulanmıştır.

[26-28]'de belirtilen kurşun asit akülerin matematiksel modeli ağır ticari araçlarda çoğunlukla kullanılan akünün kapasitesi göz önünde bulundurularak kurulmuştur. Farklı sıcaklıklarda, sabit gerilimde modelde oluşturulan aküler şarj edilmiş ve çıkan sonuçlar ile kaynak [20]'deki sonuç ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak akünün sıcaklık arttıkça geriliminin düştüğü, gerilim düştüğü için sabit gerilimde şarj edildiğinde daha fazla potansiyel fark oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu sayede akünün daha hızlı dolduğu ve şarj akımının yükseldiği yapılan benzetim çalışmalarında elde edilmiştir. Akünün matematiksel modeli yardımıyla ADO belirlenmiştir. Belirlenen ADO sayesinde akıllı şarj algoritmaları geliştirilmiştir.

ADO ve işletme koşullarına göre akıllı şarj 1 ve akıllı şarj 2 algoritmaları geliştirilmiştir. Geleneksel şarj sistemleri ile kıyaslamak için geliştirilen bu algoritmalar için benzetim modelleri oluşturulmuştur. Akıllı şarj algoritması sayesinde akülerin fazla şarja gitmesi engellenmiştir. Geleneksel şarj sistemlerinde ADO bir veri olarak kullanılmadığından aküler uzun yol ve şarj sürelerinde fazla şarja gitmektedir. Aküler fazla şarj olması durumunda H<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> salınımı yapar ve içindeki su miktarı azalır, bu da akülerin ömrünü ve kapasitesini düşürür [17].

İşletme şartları düşünülerek farklı devir aralıklarının benzetim çalışması yapılmıştır. Elde edilen modelde içten yanmalı motorun 1100-1500 dev/dk aralığında çeşitli zaman aralıklarında artan, azalan ve sabit kalan sürüş senaryosu oluşturulmuştur. Bununla beraber içten yanmalı motorun negatif ivmelendiği noktalar belirlenmiş ve şarj algoritmasında bir girdi olarak kullanılmıştır.

Ağır ticari araçlarda kullanılan yükler 24 V DA'da çektiği akımlar bir çizelgede belirtilmiştir. Araçtaki yükler için bir eş zamanlılık katsayıları belirlenmiş ve araçtaki yüklerin çektiği akımların ortalama değerleri çıkarılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda yüklerin ortalama direnci 0.6692  $\Omega$  olarak belirlenmiştir ve yüklerin modeli kurulmuştur. Yük modelinden alternatörün ürettiği akım, akülere aktarılan akım ve yüklerin çektiği akımlar modellenmiştir.

Akıllı şarj algoritmalarında kullanılmak üzere PI katsayıları iteratif yöntemler ile belirlenmiştir ve elde edilen sonuçlar akıllı şarj algoritmalarında kullanılmıştır.

Belirlenmiş sürüş senaryosu ve hava sıcaklığında, akıllı şarj sistemi 1 ve akıllı şarj sistemi 2, geleneksel şarj sistemine göre karşılaştırıldığında akıllı şarj sistemi 1'in en etkili şarj sistemi olduğu ortaya çıkmıştır. Akıllı şarj sistemi 1 ile aynı ADO'na varıldığında hem geleneksel şarj sistemine göre, hem de akıllı şarj sistemi 2'ye göre daha az enerji ile aynı ADO'na geldiği görülmüştür. Akülerin verimli bir şekilde doldurulması için en etkili şarj sistemidir. Akıllı şarj sistemi 1, geleneksel şarj sistemine göre 6,48% daha verimlidir. Akıllı şarj sistemi 2 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırıldığında bu verim 5,02%'dir. Bu durumda akıllı şarj sistemi 1 daha verimlidir.

Ortak belirlenmiş sürüş senaryosunda motorun negatif ivmelendiği noktalarda aküye aktarılan enerjiler kıyaslandığında ise akıllı şarj sistemi 1, geleneksel şarj sistemine göre 102,93% daha fazla enerjiyi aküye depolamıştır. Akıllı şarj sistemi 2 ile geleneksel şarj sistemi karşılaştırıldığında ise bu oran 81,16%'dir. Sonuç olarak şarj akımı azaldıkça verimlilik artmaktadır.

Belirlenmiş sürüş senaryosu ve hava sıcaklığında, aynı şarj süresi boyunca karşılaştırma yapıldığı zaman akıllı şarj sistemi 1 ve akıllı şarj sistemi 2, geleneksel şarj sisteminden daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır. Akıllı şarj sistemleriyle alternatör aynı süre içinde daha az enerji üretmiş ve yakıt ekonomisine katkı sağlamıştır. Yapılan çalışmada akıllı şarj sistemi 1'in geleneksel şarj sistemine göre alternatörden talep ettiği enerji 18,98% daha azdır. Bu kazanç 3146,39 Wh'tir. Benzer şekilde akıllı şarj sistemi 2 ile geleneksel şarj sistemi kıyaslandığında alternatörden talep edilen enerji 14,43% daha azdır. Burdaki kazanç 1932,65 Wh'tir.

Ortak belirlenmiş sürüş senaryosunda aynı şarj süresinde motorun negatif ivmelendiği noktalarda elde edilen kazançlar kıyaslandığında ise akıllı şarj sistemi 1, geleneksel şarj sistemine göre %15,11 daha fazla enerji üreterek yakıt ekonomisine katkı sağlamıştır. Bu değer 419,73 Wh'tir. Benzer şekilde akıllı şarj sistemi 2 ile geleneksel şarj sistemi motorun negatif ivmelendiği noktada kıyaslandığında ise akıllı şarj sistemi 2 , 14,89% daha fazla enerji üretmiştir. Bu noktadaki kazanç 334,22 Wh'tir.

Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda işletme şartları düşünülerek akülerin daha yavaş doldurulması hem elektrik sisteminin verimliliğini arttırmıştır, hem de alternatörden talep edilen enerjiyi azalttığı için içten yanmalı motordan çekilen enerjiyi azaltmıştır. Bu sayede yakıt ekonomisine katkı sağlandığı ortaya çıkmıştır.

Araç ve işletme şartları düşünüldüğünde ADO'na göre şarj algoritması tasarlanmış ve ADO'na göre düşük akımda aküleri etmenin en etkili yol olduğu gözlemlenmiştir.

Akıllı şarj algoritması 1, akıllı şarj algoritması 2'den ve geleneksel şarj sisteminden hem elektriksel olarak, hem de yakıt ekonomisi olarak daha fazla katkı sağlamaktadır.

Ağır ticari araçlar için oluşturulan alternatör ve batarya yönetim sisteminin matematiksel modeli ile beraber kullanılan akıllı şarj algoritmaları sayesinde geleneksel şarj algoritmalarına kıyasla hem elektriksel enerji verimliliğine katkı sağlanmış, hem de araçtan talep edilen enerji azaltılarak yakıt ekonomisine katkı sağlandığı ortaya konulmuştur.



## KAYNAKLAR

- [1] **Sayahan, A., ve Asaei, B.,** (2013). An Intelligent Alternator Control Approach for Fuel Consumption Reduction. *13th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, Wroclaw, Polonya, 1-3 Kasım.
- [2] **Bossche, A., Haddad, S., Petrov, D., Valchev, V.,**(2018). Mosfets used in ideal diode circuits for Lundell alternator rectifiers. *2018 Thirteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, Monte-Carlo , Monako,10-12 Nisan.
- [3] **Whaley, D., M., Soong, W., L., ve Ertuğrul, N.,**(2004). Extracting More Power from the Lundell Car Alternator. *Australasian Universities Power Engineering Conference*, Brisbane, Avusturya,26-29 Eylül
- [4] **Url-1** <<https://www.automobilrevue.cz/rubriky/truck-bus/predstavujeme/tezka-nakladni-vozidla-ready-for-wec-44580.html>>, erişim tarihi 23.02.2019.
- [5] **Blaga, C., ve Szabo, N.,** (2014). Simulation and measurement of a voltage regulator of an automotive generator. *16<sup>th</sup> International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, Antalya, Turkey, 21-24 Eylül.
- [6] **Omri, R., Ibala, A., ve Masmoudi, A.,** (2018). Characterization on the No- and On-load Operations of an Improved Claw Pole Machine. *2018 13<sup>th</sup> International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, Monte Carlo, Monaco, 10-12 Nisan.
- [7] **Yamazaki, Y., Shibamoto, T., Nuka, M., ve Masegi, M.,**(2018) Output Maximization of Claw-Pole Alternators for Automobile Applications by Analyzing 3D Flux Paths in Rotors. *XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, Alexandroupoli, Yunanistan, 03-06 Eylül.
- [8] **Giancoli, D.C.,** (1998) *Physics: Principles with applications*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 5<sup>th</sup> ed, s. 630-631
- [9] **Url-2** <<https://store.alternatorparts.com/200-amp-ad244-ad237-stator.aspx>>, erişim tarihi 24.02.2019
- [10] **Boldea, I.** (2006). *Electric Generators Handbook. Variable Speed Generators*. CRC Press, Taylor & Francis Group, ABD.
- [11] **Arumugan, D., Logamani, P., ve Karuppiah, S.,** (2017). Improved performance of integrated generator systems with claw pole alternator for aircraft applications. *Elsevier, Energy, Vol.133*, s. 808-821

- [12] **Arumugan, D., Logamani, P., ve Karuppiyah, S.,** (2017). Electromagnetic & thermal analysis of synchronous generator with different rotor structures for aircraft application. *Elsevier, Alexandria Engineering Journal, Vol.57*, s. 1447-1457
- [13] **Gueraud, A., Mercier, J., Masson, A.,**(1998). *Magnetolectric Rotor with claws and non magnetic spacers interposed there between. Patent No: 5,786,652.* DC: U.S. Patent ve Marka Ofisi
- [14] **Bai, H., Pekarek, S., Tichenor, J., ve Eversman, W., Buening, D.J., Holbrook G.R., Hull, M.L., Krefta, R.J., Shields, S.J.,**(2002). Analytical derivation of a coupled-circuit model of a claw-pole alternator with concentrated stator windings. *IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.17*, s.32-38
- [15] **Umeda, A., Shiga, T., Kusase, S.,**(1999). *Alternator for an Automotive Vehicle. Patent No: 5,998,903.* DC: U.S. Patent ve Marka Ofisi
- [16] **Lorilla, L., Keim, T., Lang, J., ve Perreault, D.,** (2005). Topologies for Future Automotive Generators-Part I: Modeling and Analytics. *2005 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Chicago, ABD, 7-9 Eylül*
- [17] **Jung, J., Zhang, L. ve Zhang, j.** (2015). *Lead-Acid Battery Technologies. Fundamentals, Materials, and Applications.* CRC Press, Taylor & Francis Group, ABD
- [18] **Morse, H., W.,** (1912). *Storage Batteries,* MacMillan Co. Newyork.
- [19] **Hannan, M., A., Hoque, M., M., Mohamed, A., ve Ayob, A.,** (2017) Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 69,* s. 771-789
- [20] **Salameh. M., Z., Casacca, M., A., ve Lynch, A.,W.,** (1992) A Mathematical Model for Lead-Acid Batteries. *IEEE Transactions on Energy Conversion. Vol. 7,* s. 93-98.
- [21] **Gaffar, A., Sabuj, E., Mostafa, F., Istiaque, T., ve Khan, F.,**(2016). Simulink based performance analysis of lead acid batteries with the variation of load current and temperature. *2016 4th International Conference on the Development in the in Renewable Energy Technology (ICDRET), Dhaka, Bangladesh, 7-9 Haziran.*
- [22] **Sohn, J., M., Hong, S., ve Sunwoo, M.,**(2013). Alternator Torque Model Based on Equivalent Circuit of Synchronous Generator for Electric Power Management. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.62,* s.3593 - 3602
- [23] **Ehsani, M., Gao, Y., ve Emadi, A.,**(2010). *Modern Electric, Hybrid Electric and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design.* CRC Press, Taylor&Francis Group, ABD
- [24] **Url-3** < [https://www.hella.com/emergency/assets/media\\_global/622\\_BI\\_IBS\\_24\\_V\\_HELLA\\_EN.pdf](https://www.hella.com/emergency/assets/media_global/622_BI_IBS_24_V_HELLA_EN.pdf) >, erişim tarihi 03.03.2019
- [25] **Phillips, S., ve Molen, M.G,** (2011). An Intelligent Alternator Control Strategy for Automotive. *2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Şikago, ABD, 6-9 Eylül.*

- [26] **Achaibou, N., Haddadi, M. ve Malek, A.,**(2008). Lead acid batteries simulation including experimental validation. *Elsevier Journal of Power Sources, Vol 185*, s. 1484-1491
- [27] **Achaibou, N., Haddadi, M. ve Malek, A.,**(2012). Modeling of lead acid batteries in PV systems. *Elsevier, Energy Procedia, Vol. 18*, s. 538-544
- [28] **Copetti, J., B., Lorenzo, E. ve Chenlo, F.,**(1993). A General Battery Model for PV System Simulation. *Progress in photovoltaics: Research and Applications, Vol 1*, s.283-292





## **EKLER**

**EK A** : Şarj algoritması yazılım kodları



## EK A

```
function [z,y,P,I] = fcn(ADO,a,b,c,d,e,gaz,AKU,Alternator)
```

```
if ADO <=0.65
```

```
    y=a; % 65'in altında tam şarj. 28.5 V DA.  
    P=0.1;  
    I=0.8;
```

```
elseif (ADO >0.65 && ADO <=0.75) && gaz=1
```

```
    y=b; % 75'in altında tam şarj. 28 V DA.  
    P=0.1;  
    I=0.8;
```

```
elseif (ADO >0.65 && ADO <=0.75) && gaz=0
```

```
    y=d; % 75'in altında tam şarj. 28.5 V DA.  
    P=0.1;  
    I=0.8;
```

```
elseif (ADO >0.75 && ADO <0.92) && gaz==1
```

```
% 75'in üstünde ve 92'in altında olduğu zaman gaza basılırsa 5 A veya 8 A ile şarj
```

```
    y=c;  
    P=0.002;  
    I=0.015;
```

```
elseif (ADO >0.75 && ADO <0.92) && gaz==0
```

```
% 75'in üstünde ve 92'in altında olduğu zaman gazdan ayak çekilirse tam şarj
```

```
    y=d;  
    P=0.1;  
    I=0.8;
```

```
else
```

```
    y=e; % 92'in üzerinde ise harcanan kadar şarj et. Aküyü doldurma  
    P=0.002;  
    I=0.015;
```

```
end
```

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Teoman AKDOĞAN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 18/07/1986 ve ADANA  
**E-posta** : teo186@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, İTÜ, Elektrik-Elektronik Fak., Elektrik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2009 yılında İTÜ Elektrik Mühendisliği bölümünü 3. olarak bitirdim.
- 2010-2016 yılları arasında Ford Otosan Otomotiv A.Ş.'de Ürün Geliştirme Mühendisi olarak çalıştım.
- 2016 yılından itibaren Ford Otosan Otomotiv A.Ş.'de Mühendislik Ekip Lideri olarak çalışmaktayım.
- Ford Otosan Otomotiv A.Ş.'de "Engineering Achievement Award" ve "International Truck of the Year 2019 Certificate of Appreciation" ödüllerini aldım.