

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN BATARYA
SİSTEMLERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ
PERFORMANS ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Müh. Ulaş Tan ARAS

Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nuran YÖRÜKEREN

KOCAELİ, 2009

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN BATARYA
SİSTEMLERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ
PERFORMANS ANALİZİ**


YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Müh. Ulaş Tan ARAS

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19 Haziran 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 12 Ağustos 2009

**Tez Danışmanı
Yrd.Doç.Dr.Nuran YÖRÜKÖREN**



**Üye
Prof. Dr. Semra Öztürk**



**Üye
Prof.Dr. Mehmet Ali Yalçın**



KOCAELİ, 2009

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Günümüzde enerji ihtiyacının giderek artması buna karşın kaynakların azalması enerjinin verimli kullanımının ve tasarufunun yanında alternatif enerji kaynaklarına yönelimin de artmasını sağlamıştır. Enerji ihtiyacını başka ülkelerden karşılayan ülkeler uluslararası alanda ulusal çıkarlarını dahi tam olarak savunamamakta ve pasif konuma itilmektedir. En önemli enerji kaynağı olan petrolün giderek azalması ve fiyatının zaman zaman aşırı artması en çok ulaşım sektörünü etkilemektedir. Bu aşırı artışlar son yıllarda elektirikli araçların daha çok ticari hale gelmesine ve kullanılmasına yol açmıştır. Bu nedenle bu araçlara ilişkin bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışma alanlarından biri de batarya sistemleridir. Batarya sistemleri elektrikli araçların en önemli parçasıdır. Bu tezde ADVISOR programı kullanılarak seçilen sabit güzergâhta ve sabit diğer koşullarda beş farklı bataryanın performansları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yüksek Lisans sürecinde desteklerini esirgemeyen Elektrik Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof.Dr. Semra Öztürk'e ve danışmanım Yrd. Doç.Dr Nuran Yörükeren'e yine, Elektrik Eğitimi Bölümünden Yrd. Doç.Dr Ayse Ergün Amaç'a ve Matlab ve simülasyonlarda yardımlarını esirgemeyen Ar. Gör. Yusuf Gürcan Şahin'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez süresince bana gösterdikleri anlayış ve desteklerinden dolayı Ford Otosan yöneticilerine de teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
SİMGELER.....	iv
ÖZET.....	v
İNGİLİZCE ÖZET.....	vi
1.GİRİŞ	1
1.1.Tezin Amacı.....	1
1.2.Literatür Taraması.....	1
2.HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE BATARYA SİSTEMLERİ	4
2.1.Hibrit Elektrikli Araçlar	4
2.2.Hibrit Elektrikli Araçlar İçin Batarya Sistemleri	7
2.2.1.Kurşun-asit batarya (Pb)	7
2.2.2.Nikel-çinko batarya (NiZn).....	8
2.2.3.Nikel-kadmiyum batarya (NiCad).....	8
2.2.4.Nikel-metal hidrat batarya (NiMH)	8
2.2.5.Lityum-iyon batarya (Li).....	9
2.3.Batarya Modelleri.....	11
2.3.1.RC batarya modeli.....	11
2.3.2.Rint batarya modeli	15
2.3.3.Yapay sinir ağ modeli	16
2.3.4.Kurşun asit batarya modeli	16
3.ADVISOR VE BENZETİŞİM BİLEŞENLERİ	17
3.1.ADVISOR Programının Tanıtımı	17
3.2.Enerji Depolama Sistemi.....	21
3.2.1.Batarya gücü.....	24
3.2.2.Batarya akımı	25
3.2.3.Şarj durumu (SOC) algoritması	27
3.2.4.Batarya ısı modelini	28
4.BATARYA PERFORMANS ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRMESİ	30
4.1.Analiz Seçim Kriterleri	30
4.2.Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler	31
4.2.1.Sürüş güzergâhı.....	31
4.2.2.Şarj durumu analizi	32
4.2.3.Depolanan enerji değişimi.....	33
4.2.4.Batarya akımı	34
4.2.5.Batarya gücü.....	34
4.2.6. Batarya sıcaklığı.....	37
4.2.7.Emisyon analizleri.....	37
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Hibrit elektrikli araç temel yapısı	4
Şekil 2.2: Seri hibrit elektrikli araç modeli	5
Şekil 2.3: Paralel hibrit elektrikli araç modeli	6
Şekil 2.4: Batarya çeşitlerinin özgül güç ve özgül enerji seviyeleri	10
Şekil 2.5: Batarya RC devre modeli.....	12
Şekil 2.6: Örnek bir (a) batarya deşarj akımı ve (b) batarya terminal gerilimi.....	12
Şekil 2.7: RC Matlab simulink modeli.....	14
Şekil 2.8: Rint batarya devre modeli.....	15
Şekil 2.9: Voc ve SOC'nin sıcaklıkla değişimi (Johnson).....	15
Şekil 2.10: Yapay sinir ağ modeli	16
Şekil 2.11: Kurşun asit bataryanın temel hücre yapısı ve tepkime süreci.....	16
Şekil 3.1: Matlab altında ADVISOR açılış penceresi.....	17
Şekil 3.2: ADVISOR programında örnek bir aracın giriş ekranı.....	18
Şekil 3.3: Benzetim ayar penceresi	19
Şekil 3.4: Benzetim sonuç penceresi.....	20
Şekil 3.5: ADVISOR çalışma bileşenleri [9]	20
Şekil 3.6: Blok diyagramı oluşturan bileşenlere ait farklı modeller	21
Şekil 3.7: Enerji depolama sistemi advisor modeli.....	22
Şekil 3.8: Batarya açık devre gerilimini belirleme alt modeli	23
Şekil 3.9: Batarya gücü matlab/simulink modeli	24
Şekil 3.10: Basit eşdeğer devre	25
Şekil 3.11: Batarya akımı matlab/simulink modeli.....	26
Şekil 3.12: SOC advisor modeli.....	28
Şekil 3.13: Batarya matlab/simulink ısıl modeli	29
Şekil 4.1: Sürüş güzergâhı hız - zaman değişimi	31
Şekil 4.2: Batarya sarj durumu - zaman değişimi	32
Şekil 4.3: Depolanan anlık enerji – zaman değişimi.....	33
Şekil 4.4: Batarya akımı - zaman değişimi	34
Şekil 4.5: Batarya gücü - zaman değişimi.....	35
Şekil 4.6: Batarya tiplerine göre açık devre gerilimleri - şarj yüzdesi değişimleri... 36	
Şekil 4.7: Sürüş güzergâhı boyunca bataryaların sıcaklık değişimi.....	37
Şekil 4.8: Hibrit aracın toplam emisyon – zaman değişimi	38
Şekil 4.9: Hibrit aracın CO emisyon – zaman değişimi.....	38
Şekil 4.10: Hibrit aracın HC emisyon – zaman değişimi.....	39
Şekil 4.11: Hibrit aracın NOX emisyon – zaman	39

SEMBOLLER

Ah	Amper-saat kapasite
C_s	Yüzey kapasitesi
C_b	Yük depolama kapasitörü
I	Akım
I_s	Yüzey akımı
LI	Lityum-İyon Batarya
NiZn	Nikel-Cinko Batarya
NiCad	Nikel Kadmiyum Batarya
NiMH	Nikel-Metal Hidrat Batarya
P	Güç
P_b	Kurşun-Asit Batarya
P_{bt}	Batarya gücü
R_{int}	Dâhili (iç) direnç
R_t	Terminal direnci
R_e	Uç direnci
R_s	Yüzey direnci
SOC	Şarj durumu
V	Gerilim
V_{OC}	Açık devre gerilimi
V_{mot}	Motor gerilimi
W_{cb}	Yük depolama kapasitöründe depolanan enerji
τ	Zaman sabiti

Kısaltmalar

ADVISOR	: Advanced Vehicle Simulator- Gelişmiş Araç Similatörü
AR&GE	: Araştırma ve Geliştirme
FCV	: Fuel Cell Vehicles - Yakıt Hücreli Araçlar
HEV	: Hybrid Electrical Vehicles- Hibrit Elektrikli Araçlar
HF	: Hibridizasyon Faktörü
MATLAB	: MATrix LABoratory – Matris Laboratuvarı
Nnet	: Neural Network
NREL	: National Renewable Energy Laboratory
SUV	: Sport Utility Vehicles- Spro Amaçlı Araçlar
SOC	: State of Charge-Şarj durumu
GUI	: Grafical Unit Interface- Grafik Birimi Arayüzü
VOC	: Açık devre gerilimi

HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN BATARYA SİSTEMLERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ PERFORMANS ANALİZİ

Ulaş Tan ARAS

Anahtar Kelimeler: Hibrit elektrikli araçlar, Batarya sistemleri, ADVISOR.

Özet: Bu tezde hibrit elektrikli araçlarda kullanılan batarya çeşitlerinin karşılaştırmalı performans analizi kısaca ADVISOR olarak adlandırılan Gelişmiş Araç Similatörü (Advanced Vehicle Simulator) programı kullanılarak yapılmaktadır. Öncelikle hibrit elektrikli araçlar ve bu araçlarda kullanılan batarya çeşitleri hakkında kısa bilgiler verilmekte ve batarya devre modelleri sunulmaktadır. ADVISOR program bileşenleri ve benzetim pencereleri tanıtılarak, batarya modellerinin ADVISOR Matlab Simulink yapıları sunulmaktadır. Simulasyonlar için Toyota Prius aracı esas alınmıştır. Aktarma elemanları, batarya devre modeli, güzergâh gibi koşullar sabit tutularak beş çeşit batarya için analiz yapılmıştır. Li, NiMH, Pb, NiCad ve NiZn batarya çeşitleri için yapılan analizler karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

COMPUTER AIDED PERFORMANCE ANALYSIS OF BATTERY SYSTEMS OF HYBRID ELECTRICAL VEHICLES

Ulaş Tan ARAS

Key Words: Hybrid electrical vehicle, Battery systems, ADVISOR.

Abstract: In this thesis, comparative performance analyses of the batteries which are used in hybrid electrical vehicles are carried out by using Advanced Vehicle Simulator-ADVISOR. Initially basic knowledge of hybrid electrical vehicles and battery types are given and circuit models of batteries are also introduced. The components of ADVISOR program and their simulation windows are presented. In addition, Matlab/Simulink models of energy storage system are introduced. Toyota Prius is taken as master for the simulations. The analyses of five types of batteries are carried out for default transmission, circuit model of battery and drive cycle. Analyses of Li, NiMH, Pb, NiCad and NiZn batteries are compared and obtained results are evaluated as well.

1. GİRİŞ

Günümüzde bir yandan çevreye karşı duyarlılığın, diğer yandan enerji ihtiyacının giderek artması insanları yeni arayışlara itmektedir. Fosil yakıt kaynakların azalması, enerjinin verimli kullanımını ön plana çıkarmış ve yeni alternatif enerji kaynaklarına yönelimi artırmıştır. En önemli enerji kaynağı olan petrolün giderek azalması ve fiyatının zaman zaman aşırı artması en çok ulaşım sektörünü etkilemektedir. Bu aşırı artışlar son yıllarda hibrit elektrikli araçların daha çok ticari hale gelmesine ve kullanılmasına yol açmıştır. Bu nedenle bu araçlara ilişkin hem firmaların AR&GE faaliyetleri hem de literatürde bilimsel çalışmalar artarak devam etmektedir

1.1. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, son yıllarda oldukça önemli hale gelen ve geleceğin otomotiv endüstrisinde geniş yer bulacak olan hibrit elektrikli araçlarda kullanılan batarya sistemlerini, uluslararası düzeyde kabul görmüş bir araç simülatörü kullanarak belirli sabit koşullarda performansları açısından karşılaştırmak ve analiz etmektir. Batarya sistemlerinin karşılaştırmalı performans analizlerinin yanısıra batarya sistemleri, hibrit elektrikli araçlar ve ADVISOR programları hakkında bilgi vermek ve tanıtmak diğer amaçlardır.

1.2. Literatür Taraması

Hibrit elektrikli araçlar ve batarya sistemleri ile ilgili literatürdeki yayınların özellikle 2000 yılından sonra yoğunlaştığı görülmektedir. Bu konularda uygulama olanaklarının, laboratuvar ve test sistemlerinin pahalı ve sınırlı olması nedeniyle bilimsel çalışmaların özellikle ADVISOR programının kullanımından sonra simülasyon içerikli olarak bilimsel dergilerde daha fazla yer bulduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların diğer bir ortak özelliği ise gerçek dünyadaki değerlerin bilgisayar ortamına aktarılmasıdır. Çalışmalar, araçların yakıt ekonomisi, hibrit oranı, elektrik besleme ve depolama sistemleri, araçların çeşitli güzergâhlardaki

performansları gibi çeşitli ana başlıklar altında toplanmaktadır. İncelenen son yıllara ait yayınlardan bazıları aşağıda sıralanmaktadır.

Maggetto ve Mierlo, hibrit araçların teknolojilerinin durumu ve geleceği hakkındaki öngörülerini içeren bir inceleme sunmuşlardır [1].

Dawood ve Emadi tarafından yapılan bir çalışmada, geleneksel hibrit ve yakıt hücreli ağır vasıtaların performans ve yakıt ekonomilerinin karşılaştırmalı olarak analizi yapılmıştır [2].

Tyrus ve arkadaşları, küçük, orta ve büyük olarak sınıflandırılan SUV(Sport Utility Vehicles- Spor Amaçlı Araçlar) araçların hibritleştirme etkilerinde yakıt ekonomisi ve dinamik performansı incelenmiştir [3].

Yine araçların yakıt ekonomisi ve dinamik performansları üzerinde yapılan bir çalışma, Lukic ve Emadi tarafından yayınlanmıştır [4].

Bitsche ve Gutmann, hibrit araçlar için çeşitli araç ve batarya sistemlerini incelemiştir [5].

Ravindra ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada ise elektrikli araçların performansları çeşitli batarya teknolojileri için farklı değişkenlere göre incelenmiştir [6].

Antoniou ve arkadaşları, çok amaçlı askeri araçların hibrit-elektrikli olarak seri ve paralel benzetim modellerinin ADVISOR ortamında geliştirilerek elde edilen sonuçların geleneksel modellerle karşılaştırmışlardır [7].

Pesaran, batarya ısıl modelini kullanarak Matlab altında ADVISOR ile performanslarını analiz etmiştir [8].

Markel ve arkadaşları tarafından ADVISOR programının tanıtımı yapılarak, elektrikli araçların benzetim uygulamaları için sistem gereklilikleri ve sınırlamalar konusunda temel bir makale sayılabilecek bir çalışma sunmuşlardır [9].

Johnson, gerçek bir sürüş güzergâhını simule eden bataryadan elde edilen verileri kullanarak batarya devre modellerini ve eşitliklerini sunmuştur [10].

Baisden ve Emadi, elektrikli araçlar için batarya ve ultra kapasitor modelini ADVISOR kullanarak ayrı ayrı ve beraber kullanım durumlarını analiz etmiştir [11].

Karden ve arkadaşları, gelecekteki hibrit elektrikli araçların enerji depolama sistemleri için yeni gereksinimleri inceleyen bir çalışma sunmuşlardır [12].

Bossche ve arkadaşları tarafından yapılan SUBAT adlı bir proje kapsamında lead-acid, nickel-cadmium, nickelmatal hydride, sodium-nickel chloride ve lithium-ion batarya sistemleri, çevresel etkiler dikkate alınarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir [13].

Sauer ve 8 arkadaşı, otomotiv batarya sistemlerinin şarj durumunu güvenli işletim ve ömür durumlarıyla birlikte kapsamlı olarak analiz etmişleridir [14].

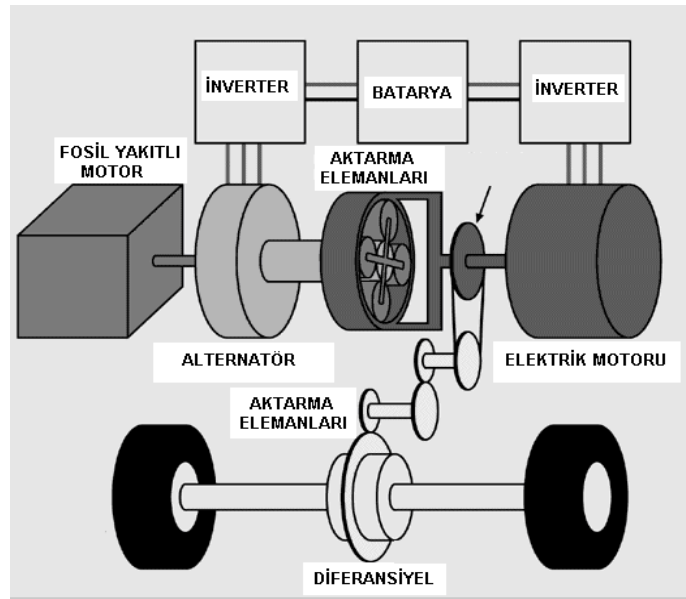
Amaç ve arkadaşları Türkçe olarak yayınlanan bir makalelerinde, ADVISOR programını ve benzetim uygulamaları konusunda bilgi vermişlerdir [15].

2. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE BATARYA SİSTEMLERİ

2.1. Hibrit Elektrikli Araçlar

Fosil enerji kaynaklarındaki fiyat artışlarına paralel olarak çevresel duyarlılığın önem kazandığı günümüzde hibrit elektrikli araçlar, sağladığı düşük emisyonla gelecek neslin ulaşım sektöründe kullanılabilecek tek aday araçtır [16]. Ancak hibrit araçların ticari başarısı sadece buna bağlı değildir. Aynı zamanda güvenilir olmalarına, performanslarına ve hizmet ağının oluşturulabilirliğine bağlıdır.

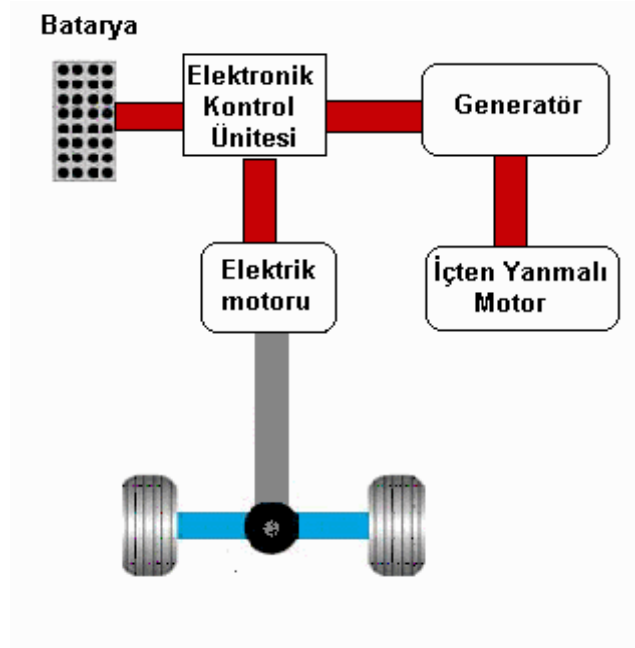
Şekil-2,1'de görüldüğü gibi bir hibrit elektrikli araç, temel olarak bir batarya, elektronik dönüştürücü (inverter), elektrik motoru ve fosil yakıt motoru (içten yanmalı motor), alternatör ve aktarma elemanlarından oluşmaktadır. Geleneksel araçlarda mekanik enerjinin tamamı içten yanmalı motordan sağlanırken hibrit elektrikli araçlarda büyük ölçüde elektrik motorundan sağlanmaktadır. Böylece tahrik gücünün birden fazla kaynaktan sağlanması aracın güvenilirliğini artırmakta ve yüksek yakıt tasarrufu sağlamaktadır.



Şekil 2.1: Hibrit elektrikli araç temel yapısı

Hibrit elektrikli araçlar seri ve paralel topolojili sistemler olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılabilir.

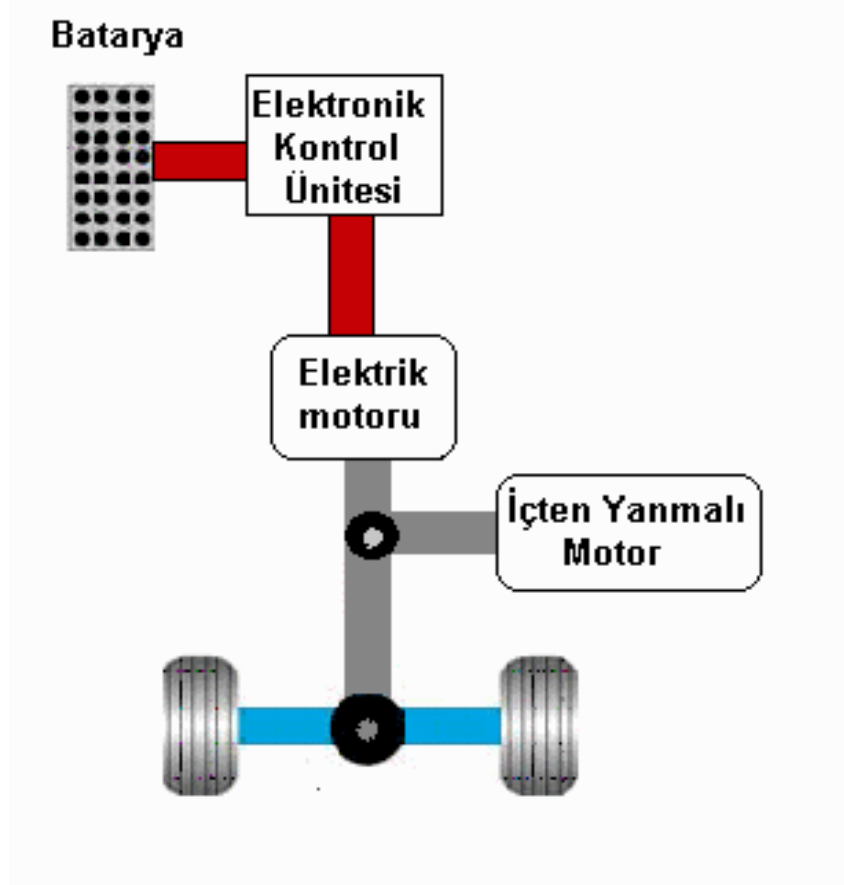
Seri sistem diğer sistemlere nazaran daha basit bir yapıya sahiptir. Şekil 2.2’de basit bir yapıdaki seri hibrit araç görülmektedir. Seri yapılandırılmadan görüldüğü üzere tahrik kuvveti sadece elektrik motorundan sağlanmaktadır. İçten yanmalı motor bir generatöre bağlıdır ve içten yanmalı motorun mekaniksel çıkışı generatör sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülür. Generatör tahrik için kullanılan elektrik motoru için elektrik üretirken aynı zamanda bataryanın şarj olması için gerekli elektrik enerjisini de sağlar. İçten yanmalı bir benzinli motor yaklaşık %35-%36 verimle çalışmaktadır. İçten yanmalı motorun düşük verimle çalıştığı aralıklardan birisi olan 0-2500 devir/dakika aralığında daha yüksek verimle çalışan elektrik motoru tahriki sağlar. Bu sayede yakıt sarfiyatı özellikle yoğun şehiriçi dur-kalk kullanımında düşmektedir. Genaratör tahrikini sağlayan içten yanmalı motor ise bu esnada en verimli çalıştığı devir aralığında çalışarak tahrik için elektrik motoruna şarj için ise elektrik motoruna elektrik enerjisi sağlar. Yük momenti tamamıyla tahrik motoru üzerine bindiği için, içten yanmalı motor tüm zamanlarda yük momentinden bağımsız ve en uygun verimle çalışabilir. Bu nedenle seri hibrit araçlarda enerji yönetim stratejisi de basittir. Burada esas olan, içten yanmalı motorun uygun bölgede çalışması için, nasıl ve nereye odaklanması gerektiğidir.



Şekil 2.2: Seri hibrit elektrikli araç modeli

Seri hibrit araçlarda elektrik sistemi daha yüksek kapasitede ve daha güçlü olmalıdır. Çünkü elektrik motoru tahrik gücünü tek başına karşılamaktadır. Batarya daha büyük olmalı ve daha yüksek gerilimlerde çalışabilmelidir. Bunun yanı sıra yüksek güçlü elektrik makinesi ile birleşik olan bataryanın hızlı şarj/deşarjından sakınılmalıdır. Seri hibrit sistem uygulanmalarında, büyük otobüsler küçük ticari araçlardan daha uygundur. Çünkü otobüsler genellikle hemen hemen tüm zamanlarda düşük hızlarda çalışırlar. Üstelik elektrik motorunu ve bataryaları koymak için gerekli alanları da mevcuttur.

Paralel hibrit araçlarda elektrik motorunun boyutu, seri hibrit araçlarda kullanılan motorlardan genellikle daha küçüktür. Paralel hibrit elektrikli araçlar, tasarım olarak elektrik-destekli geleneksel araçlara yakındır. Paralel hibrit elektrikli araçlarda hibridizasyon faktörü kavramından söz edilmelidir. Hibridizasyon Faktörü (HF); aracın tahriği için gerekli toplam gücün ne kadarının elektrik motorundan geldiğini gösterir. Paralel hibrit yapılandırması Şekil 2.3 te gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Paralel hibrit elektrikli araç modeli

Paralel hibrit sistemlerde hem içten yanmalı motor ve hem de elektrik motoru mekanik olarak aktarma elemanlarına bağlanmıştır. Bu sayede her iki motor tahrik için ayrı ayrı ya da aynı anda moment sağlayabilmektedir. Ayrıca içten yanmalı motor ve elektrik motoru karşılıklı birbirine bağlıdır. Paralel hibrit aracın kontrol stratejilerine göre farklı bağlantı şekilleri mümkündür.

Seri hibrit elektrikli araçlarda, çekişte maksimum gücü elde etmek için büyük bir batarya ve yüksek güçlü elektrik motoruna ihtiyaç duyulurken, paralel hibrit elektrikli araçlarda batarya ve motor daha küçük güçlü olabilir. Ancak paralel hibrit aracın kontrolü, mekanik yapısından dolayı seri hibrit aracınki kadar kolay değildir. Paralel hibrit elektrikli araçların avantajları, bataryaların şarj şekilleri, regeneratif frenleme ve içten yanmalı motordan elde edilen artı güçtür.

2.2. Hibrit Elektrikli Araçlar İçin Batarya Sistemleri

Elektrikli araçların en önemli parçalarından birisi bataryalarıdır ve denenmiş ve halen kullanılmakta olan çok çeşitli batarya çeşitleri mevcuttur. Bunlardan bilinen ve yaygın kullanılanlar; Kurşun-Asit Batarya (Pb), Nikel-Çinko Batarya (NiZn), Nikel Kadmiyum Batarya (NiCad), Nikel-Metal Hidrat Batarya (NiMH), Lityum-İyon Bataryadır (Li). Bu bataryaların avantajları ve dezavantajları ayrıntılı olarak alt başlıklar altında incelenmiştir.

2.2.1. Kurşun-asit batarya (Pb)

Günümüzde maliyet açısından bir değerlendirme yapıldığında enerji depolama konusunda en uygun batarya teknolojisinin kurşun-asit olduğu ifade edilmektedir [17] Ancak kurşun-asit bataryaların aracın menzilini doğrudan etkileyen enerji 25-35 Wh/kg gibi yoğunluğu oldukça düşüktür. Buna karşın güç yoğunluğu ise 150 W/kg gibi yüksek bir değerdir. Genelde 6 tane hücre yaklaşık 12 voltu sağlamak için seri bir şekilde bağlanır.

Bu batarya tipini kullanan elektrikli araçların daha düşük ortam sıcaklıklarında çalışması durumunda yardımcı bir batarya ısıtmasına ve izolasyonuna ihtiyaç duyulur.

Kurşun asit bataryaların ömrü yaklaşık %80 derin deşarj koşulunda 1000 çevrimdir. Bu da yaklaşık 3 yıla tekabül etmektedir.

2.2.2. Nikel-çinko batarya (NiZn)

Şarj edilebilen nikel çinko bataryalar ilk olarak 1899 yılında icat edilmiştir. Şarj esnasında çinko plakanın üzerinde dendritler kullanılması ömrünü kısalttığından, bu bataryaların kullanımı yaygınlaşamamıştır. Son dönemlerde yapılan çalışmalarda, yüksek güç ve enerji yoğunluğu sayesinde hibrit elektrikli araçlarda bu bataryanın kullanım imkânı doğmuştur. Enerji yoğunluğu 70 Wh/kg ve güç yoğunluğu 150 W/kg olmasına rağmen bu bataryalarda temel problem dendrit oluşumu nedeniyle kullanım ömrünün düşmesidir. Bataryanın, ayrıca -39 ile +81°C arasında geniş bir çalışma sıcaklığına sahip olması bir üstünlüktür.

2.2.3. Nikel-kadmiyum batarya (NiCad)

Son yıllarda nikel-kadmiyum (NiCd) bataryalar ise özgül enerji, özgül güç, çevrim ömrü ve güvenilirlik bakımından en iyi dengeyi sağlayan bataryalar olarak kabul edilmektedir. Nikel kadmiyum batarya sistemi pozitif nikel elektrot, negatif kadmiyum elektrot ve sulu elektrolit olarak potasyum hidroksitden oluşmaktadır. Nikel kadmiyum bataryalar kurşun asit bataryalara göre birim ağırlık bakımından bir miktar daha fazla enerji depolamaktadır. Bataryanın enerji yoğunluğu 50 Wh/kg ve güç yoğunluğu 200 W/kg kadardır. Bu bataryalar yüksek şarj ve deşarj oranlarına sahip olmaları nedeniyle hibrit elektrikli araçlarda kullanılmaktadır. Derin deşarj çevrim sayısı 2000 civarındadır. Kadmiyumun toksik ve çevreye zararlı olmasından dolayı, nikel-kadmiyum bataryaların geri kazanımı oldukça önemli ve bir o kadar da karmaşıktır. Çevreye verdikleri zarardan dolayı kullanımları durdurulmuştur.

2.2.4. Nikel-metal hidrat batarya (NiMH)

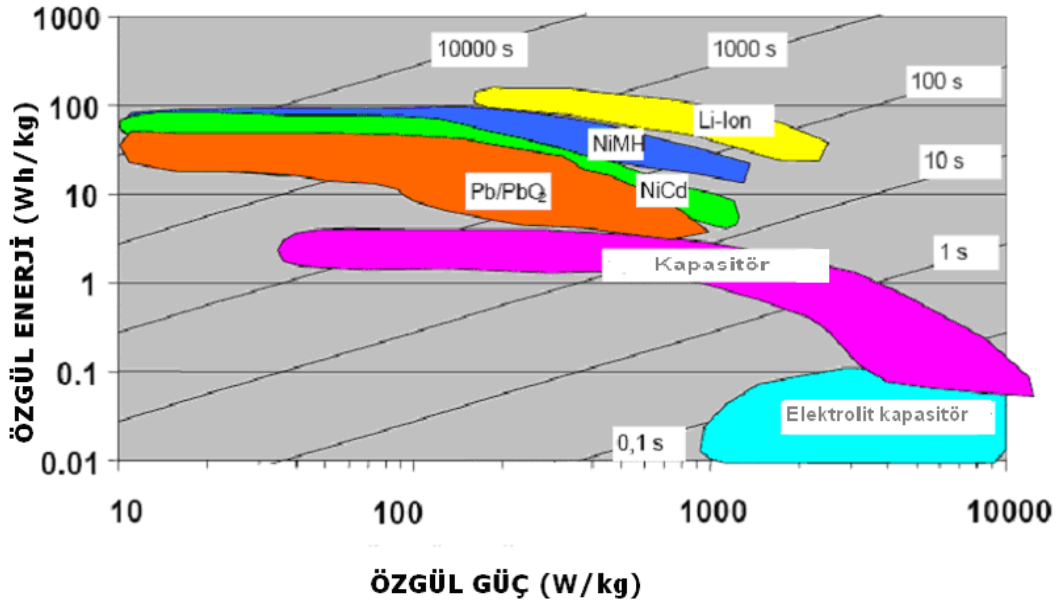
Nikel-metal hidrat (NiMH) bataryalar, emisyon özellikleri bakımından daha iyi performansa sahip olduklarından, birçok elektrikli araç uygulamalarında tercih edilmeye başlanmıştır. NiMH, nikel kadmiyum bataryalara göre daha fazla enerji

depolamaktadır ve batarya, metal hidrur karışımı olan negatif elektrot, potasyum hidroksit elektroliti ve de aktif malzemesi nikel hidroksit olan pozitif elektrottan oluşmaktadır. Negatif elektrot olarak hidrojen içeren metal alaşım kullanılmaktadır. NiMH batarya 70 Wh/kg dan fazla enerji yoğunluğuna ve 200 W/kg dan daha fazla güç yoğunluğuna sahiptir. NiMH bataryalar, kurşun asit bataryalardan yaklaşık 5 kat kadar daha pahalıdır.

2.2.5. Lityum-iyon batarya (Li)

Lityum-iyon bataryayı elektrikli araç uygulamalarında kullanılabilecek maliyet ve özelliklere getirebilmek için, Japonya (Sony ve Panasonic), Avrupa (SAFT ve Varta) ve ABD (Duracell) gibi çeşitli ülkelerde çalışmalar sürdürülmektedir. Lityum-iyon bataryalar yaklaşık 120 Wh/kg enerji yoğunluğuna ve 1000 çevrimlik derin deşarj çevrimine sahiptirler. Bu bataryalar, %80 şarj durumuna 1 saatten daha kısa sürede tekrar şarj edilebilmektedirler. Bu bataryalar yüksek enerji yoğunlukları nedeniyle, elektrikli araç uygulamaları için en uygun potansiyele sahip bataryalar olarak günümüzde değerlendirilmektedir. Gelecek 15-20 yıl içinde lityum-iyon bataryanın henüz yüksek olan maliyetlerinin düşürülerek elektrikli araçlarda kullanılabilecek ekonomik seviyeye indirilebileceği öngörülmektedir

Hibrit elektrikli araç uygulamalarında bataryalardan yüksek özgül güç, yüksek özgül enerji ve uzun ömre sahip olması beklenmektedir. Özgül enerji yoğunluğu enerji kaynağının birim kütlesinde depolanan enerji miktarını göstermektedir. Özgül güç ise yine enerji kaynağının birim kütlesinin verdiği güç olarak ifade edilmektedir. Wh/kg seviyelerinin yüksek, uzun ömürlü ve düşük maliyetli gibi özelliklerin tümünü bir arada bulunduran mükemmel bir batarya bulunmamaktadır. Hibrit elektrikli araçta kullanılacak bataryalar, araçta kullanılan enerji yönetim sistemi ve araç yapısına bağlı olarak seçilmelidir [14, 17]. Şekil-2.4'de batarya çeşitlerinin özgül güç ve özgül enerji seviyeleri görülmektedir.



Şekil 2.4: Batarya çeşitlerinin özgül güç ve özgül enerji seviyeleri

Batarya ömrü önemli bir faktördür. Bir batarya için hedef 1000 çevrim ömre sahip olmasıdır. Bu yaklaşık olarak 3-4 yıllık bir kullanım ömrüne karşılık gelmektedir. Birçok batarya çeşidinde deşarj çevrimi bataryanın hem enerji hem de güç yoğunluğunu bir miktar azaltmaktadır. Bu nedenle bataryanın ömrü ve performansı önemli ölçüde azalmaktadır.

İçten yanmalı motorun yanı sıra elektrik motorundan da güç talep edildiği durumlarda veya rejenaratif frenleme sırasında açığa çıkan enerjinin depolanabilmesi için bataryanın şarj durumu belirli bir aralıkta korunmalı (örn: %40-%70). Sürüş sırasında talep edilen gücü elektrik motorunun daha çok devreye girerek karşılaması sayesinde daha sessiz sürüş sağlanabilir. Sessiz sürüş modu için şarj seviyesinin belirlenen alt sınırın altına düşmeyecek derin deşarj kabiliyetine sahip bataryalar kullanılmalıdır. Ancak kullanım süresince şarj seviyesi belirli seviyelere düşmektedir.

Seri hibrit araçlarda enerji yönetim sisteminin, bataryayı şarj etmek için kullanılan güç üretim sistemi ortalama yükleri tek başına karşılayacak şekilde kurulması gereklidir. Bu durumda bataryalar, tepe yüklerde anlık enerji talebini karşılayacak büyüklükte seçilmelidir. Güç desteği durumunda, kullanılan bataryanın özgül

gücünün yüksek olması istenir. Yükün tamamının batarya tarafından karşılanacağı durumlarda ise özgül enerjisi yüksek batarya kullanılması tercih edilir.

Paralel hibrit araçlarda kullanılan elektrik tahrik sistemi genellikle düşük güçlerde seçilir. Paralel hibrit araçlarda sessiz sürüş modu çok kısadır. Geri kazanımlı frenleme (regeneratif) sırasında ve seri topolojide olduğu gibi düşük hızlarda enerji tasarrufu sağlamayı hedefleyen bu uygulamada özgül gücü yüksek bataryalar kullanılmaktadır.

2.3. Batarya Modelleri

ADVISOR programı hibrit elektrikli araçlar için dört farklı batarya modeline sahiptir.

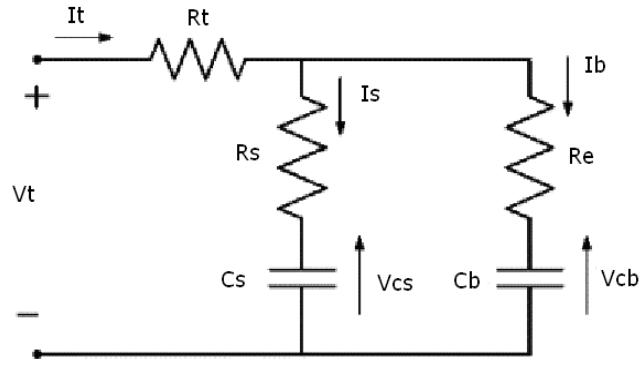
Bunlar;

1. RC modeli
2. Rint modeli
3. Yapay sinir ağ modeli
4. Kurşun asit modeli

Parametrelerinin modellenme ve hesaplama kolaylığı nedeniyle, 1. ve 2. modeller en yaygın kullanılanlarıdır. 4. model de lineer olmayan batarya verilerinin bulunması durumunda kullanılan bir modeldir, 3. model ise elektro-kimyasal bir süreç içermesi nedeniyle, modellemede sınırlı kullanıma sahiptir.

2.3.1. RC batarya modeli

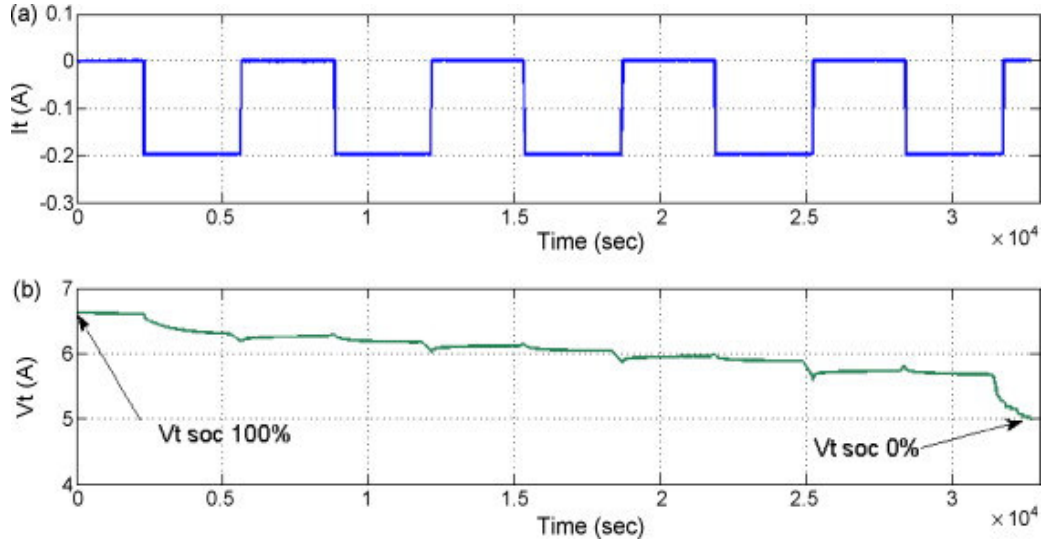
Şekil-2.5'de görüldüğü gibi RC devre modeli, temelde bataryanın yük depolama yeteneğini karakterize eden yük kapasitörü C_b , yüzey kapasitesi ve batarya içerisinde yayılma etkilerini modelleyen yüzey kapasitörü C_s , dirençler; terminal direnci R_t , uç direnci R_e ve yüzey direnci R_s den oluşmaktadır [18].



Şekil 2.5: Batarya RC devre modeli

Şekil-2.5’de yer alan kapasite ve dirençler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

C_b yük depolama kapasitörü, bataryada depolanan enerjiden belirlenebilmektedir. Şekil 2.6’da verilen örnek değişimdeki %0 ve %100 şarj durumları (State of Charge-SOC) için enerji deneysel olarak belirlenen terminal gerilimi ile eşitlik-2.1’deki gibi hesaplanabilir.



Şekil 2.6: Örnek bir (a) batarya deşarj akımı ve (b) batarya terminal gerilimi.

$$W_{Cb} = \frac{1}{2} C_b V^2 = \frac{1}{2} C_b (V_{\%100SOC}^2 - V_{\%0SOC}^2) \quad (2.1)$$

Aynı zamanda enerji, bataryanın nominal amper-saat (amper-saniye olarak dikkate alınır) değeri kullanılarak da eşitlik-2.2’deki gibi de bulunabilir.

$$W_{Cb} = Ah.V^2_{\%100SOC} \quad (2.2)$$

Bu durumda yük kapasitörü C_b , eşitlik-2.1 ve eşitlik-2.2 dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$C_b = \frac{Ah.V^2_{\%100SOC}}{\frac{1}{2}(V^2_{\%100SOC} - V^2_{\%0SOC})} \quad (2.3)$$

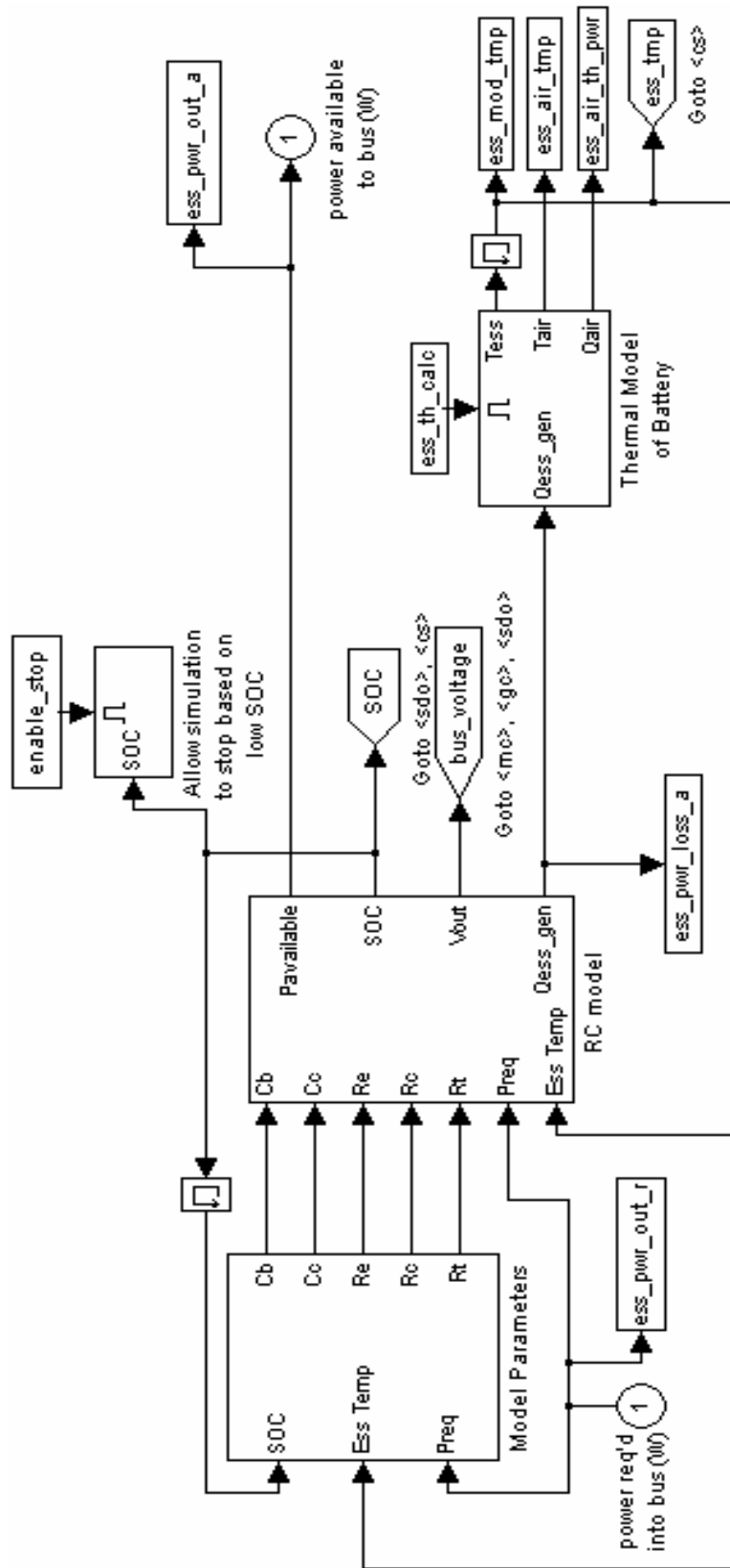
Yüzey kapasitesi C_s ise, yüksüz durumda terminal geriliminin değişiminden hesaplanan zaman sabiti dikkate alınarak aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$C_s = \frac{\tau}{R_e + R_s} \quad (2.4)$$

Şekil-2.5'deki devrede yer alan dirençler R_t , R_e ve R_s sırasıyla terminal direnci, uç direnci ve kapasitör direncidir. R_s ve R_e dirençleri toplam batarya direncinin % 80'ini oluşturmaktadır ve V_t terminal gerilimi aşağıdaki gibi elde edilebilmektedir.

$$[V_t] = \begin{bmatrix} \frac{R_s}{R_e + R_s} & \frac{R_e}{R_e + R_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{cb} \\ V_{cs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R_t - \frac{R_s R_e}{R_e + R_s} \end{bmatrix} [I_s] \quad (2.5)$$

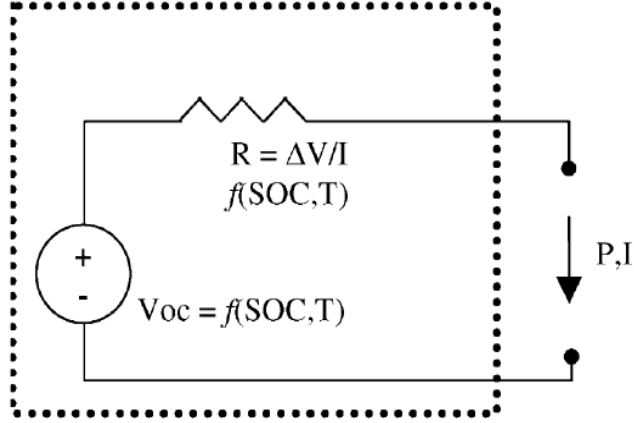
RC devre modeli ADVISOR'da Matlab ortamına aktarılarak Şekil-2.6'da verildiği gibi Simulink bloğu yer almaktadır [19]. Bu durumda, çalışma koşullarında batarya parametreleri işletim sınırları içinde test edilebilmektedir.



Şekil 2.7: RC Matlab simulink modeli

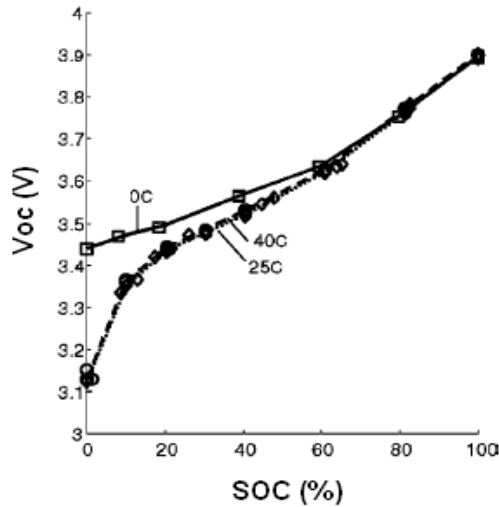
2.3.2. Rint batarya modeli

Rint batarya modeli Şekil 2.7’de görülebileceği gibi, bir gerilim kaynağı (V_{oc} açık devre gerilimi) ve kaynağa seri bağlı bir dâhili dirençten oluşan basit bir modeldir. Bu model ile bataryanın şarj durumu, açık devre gerilimi ve işletim sıcaklığı modellenenmektedir [19].



Şekil 2.8: Rint batarya devre modeli

Bu modelde hem açık devre gerilimi hem de omik direnç şarj durumunun ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. Şekil 2.8’de açık devre geriliminin şarj durumuna ve sıcaklığa bağlı olarak değişimi görülmektedir. Bataryanın açık devre geriliminin, yüksek şarj oranlarına sahipken sıcaklıktan daha az etkilendiği görülmektedir [19].



Şekil 2.9: Voc ve SOC'nin sıcaklıkla değişimi (Johnson)

2.3.3. Yapay sinir ağ modeli

Yapay sinir ağ (Neural Network –Nnet) batarya modeli, lineer olmayan batarya verilerinin eğitilerek parametrelerin belirlenmesi amacıyla kullanılan bir modeldir [19].

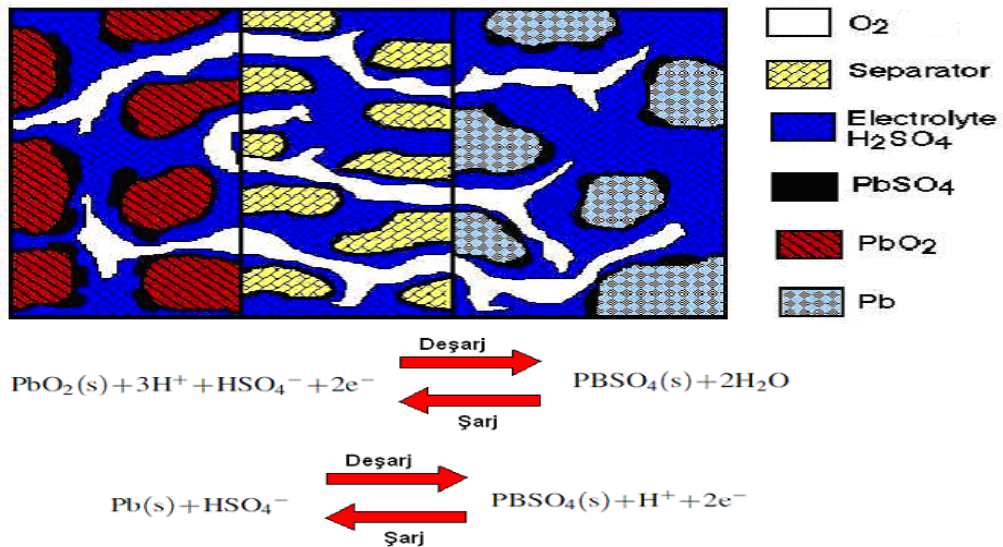


Şekil 2.10: Yapay sinir ağ modeli

Şekil.2.9’da gösterildiği gibi güç ve sarj durum verileri iki katmanlı bir yapıya sahip bir ağa giriş olarak verilmekte, çıkışta ise batarya gerilimi ve akımı belirlenmektedir.

2.3.4. Kurşun asit batarya modeli

Kurşun asit bataryalar günümüz geleneksel araçlarda yaygın kullanılan ve maliyeti düşük olması nedeniyle hibrit araçlarda tercih edilen bir batarya çeşididir. Bu bataryalar tamamen elektrokimyasal bir süreç olup, Şekil 2.10’da kurşun asit bataryanın hücre (fiziksel ve kimyasal) yapısı ile tepkime süreci görülmektedir. Bataryanın performansı kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlıdır [19].

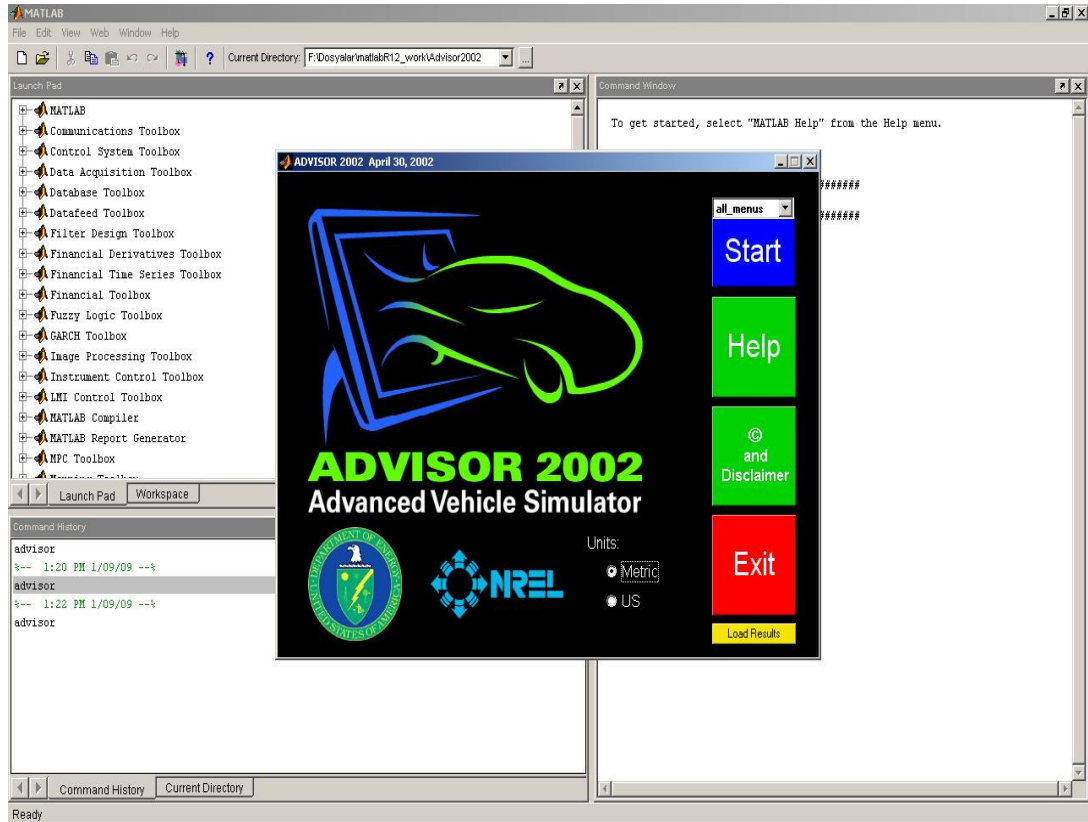


Şekil 2.11: Kurşun asit bataryanın temel hücre yapısı ve tepkime süreci

3. ADVISOR VE BENZETİŞİM BİLEŞENLERİ

3.1. ADVISOR Programının Tanıtımı

İleri araç benzetim programı olarak bilinen ADVISOR, İngilizce Advanced Vehicle Simulator kelimelerinin kısaltılmasından elde edilmiş olup ilk olarak American Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nda (National Renewable Energy Laboratory-NREL) Ford, General Motors ve Daimler Chrysler otomotiv firmalarının destekleri ile geliştirilmiştir [9]. ADVISOR, bir aracın alt sistemlerinin MATLAB-Simulinkte benzetimi için deneysel bileşen verilerini kullanan bir uygulamadır. Böylece kullanıcının, mevcut bileşenlerden yararlanarak farklı deneysel araç düzenekleri için benzetim yapmasını sağlar.



Şekil 3.1: Matlab altında ADVISOR açılış penceresi

ADVISOR içerisinde yer alan mevcut sistem modelleri; yakıt hücreli araçlar (FCV), paralel ve seri hibrit elektrikli araçlar (HEV) ve geleneksel arabalardır. Program ile araçları modellemenin yanı sıra, aracın kullanılacağı zemin ve çevrenin de modellenmesi mümkündür.

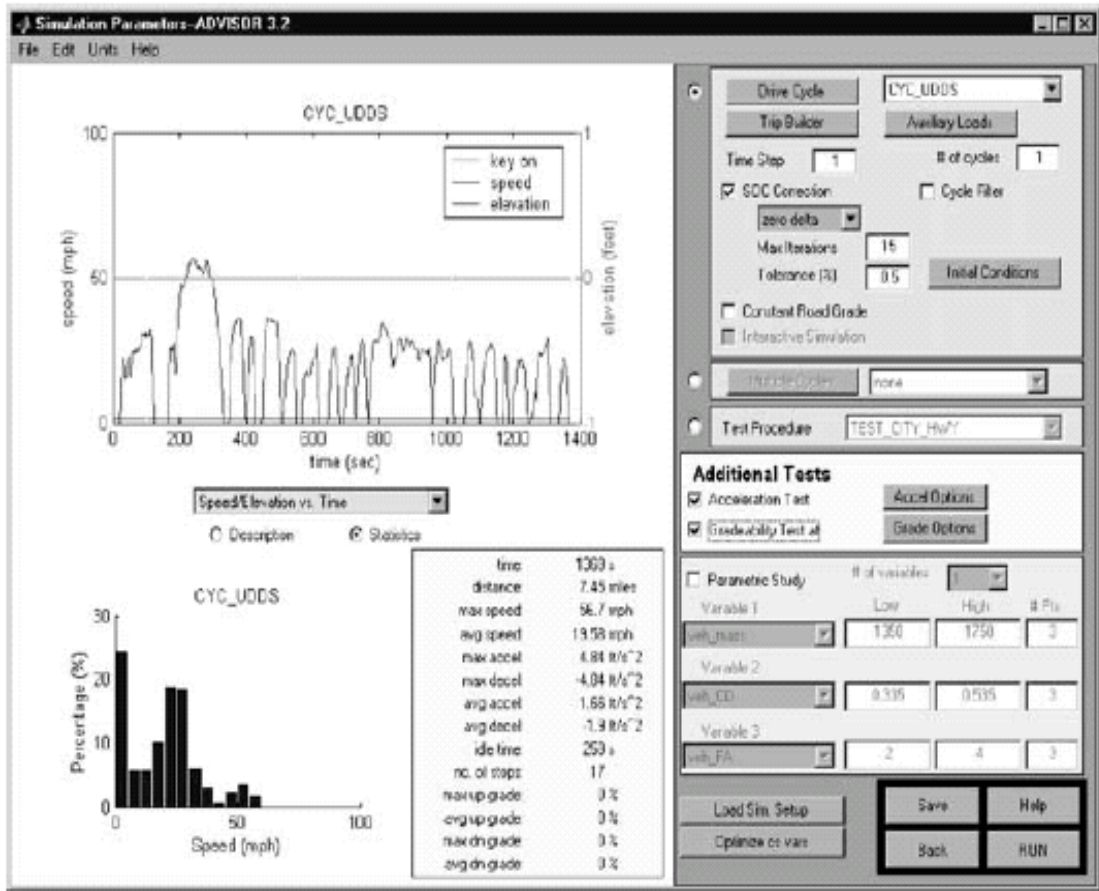
The screenshot displays the ADVISOR software interface for vehicle input. The main window is titled "Vehicle Input" and contains the following elements:

- Top Menu Bar:** File, Edit, Units, Help.
- Left Panel:** "Vehicle Input" title, a 3D model of a green vehicle chassis with a yellow battery pack, and a "Motor Position:" dropdown set to "pie transmission".
- Component Selection:** A table with columns for Component, version, type, and mass (kg). The table lists various components like Vehicle, Fuel Converter, Exhaust Aftertreat, Energy Storage, Motor, Generator, Transmission, Clutch/Torq. Conv., Torque Coupling, Wheel/Axle, Accessory, Acc Electrical, and Powertrain Control.
- Scale Components:** A table with columns for max pwr (kW), peak eff, and mass (kg). It lists values for various components.
- Bottom Right Plot:** A line graph titled "Fuel Converter Operation" showing "Torque (Nm)" on the y-axis (0 to 100) and "Speed (rpm)" on the x-axis (0 to 6000). The plot shows several curves representing different operating points (p.25, p.3, p.15, p.2, p.14, p.25) for a "Geo 1.0L (41kWh) SI Engine - transient data".
- Bottom Panel:** "View Block Diagram" (BD_PAR), "Variable List" (fuel_converter, fc_acc_mass), and "Edit Var." (32.8056).

Şekil 3.2: ADVISOR programında örnek bir aracın giriş ekranı

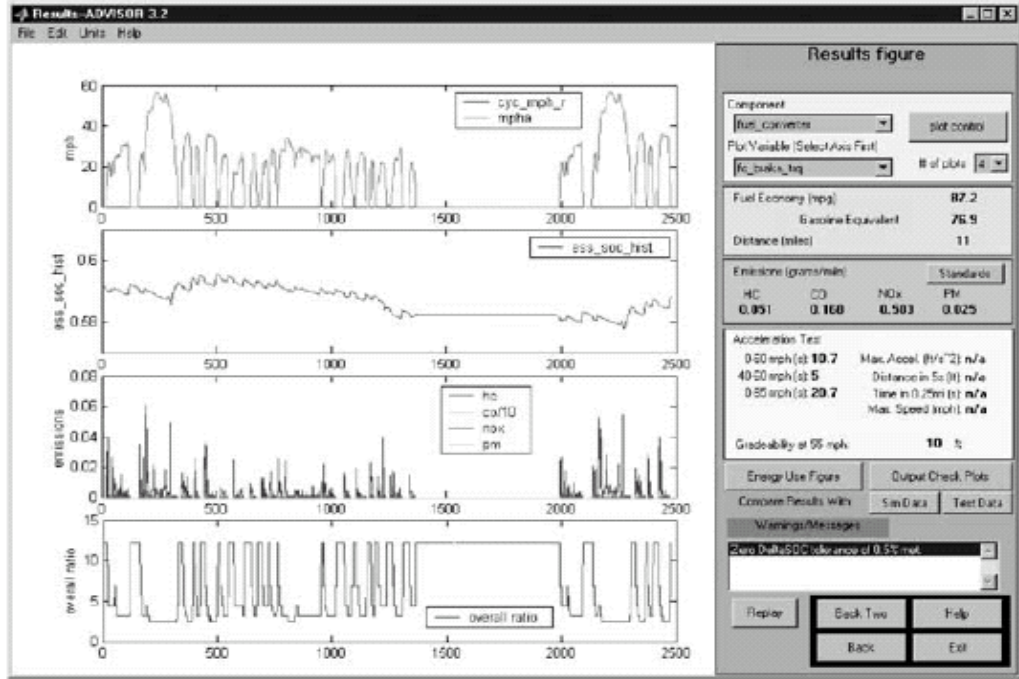
Şekil 3.2’de ADVISOR programında, araç tipinin, araç düzeneğinin ve alt sistem parametrelerinin seçilebildiği örnek giriş ekranı görülmektedir. Bu ekran grafiksel kullanıcı ara yüzeyi (GUI) ile oluşturulmuştur. Kullanıcı bu ara yüzey sayesinde, araç çeşitleri (seri, paralel, geleneksel vb.) seçilebilir. Seçilen aracın sürüş devri boyunca, moment, hız, gerilim, akım ve bir bileşenden diğerine aktarılan güç, belirtilen performans karakteristiği alt kısımda görülür. Bu pencerede çok sayıda oluşturma yapılabilir ve istenirse bunlar gelecekte kullanım için kaydedilir.

Kullanıcı “devam” butonuna basınca Şekil 3.3’de görülen benzetim ayar penceresi açılmaktadır. Bu pencere yardımıyla araç bileşenlerine ait çok farklı ayarlar seçilebilir. Burada sol üst tarafta oluşturulan sürüş güzergâhına ilişkin hız-zaman grafiği, sol alt tarafta ise sayısal veriler yer almaktadır. Pencerenin sağ tarafında ise başlangıç koşulları, sürüş ayarları yapılabilmektedir.

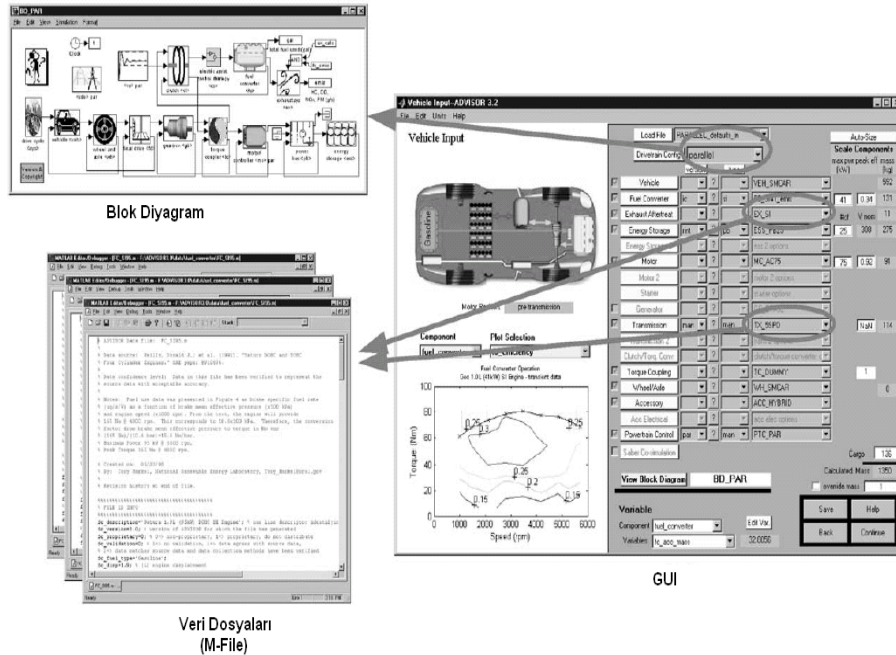


Şekil 3.3: Benzetim ayar penceresi

Yapılan seçim işlemleri tamamlandıktan sonra “RUN” çalıştırma butonuna basılırsa Şekil 3.4’de görülen benzetim sonuç penceresi gelmektedir. Bu pencerenin sağında yakıt ekonomisi ve emisyon gibi sonuçlar yer alırken sol tarafında zaman bazında çizilen hız, moment, batarya gerilimi gibi sonuçlar yer almaktadır. Yine buradan istendiği takdirde grafikler tek tek de ekrana çıkartılabilir.



Şekil 3.4: Benzetim sonuç penceresi

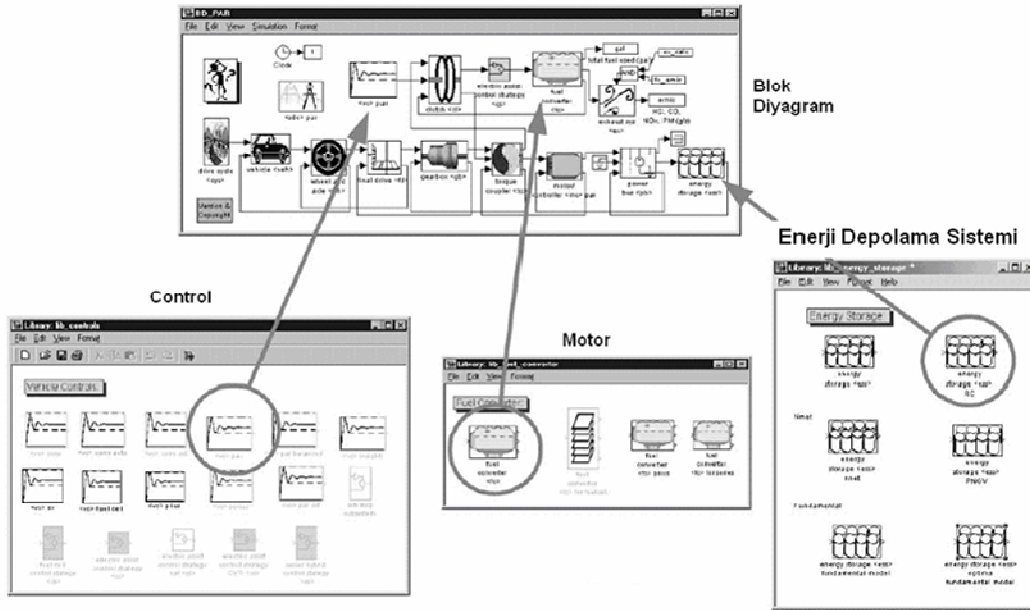


Veri Dosyaları (M-File)

Şekil 3.5: ADVISOR çalışma bileşenleri [9]

ADVISOR programının çalışma mantığı MATLAB ile aynıdır ve çeşitli bileşenleri kullanmaktadır. Şekil 3.5’de ADVISOR’ın çalışma bileşenleri verilmiştir. Burada görülen Simulink blok diyagramı, aracın omurgasıdır ve bu diyagramın her bir bloğu, kendilerine ait alt sistemin parametrelerini tanımlayan ve kendi içerisinde yardımlaşan bir Matlab veri dosyasına (m-dosyası) sahiptir.

Kullanıcı ihtiyacına göre; blokla yardımlaşan m-dosyalarının yanı sıra bloğun içerisindeki modeli de değiştirme olanağına sahiptir. Bunun için kütüphanesinde Şekil 3.6’ da görüldüğü gibi, ilgili bloğa ait çeşitli modeller mevcuttur. Girişler ve çıkışlar aynı olduğu sürece, var olan bir model farklı bir modelle yer değiştirebilir. Öte yandan, kullanıcı modele dokunmaz ancak blok diyagramıyla birlikte çalışan m-dosyasında değişiklikler yapabilir.



Şekil 3.6: Blok diyagramı oluşturan bileşenlere ait farklı modeller

3.2. Enerji Depolama Sistemi

Bir hibrit elektrikli aracı oluşturan bileşenlerin anlaşılması ve modellenmesi en zor olanı enerji depolama sistemidir. Bataryalar basit birer elektrik enerjisi depo eden elaman olarak bilinse de; gerçekte elektrik, ısıl ve elektrokimyasal etkiler bu modellemeyi oldukça karmaşık hale getirebilmektedir. Bu etkileri dikkate alan enerji

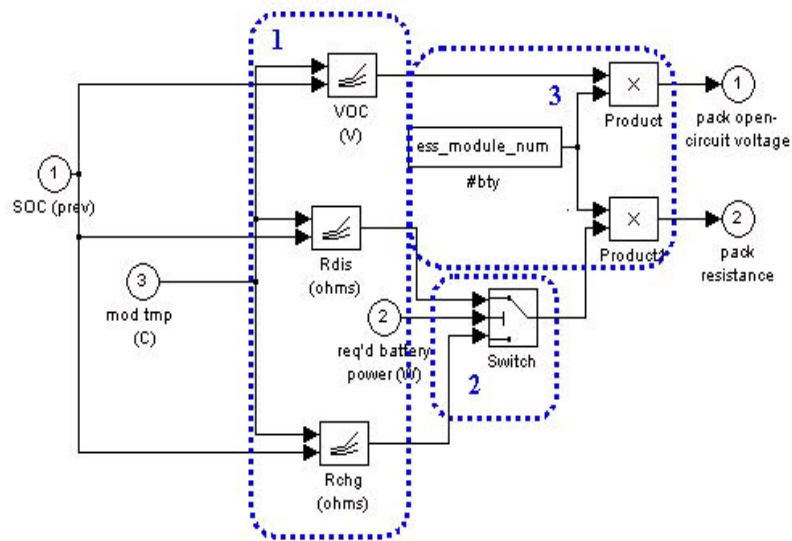
Şekil 3.7’de verilen ADVISOR modelinde kesikli çizgilerle sınırlandırılmış ve numaralandırılmış alanlar aşağıdaki işlevleri yerine getirmek amacıyla hazırlanmıştır. Bu işlevler;

1. Açık devre gerilimi,
2. Batarya gücü,
3. Batarya akımı,
4. Şarj durumu,
5. Batarya ısı etkisi,

olmak üzere beş ana unsuru içermektedir. Bu blokların açılımı ve işlevi aşağıda açıklanmaktadır.

3.2.1. Açık devre gerilimi

Bu alt model, verilen SOC şarj durumuna göre Voc açık devre gerilimini ve dirençleri hesaplar. Bu amaçla, Şekil 3.8’de görüldüğü gibi üç temel işlevi yürütür. Birincisi, açık devre geriliminin hesaplanması için batarya ölçüm verilerine dayanılarak daha önce oluşturulan değerler (lookup tables) okutulur ve bu değerlere bir fonksiyon uydurularak hesaplama yapılır. İkincisi, direnç seçimi için batarya negatif güç (şarj) veya pozitif güç (deşarj) anahtarlama yapılır. Üçüncü olarak ise, bu iki işlevdeki parametreler batarya modül sayısı kadar üretilir.



Şekil 3.8: Batarya açık devre gerilimini belirleme alt modeli

Bataryadan elde edilebilecek maksimum güç her ne kadar yukarıda belirtilen unsurlarla sınırlı olsa da bu parametrelerin hepsi gerilime bağlıdır. Bu nedenle batarya çalışma gerilimi motorun (motor kontrolünün) geriliminden aşağı olmamalıdır. Bu nedenle batarya gücü gerilime bağlı olarak, eşitlik 3.1'deki gibi hesaplanabilir.

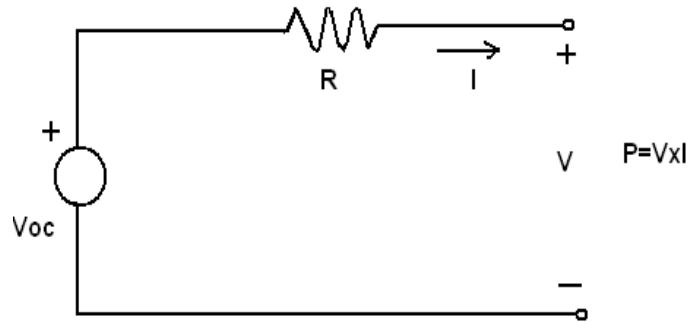
$$P = V_{mot} \cdot \frac{V_{OC} - V_{mot}}{R} \quad (3.1)$$

Burada, V_{mot} minimum motor gerilimi ya da minimum batarya gerilimi olup, yaklaşık açık devre gerilimi V_{OC} 'nin yarısına eşittir.

3.2.3. Batarya akımı

Bataryanın akımı Şekil-3.10'de görülen basit eşdeğer elektrik devresinde görüldüğü gibi açık devre gerilimi V_{OC} ve terminal gerilimi V den eşitlik 3.2 'de verildiği gibi hesaplanabilir;

$$I = \frac{V_{OC} - V}{R} \quad (3.2)$$



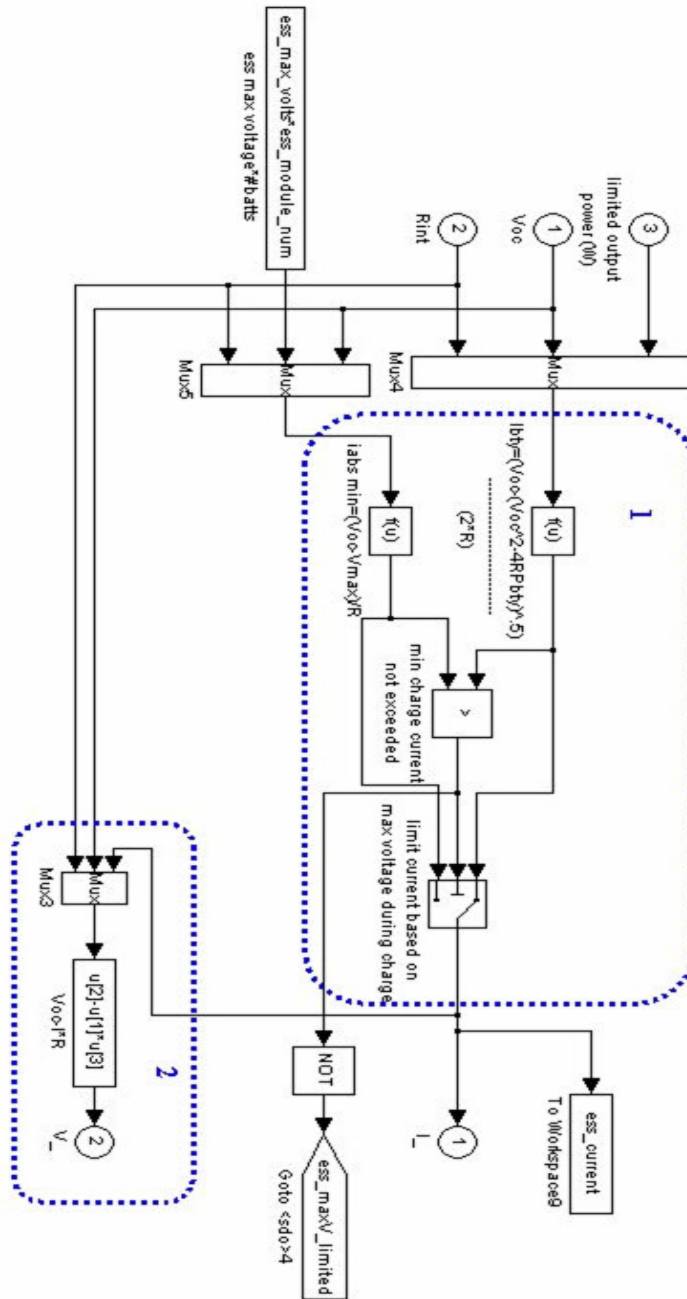
Şekil 3.10: Basit eşdeğer devre

Diğer yandan batarya akımı, batarya gücü ve açık devre gerilimi ile de aşağıdaki eşitlikler 3.3, 3.4 ve 3.5'deki gibi ilişkilendirilerek Şekil 3.11'de görüldüğü gibi Matlab/simulink modeli oluşturulmaktadır.

$$P = V \cdot I \quad \text{ve} \quad V = \frac{P}{I} \quad (3.3)$$

$$\frac{P}{I} = V_{OC} - (R \cdot I) \quad \text{ve} \quad P = (V_{OC} \cdot I) - R \cdot I^2 \quad (3.4)$$

$$R \cdot I^2 - (V_{OC} \cdot I) + P = 0 \quad (3.5)$$



Şekil 3.11: Batarya akımı matlab/simulink modeli

3.2.4. Şarj durumu (SOC) algoritması

Hibrit elektrikli araçların enerji depolama sitemlerinin en önemli göstergeleri şarj durumlarıdır. Bataryanın kapasitesi amper-saat (Ah) olarak ifade edilir. Bir bataryanın Ah kapasitesi aşağıdaki gibi Peukert eşitliği olarak bilinen eşitlikler ile ifade edilir.

$$I^n \cdot t = c \quad (3.6)$$

$$t = c \cdot I^{-n} \quad (3.7)$$

Eşitlik 2.7'nin her iki tarafı I ile çarpılırsa;

$$t \cdot I = C \cdot I^{1-n} \quad (3.8)$$

$$Ah = C \cdot I^e \quad (3.9)$$

Bataryanın kapasitesi elde edilir. Burada,

I Akım (amper)

n 1.3 ile 1.4 arasında değişen üst sabiti

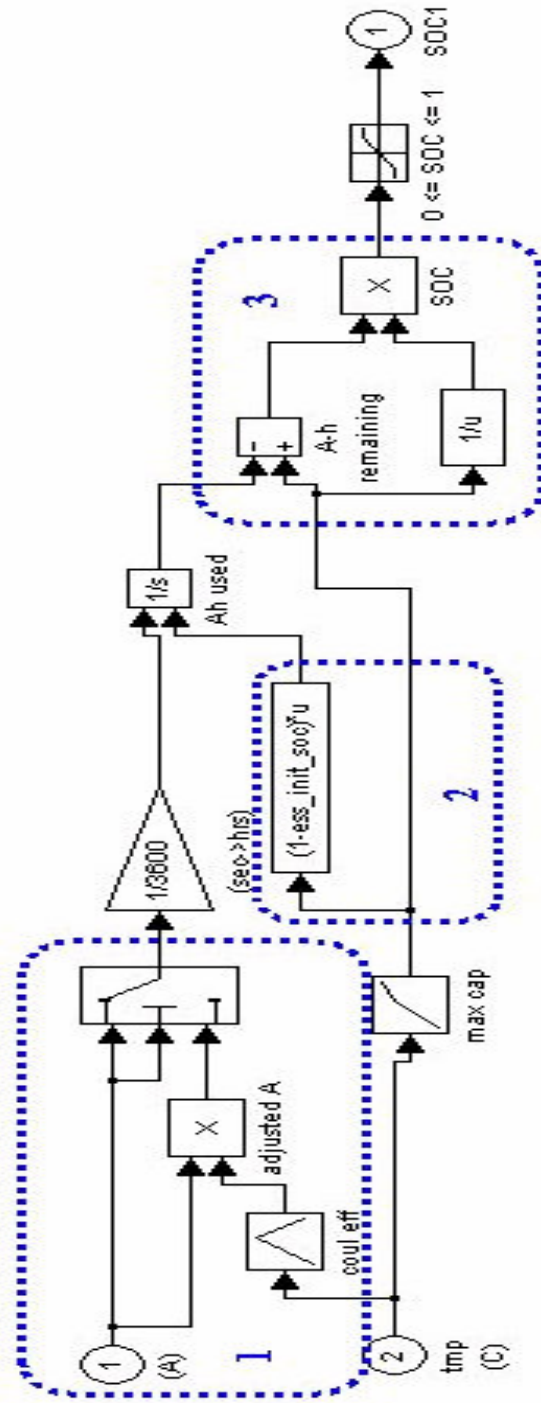
t Zaman (saat)

C Sabit olup, Peukert sabiti olarak bilinmektedir.

Ah Batarya kapasitesi amper-saat

e Üstel sabittir (1-n)

Yukarıda verilen hesaplama prosedürü kullanan SOC Advisor modeli Şekil-3.12'da verilmektedir. Burada kesik çizgilerle sınırlandırılmış alanlarda 1 numaralı alan bütün şarj ve deşarjların toplamından etkin Ah değişimini vermekte, 2 numara başlangıç SOC nin hesaplanması içindir. 3 numaralı alan ise SOC'nin son değerini hesaplar.



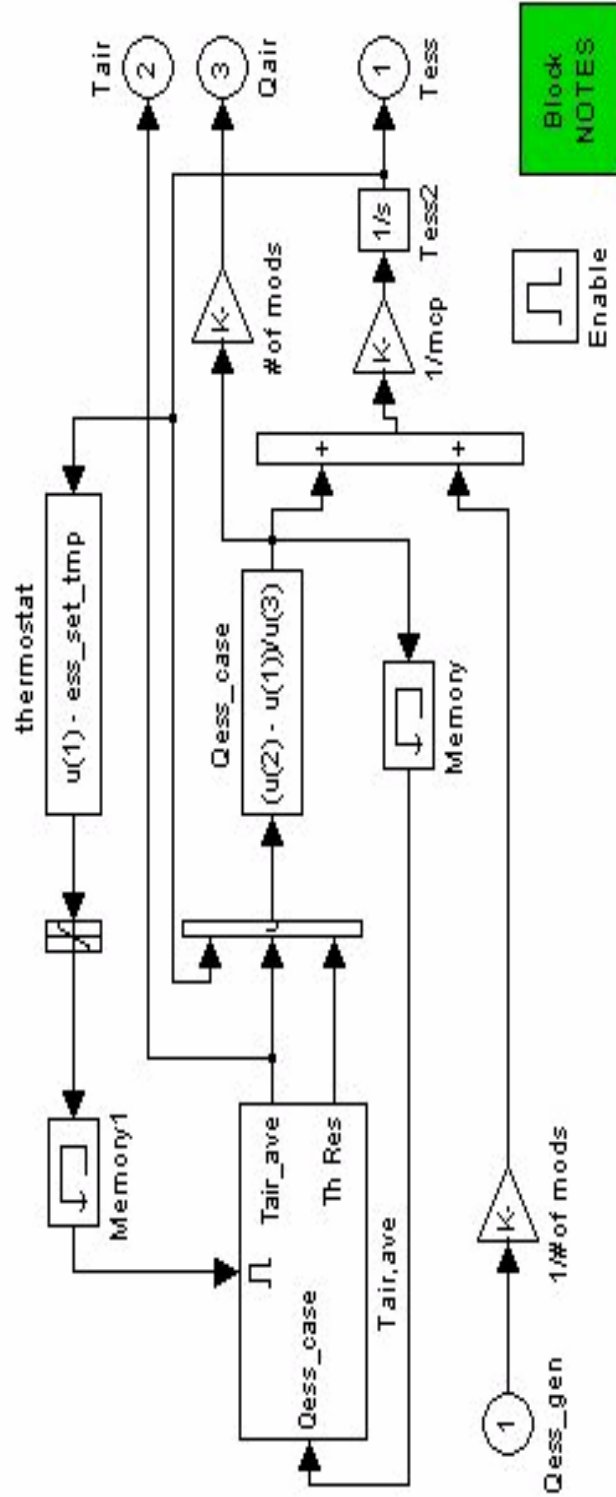
$$SOC = (\text{Max Ah capacity} - \text{Ah used}) / \text{Max Ah capacity}$$

Şekil 3.12: SOC advisor modeli

3.2.5. Batarya ısııl modeli

Bataryalar belirli sıcaklık sınırları içinde işletilmelidir. Bu nedenle hemen hemen tüm modellerde sıcaklık önemli bir parametre olarak sürece dâhil edilmektedir. Bu

sıcaklık değerinin hesaplanması için Şekil 3.13’ da görüldüğü gibi bir Matlab/simulink modeli oluşturulmuştur. Bu model de batarya yüzey ve içi sıcaklık değeri ile araç hava sirkülasyonunun bir fonksiyonu olarak ısı model meydana getirilmiştir.



Şekil 3.13: Batarya matlab/simulink ısı modeli

4. BATARYA PERFORMANS ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRMESİ

4.1. Analiz Seçim Kriterleri

Hibrit elektrikli araç bataryalarının performans analizi için, araç ve batarya tipleri ile karşılaştırma parametreleri aşağıda sunulmaktadır.

Araç tipi	:Paralel Topoloji
Araç adı	:Prius_JPN
Şanzuman	:CVT
Ortam Sıcaklığı	: 20 °C
Güzergâh	: Tipik şehir içi -Default urban drive cycle
Batarya Tipleri	:Li, NiMH, NiCad, NiZn, Pb (5 çeşit)
Batarya Modeli	: Rint

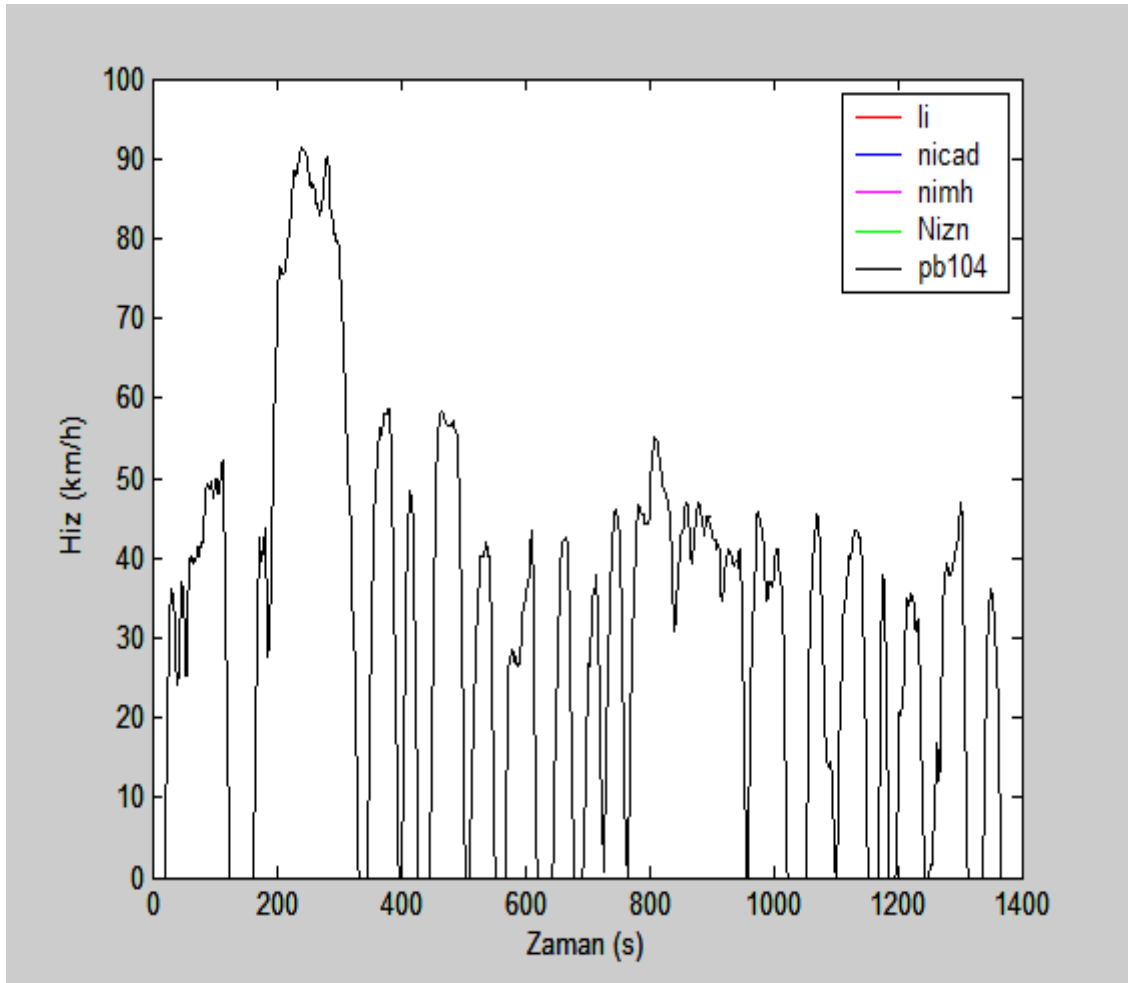
Karşılaştırma parametreleri:

- 1- Şarj durumu (SOC)
- 2- Depolanan enerji değişimi
- 3- Batarya akımı
- 4- Batarya çıkış gücü
- 5- Toplam emisyon
- 6- Karbon emisyonu (CO)
- 7- Hidrokarbon (HC)
- 8- Azot oksit (NOX)
- 9- Batarya sıcaklığı

4.2. Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler

4.2.1. Sürüş güzergâhı

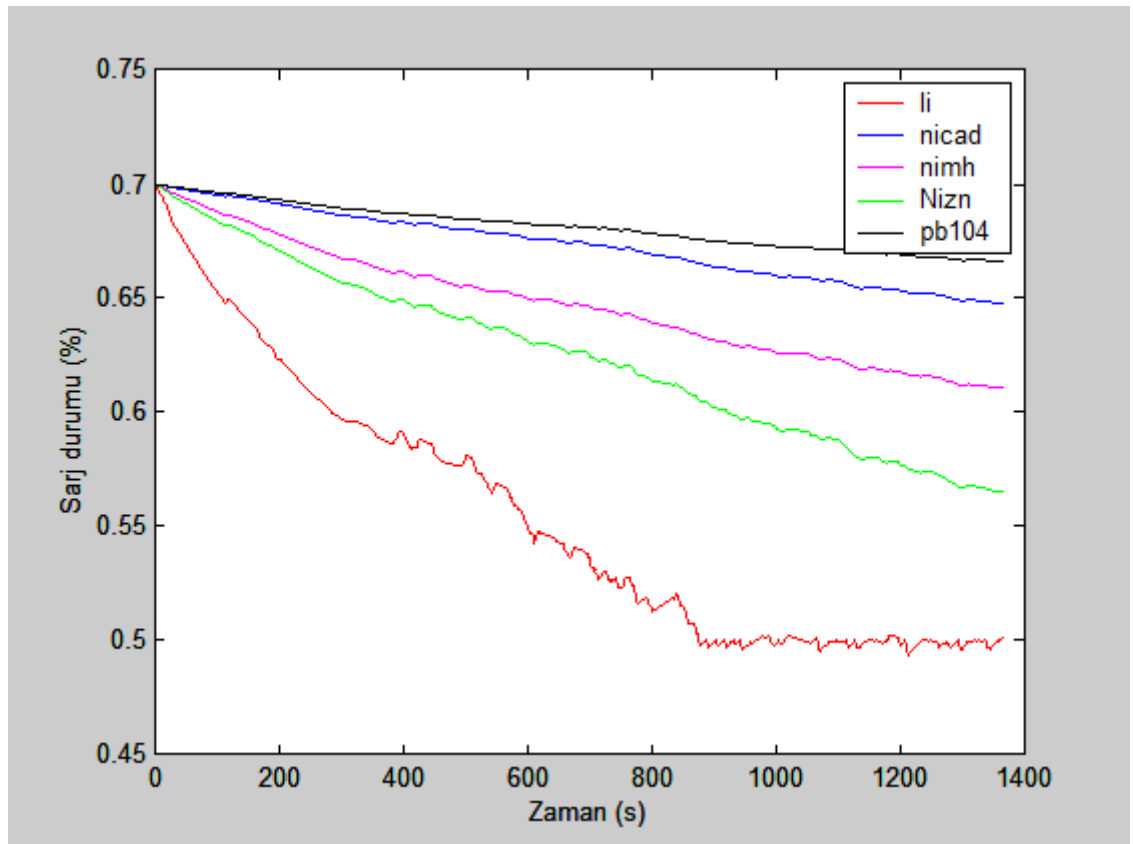
Seçilen sürüş güzergâhı için performansları analiz edilen tüm batarya çeşitleri, şehir içi kullanımını simule etmektedir. Pb, Nicad, NiZn, NiMh ve Li bataryalarına ilişkin simülasyon sonuçları paralel topolojiye sahip Prius parametreleri kullanılarak, 1400 saniyelik bu güzergâhta elde edilmiştir. Şekil 4.1’de görülebileceği gibi aracın hızının anlık yaklaşık olarak 0-60km/h arasında sürekli olarak değişmesi ve sürüşün dur-kalk şeklinde olması, şehir içi kullanımının özelliklerini yansıtmakta olup bir araç bataryası için en zor işletim koşullarından birini ifade etmektedir.



Şekil 4.1: Sürüş güzergâhı hız - zaman değişimi

4.2.2. Şarj durumu analizi

Şekil 4.2’de çeşitli batarya tiplerinin başlangıçtan itibaren olan şarj durumlarının seyri görülmektedir. Bataryanın aracın hareketine katkısı olabilmesi ve olası rejeneratif frenlemelerde açığa çıkan enerjinin şarj olarak bataryada saklanabilmesi için, aracın şarj durumu (SOC) belirli bir aralıkta korunmaktadır. Şarj aralığı Li bataryada %70 - %50, NiZn bataryada 70%-56%, NiMh bataryada 70%-61%, NiCad bataryada 70%- 64%, Pb bataryada ise 70%-66% arasında seyretmektedir.

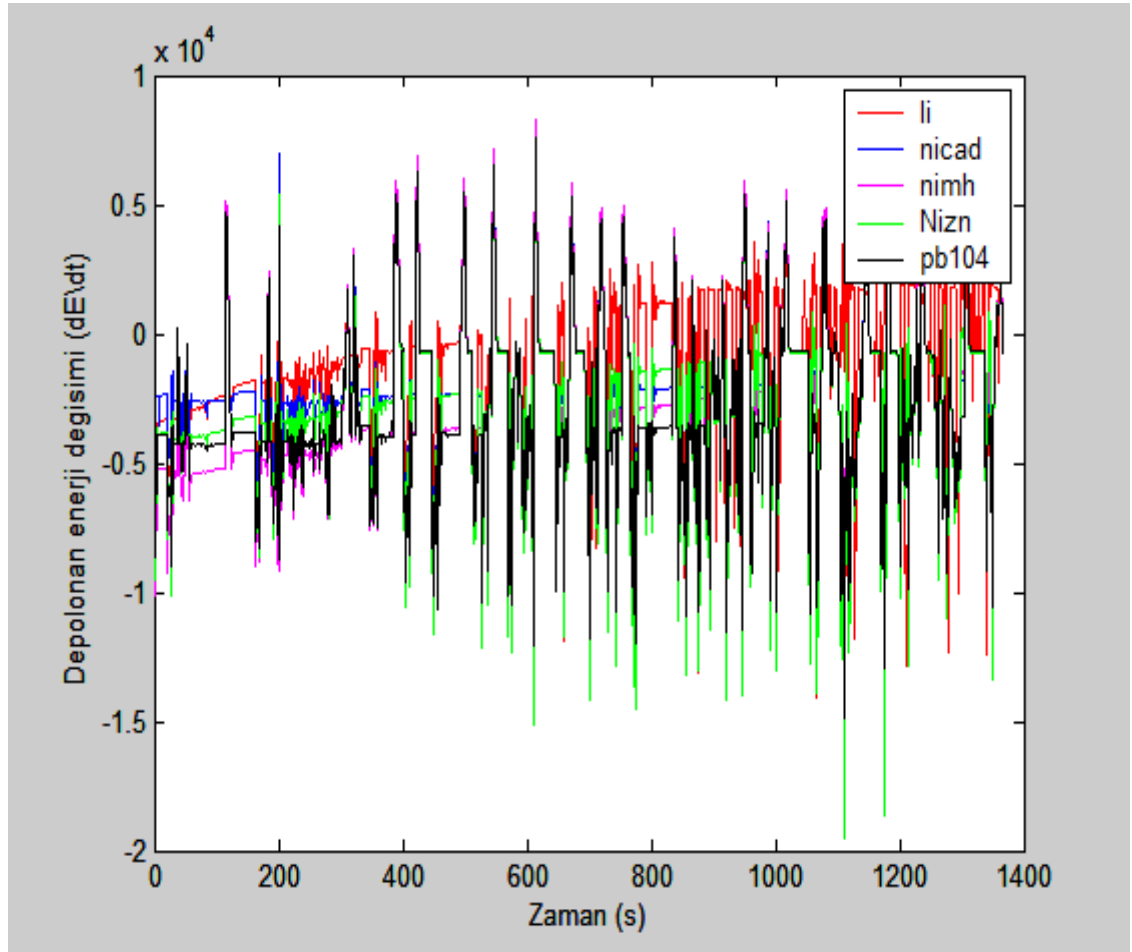


Şekil 4.2: Batarya şarj durumu - zaman değişimi

Bu noktadan hareketle Li bataryanın diğer bataryalardan daha yüksek gücü aracın hareketi için kullanabildiği ve aynı zamanda frenleme sırasında açığa çıkabilecek enerjiyi depolama kabiliyetinin diğer batarya tiplerine oranla daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. NiZn, NiMh ve NiCad bataryalar da Li bataryaya göre nispeten daha düşük şarj kapasitesine sahip olmasına rağmen benzer özellikleri göstermektedir. Pb batarya ise araç hareketine katkısı oransal olarak en düşük kapasiteye sahiptir.

4.2.3. Depolanan enerji değişimi

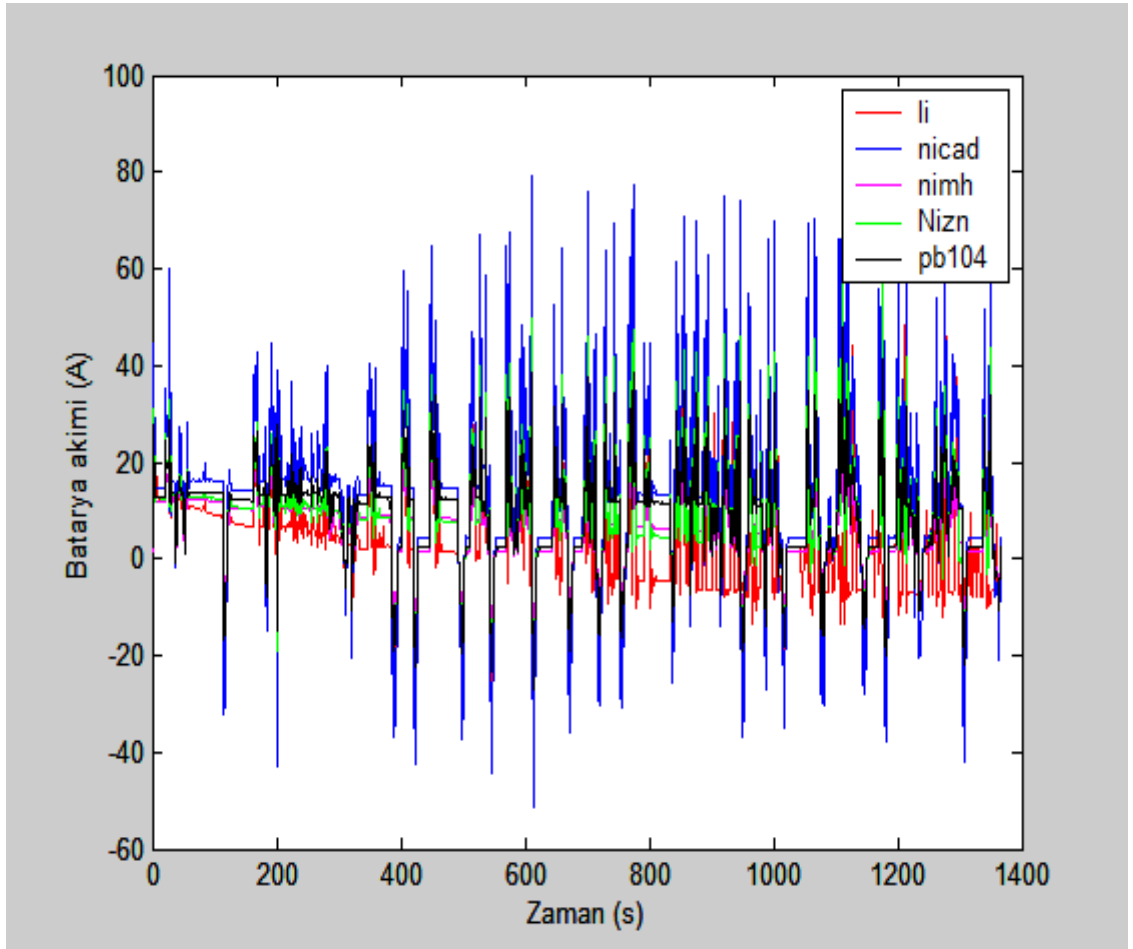
Bir bataryanın anlık enerji depolama kabiliyeti sürüş güzergâhı boyunca dE/dt değişimi ile ifade olunur. Bu değişim Şekil 4.3’de belirli bir zaman aralığında (dt) bataryaların enerji depolama değişimi (dE)’nin sürüş güzergâhı boyunca verilmektedir. Enerji depolama kabiliyetlerinin yüksek oluşu sayesinde aracın değişik zaman aralığlarında hareketi için gerekli olan enerjiyi daha rahat karşılayabilmektedir. Şekil 4.3’de verilen analiz sonucunda NiZn, NiMh ve Li bataryalarının anlık enerji sirklsyonlarının yüksek olduğu değişimlerden anlaşılmaktadır. Enerji değişiminin pozitif olduğu durumlarda batarya enerji depoladığından bu kısımda NiMH’nin daha iyi olduğu, negatif olduğu durumlarda ise NiZn’nin daha iyi tepkiselliğe sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3: Depolanan anlık enerji – zaman değişimi

4.2.4. Batarya akımı

Şekil 4.4’de batarya akımının sürüş zamanı ile değişimi görülmektedir. Burada hem negatifte (dışarıya verirken) hem de pozitif durumlarda (depolama yaparken) en çok akımı NiCad bataryanın çektiği görülmektedir. Ancak batarya akımı tek başına belirleyici bir unsur olamaz. Daha önce Bölüm 3’de eşitlik 3.4’de görülebileceği gibi batarya akımı batarya gücünü artırırken aynı zamanda batarya omik direnci nedeniyle de bir güç kaybına da neden olmaktadır. Dolayısıyla yüksek batarya akımının yüksek batarya gücü anlamına gelmediği, batarya çıkış gücünü önemli ölçüde düşürdüğü bilinmelidir.

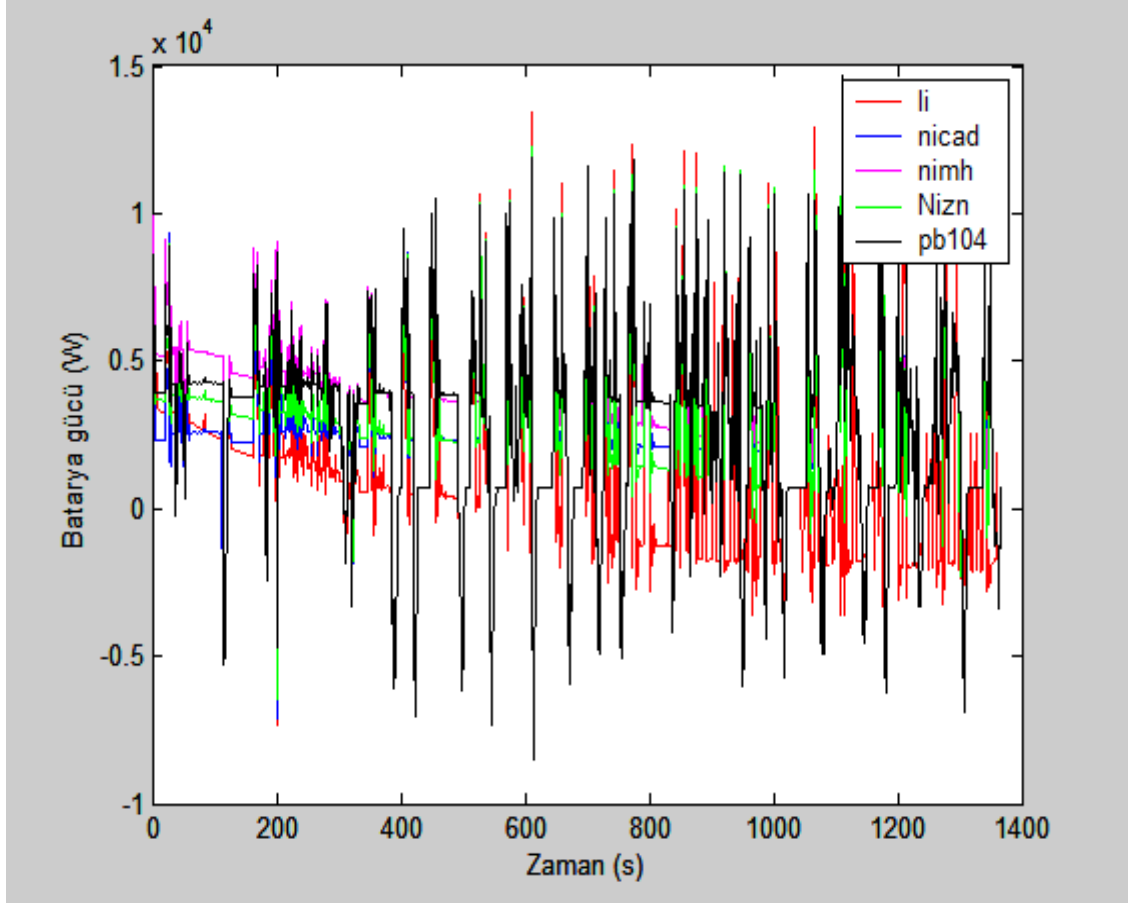


Şekil 4.4: Batarya akımı - zaman değişimi

4.2.5. Batarya gücü

Şekil 4.5’ de batarya gücünün güzergâh boyunca zamanla değişimi verilmektedir. Şekil incelendiğinde Li ve Pb daha pik güçlere ulaştığı görülürken, Li ve NiZn

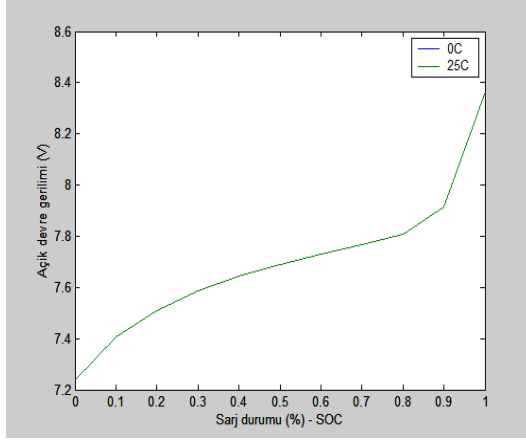
bataryalarının zamanla daha kararlı bir güç değişim rejimine sahip olduğu görülmektedir.



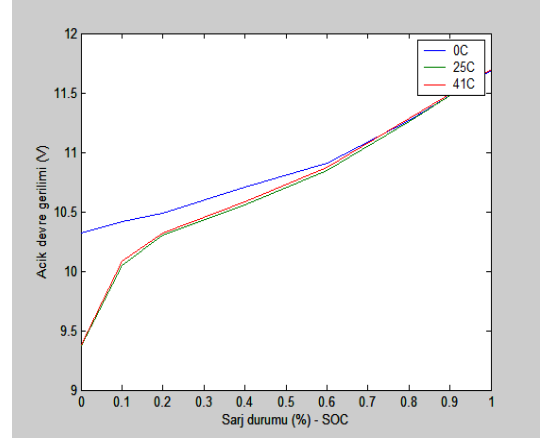
Şekil 4.5: Batarya gücü - zaman değişimi

Diğer yandan batarya akımı analizinde belirtildiği gibi batarya gücü yalnızca akıma bağlı değildir. Eşitlik 3.4 de verildiği gibi aynı zamanda batarya açık devre gerilimlerine de bağlıdır. Bu nedenle güç analizini daha iyi yorumlayabilmek için, bataryaların açık devre gerilimlerine de bakmak gerekmektedir .

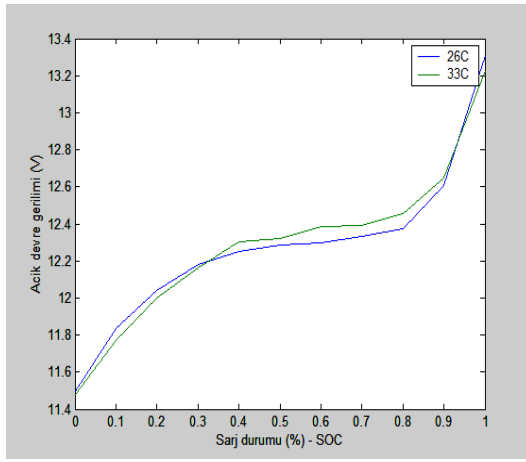
Şekil 4.6'da batarya tiplerine göre açıkdevre gerilimlerinin şarj yüzdesiyle değişimi görülmektedir. %100 şarj durumuna göre en yüksek gerilime NiZn, Pb ve Li bataryalarının sahip olduğu görülmektedir. Yine Li haricindeki diğer batarya tiplerinde açık devre gerilimi sıcaklıkla bütün şarj yüzdelerinde aynı iken, Li bataryada düşük şarj durumlarında artan sıcaklıkla gerilimin düştüğü görülmektedir.



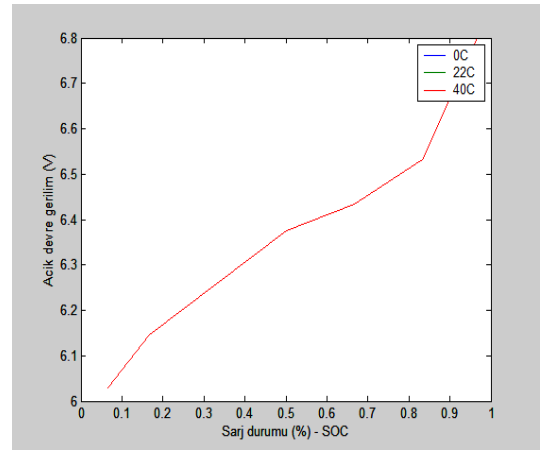
a) NMH



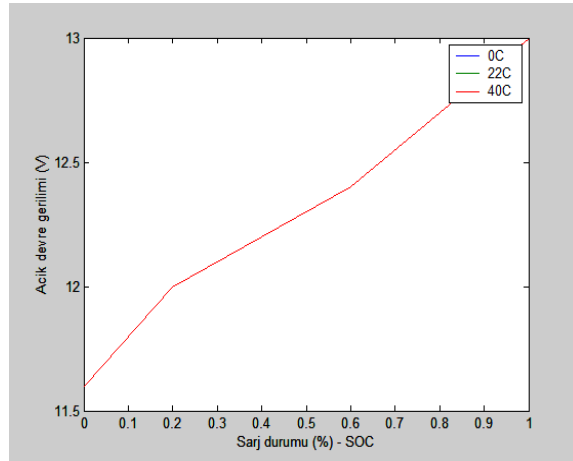
b) Li



c) NiZn



d) NiCad

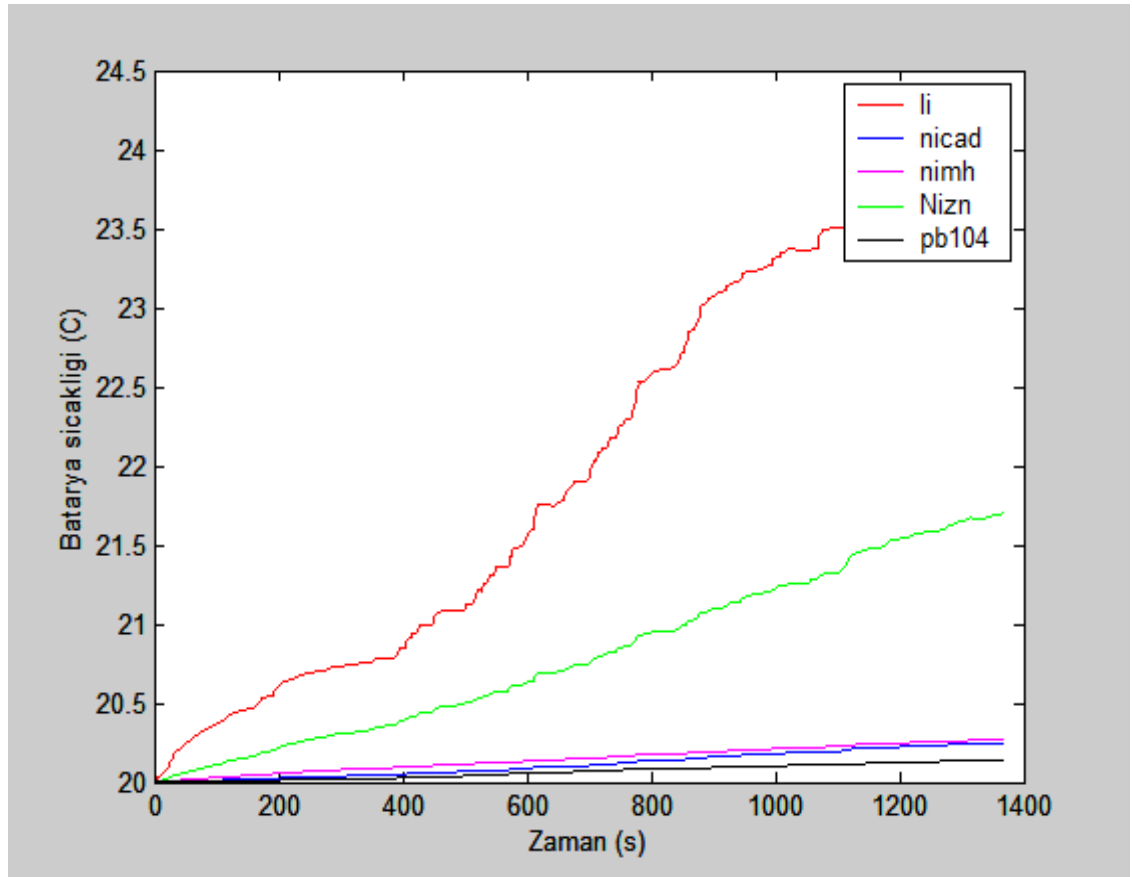


e) Pb

Şekil 4.6: Batarya tiplerine göre açık devre gerilimleri - şarj yüzdesi değişimleri

4.2.6. Batarya sıcaklığı

Şekil 4.7’de Sürüş güzergâhı boyunca bataryaların sıcaklık değişimleri görülmektedir. Sıcaklıklar tüm bataryalarda 20-25 C değerleri arasında ve kabul edilebilir normal sınırlar içerisinde değişmektedir. Ancak Pb, NiCad ve NiMH batarya sıcaklıkları daha kararlı seyretmekte; Li ve NiZn batarya sıcaklıklarında ise daha fazla artış görülmektedir.

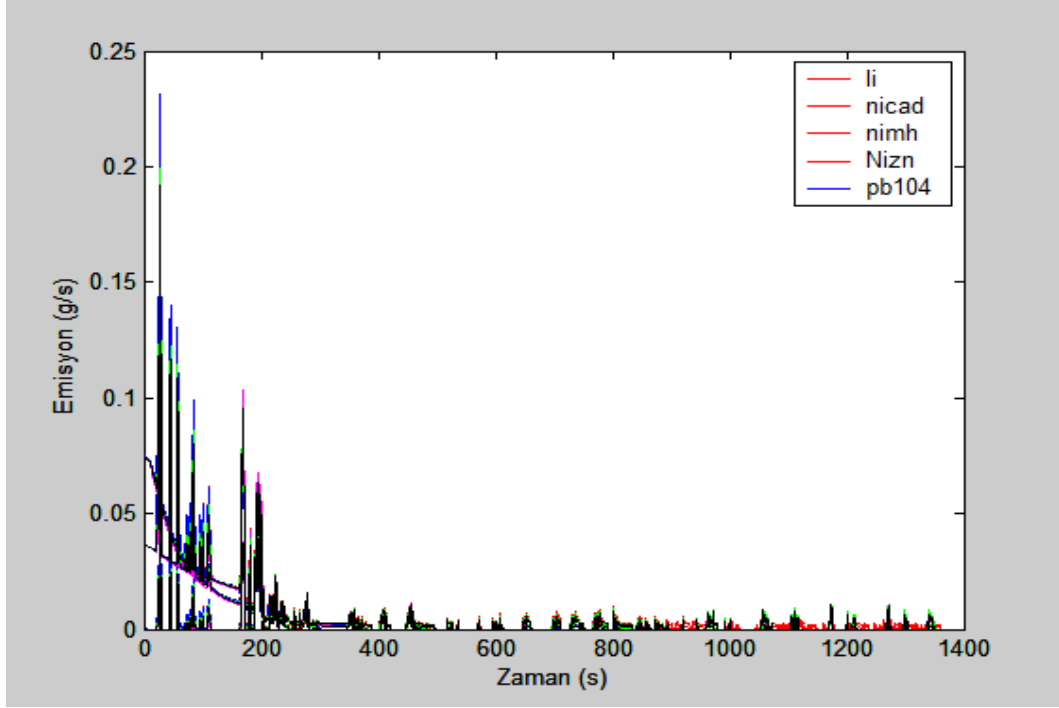


Şekil 4.7: Sürüş güzergâhı boyunca bataryaların sıcaklık değişimi

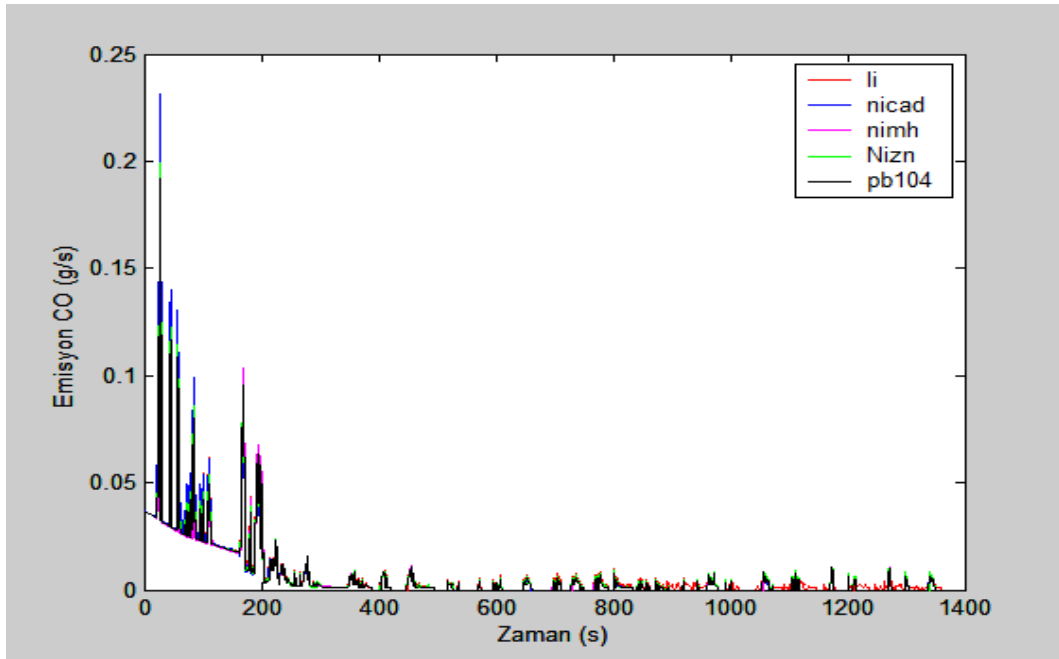
4.2.7. Emisyon analizleri

Daha önce verilen Şekil 4.1’te belirtilen güzergâhtaki seyri göz önüne alındığında araç, ilk hareketi sırasında sürekli bir şekilde ivmelenmiştir. Yüksek tork ve güç ihtiyacının karşılanması için içten yanmalı motorun yanısıra bataryanın katkısının da olduğu Şekil 4.2’de verilen şarj durumundan da gözlenebilir. Ancak bataryanın katkısına rağmen belli zaman aralıklarında (0-100. san. ve 200-300. san.) içten

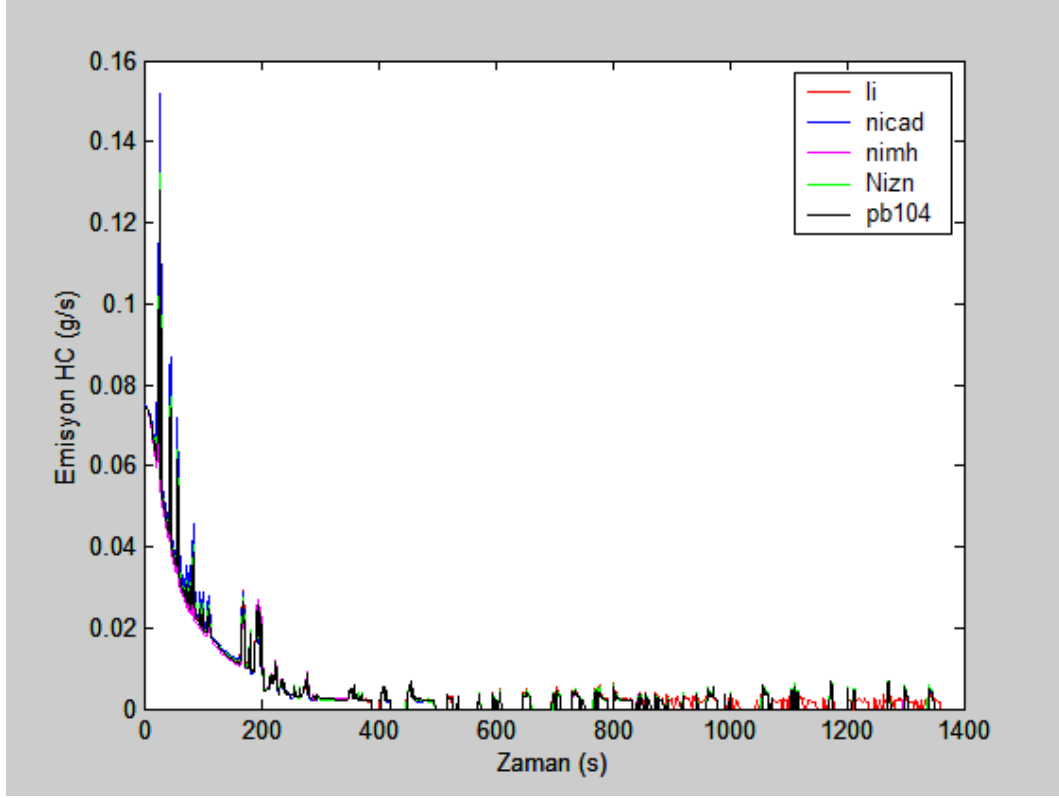
yanmalı motor ihtiyaç duyulan gücü sağlamak için, elektrikli motora nazaran daha etkin çalışmıştır. Bu veriler ışığında, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'den de görülebileceği gibi bu durum emisyonun artmasına neden olmuştur. Diğer batarya tiplerinde de yakın oranlarda emisyon olmasına rağmen NiCad ve Pb bataryalarının emisyon daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



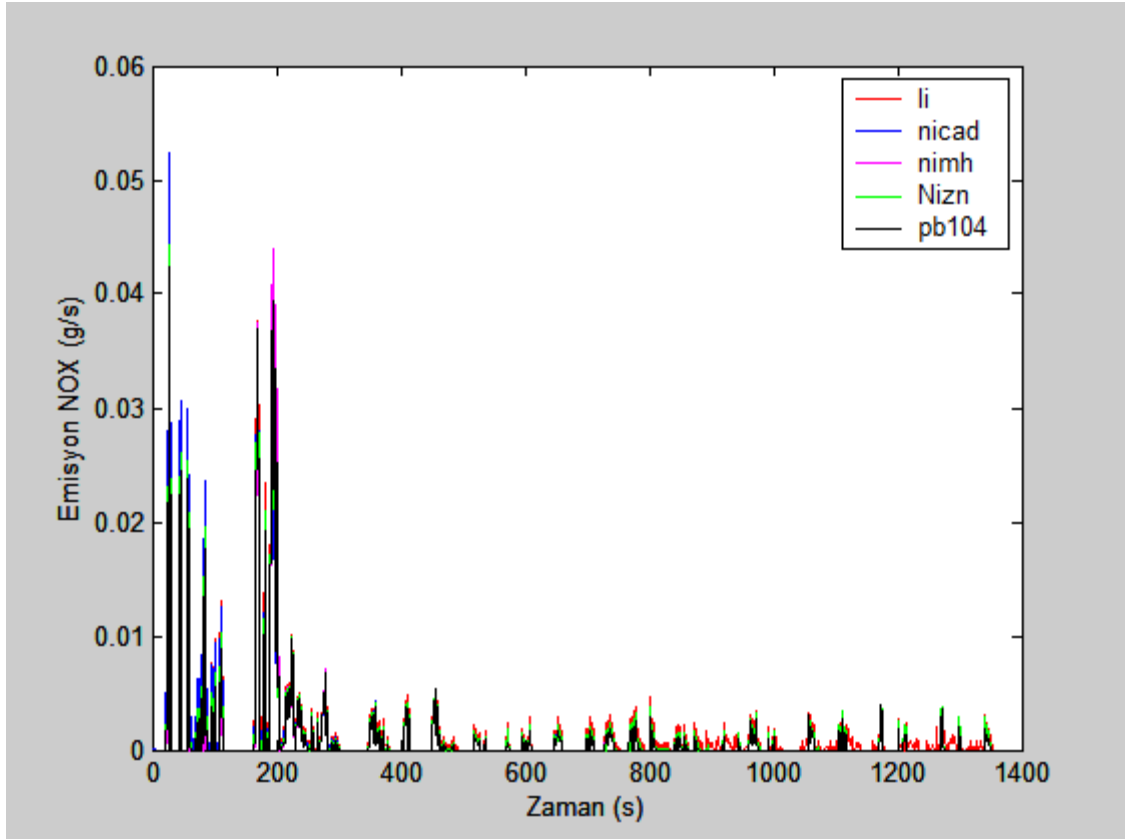
Şekil 4.8: Hibrit aracın toplam emisyon – zaman değişimi



Şekil 4.9: Hibrit aracın CO emisyon – zaman değişimi



Şekil 4.10: Hibrit aracın HC emisyon – zaman değişimi



Şekil 4.11: Hibrit aracın NOX emisyon – zaman

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hibrit araç similatörü olan ADVISOR şu an için benzetim amaçlı kullanılabilir uluslararası düzeyde kabul görmüş bir programdır. Bu nedenle bataryaların analizi için bu program tercih edilmiştir.

Analizler için hibrit araçlarda kullanılan ve kullanılması için test çalışmaları devam eden bilinen beş çeşit batarya seçilmiştir. Batarya performansları için en zorlu güzergâh olarak dur-kalk sıklığı çok olan şehir içi güzergâhı tercih edilmiştir. Bu güzergâh boyunca eğim ve yükselti öngörülmemiştir.

Araç olarak şu anda ticari olarak en yaygın kullanıma ve paralel topolojiye sahip Toyota Prius tercih edilmiştir. Bütün simülasyonlarda CVT (Continuously Variable Transmission) şanzıman tercih edilmiştir.

Bu model üzerinde batarya modellerinden Rint modeli kullanılarak performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

Performans analizleri için ADVISOR çok sayıda çıkış parametresini içeren bir kütüphaneye sahip olması nedeniyle sadece hibrit elektrikli araç bataryasının etki ettiği on parametre karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Şarj durumu açısından Li bataryanın diğer bataryalardan daha yüksek güce sahip olduğu, aynı zamanda derin deşarjlara daha elverişli olduğu analiz sonuçlarından anlaşılmaktadır. Ayrıca şarj deşarj süresinin diğer batarya tiplerine göre daha kısa olması nedeniyle frenleme sırasında açığa çıkabilecek enerjiyi depolama kabiliyeti diğer batarya tiplerine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. NiZn, NiMh ve NiCad bataryalar, Li bataryaya göre nispeten daha düşük şarj kapasitesine sahiptir. Pb batarya ise araç hareketine katkısı bakımından en düşük kapasiteye sahiptir.

Enerji depolama kabiliyeti bakımından analiz sonuçları NiZn, NiMh ve Li bataryalarının anlık enerji sirkülasyonlarının yüksek olduğunu göstermektedir. Bu

nedenle bu bataryalar, aracın değişik zaman aralıklarında hareketi için gerekli olan enerjiyi daha rahat karşılayabileceğini bu güzergâh için göstermektedir.

Batarya akımlarına bakıldığında, en yüksek akım değerlerine NiCad bataryanın ulaştığı görülürken, batarya gücü açısından Li ve Pb daha pik güçlere ulaştığı, Li ve NiZn bataryalarının ise zamanla daha kararlı bir güç değişim rejimine sahip olduğu görülmektedir. Buradan batarya akımının tek başına gücü belirleyici bir unsur olmadığı görülmektedir.

Li ve NiZn bataryalar SOC hızlı değişimi itibariyle diğer batarya tiplerine göre aynı sürede daha yüksek oranda enerji sağladıkları SOC – Zaman değişimi analizinden görülebilmektedir.

Buna paralel olarak başta Li batarya olmak üzere bu iki batarya tipinin sıcaklık değişimi bakımından en çok ısıl kaybı olan batarya tipleri olduğu “Sıcaklık Değişimi” analizinden anlaşılmaktadır ki bu yüksek ısıl kayıplar dolayısıyla yaşanan yüksek batarya sıcaklığı beraberinde güvenlik risklerini de getirmektedir.

Sonuç olarak, hibrit elektrikli araçlar için parametrelerin çokluğu ve birçok değişkene bağlı olması, bataryaların karşılatırmalı analizlerini zorlaştırmaktadır. Çünkü ADVISOR’da mevcut batarya tiplerinin güçleri, açık devre gerilimleri, ağırlıkları bir birinden farklı olduğu gibi aynı tip bataryanın farklı üretim modelleri arasında da farklılık göstermektedir. Burada yapılan ise seçilen bir güzergâh boyunca ticari halde bulunan batarya tipleri arasında hibrit araç için önemli bazı parametreler ışığında performanslarının değişimini incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda elde edilen veriler değerlendirmiştir.

Bu tezde yapılan analizler farklı güzergâh, araç tipi, batarya tipleri, motor-generatör tipleri, şanzıman tipleri, farklı araç topolojileri gibi çok değişik konfigrasyonlar yapılarak tekrarlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Maggetto G. Van Mierlo, J. Vrije Univ., Brussels “Electric and electric hybrid vehicle technology: a survey” *Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles (Ref. No. 2000/050), IEE Seminar* 1/1-111 Location: Durham, UK (2000).
- [2] Dawood, V., Emadi, A., “Performance and fuel economy comparative analysis of conventional, hybrid, and fuel cell heavy-duty transit buses”, *IEEE 58th Vehicular Technology Conference*, pp. 3310 – 3315, vol.5 (2003).
- [3] Tyrus, J., M., Long, R., M., Kramskaya, M., Fertman, Y., Emadi, A., “Hybrid Electric Sport Utility Vehicles”, Hibrit Elektrikli Spor Kullanımlı Araçlar (SUV), *IEEE Transactions on Vehicular Technology* , , Vol. 53, pp. 1607-1622 (2004).
- [4] Lukic, S., M., Emadi, A., “Effects of Drivetrain Hybridization on Fuel economy and Dynamic Performance of Parallel Hybrid Electric Vehicles”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* , Vol. 53, pp. 385-389, (2004).
- [5] Bitsche, O., Gutmann, Guenter “Systems for hybrid cars” *Germany Journal of Power Sources* Vol.127, pp8–15, (2004).
- [6] Ravindra P. J. and Anil P. D. “Hybrid Electric Vehicles: The Next Generation Automobile Revolution” *IEEE* 0-7803-9794-0/06/ (2006).
- [7] Antoniou, A., I., Komyathy, J., Bench, J., Emadi, A., “Modeling and Simulation of Various Hybrid-Electric Configurations of High-Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle (HMMWV)”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* , Vol. 56, pp. 1-7 (2007).
- [8] Pesaran, Ahmad A “Battery thermal models for hybrid vehicle simulations”, *Journal of Power Sources*, Vol.110, pp.377–382, (2002)
- [9] Markel, T., Brooker, A., Hendricks, T., Johnson, V., Kelly, K., Kramer, B., O’Keefe, M., Sprik, S., Wipke, K. “ADVISOR: a systems analysis tool for advanced vehicle modeling”, *Journal of Power Sources*, Vol.110, pp.255–266, (2002).
- [10] Johnson, V.H., “Battery performance models in ADVISOR”, *Journal of Power Sources*, Vol.110, pp. 321–329, (2002).
- [11] Baisden, Andrew C., Emadi, A., “ADVISOR-Based Model of a Battery and an Ultra-Capacitor Energy Source for Hybrid Electric Vehicles”, *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, Vol. 53, No. 1, (2004).

- [12] Karden, E., Fricke, B., Miller, T. , Snyder, K., Ploumen, S., “Energy storage devices for future hybrid electric vehicles”, *Journal of Power Sources* (2006).
- [13] Bossche, Peter V., Vergels, F., Mierlo, J.V., Matheys, J., Autenboer, W.V., “SUBAT: An assessment of sustainable battery technology”, *Journal of Power Sources*, Vol.162, pp. 913–919, (2006).
- [14] Sauer, D. U., Karden, E, Fricke B., Holger Blanke, Marc Thele, Oliver Bohlen, Julia Schiffer, Jochen Bernhard Gerschler, Rudi Kaiser, “Charging performance of automotive batteries—An underestimated factor influencing lifetime and reliable battery operation” *Journal of Power Sources* Vol.168 22–30,(2007).
- [15] Ayse E.A. ve sahin G. “Hibrit elektrikli araçlar ve ADVISOR”, *eleco 2008*.
- [16] Onada, S., Emadi, A, ‘PSIM-Based Modeling of Automotive Power Systems: Conventional, Electric, and Hybrid Electric Vehicles’, Otomotiv Güç Sistemlerinin PSIM Tabanlı Modeli: Geleneksel, Elektrikli ve Hibrit elektrik araçlar, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* , Vol. 53, pp. 390-400, (2002).
- [17] Tübitak Raporu <http://www.osd.org.tr/elektrikliarac.pdf> (**ziyaret tarihi: 5 Nisan 2009**)
- [18] Vasebi, A., Maral Partovibakhsh, S. Mohammad Taghi Bathaee “A novel combined battery model for state-of-charge estimation in lead-acid batteries based on extended Kalman filterfor hybrid electric vehicle applications”, *Journal of Power Sources*, Vol. 174, pp.30–40, (2007).
- [19] Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR)
www.ctts.nrel.gov/analysis/advisor_doc, (**ziyaret tarihi: 7 Mart 2009**)
- [20] Modelling of rechargeable NiMH batteries Ledovskikha, E. Verbitskiyb, A. Ayeba, P.H.L. Nottena, *Journal of Alloys and Compounds* 356–357 (2003) 742–745

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Ardahan'da doğdu. İlkokulu Sakarya ve Kocaeli'de, lise öğrenimini Kocaeli'de Oruç Reis Anadolu Lisesinde tamamladı.1997 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 2001 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 2001-2002 yılları arasında Enpay A.Ş.'de transformatör dizayn mühendisi olarak çalıştı. 2004 yılından itibaren Ford Otomotiv San. A.Ş.'de ürün geliştirme mühendisi olarak çalışmakta olup, evlidir.