

Advisor Programıyla Hibrit Elektrikli Taşıtlarda Batarya Analizi

Şule Kuşdoğan^{1*}, Büşra Özen²

ÖZ

Dünyada daha verimli, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynağı arayışı her geçen gün artmaktadır. Doğal olarak otomobil endüstrisi yeniden elektrikli taşıtlara yönelmiştir. Elektrikli taşıtların tekrardan üretilmeye başlaması ve piyasada bu taşıtlara talebin artması bilimsel çalışmaları beraberinde getirmiştir. Elektrikli taşıtlardaki en önemli parametrelerden biri olan batarya sistemleri bu çalışmalardan bir tanesidir. Bir taşıtta bataryanın oluşturulmasından önce sistemsel olarak analizinin yapılması maliyet ve güvenlik açısından çok önemlidir. Bu çalışmada hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan batarya sistemlerinin ADVISOR programı aracılığıyla analizi yapılmıştır. Seçilen farklı türde bataryalar seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtlarda simüle edilerek ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar çalışma içerisinde paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli taşıt(ET), hibrit elektrikli taşıt(HET), batarya, ADVISOR

Battery Analysis İn Hybrid Electric Vehicles With ADVISOR Program

ABSTRACT

The search for more efficient, sustainable and renewable energy sources in the world is increasing day by day. Naturally, the automobile industry has turned to electric vehicles again. The fact that electric vehicles started to be produced again and the demand for these vehicles in the market increased, brought scientific studies together. Battery systems, one of the most important parameters in electric vehicles, are one of these studies. It is very important in terms of cost and safety to analyze the battery systematically before creating it in a vehicle. In this study, the battery systems used in hybrid electric vehicles were analyzed using the ADVISOR program. The results obtained by simulating different types of selected batteries in series and parallel hybrid electric vehicles were compared. The results obtained were shared within the study.

Keywords: Electric vehicle (EV), hybrid electric vehicle (HEV), battery, ADVISOR

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 21.04.2021

Kabul/Accepted : 29.05.2021

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, kusdogan@kocaeli.edu.tr
ORCID: 0000-0003-0586-4142

² Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, busrakoca01@hotmail.com
ORCID: 0000-0002-4100-5487

EXTENDED ABSTRACT

Introduction/ Background

In recent years, many factors such as environmental protection and greenhouse gas emissions, fossil fuel scarcity and price changes or high pollution in developed cities have become one of the main concerns for social and political agents and the scientific community. These factors accelerate the development of more efficient, sustainable and renewable energy systems. Today, the increase in the prices of fossil energy resources, the uncertainty in obtaining them and the environmental problems caused by their consumption have led to more efficient energy use and increased interest in renewable energy sources. The decrease in oil, which is one of the most important energy resources, and the increase in its prices seriously affect the transportation sector. On the other hand, reducing pollution has become an important issue in the world. Many countries have turned to renewable energy sources in order to reduce pollution. These reasons have enabled the automobile industry to prefer electric and hybrid electric vehicles. Increasing demand for hybrid electric vehicles has brought scientific studies with it. One of these studies is battery systems. The battery is one of the most important parameters of the energy storage system in hybrid electric vehicles. In this study, energy storage systems in hybrid electric vehicles and their analysis with the ADVISOR program have been evaluated.

Objectives/ Research Purpose

Batteries are one of the main elements used as an energy storage system in the entire vehicle system. For this reason, the battery system in a vehicle; It is very important in terms of cost and security to analyze the compatibility with the system before it is installed. The ADVISOR program developed by the American National Renewable Energy Laboratory (NREL) enables the comparison of such systems. This study enabled the modeling of the battery systems in hybrid electric vehicles using ADVISOR program and the analysis of the selected battery types by comparing the results data for different hybrid vehicles.

The search for more efficient, sustainable and renewable energy sources in the world is increasing day by day. Naturally, the automobile industry has turned to electric vehicles again. The fact that electric vehicles started to be produced again and the demand for these vehicles in the market increased, brought scientific studies together. Battery systems, one of the most important parameters in electric vehicles, is one of these studies. It is very important in terms of cost and safety to analyze the battery systematically before creating it in a vehicle. In this study, the battery systems used in hybrid electric vehicles were analyzed using the ADVISOR program. The results obtained by simulating different types of selected batteries in series and parallel hybrid electric vehicles were compared. The results obtained were shared within the study.

Methods/ Methodology

In this study, there is interest in the ADVISOR program, which has a powerful analysis tool. With a user-friendly interface (GUI-graphical user interface), ADVISOR was created in Matlab-Simulink, a software module in Matlab to model, simulate and analyze dynamic systems. The program's first goal is to highlight the system-level interactions of hybrid and electric vehicle components and their impact on vehicle performance and fuel economy. In this study, using the ADVISOR program, different batteries were selected in series and parallel hybrid electric sample vehicles, and analyzes were made, and the result graphs were discussed. The aim is to introduce the ADVISOR program, which is an advanced vehicle simulation, with sample applications and to show that hybrid vehicles can be simulated in advance.

Results/ Findings

By analyzing the performance of five different battery types in sample series and parallel hybrid electric vehicles using the ADVISOR program, it is possible to simulate the vehicles designed in the computer environment beforehand. ADVISOR displays the selected parameter results in graphical form. With the help of this program, different energy storage systems in hybrid electric vehicles are analyzed. According to the analysis results, it was concluded that the battery type significantly affects the vehicle performance. It has been observed that some batteries used in serial hybrid electric vehicles perform just like the full electric vehicle. This shows that series hybrids are more advantageous in city driving.

Discussion and Conclusions

Especially hybrid electric vehicles; It is a fact that today, when alternative energy sources to petroleum-based fuels are being searched extensively, it has become an important research subject. The importance of the ADVISOR program, which allows these vehicles to be tested from every angle before real life, is emphasized. This study, it is aimed to provide scientific studies and to encourage those who make researches on this subject to use the ADVISOR program.



1. GİRİŞ

Günden güne giderek bozulan çevre koşulları, dünyada uzun yıllardır insanlık tarafından en çok tartışılan konulardan biridir. Çevreyi koruma anlayışının artmasıyla birlikte öte yandan petrol rezervlerinin azalması ve buna bağlı olarak petrol fiyatlarındaki artışlar, otomobil üreticilerini yeni çözümler üretmeye ve yeni alternatif enerji kaynakları arayışına zorlamıştır. Bu arayışın sonuçlarından biri de, elektrik motorlarını araca entegre etme fikridir. Böylece elektrik motoru ve içten yanmalı motor (İYM) birleşimi ile hibrit teknolojisi meydana gelmiştir. Hibrit elektrikli taşıtlar bugün çeşitli üreticiler tarafından geliştirilmektedir. Son zamanlarda yakıt tüketimi ve yüksek kirlilik sorununa çözüm olarak kabul edilen hibrit elektrikli taşıtlara yönelik talebin artması bilimsel çalışmalarını da beraberinde getirmektedir.

Yeni taşıtların geliştirilmesi, araç endüstrisinin küresel çevresel bozulma ve yakıt kıtlığı sorunuyla yüzleşmesinin önemli bir yolu olmuştur. Hibrit elektrikli taşıt, güç bataryasının düşük enerji yoğunluğu ve elektrikli taşıtın kısa sürüş mesafesi sorunlarını çözmek için etkili bir seçimidir [1]. Genel olarak bir hibrit taşıt, bir içten yanmalı motor ve elektrikli tahrik sisteminin birleşimidir. Taşıtın performansı, büyük ölçüde taşıt güç aktarma organına, elektrik sisteminin doğruluğuna ve verimliliğine bağlıdır [2]. Güç kaynaklarının miktarına ve güç aktarım mekanizmasının iletim moduna göre, hibrit elektrikli taşıt sistem topolojisi paralel, seri ve seri-paralel hibrit elektrikli taşıt olarak sınıflandırılır. Bu topolojiler farklı taşıtlarda kullanılır [3].

Hibrit elektrikli taşıtlarda enerji depolama sistemlerinin öne çıkan kombinasyonları bataryalar, kapasitörler ve yakıt hücreleri olduğundan bu teknolojiler, çevresel etkiler açısından daha detaylı araştırılmaktadır. Daha fazla iyileştirme için olumlu veya olumsuz yönler ortaya konulmaktadır [4]. Bataryalar, gücü elektrik enerjisi şeklinde taşırlar. Bataryaların depoladığı enerji miktarı taşıtın menzilini belirler. Bataryaların şarj durumu, enerji depolama sistemi tarafından depolanan şarj miktarı oranıdır [5].

Günümüzde hibrit elektrikli taşıtlara yönelik uygulamalar için kurşun asit bataryalar (Pb), nikel metal hidrür bataryalar (NiMH), nikel kadmiyum bataryalar (NiCad) ve lityum iyon bataryalar (Li-ion) kullanılmaktadır. Bu bataryaların genel performans değerleri Tablo 1’de verilmektedir. Pb batarya, düşük maliyetlidir ancak düşük enerji yoğunluğuna ve kurşun zehirlenmesi gibi kirlilik sorunlarına sahiptir. NiMH batarya, 60 Wh/kg üzerinde yüksek bir enerji yoğunluğu ve uzun bir kullanım ömrü sağlar, ancak kendi kendine deşarj oranı %28’in üzerinde yüksektir. Lityum iyon batarya, 10 Wh/kg’a kadar yüksek enerji yoğunluğuna ve 600 katın üzerinde bir servis döngüsüne sahip elektrikli taşıtlar için idealdir [6].

Hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan içten yanmalı motorların ne zaman devreye gireceğini batarya şarj durumu belirler. Şarj değeri belli limitler altına düştüğü zaman içten yanmalı motor devreye girerek bataryaları şarj eder. Ayrıca hibrit taşıtların çalış-

Tablo 1. 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojileri ve Malzeme Türleri

Batarya Türü	Enerji yoğunluğu (Wh / kg)	Güç yoğunluğu (W / kg)	Çevrim ömrü (Döngü)	Aylık kendi kendine deşarj oranı	Sermaye maliyeti (\$ / kWh)
Lityum iyon bataryalar	100-160	80-2000	600-2000	3-10%	200-700
Nikel kadmiyum bataryalar	40-60	200-500	500	20%	300
Nikel metal hidrür bataryalar	60-100	200-1500	750	28%	300-500
Kurşun asit bataryalar	20-50	80-300	300-450	5%	70

ma prensiplerinde, içten yanmalı motorun verimsiz olduğu düşük devir ve düşük moment bölgelerinde elektrikli motoru devreye girer. Bu şekilde yakıt tüketimi azaltılır ve egzoz emisyonlarında olumsuz etki aza indirgenir [7].

ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator) - Gelişmiş Araç Simulatörü, Amerika Birleşik Devletleri hükümetinin kurmuş olduğu Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL-National Renewable Energy Laboratory) tarafından ilk olarak Kasım 1994'te tasarlanan bir benzetim programıdır [8]. Kullanıcı dostu bir ara yüzü (GUI- graphical user interface) ile ADVISOR, dinamik sistemleri modellemek, simüle etmek ve analiz etmek için Matlab'de bir yazılım modülü olan Matlab-Simulink'de oluşturulmuştur [9]. ADVISOR, dünya çapında otomobil üreticileri, üniversite ve enstitü araştırmacıları tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır [10].

Programdaki ilk amaç, hibrit ve elektrikli taşıt bileşenlerinin sistem düzeyinde etkileşimlerini ve bunların taşıt performansı ve yakıt ekonomisi üzerindeki etkilerini vurgulamaktır [11]. Yakıt tüketiminin kontrol stratejisine göre tahmin edilmesi, çeşitli bölümler arasındaki işlevin ve ilişkilerin araştırılması, farklı sürüş (yol) döngüleri altında hibrit elektrikli taşıt (HET) emisyonunun karşılaştırılması, HET'in kontrol stratejisinin değerlendirilmesi, HET'in yakıt tüketimine göre optimize edilmesi ADVISOR programının bazı işlevlerindedir [12].

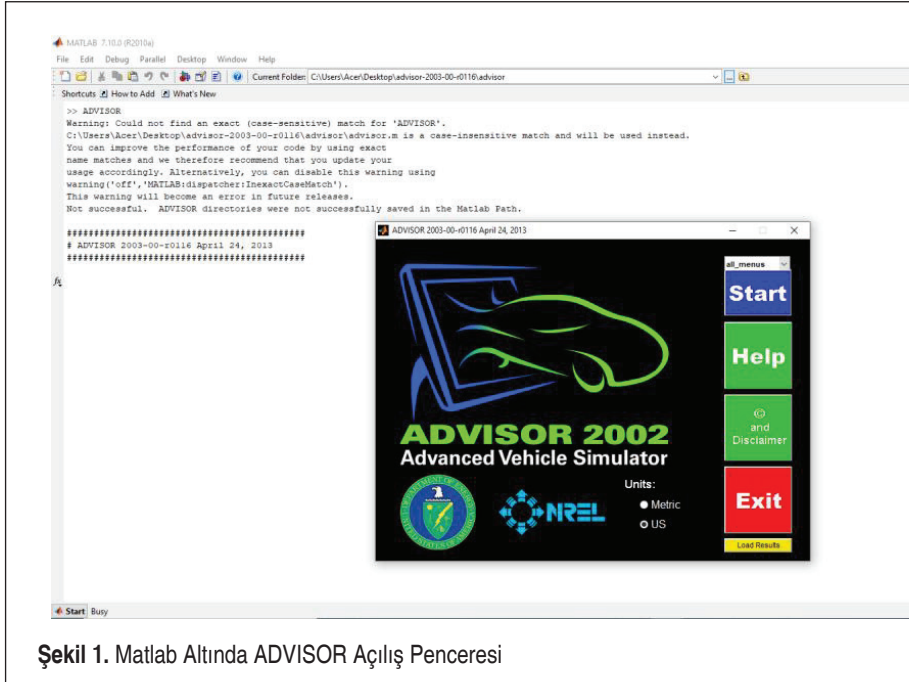
Bu çalışmada, hibrit elektrikli taşıtlardaki batarya sistemleri ADVISOR tarafından modellenmiş ve bu modeller karşılaştırmalar yapılarak analiz edilmiştir. Enerji depolama sistemleri hibrit elektrikli taşıtların vazgeçilmez unsurlarındandır. Bu nedenle önceden sistemin taşıtla uyumunu analiz etmek maliyet ve güvenlik açısından önemlidir. Bu yazıda ADVISOR programının kullanımı ayrı ayrı seri ve paralel hibrit bir taşıtta ve batarya tipleri karşılaştırılarak belirtilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.



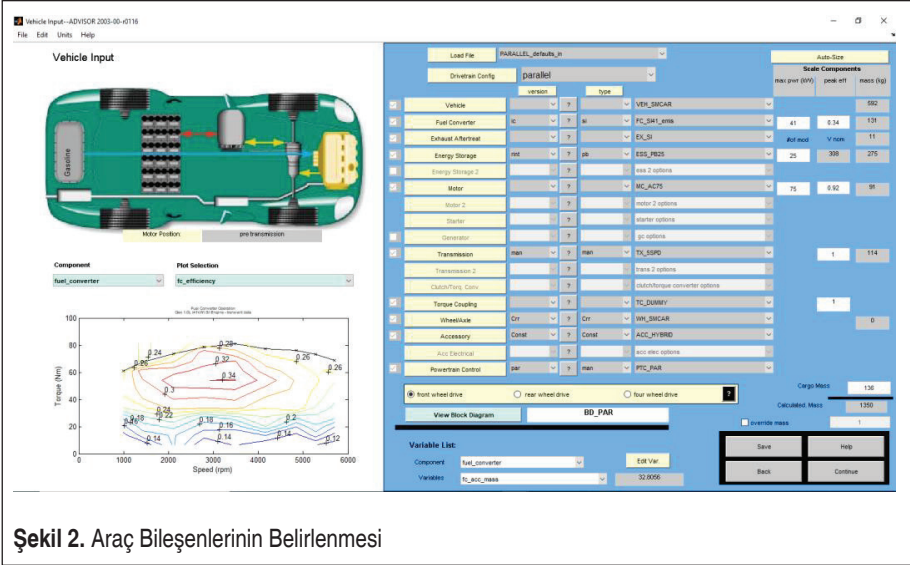
2. ADVISOR İLE TAŞIT ANALİZİ

ADVISOR, kullanıcılar için simülasyonda farklı taşıtları tanımlamak için uygun bir programdır. Yazılımın net oluşu, kullanıcıların taşıt benzetim modellerini ve kontrol stratejilerini tasarlamalarına imkân verir [13]. Kullanıcılar, yeni modül geliştirmek ve taşıt modülünü simüle etmek için alt modülü kullanabilirler. Kullanıcı, ADVISOR'un Matlab çalışma alanında tanımladığı herhangi bir skaler parametreyi değişken listesi aracılığıyla değiştirebilir. Ya da ADVISOR veri tabanında yer alan taşıt tiplerinden seçerek karşılaştırmalı bir analiz yapabilir. Ayrıca yapılan simülasyonların kaydedilmesi ve sonrasında bir başka çalışmayla kıyaslanabilme imkânı büyük bir rahatlık sağlar. Program Matlab tabanlı olup, açılış penceresi Şekil 1'de verilmiştir.

ADVISOR, kullanımı kolay GUI aracılığıyla birçok güçlü analiz işlevine doğrudan erişim sağlamaktadır. GUI sayfaları, bir aracı yapılandırmak, bir simülasyonu yürütmek ve sonuçları analiz etmek için kullanılabilen çeşitli özellikleri açıklamaktadır. GUI sayfalarından ilki araç giriş ekranıdır. Bu ekran kullanıcının taşıt bileşenlerini seçtiği yerdir. Ekranın düzeninde, pencerenin sol tarafı araç bilgilerinin grafiksel temsildir; sağ tarafı ise kullanıcının harekete geçtiği yerdir. Ekranın sağ tarafında, kullanıcı araca, ne görmek ve ne yapmak istediğini belirtir ve ADVISOR'un yapacağı bir sonraki eylemi kontrol eder. Örneğin, araç giriş ekranında Şekil 2'de gösterildiği gibi, sol üstteki resim, hangi taşıt yapılandırmalarının seçildiğini (geleneksel, seri,



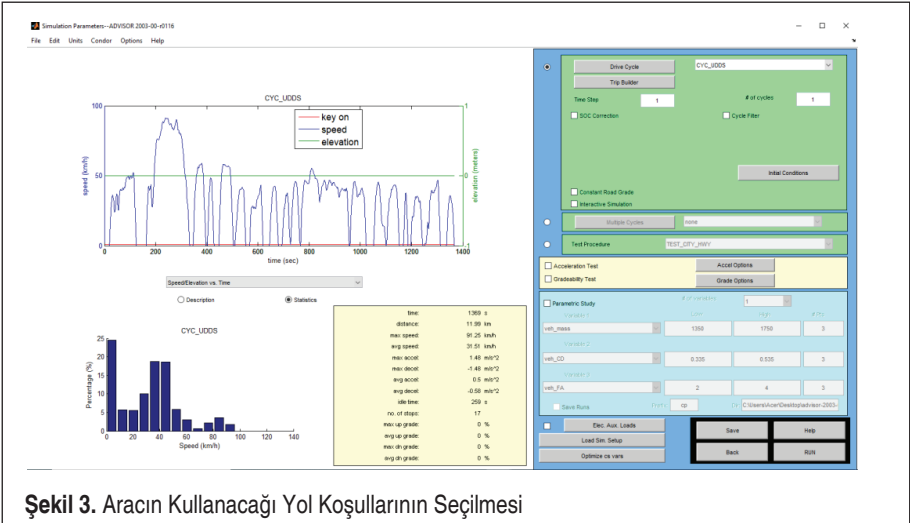
Şekil 1. Matlab Altında ADVISOR Açılış Penceresi



Şekil 2. Araç Bileşenlerinin Belirlenmesi

paralel, yakıt hücresi veya elektrikli araç) grafik olarak gösterir. Sol alttaki kullanıcı tarafından seçilebilir grafikler, kullanıcının motor ve motor için verimlilik haritaları, emisyon sınırları ve bataryalar için performans grafikleri gibi seçilen bileşenlere ilişkin performans bilgilerini anında görüntülenmesine olanak sağlar [14].

İkinci GUI ekranı Şekil 3'te gösterildiği gibi simülasyon kurulum sayfasıdır. Bu ekrandaki kullanıcının temel amacı, taşıtın kullanacağı yol koşullarını tanımlamaktır. Simüle edilebilecek olaylardan bazıları tek bir sürüş döngüsü, çoklu döngü ve özel

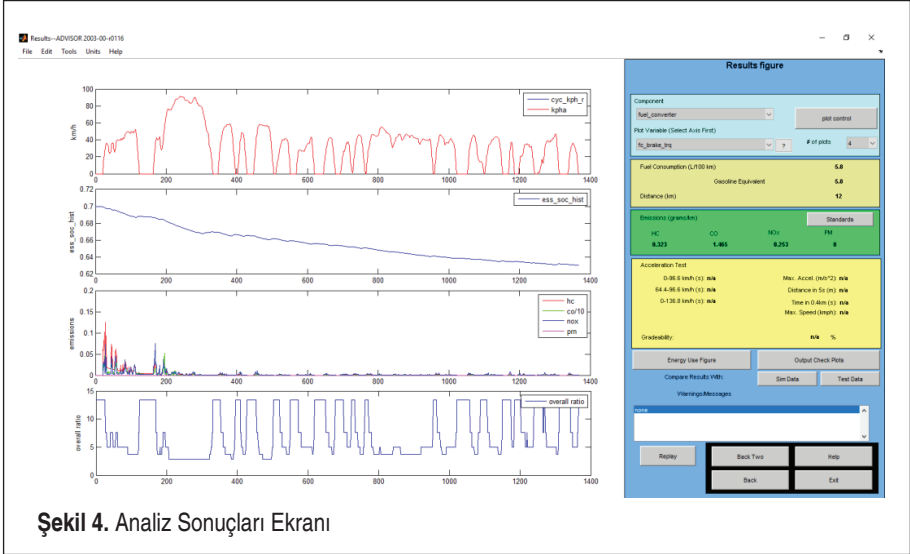


Şekil 3. Aracın Kullanacağı Yol Koşullarının Seçilmesi



test sürüşlerini içerir. Yine, pencerenin sağ kısmında, kullanıcı döngüleri seçer. Sol kısımdayken de simülasyon parametrelerini tanımlar; seçimler hakkında bilgi verilir. Yapılandırılan simülasyon parametreleri ile “çalıştır” butonuna tıklamak simülasyonu yürütecektir ve tamamlandığında bir ADVISOR sonuç ekranı gelecektir. Ayrıca kullanıcı “units” sekmesinden tercih ettiği birimi (metric, us) seçebilir [15].

Sonuçlar ekranı Şekil 4’te gösterildiği gibidir. Bu ekran, üç ana ADVISOR ekranının sonucusudur. Bu sayfa, kullanıcının sağ tarafta yakıt ekonomisi, emisyonlar, hızlanma ve tırmanma kabiliyetinin özet sonuçlarını ve simülasyonun sol taraftaki çalışma alanına koyduğu zamana bağlı değişkenlerin grafiklerini görmesini sağlar [16].

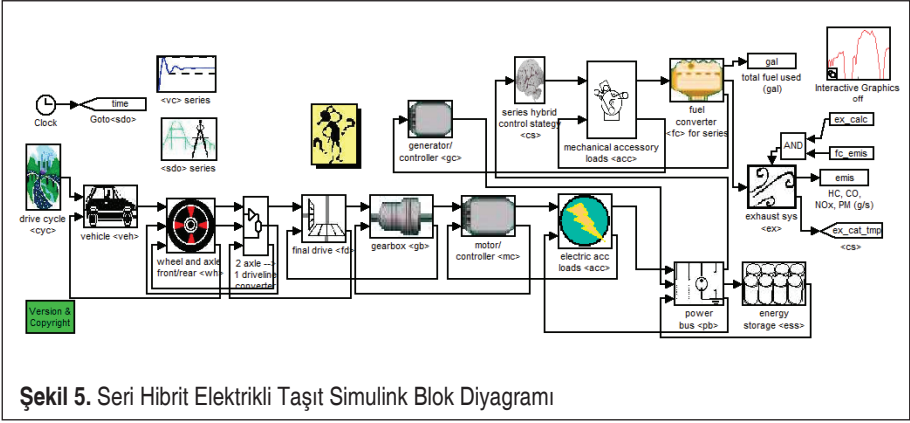


Şekil 4. Analiz Sonuçları Ekranı

Örnek bir sonuçlar ekranını gösteren Şekil 4’te, temsili grafikler olarak seçilen dört grafik ortaya çıkmaktadır; araç hızı, batarya şarj durumu (State of Charge-SoC), düzenlenmiş emisyonlar ve egzoz sistemi içindeki çeşitli yerlerdeki sıcaklıklar. Bu çalışmadaki yapılan analizde; seçilen seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan beş farklı bataryanın taşıt üzerindeki şarj durum grafikleri, yakıt sarfiyatları ve benzin eşdeğerleri, en yüksek ivmelenme ve hız testleri ve emisyon değerleri tablolar şeklinde karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Uygulamanın amacı kullanılan batarya tiplerinin hibrit taşıtlar üzerindeki performanslarını farklı parametreler üzerinden inceleyip sonuçları kıyaslamaktır [17].

3. UYGULAMA VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

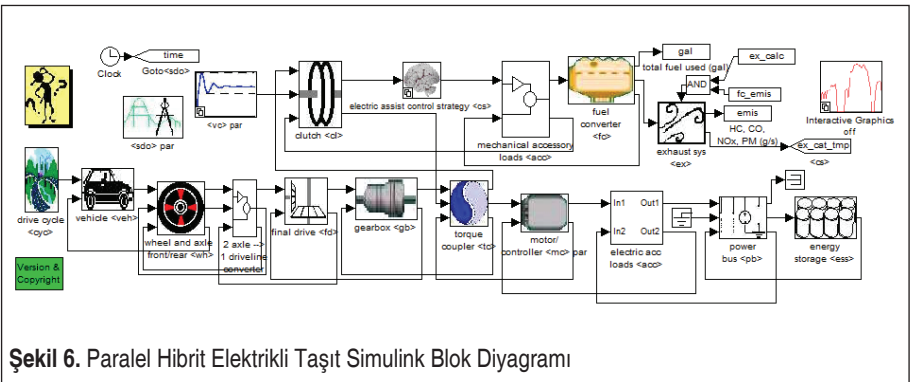
Bu çalışmada seri ve paralel hibrit elektrikli örnek taşıtlarda program üzerinden fark-



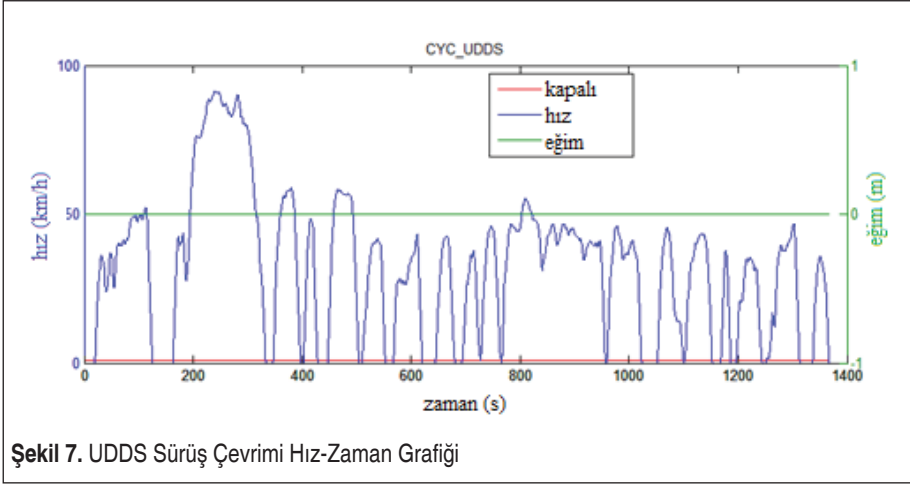
Şekil 5. Seri Hibrit Elektrikli Taşıt Simulink Blok Diyagramı

lı bataryalar seçilerek analizler yapılmış, sonuç grafikleri tartışılmıştır. Bu bölümde, günümüzde ticari hayatta başarıyla yer edinen, konvansiyonel taşıtlara göre farklı sürüş sistemleri içeren hibrit taşıtların, enerji tüketimlerinin ve performans kıstaslarının karşılaştırılması yapılacaktır. Burada karşılaştırılması yapılacak taşıt çeşidi, ortak bir binek tip sedan taşıt olup tahrik sistemleri seri ve paralel hibrit olarak iki tip seçilmiştir. Seçilen taşıtlara ait blok diyagramlar Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

Seçilen seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtlarda yol koşulları seçimi ADVISOR veri tabanında bulunan sürüş çevrimi (drive cycle) temel alınarak test simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu sürüş çevrimi; şehir içi sürüş çevrimi olarak adlandırabileceğimiz Urban Dynamometer Driving Syhedule (UDDS) sürüşüdür. Taşıt test simülasyonlarının gerçekleştirildiği UDDS sürüş çevrimine ait hız-zaman grafiği ve özellikleri sırasıyla Şekil 7 ve Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 6. Paralel Hibrit Elektrikli Taşıt Simulink Blok Diyagramı



Şekil 7. UDDS Sürüş Çevrimi Hız-Zaman Grafiği

Tablo 2. Sürüş Çevriminin Özellikleri

Veriler	Değerler	Birimler
Süre	1369	s
Mesafe	11,99	km
Maksimum hız	91,25	km/h
Ortalama hız	31,51	km/h
Maksimum ivme	1,48	
Maksimum yavaşlama ivmesi	-1,48	
Rölanti süresi	259	s
Duraklama sayısı	17	-

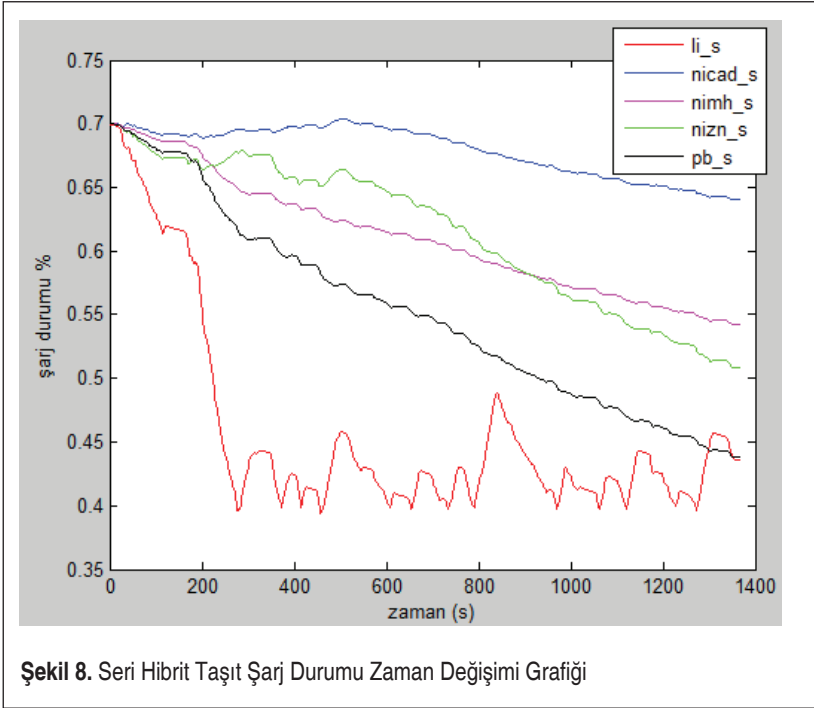
Bu çalışma seçilen her iki tür için de “VEH_SMCAR” parametreleri kullanılarak, 1400 saniyelik bu güzergâhta elde edilmiştir. Batarya analizi yapılacağından diğer tüm veriler sabit tutulmuştur. Kullanılan batarya türleri hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan kurşun asit (Pb), lityum iyon (Li-ion), nikel kadmiyum (NiCad), nikel metal hidrür (NiMH) ve nikel çinko (NiZn) bataryadır. Seri ve paralel hibrit taşıtlar için seçilen farklı batarya modellerine ait veriler Tablo 3’te belirtilmiştir.

3.1 Şarj Durumu (SoC)

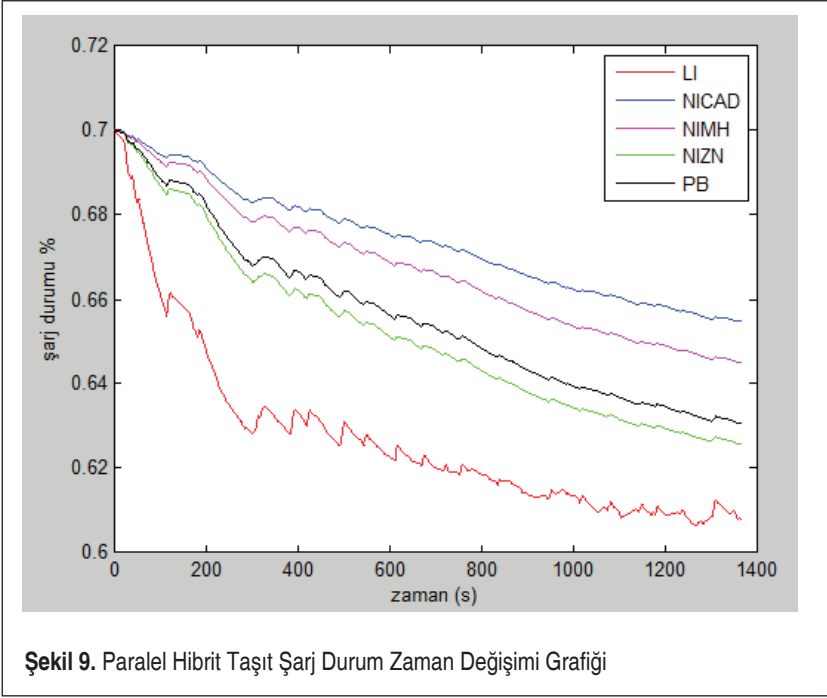
ADVISOR analiz sonuçlarını grafiklerle ortaya koymaktadır. Yapılan analizler sonucunda batarya sistemlerinin taşıt üzerindeki zamana bağlı şarj durum grafikleri bu çalışma için tatmin edicidir. Seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtların seçilen bataryalarda şarj durum zaman grafikleri Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterildiği gibidir.

Tablo 3. Batarya Modelleri

	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
Nominal gerilim (V)	12	9	6	6,2	10,6
Düşük / yüksek limit gerilimi (V)	9,5 / 16,5	6 / 11,7	5,9 / 6,9	4,56 / 7,83	6,65 / 14,7
Enerji kapasitesi (Ah)	26	6	110	28	22
Ağırlık (kg)	11	1,13	14	3,6	6,34



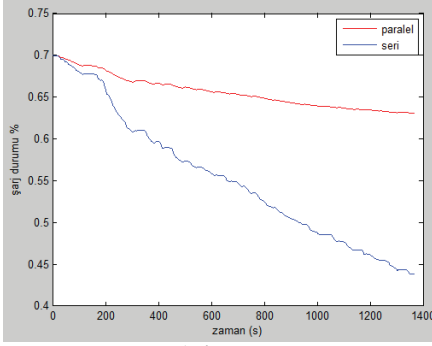
Taşıtın şarj durumunun (SoC) belirli aralıkta korunabilmesi, bataryanın taşıt hareketine katkısının olması ve rejeneratif frenlemede açığa çıkan enerjinin şarj olarak saklanabilmesi için oldukça önemlidir. Seri hibrit elektrikli taşıtta seçilen batarya tipleri için şarj aralığı %70-%44 aralığında korunmaktadır. Şekil 8'deki grafikten anlaşılacağı gibi taşıtın ivmelenebilmesi için Li-ion bataryanın diğer bataryalara oranla daha yüksek güç kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca taşıtın dur kalk yapmasıyla rejeneratif frenleme ile ortaya çıkabilecek enerjiyi depolama kabiliyeti Li-ion bataryada daha yüksektir. Şarj durumunu en iyi koruyan batarya grafiğe göre NiCad bataryadır. NiMH ve NiZn bataryalar ise benzer özellik göstermektedir.



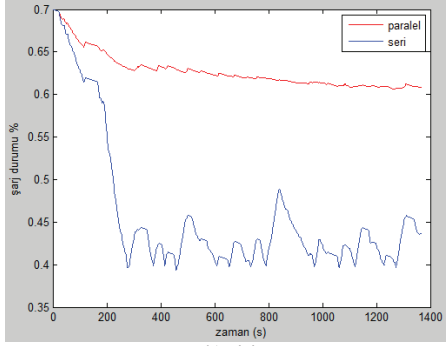
Şekil 9. Paralel Hibrit Taşıt Şarj Durum Zaman Değişimi Grafiği

Şekil 9’da ise paralel hibrit taşıtta seçilen beş farklı batarya tipinin başlangıçtan itibaren olan şarj durumlarının seyri görülmektedir. Şarj aralığı bataryalarda %70-%61 aralığında değişmektedir. Li-ion batarya seri tipte olduğu gibi paralel taşıtta da rejeneratif frenleme ile ortaya çıkabilecek enerjiyi depolama kabiliyeti en yüksek olan bataryadır. NiCad batarya ise yine şarj durumunu koruyan en iyi batarya türüdür.

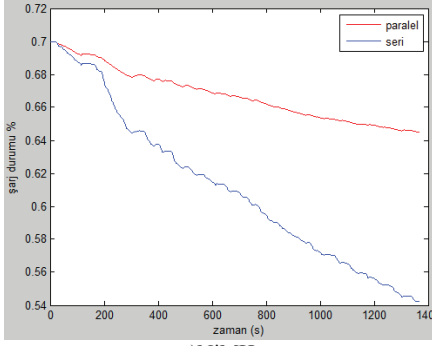
Şekil 10’da gösterilen sonuç grafikleri, batarya çeşitlerinin seri ve hibrit elektrikli taşıtlar arasındaki kıyaslamasını vermektedir. Seri tip taşıtlarda taşıt tahriki sadece elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Bu durum da yüksek güç gerektiren durumlarda bataryadan daha fazla enerji çekilmesine sebep olur. Paralel taşıtlarda ise hem elektrik motoru hem de İYM birlikte tahriklenir ve yüksek güç durumlarında genelde İYM devreye girer. Böylece elektrik motorunun güç gereksinimi serilere göre daha az olur. Şekil 10’daki grafiklere bakıldığında da bütün batarya çeşitlerinin seri tip taşıtlarda daha fazla enerji harcadığı, şarj seviyelerinin daha düşük seviyelere düştüğü görülmektedir. Şarj durumunun seri hibritlerde daha düşük olmasına rağmen rejeneratif frenleme ile enerji depolama kabiliyetleri paralel hibritlere göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu da şehir içi sürüşlerde seri hibritlerin daha avantajlı olduğunu açıklar.



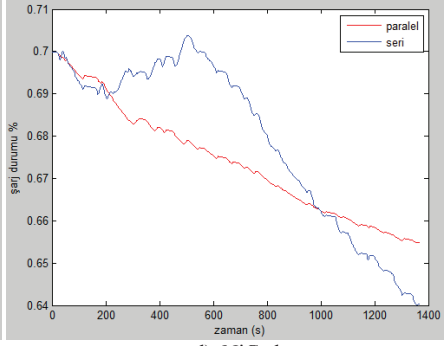
a)Pb



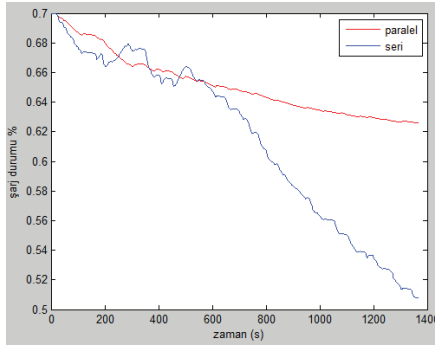
b)Li-ion



c)NiMH



d) NiCad



Şekil 10. Batarya Türlerine Ait Şarj Durumu-Zaman Değişimi



3.2 Yakıt Sarfiyatı

Bu çalışmada örnek olarak seri ve paralel hibrit taşıtlar karşılaştırılmıştır. Programın örnek veri dosyalarından seçilen taşıtların analizi sürüş çevrimi olarak şehir içi güzergâhında tamamlanmıştır. Simülasyon, bu güzergâh tamamlanana kadar devam ettirilmiştir. Bu karşılaştırma için simülasyondan elde edilen yakıt sarfiyatı sonuçları Tablo 4’te özetlenmiştir.

Tablo 4’ten anlaşıldığı üzere aynı güzergâhta seri hibrit elektrikli taşıtta seçilen bazı bataryaların (Pb ve NiMH) yakıt sarfiyatı olmadığı gözlenmiştir. Bunun sebebi Pb ve NiMH batarya türlerinin seçilen bu güzergâhta elektrikli taşıttaki gibi davranmasıdır. Doğal olarak sadece elektrik motoru çalıştığı için yakıt tüketimi olmamıştır.

Tablo 4. Yakıt Sarfiyatı Karşılaştırılması

	Seri Hibrit Elektrikli Taşıt					Paralel Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
Yakıt Sarfiyatı (l/km)	0	4,5	3,4	0	2,8	5,8	6,4	5,4	5,4	5,7
5 saniyede alınan yol (m)	52,4	52,5	40	60,3	42,6	55,1	55,2	46,3	59	49

Tablo 4’teki sonuçlara bakıldığında seri hibrit elektrikli taşıtta NiCad batarya için yakıt tüketimi 3,4 l/km olmasına rağmen bu değer Li-ion bataryada %32 artmış, NiZn bataryada ise %17 azalmıştır. 5 saniyede alınan yol miktarı ise Li-ion bataryada NiCad bataryaya göre %31,25 artarken NiMH bataryaya göre ise %14,85 daha azalmıştır. Yakıt sarfiyatı olmamasına rağmen 5 saniyede en fazla yolu NiMH batarya almıştır.

Paralel hibrit elektrikli taşıta baktığımızda ise yakıt sarfiyatı değerinin NiCad ve NiMH bataryalarda 5,4 l/km olurken bu değer NiZn’da %5,55, Pb bataryada %7,4, Li-ion bataryada ise %18,5 artışı gözlemlenmiştir. 5 saniyede alınan yol miktarlarında ise Li-ion bataryada NiCad’a göre %19,22 artarken NiMH bataryaya göre %6,44 azalmıştır.

3.3 İvme ve hız

Kullanılan şehir içi sürüşte taşıtın elde ettiği maksimum hız bütün batarya tiplerinde aynıdır ve 25,34 km/h olarak ölçülmüştür. Ayrıca seçilen taşıt tipinin kullanılan farklı batarya tiplerine göre program verilerindeki diğer sürüşlerde ulaşabileceği en yüksek hız değerleri Tablo 5’te verilmiştir. Seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtta bütün batarya tiplerinde en yüksek ivmelenme değeri aynı ve 5 m/s²’dir. Tablo 5’e göre seri hibrit elektrikli taşıtta NiMH bataryada en yüksek hız NiCad bataryaya göre %15,94 artar-

Tablo 5. En yüksek İvmelenme ve Hız Karşılaştırılması

	Seri Hibrit Elektrikli Taşıt					Paralel Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
En yüksek hız (km/h)	158	156,5	134,8	156,3	137,5	191,4	190,1	166,9	209,6	169,2

ken Li-ion bataryaya göre ise %0,12 azalmıştır. Pb bataryada en yüksek hız lityum iyon bataryaya göre %17,21 artış göstermiştir. En yüksek hızlanma ise seri hibrit elektrikli taşıtta 158 km/h ile Pb bataryada meydana gelmiştir.

Paralel hibrit elektrikli taşıtta Tablo 5'e göre Li-ion bataryanın en yüksek hızı NiCad bataryaya göre %13,9, NiZn bataryaya göre %12,35 artarken, NiMH bataryaya göre ise %10,25 azalmıştır. En yüksek hız değeri paralel hibrit elektrikli taşıtta NiMH bataryası tarafından sağlanmıştır.

Seri ve paralel hibrit taşıtlardaki ivmelenme süreleri Tablo 6'da verilmiştir. Verilen hız aralıklarında seri hibrit elektrikli taşıtta en kısa sürede performans sergileyen NiMH bataryadır. 0-96,6 km/h hız aralığında ivmelenme süresi Pb bataryada 11,3 saniye olurken bu değer Li-ion bataryada %5,30 ve NiMH bataryada ise %38,93 artarken, NiZn bataryada %80,53 ve NiCad bataryada ise %109,73 azalmıştır.

Tablo 6. İvme Testi

İvme testi (s)	Seri Hibrit Elektrikli Taşıt					Paralel Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
0-96,6 (km/h)	11,3	10,7	23,7	6,9	20,4	9	8,7	14,5	6,7	12,7
64,4-96,6 (km/h)	6,2	5,7	14,3	3	12,2	4,5	4,2	7,8	2,8	6,8
0-137(km/h)	28,1	30,6	-	13,3	91,6	18,4	17,9	32,9	11,9	28,5

3.4 Emisyon Değerleri

Hibrit elektrikli taşıtlar için en önemli parametrelerden bir tanesi de egzoz emisyon değerleridir. Simülasyon sonuçlarında seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtların sürüş sonucunda ortaya çıkan hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO), azotoksit (NOx) gazları ve partikül madde (PM) değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7'deki sonuçlardan da görülebileceği gibi emisyon değerleri iki taşıtta da se-



Tablo 7. Emisyon Değerleri

Emisyon değerleri (g/km)	Seri Hibrit Elektrikli Taşıt					Paralel Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
HC	0	0,419	0,375	0	0,373	0,323	0,335	0,319	0,317	0,321
CO	0	2,7	2,683	0	2,34	1,465	1,512	1,426	1,406	1,435
NOx	0	0,521	0,459	0	0,442	0,253	0,266	0,243	0,233	0,241
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

çilen batarya tiplerinde birbirine yakın değerlerde seyretmiştir. Seri hibrit elektrikli taşıtta Pb ve NiMH bataryaların emisyon değerinin olmaması tam elektrikli taşıt gibi davranmasına sebep olmuştur. Bu da içten yanmalı motorun devreye girmemesinden kaynaklanır. İçten yanmalı motor, batarya şarj seviyesinin belli bir değerin altına inmesiyle devreye girmektedir.

Seri hibrit taşıtta HC miktarı NiCad bataryada 0,375 g/km olurken bu değer NiZn'da %0,53 azalmış, Li-ion bataryada ise %11,73 artış göstermiştir. NiCad'a göre Li-ion bataryadaki CO miktarı %0,63 artmış, NiZn bataryada ise %12,78 azalmıştır. NOx gaz değerlerine bakıldığında ise NiZn batarya NiCad'a göre %3,70 daha az salınım yaparken, Li-ion bataryada bu değer %13,50 yükselmiştir.

Paralel hibrit taşıta bakıldığında ise en düşük emisyon değerleri NiMH bataryada görülmektedir. Örneğin HC miktarlarında NiMH bataryaya göre NiCad %0,63, NiZn %1,26, Pb %1,89 ve Li-ion bataryada ise %5,67'lik artış göstermiştir. CO ve NOx miktarlarında da aynı şekilde benzer artışlar olmuştur. Her iki taşıt tipinde bütün batarya tiplerinde partikül maddeye rastlanmamıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada hibrit elektrikli taşıtların ana unsurlarından biri olan batarya sistemleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Taşıt performanslarının analizini yapabilen gelişmiş bir araç simülatörü olan ADVISOR yazılımı tanıtıldı. Seçilen beş farklı batarya çeşidinin örnek seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtlardaki performansı ADVISOR programı kullanılarak analiz edildi. Böylece tasarlanan taşıtların önceden bilgisayar ortamında simüle edilebilme imkânı doğmuştur. ADVISOR, seçilen parametre sonuçlarını grafik biçiminde göstermiştir. Grafikler yorumlandı ve bataryaların performansına etkisi olan veriler çizelgelerde sunuldu. Analiz sonuçlarına göre şehir içi sürüş çevriminde bataryaların şarj durumu sonuçlarına bakıldığı zaman bütün batarya

tiplerinin seri hibrit elektrikli taşıtlarda sürüşü daha düşük şarj seviyelerde bitirdikleri gözlemlendi. Bu durum seri hibritlerin paralel hibritlerden farklı olarak sadece elektrik motoruyla tahriklendiğini, böylece daha fazla enerji harcadıklarını açıklar. Ayrıca seri hibritlerde rejeneratif frenleme ile ortaya çıkan enerji miktarı paralel hibritlerden daha yüksektir. Böylece seri hibritlerde batarya performanslarının enerji depolama konusunda daha başarılı olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışmada batarya tipinin taşıt performansını önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

1. **Xue Q., Zhang X., Teng T., Zhang J.,Feng Z., Lv Q.** 2020. “A Comprehensive Review on Classification Energy Management Strategy, and Control Algorithm for Hybrid Electric Vehicles”, *Energies*, 13(5355), 1-30.
2. **Chowdhury M. S. A., Rahman A. M., Mamun K. A. A.** 2016. “Modelling and simulation of power system of battery, solar and fuel cell powered Hybrid Electric Vehicle”, *International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT)*, 22-24 September 2016, Dhaka, Bangladesh.
3. **Rezazade S., Changizian M., Saleki A., Moghbeli H.** 2018. “Investigation and Comparison between PHEV and SHEV for Sedan Vehicle Based on ADVISOR”, 2018 9th Annual Power Electronics, Drives Systems and Technologies Conference (PEDSTC), 13-15 February 2018, Tehran, Iran.
4. **Balali Y., Stegen S.** 2021. “Review of energy storage systems for vehicles based on technology, environmental impacts, and costs”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 1-15.
5. **Bhurse S. S., Bhole A. A.** 2018. “A Review of Regenerative Braking in Electric Vehicles”, *International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, 28-29 March 2018, India.
6. **Ma S., Lin M., Lin T.E., Lan T., Liao X., Marechal F., Herle J.V., Yang Y., Dong C., Wang L.** 2021. “Fuel cell-battery hybrid systems for mobility and off-grid applications: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 1-20.
7. **Büyükkaracı B.** 2017. “Türkiye’nin İlk Motorlu Aracı Jeep Willys’in Tarihçesi ve Hibrid Versiyonunun Dizaynı ve Hesaplarının Yapılması”, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
8. **Wipke K., Cuddy M., Bharathan D., Burch S., Johnson V., Markel A., Sprik S.** 1999. *Advisor 2.0: A Second-Generation Advanced Vehicle Simulator for Systems Analysis*, Technical Report, NREL/TP-540-25928, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO.
9. **Markel T., Brooker A., Hendricks T., Johnson V., Kelly K., Kramer B., O’Keefe M., Sprik S., Wipke K.** 2002. “ADVISOR: a systems analysis tool for advanced vehicle modeling”, *Journal of Power Sources*, 110 (2002), 255–266.



10. **Ağyel S.** 2011. "Computer Simulation For Series Hybrid Electrical Vehicle", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
11. **Turkmen A. C., Solmaz S., Celik C.** 2017. "Analysis of fuel cell vehicles with advisor software", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70(2017), 1066-1071.
12. **Bin Z., Pin F., Guoqing X.** 2007. "Simulation of Hybrid Electric Truck and Plug-in Hybrid Electric Truck Based on ADVISOR", International Conference on Integration Technology, March 20 - 24, 2007, Shenzhen, China.
13. **Xu J.W., Zheng L.** 2010. "Simulation and Analysis of Series Hybrid Electric Vehicle (SHEV) based on ADVISOR", International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. DOI:10.1109/ICMTMA.2010.678
14. **Kunt M.A.** 2019. "Advisor Based Modelling of the Effect of Rolling Resistance on Regenerative Braking in All-Electric Passenger Cars", El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 6(3), 847-855.
15. **Niknamian S.** 2019. "Fuzzy Logic Controller for Parallel Plug-in Hybrid Vehicle", Scholar Journal of Applied Sciences and Research, 2(9), 19-26.
16. **Rashid M. I. M., Danial H.** 2017. "ADVISOR Simulation and Performance Test of Split Plug-in Hybrid Electric Vehicle Conversion", Energy Procedia, 105(2017), 1408-1413.
17. **Saleki A., Rezazade S., Changizian M.** 2017. "Analysis and Simulation of Hybrid Electric Vehicles for Sedan Vehicle", 25th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE2017), 2-4 May 2017, Tehran, Iran.