

Verimlilik Yarışları için Bir Elektrikli Otomobilin Gerçeklenmesi

(Implementation of an Electromobile for Efficiency Challenge)

Bir Elektromobilin Aerodinamik, Mekanik, Elektrik ve Elektronik Olarak Gerçeklenmesi
(Aerodynamic, Mechanical, Electrical and Electronic Implementation of an Electromobile)

*Hasan TIRYAKI**

Faculty of Engineering, Department of Electrical and
Electronics Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
hasan.tiryaki@istanbul.edu.tr

Abdurrahim AKGUNDOĞDU

Faculty of Engineering, Department of Electrical and
Electronics Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
akgundog@istanbul.edu.tr

Gokhan ERDOĞAN

Faculty of Engineering, Department of Mechanical
Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
gokhan.erdogan@ogr.iu.edu.tr

Orcun KARADENİZ

Faculty of Engineering, Department of Electrical and
Electronics Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
orcun.karadeniz@ogr.iu.edu.tr

Ufuk SAHİN

Faculty of Engineering, Department of Electrical and
Electronics Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
sahinufuk1@ogr.iu.edu.tr

Mert Yahya YILMAZ

Istanbul University
MilAT 1453 Society
Istanbul, Turkey
mertyahya@milat1453.com

Yigit DURAK

Istanbul University
MilAT 1453 Society
Istanbul, Turkey
yigitdurak@milat1453.com

Ilhan KOCAARSLAN

Faculty of Engineering, Department of Electrical and
Electronics Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
ikarslan@istanbul.edu.tr

Özet—Elektromobil olarak kısaltılan elektrikli otomobillerin tasarımında disiplinler arası bir takım çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bir elektromobil tasarımında hayati önem taşıyan kısımlar; dış kabuğun aerodinamik yapısı ile şasi, mekanik aksamlar ile kullanılan lastik ve jant, elektrik motoru ile sürücüsünün verimi, batarya paketi ile batarya yönetim sistemi, yerleşik şarj birimi ve haberleşme sistemidir. Dış kabuğun tasarımında aracın hava sürtünmesine karşı direncinin en aza indirgenmesi gerekmektedir. Mekanik aksamların tasarımında ise aracın güvenli bir şekilde yol almasını sağlamanın yanısıra bu aksamlar arasındaki sürtünmenin de en

aza indirgenmesi gerekir. Kullanılan lastiğin yolla olan sürtünmesi ne kadar düşük olursa aracın verimi o derece yüksek olacaktır. Lastiklerle birlikte jantın da uygun seçilmesi gerekmektedir. Elektrik motoru ve motor sürücüsü bir bütün olarak düşünülmeli ve birim zamanda harcanan enerjinin en aza indirgenmesi için yüksek verimli olmalıdırlar. Kullanılan bataryanın ise uzun ömürlü ve verimli olması şarttır. Yerleşik şarj birimi, araç üzerinde sabit bulunan ve batarya grubunu şebekeden beslenerek şarj edebilen anahtarlamalı bir güç kaynağıdır. Araçların her yerde kolay şarj edilebilmesini ve şarj için batarya kutusunun araçtan çıkarılıp takılması gibi riskli

işlemlere gerek kalmamasını sağlamaktadır. Aracın haberleşme sistemi ise hem araç içindeki elektronik kartların birbirleriyle olan ilişkileri hem de aracın uzaktan izlenebilmesi açısından çok önemlidir. Bu çalışmada tüm bu alt bileşenler göz önüne alınarak genel hatlarıyla bir elektrikli otomobilin tasarımı ve üretimi üzerinde durulacaktır.

Anahtar Kelimeler— Elektromobil; Aerodinamik Dış Kabuk Tasarımı; Monokok Gövde; Şasi; Mekanik Aksamlar; Lastik; Jant; Elektrik Motoru; Motor Sürücüsü; Batarya Paketi; Batarya Yönetim Sistemi; Yerleşik Şarj Birimi; Haberleşme Sistemi

Abstract— Interdisciplinary teamwork is needed in the design of electric cars; which are shortened as Electromobile. Vital parts of an electromobile design are; chassis with aerodynamic structure of outer shell, tire and rim used with mechanical parts, electric motor and motor drive's efficiency, battery pack and battery management system, embedded charging unit and communication system. In designing the outer shell, the resistance of the vehicle against air friction must be reduced to the greatest. In designing mechanical components, in addition to ensuring that the vehicle travels safely, the friction between these components must also be minimized. The lower the friction between the used tire & road, the higher the efficiency of the vehicle. Along with the tires, the rims should also be chosen appropriately. The electric motor and the motor drive must be considered as a whole and must be highly efficient in order to reduce the energy consumed by unit time. The used battery should be long lasting and efficient. The embedded charging unit is a switched power supply which is fixed on the vehicle and can be recharged by feeding the battery group from the network. It ensures that vehicles can be easily recharged anywhere, and that there is no need for risky operations such as removing and installing the battery pack for charging. The communication system of the vehicle is very important in terms of both the connections between the electronic cards in the vehicle and the remote monitoring of the vehicle. In this work, we will focus on the design and production of an electric car in general, taking into account all these subcomponents.

Keywords— Electromobile; Aerodynamic Outer Shell Design; Monocoque Body; Chassis; Mechanical Parts; Tires; Rims; Electric Motor; Motor Drive; Battery Pack; Battery Management System; Embedded Charging Unit; Communication System

*** Corresponding Author**

I. GİRİŞ

Fosil yakıtların hızla tükendiği günümüzde fosil yakıt tüketen araçların yerine çevreci ve sıfır emisyonlu elektrikli araçların kullanımı önem kazanmaktadır. Sektörde söz sahibi olan üretici firmalar elektrikli araçlar konusunda Ar-Ge faaliyetlerine hız kazandırmış ve bazı prototipler kullanıcılara sunulmuştur. Ülkemizde de çeşitli tip ve boyutlarda elektrikli araçlara yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Çevreci kaygıların yanı sıra ülkemizde kullanılan fosil yakıtların birim fiyatlarının oldukça yüksek olması ve dışa bağımlılık gibi konular göz önüne alınırsa günlük hayatta kullanılabilecek bir elektrikli binek otomobilin ülke ekonomisine büyük katkılar sağlayacağı açıktır. Ayrıca mekanik aksamaların daha az ve sade oluşu; mevcut araçlara göre daha az bakım maliyeti, daha az

arızalanma riski ve daha uzun malzeme ömrü gibi faydalı sonuçlar doğuracaktır.

Otomobil sayısının hızla arttığı günümüzde buna paralel olarak artan çevre kirliliği, bir çok ülkede otomobillerde karbon emisyonunun düşürülmesine yönelik zorlayıcı yasaların çıkarılmasına neden olmuştur. Bu durum, otomobil firmalarını daha çevreci ve az yakıt tüketen motor teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik araştırmaları yapmaya zorlamıştır. Günümüzde elektrikli ve hibrit araçların en önemli ekipmanlarından biri olan elektrik motorunun ucuz, güvenilir ve az bakım gerektirmesi istenilmektedir. Bu doğrultuda istenilen özellikler için seçilecek motor önem kazanmaktadır. Klasik (firçalı) Doğru Akım Motorları, yüksek kalkınma momentine ve lineer hız-moment karakteristiğine sahip motorlardır. Bu karakteristik özellikler, servo sistemler için aranan özelliklerdir. Ancak, fırça ve kollektörlerden dolayı sürtünme ve ark oluşumu motorun verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca bu motorlarda aşınma ve ısınma sonucu sık sık arızalar meydana gelmektedir. Yukarıdaki problemlerin aşılabilmesi için Fırçasız Doğru Akım Motorları geliştirilmiştir. Bu motorlar daha az bakım gerektirirken verimleri de daha yüksektir [1]. Klasik doğru akım motorlarının yerine tercih edilen fırçasız doğru akım motoru uygulama alanlarının sayısı; yüksek verim, doğrusal moment/hız ilişkisi ve kolay kontrol edilebilir olmalarından dolayı gün geçtikçe artmaktadır. Bu motorların en önemli dezavantajı ise harici bir güç elektroniği ve uygun çalışma için konum bilgisi gerekliliğidir. Bugün gelinen yüksek teknolojik seviye ve yeni kontrol teknikleri sayesinde bu dezavantajlar da önemsiz duruma gelmiştir. 2003 yılında, Padmaraja Yedamale çalışmaları doğrultusunda fırçasız doğru akım motorlarının firçalı motorlara göre belirli avantajları olduğu sonucuna varmıştır. Hız-Tork karakteristiğinin daha iyi olması, daha verimli olması, daha uzun ömürlü olması, daha gürültüsüz çalışması ve daha yüksek hızlarda çalışabilmesi avantajlar olarak listelenmiştir. Fırçasız doğru akım motorları, doğru akım motorlarının hareketli kısımları olan rotor bölümündeki manyetik alanın doğal yoldan karşılandığı motor türüdür. Bu tür motorların rotor bölümlerinde güçlü doğal mıknatıs kullanılır. Bu motorların sürücüleri için algılayıcı kullanımlar ve kullanılmayan iki farklı sürüş yöntemi gözükmemektedir. Hall etkisi algılayıcıları yardımıyla bu motorların pozisyonunun belirlenmesi oldukça net olduğu için kontrol metodu da standart yapılardan oluşabilmektedir. Genellikle PI veya PID kontrolör yapıları kullanılarak sürüş işlemi gerçekleştirilmektedir [2]. Sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motorları, kolektör-fırça düzenini ortadan kaldırmaları ve doğru akım makinesinin karakteristiğine benzer performans özelliğine sahip olmalarına karşılık, komütasyonun gerçekleştirilmesi için rotor konum algılayıcılarına gereksinim duyarlar. Genel olarak bu işlev motor miline ya da statora yerleştirilen optik ya da Hall (Alan) etkisi algılayıcıları ile gerçekleştirilir [3].

Fırçasız doğru akım motoru uygulamalarında motor tasarımının yanı sıra kontrol algoritmaları ön plana çıkmaktadır. Temel güç elektroniği devreleri ile kontrol edilebilir olmalarına rağmen geliştirilmiş kontrol algoritmaları ile uygulamaların yapılması ihtiyacı doğmuştur. Mikroişlemcilerin yeteneklerinin artması; elde edilen

matematiksel modellerin uygulanmasını ve bu modellere yönelik gelişmiş sayısal kontrolörlerin tasarlanmasını kolaylaştırmıştır [4]. Fırçasız doğru akım motorlarının kontrolünde bu yöntemlerle birlikte ya da bağımsız olarak PI (Proportional and Integrative – Oransal ve İntegral Etki) ve PID (Proportional, Integrative and Derivative – Oransal, İntegral ve Türev Etki) kontrolörler de kullanılmaktadır. fırçasız doğru akım motorunu çevirmek için stator sargılarına sıralı olarak güç verilmelidir. Sargıya güç verme sırasını bilmek için rotorun pozisyonunu bilmek önemlidir. Rotor pozisyonu statorun içine yerleştirilen Hall etkisi algılayıcıları ile anlaşılır. Hall algılayıcıları motora sabitlenerek 60° veya 120° açı farkı ile üç adet yerleştirilir. Hall etkisi algılayıcıları, manyetik alan içinde kalan elektrik yüklerinin üzerlerine alan tarafından etkiyen kuvvetin etkisi ile hareket etmeleri ve bir potansiyel oluşturmaları esasına dayanır [5]. 2004 yılında Yen-Shin Lai ve arkadaşları düşük güçte çalışan Fırçasız doğru akım motorlarının MOSFET ile yapılan eviricilerle sürülmesine dair yeni bir PWM (Pulse Width Modulation-Darbe Genişlik Modülasyonu) tekniği geliştirmişlerdir. Bu teknikte iletimden doğan elektriksel kayıpları ve ısı kaybını en aza indirmeyi hedeflemişlerdir. Yaptıkları deneyler sundukları teoriyi kanıtlayıcı niteliktedir [6]. 2010 yılında Bhim Singh sabit miktatsız fırçasız doğru akım motorlarının sürüş teknikleri hakkında genel bir bakış açısı sunmuştur. Kapalı çevrim pozisyonu ile hız kontrolü, gürültü ile titreşimi azaltma yolları ve algılayıcıya alternatif kontrol yolları tartışılmıştır. Mikrokontrolör kullanarak sürüş yapılmasının maliyeti azalttığı ve performansı arttırdığı için tercih edildiği vurgulanmıştır [7]. 2012 yılında Jiancheng Fang, Haitao Li ve Bangcheng Han PWM tabanlı yeni bir akım kontrolü methodu önermiş ve bununla birlikte motor torkundaki dalgalanmaları azaltmayı hedeflemiştir. Yöntemin sonuç olarak torkda dalgalanmayı azalttığı ve aynı zamanda sistemin kararlılığına da olumlu etkisi olduğu gözlenmiştir [8].

Ayrıca elektrikli araçlar için Elektronik Kontrol Ünitesi, Enerji Yönetimi ve Batarya Sistemleri önemli hususlar olup literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. 2002 yılında Vairamohan Baskar Hibrit Elektrikli Araçlardaki (HEA) batarya uygulamalarında Thevenin modelini uyarlamış, batarya performans kriteri, enerji yoğunluğu, gerilim, amper saat verimi, enerji verimi, kullanılabilirlik, maliyet, çalışma sıcaklığı, boşalma oranı, yaşam döngüsü ve yenilenme oranı parametrelerini incelemiştir [9]. 2004 yılında Z. Yuan ve arkadaşları HEA kontrol sisteminin yapısı hakkında bir çalışma yapmış aracın çalışma modları arasındaki geçişleri inceleyip optimal çözümleri yapay zeka yöntemleri kullanarak belirlemiş ve enerji sarfiyatını en etkin biçimde minimize etmeye çalışmışlardır [10]. 2011 yılında Cüneyt Barlak ve Yakup Özkazanç hazırlamış oldukları çalışmada yeniden doldurulabilir bataryalar için batarya kapasitesinin radyal tabanlı fonksiyonlarla kestirimine yönelik bir yöntem önermişler ve önerilen yöntemin batarya kapasite kestiriminde kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir [11]. 2013 yılında Languang Lu ve arkadaşları lityum-iyon bataryaları diğer bataryalarla karşılaştırmış ve elektrikli arabalarda lityum-iyon bataryaların kullanılmasının avantajlarını belirterek batarya yönetim sistemini anlatmıştır [12]. 2013 yılında Xiaosong Hu ve arkadaşları seri bağlı hibrit elektrikli otobüs üzerine yaptıkları çalışmada enerji yönetimi stratejileri üzerine

optimizasyon yapmışlardır [13]. 2014 yılında J. L. Torres ve arkadaşları Plug-in hibrit elektrikli arabalardaki enerji yönetim stratejilerindeki gelişmeleri anlatmışlardır. Kural tabanlı optimizasyon yöntemleri uygulamış ve başka yöntemler ile karşılaştırıp avantaj ve dezavantajlarını göstermişlerdir [14].

Bu çalışmada bir elektrikli otomobilin aerodinamik, mekanik, elektrik ve elektronik tüm alt bileşenleri göz önüne alınarak genel hatlarıyla bir elektrikli otomobilin tasarımı ve üretimi üzerinde durulacaktır.

II. ELEKTRİKLİ OTOMOBİLİN TEMEL BİLEŞENLERİ

Bir elektrikli otomobilin temel bileşenleri; dış kabuğun aerodinamik yapısı ile şasi, mekanik aksamlar ile kullanılan lastik ve jant, elektrik motoru ile motor sürücüsü, batarya paketi ile batarya yönetim sistemi, yerleşik şarj birimi ve haberleşme sistemidir. Aşağıda sırasıyla bu bileşenlerin tasarımları anlatılmaktadır.

A. Monokok Gövde ve Şasi

Elektrikli otomobillerin en büyük darboğazı menzil problemidir. Bu darboğazın aşılabilmesi için batarya üreticileri ürettikleri batarya hücrelerinin elektrokimyasal yapıları üzerine çeşitli araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütmektedirler. Öte yandan elektrikli otomobil üreticileri ise, bataryaların kısıtlı olan enerji kapasiteleri nedeniyle genel sistem verimi daha yüksek olan elektrikli otomobiller tasarlamakta ve üretmektedirler. Mekanik olarak bir elektrikli otomobilin verimini arttırmanın çeşitli yöntemleri bulunmaktadır [15]. Bunlar temel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- daha aerodinamik bir gövde,
- yuvarlanma direnci düşük lastikler,
- kuru sürtünmenin ve yaylanmayan kütlelerin az olduğu yürür aksam sistemleri,
- mukavemet/ağırlık oranları düşük malzemeler.

Yukarıda sayılmış olan yöntemlerden daha aerodinamik bir gövde ve mukavemet/ağırlık oranları düşük olan malzemelerin kullanılması en etkin yöntemler olarak düşünülebilir.

Aerodinamik kayıplar elektrik motorlarının yüksek verimli olmalarından dolayı elektrikli otomobilin toplam enerji kaybının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Otomobillerdeki aerodinamik kayıplar, aracın ön alanına, sürtünme katsayısına (Cd), havanın yoğunluğuna ve sürüş hızına bağlıdır. Sürtünme katsayısı (Cd) aracın geometrisine bağlı bir parametredir. Araç sürüş halindeyken akan havanın laminar akışını bozmayan tasarımlar aracın sürüklenme katsayısını düşürmektedir [16].

Hareketsiz duran bir nesne üzerine gönderilen havanın ya da hareket eden bir nesnenin üzerinden akan havanın nesne üzerinde oluşturduğu sürtünme kuvveti aşağıdaki formülle ifade edilmektedir [17].

$$F_D = (1/2) \cdot \rho \cdot A \cdot C_D \cdot V^2$$

$$\begin{aligned} \rho; & \text{havanın yoğunluğu} \\ C_D; & \text{sürtünme katsayısı} \\ A; & \text{aracın ön alanı} \\ V; & \text{hız} \end{aligned} \quad (1)$$

Yukarıda verilmiş olan formülden anlaşılacağı üzere aracın ön alanının mümkün olan en düşük seviyelerde tutulması aracın üzerinde havanın akışından dolayı oluşan rüzgar sürtünmesinin en düşük seviyelerde tutulmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca aracın geometrisinde havanın laminar akışının bozulmamasını sağlayacak olan tasarımların kullanılması sürtünme katsayısının (Cd) düşük olmasına dolayısıyla havanın akışından dolayı oluşan rüzgar sürtünmesinin düşük seviyelerde tutulmasına katkı sağlayacaktır.

Kısıtlı olan enerji kapasitesi göz önüne alınarak bir elektrikli otomobilin gövde tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli parametre araç gövdesinin aerodinamik davranışdır. Tasarım ve üretim esnasında gövde üzerindeki çıkıntılardan (yan aynalar, antenler vb.) mümkün olduğunca kaçınılmalı, mümkün olmayan durumlarda ise keskin kenarları olmayan çıkıntılar kullanılmalıdır. Gövde tasarımında kullanılan keskin kenar ve çizgiler havanın laminar akışını bozmakta ve türbülansların oluşmasına neden olmaktadır [18]. Bu durum göz önünde bulundurularak tasarlanmış ve üretilmiş olan Volkswagen XL1 aracının yan aynaları (kamaraları) Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Volkswagen XL1 aracının yan aynaları (kamaraları) [19]

Otomobillerin gövdeleri üzerindeki laminar akışın bozulmasına neden olan bir diğer büyük etmen ise araç hareket halindeyken dönmüş halinde olan ön ve arka tekerleklerdir. Havanın akışı sırasında dönen tekerlekler havanın laminar akışını bozmakta ve türbülanslara neden olmaktadır [20]. Otomobil tasarımcıları ve üreticileri bu durumu göz önünde bulundurarak çeşitli analizler sonucunda arka tekerleklerin havanın laminar akışını mümkün olduğunca az bozulmasını sağlayan araçlar üretmişlerdir. Bu durum göz önünde bulundurularak üretilmiş olan Citroen SM aracı Şekil 2'de görülmektedir.



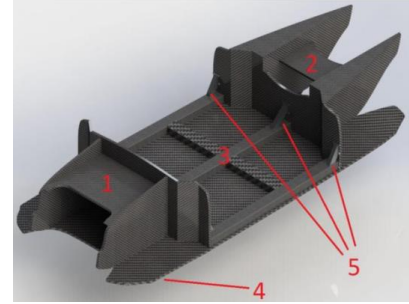
Şekil 2. Citroen SM aracının görüntüsü [21]

Bir elektrikli otomobil tasarlanırken yukarıda anlatılmış olan bazı temel parametreler göz önüne alınarak bir tasarım yapılmalı ve yapılan tasarımların aerodinamik uygunluğu tasarım esnasında sonlu elemanlar yöntemiyle akış analizlerine sokulmalıdır. Yapılan hesaplamalar ve analizlerden elde edilen sonuçların araç üretildikten sonraki haliyle tutarlı olabilmesi için aracın üretiminin de hassas bir şekilde yapılması

gerekmektedir. Tasarıma dahil edilmeyen çıkıntılardan kaçınılmalı, aracın gövdesinin yüzey pürüzlülüğünün minimumda tutulmasına önem gösterilmelidir.

Enerji verimliliğinin önemli bir parametre olduğu yarışmalara katılacak bir prototip elektrikli aracın kompozit malzemeler kullanılarak şasi ve gövdesinin monokok bir şekilde tasarlanıp üretilmesi aracın rijit bir yapıya sahip olmasını, mukavemetinin yüksek olmasını ve ağırlığının az olmasını sağlayacaktır. Kompozit malzemeler yüksek mukavemet/ağırlık oranları sebebiyle savunma sanayi, havacılık ve otomotiv gibi hafiflik arz eden sektör uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir [22].

Gövde ve şasinin üretiminde kompozit malzemelerin kullanıldığı elektrikli araçlarda yürür aksam vasıtasıyla araca aktarılan kuvvetlerin aracın gövde ve şasisi üzerine homojen bir şekilde dağılmasını sağlayan bir şasi tasarımının yapılması önem arz etmektedir. Kompozit malzemeler matriks ve takviye fazı olmak üzere 2 ana fazdan oluşmaktadır. Takviye fazına fiberler, matriks fazına ise epoksiler örnek olarak verilebilir. Takviye malzemesi olarak kullanılan fiberler kendi hallerindeyken yeterince esnek olmalarına rağmen matriks fazı içerisine takviye edildiklerinde elde edilen kompozit malzeme kırılğan bir hal almaktadır. Bu sebeple aracın şasisi sürüş esnasında yol düzensizliğinden ve dönüşler esnasında binen yatay-dikey kuvvetlerden dolayı oluşabilecek olan burulma ve gerilmeleri minimum seviyede tutabilecek şekilde olmalıdır. Kompozit malzemelerden imal edilmiş olan gövde ve şasiye sahip elektrikli araçlarda gövde ve şasinin birleşim noktalarına dikkat edilmeli, monokok bir yapının sağlanabilmesi için gereken önem verilmelidir. Prototip olarak üretilen MilAT S2 aracının şasi tasarımı Şekil 3' de görülmektedir.



Şekil 3. MilAT S2 aracının şasi yapısı

MilAT S2 aracının şasi elemanları sırasıyla 1,2,3,4 ve 5 olarak numaralandırılmıştır. Bu tasarımda 1 ile 2 numaralı parçalar yürür aksam elemanları vasıtasıyla araç şasisine aktarılan kuvvetleri karşılamakta, 3,4 ve 5 numaralı parçalar ise gövde-şasi rijitliğini sağlamakta ve aynı zamanda oluşabilecek burulmaların önüne geçmektedirler.

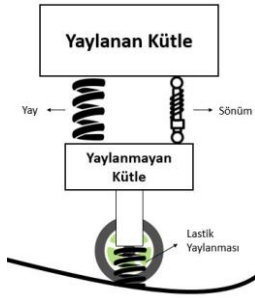
B. Yürür Aksamlar

Otomobillerde kullanılan yürür aksam sistemleri temel olarak süspansiyon sistemi ve jant-tekerlek kısımlarından oluşmaktadır. Süspansiyon sistemi, yol bozuklukları sebebiyle aracın hareketinin bozulmasına engel olmak için kullanılmaktadırlar. Bu sağladığı fayda dışında aşağıdaki belirtilenlere de hizmet etmektedir:

- Aracın yol tutuşu,
- Aracın frenleme performansı,
- Sürüş keyfi ve konforu,
- Aracın darbe ve titreşimlerden izole edilmesi.

Günümüzde ve geçtiğimiz zamanlarda otomobillerde birden çok süspansiyon sistemi çeşitleri kullanılmaktadır. Otomobilin sınıfına, kullanım amacına göre bu süspansiyon sistemi çeşitleri değişiklik göstermektedir. Genel olarak sınıflandırmak gerekirse, süspansiyon sistemleri Aktif, Yarı Aktif ve Pasif olmak üzere 3 sınıfa ayrılmaktadır. Prototip olarak üretilen elektrikli araçlarda kullanımı en uygun olan çeşit kullanılan yaylar dışında herhangi bir enerji elemanına ihtiyaç duymayan pasif süspansiyon sistemleridir [23].

Otomobillerde kullanılan pasif süspansiyon sistemlerinin temsili görseli Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Pasif süspansiyon sistemi

Şekil 4'te verilmiş olan pasif süspansiyon sistemi görselinde görülen yaylanan kütle aracın şasi ve üst kısımlarıdır. Yaylanmayan kütle ise araç şasisinin altında kalan yürür aksam (salıncak kolları, yaylar, fren kaliperleri vb.) parçalarıdır. Otomobillerde yaylanmayan kütle oluşturulan parçaların ağırlıklarının azaltılması aracın sürüş performansını ve yol tutuş kabiliyetini artırmaktadır. Bu sebepten dolayı tasarlanmış olan bir süspansiyon sistemindeki özel olarak üretilecek olan parçaların (salıncak kolları, kingpin taşıyıcı, rot kolları vb.) sonlu elemanlar analizlerinin yüksek titizlikle yapılması gerekmektedir.

Pasif süspansiyon sistemlerine dahil olan ve günümüz otomobillerinde sıklıkla kullanılan Mac Pherson ve Double Wishbone (Çift A Kol) süspansiyon sistemi olmak üzere 2 farklı süspansiyon sistemi çeşidi bulunmaktadır. Prototip elektrikli otomobiller gibi enerji verimliliğinin önemli olduğu uygulamalarda çift a kollu süspansiyon sisteminin kullanılması daha uygun olmaktadır. Çift a kol süspansiyon sistemlerinin sağladığı avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [24];

- Mükemmel viraj alma kabiliyeti,
- Hızlı bir şekilde dönüş yanıtı verme kabiliyeti,
- Aracın gidiş yönünün yüksek doğrulukla sağlanabilmesi,
- Süspansiyon sistemi parametrelerinin (kamber, kaster, toe açıları vb.) ayarlanabilmesi.

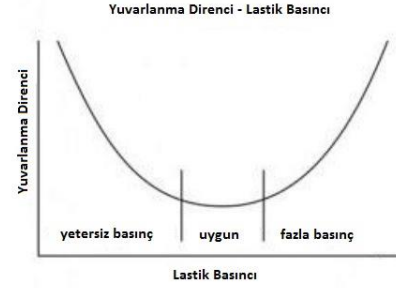
Elektrikli otomobillerde, süspansiyon sistemlerinin verimli olması kadar otomobil için seçilen lastiğin de verimli olması önemlidir. Fosil yakıtlı otomobillerde yuvarlanma direncinden kaynaklanan enerji kaybı, aracın toplam enerji kaybının %20'

sini oluşturmaktadır. Elektrikli otomobillerin toplam enerji kaybı fosil yakıtlı araçlara göre daha az olduğu için bu tarz araçlarda yuvarlanma direncinden kaynaklanan enerji kaybı daha yüksek oranlarda olmaktadır. Yuvarlanma direncinin Newton cinsinden olan formülü aşağıda görülmektedir [25].

$$F_{RO} = f \cdot m \cdot g$$

F_{RO} ; sürtünme kuvveti
 f ; sürtünme katsayısı
 g ; yerçekimi ivmesi (9,81 m/sn²)

Yukarıdaki formülden de anlaşılacağı üzere yuvarlanma direncinden kaynaklanan enerji kaybı direkt olarak aracın ağırlığına, lastik basınçlarına ve lastikler ile yol arasındaki sürtünme katsayısına bağlıdır. Lastik basıncına bağlı yuvarlanma direnci değişimi Şekil 5'de görülmektedir [25].



Şekil 5. Lastik basıncına bağlı yuvarlanma direnci değişimi

Yarışmalara katılacak olan ve prototip olarak üretilen elektrikli otomobiller için lastik üreticileri tarafından sürtünme katsayıları oldukça düşük olan lastikler üretilmiştir. Günümüz elektromobillerinde kullanılan Schwalbe Energizer Solar 90/80-R16 ve Michelin Radial 95/80-R16 lastiklerinin sürtünme katsayıları diğer birçok lastiğe göre çok daha düşüktür ve ayrıca daha hafif olduklarından dolayı aracın yaylanmayan kütlelerini azaltmaktadırlar.

Otomobillerde lastik seçimi kadar jant seçimi ya da jant tasarımı da önemli bir konudur. Enerji verimliliğinin önemli bir parametre olduğu yarışmalarda kullanılan elektrikli otomobiller için tasarlanan jantların mukavemet/ağırlık oranlarının yüksek olması aracın verimliliğini artırmaktadır. Bu sebepten belirlenen jant tasarımının mukavemet analizleri yüksek titizlikle yapılmalı, jant üzerine gelebilecek olan yükler hesaplanarak bütün ihtimaller değerlendirilmelidir. Tasarlanan jantin, araç yüküne bindiği durumdaki, çukur ve tümseklerden geçişindeki ve viraj alma sırasındaki statik analizleri yapılmalıdır. Jant tasarımları lastik üreticilerinden alınan bilgilere göre şekillenmektedir, taban genişlikleri farklı olan iki lastiğin aynı jant üzerinde kullanılması araç üzerinde gereksiz vibrasyonların oluşmasına dolayısıyla fazladan enerji kayıplarına neden olacaktır.

C. Elektrik Motoru ve Motor Sürücüsü

Doğru akım motorları endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fırçalı modellerin bazı alanlarda kullanımının kısıtlı olması Fırçasız Doğru Akım Motorlarının öne çıkmasını sağlamıştır. Fırçalı tipteki motorların sürekli olarak bakıma ihtiyaç duyması, değişken koşullarda ve sürekli kullanılan alanlarda dezavantaj sağlamaktadır. Bu sebeple

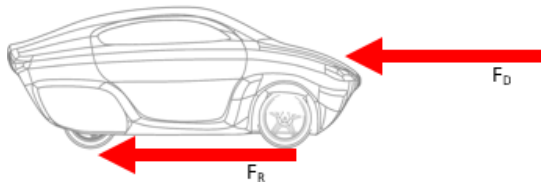
fırçasız doğru akım motorlarının geniş kullanım alanları vardır. Fırçasız doğru akım motorları yüksek performans değerleri ile ön plana çıkmaktadır. Yüksek moment ve eylemsizlik gerektiren uygulamalarda, dış rotorlu tipi olan fırçasız doğru akım motorları kullanılmaktadır. Araç silecek motoru, otomatik camlar, robotik, jeneratör, elektrikli araçlar, insansız hava araçları, beyaz eşya sektörü gibi birçok alanda bu tipteki motorlar kullanılmaktadır. Dış rotorlu uygulamalarda motor koruması ve sarsıntılara karşı görülen direnç gibi çeşitli dezavantajlar olmasına rağmen momentin doğrudan aktarımını (direct drive) sağlamaları nedeniyle herhangi bir aktarım organına ihtiyaç duyulmaması diğer tip motorlara göre daha yüksek verim ihtiyacı olan uygulamalarda (özellikle elektrikli araçlarda) tercih edilmektedir. Bunun haricinde fırçasız doğru akım motorları için kullanılan motor sürücüler diğer motorlara nazaran daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Dış rotorlu fırçasız doğru akım motorlarının moment değerlerinin yüksek olması sebebiyle özellikle elektrikli araçlarda kullanılmalarına olanak sağlar [26].

Kullanılacak olan fırçasız doğru akım motorunun tasarımı için ihtiyaç duyulan torka bağlı olarak öncelikle motor gücünün hesaplanması gerekir. MilAT S2 aracı için aşağıdaki yapılan hesaplar referans alınmıştır. Kullanılacak motorun aracı 60 km/saat hız ile hareket ettirmeye yeterli seviyede tork yaratacağı düşünülmüştür. Buna göre hesaplamalarda kullanılacak parametreler aşağıdaki tabloda verilmiştir;

TABLE I. PARAMETRELER

Referans hız	$V=60\text{ km/h}=16,62\text{ m/sn}$
Aracın ağırlığı	$m=250\text{ kg}$
Kullanılan lastiğin yarıçapı	$R=0,279\text{ metre}$
Kullanılan lastiğin sürtünme katsayısı	$C=0,009$
Aracın sürtünmeye maruz kalan ön alanı	$A=1,18\text{ m}^2$
Aracın sürtünme katsayısı (aerodinamik analizler neticesinde elde edilmiştir)	$C_D=0,08$
Hava yoğunluğu	$\rho=1,225\text{ kg/m}^3$
Aracın üst noktasından tekerlek göbeğine kadar olan mesafe	$r_D=0,6\text{ metre}$

Aracın hareket etmesi için yenilmesi gereken kuvvetlerin, yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere, Rüzgar Sürtünmesi [17] ve Yuvarlanma Direnci [25, 27] olduğu varsayılarak aşağıdaki hesaplar yapılmıştır;



Şekil 6. MilAT S2 aracının maruz kaldığı kuvvetler

$$F_D=(1/2).\rho.V^2.A.C_D=0.5*1,225*(16,62)^2*1,18*0,08$$

$$=15,97\text{ kg m/(sn}^2)=15,97\text{ Newton (Rüzgar Sürtünmesi)} \quad (3)$$

$$F_R=C.W=0.009*250*9,81=22,07\text{ kg m/(sn}^2)$$

$$=22,07\text{ Newton (Yuvarlanma Direnci)} \quad (4)$$

Yapılacak olan motorun tekerlek göbeklerinden bağlanıp tork uygulayacağı düşünüldüğünde, yuvarlanma direnci ve rüzgar sürtünmesinin tekerlek göbeği etrafında oluşturduğu tork değeri [27] hesaplanmıştır;

$$\tau_{motor}=\tau_D+\tau_R=15,97*0,6+0,279*22,07$$

$$=15,739\text{ Nm} \approx 16\text{ Nm} \quad (5)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda, MilAT S2 aracının 60 km/h hız ile seyahat etmesini sağlamak için kullanılacak fırçasız doğru akım motorunun sahip olması gereken tork değeri 16 Nm'dir. Bu tork ihtiyacını sağlayabilecek uygun motorun gücü de aşağıda hesaplanmıştır;

$$w_{rpm}=(V*1000)/(60*2\pi r)=(60*1000)/(60*2\pi*0,279)$$

$$=570,45\text{ d/d} \quad (6)$$

$$w=w_{rpm}*(2\pi)/60=570,45*2\pi/60=59,73\text{ rad/sn} \quad (7)$$

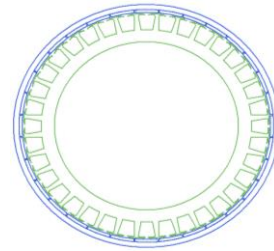
$$P_{dönme}=\tau_{motor}*w=16*59,74=955,84\text{ Watt} \quad (8)$$

Bulunan $P_{dönme}$ değeri [8] motorun sürtünme ve elektriksel kayıpları ihmal edildiğindeki değeridir. Bu kayıplar ve aracın sürekli olarak 60 km/saat hızda gitmeyeceği düşünülürse nominal gücü 1 kW olan bir motorun kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Yapılan hesaplamalar ışığında fırçasız doğru akım motorunun tasarımları ve sonlu elemanlar yöntemiyle elektromanyetik analizleri ANSYS Electromagnetics Suite Maxwell [28] programı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Buna göre tasarlanan motorun özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

TABLE II. TASARLANAN MOTORUN ÖZELLİKLERİ

ÖZELİKLERİ	DEĞERLERİ
Çalışma Gerilim Aralığı	70-200V
Nominal Gücü	1 kW
Azami Gücü	2 kW
Kutup Sayısı	32
Slot Sayısı	36
Nominal Devir	600 rpm
İşletim Sıcaklığı	100 °C
Rotor Pozisyonu	Dışsal



Şekil 7. ANSYS Electromagnetics Suite Maxwell programında tasarlanan dış rotorlu fırçasız doğru akım motoru

TÜBİTAK tarafından 21-27 Ağustos 2017 tarihleri arasında gerçekleştirilecek Alternatif Enerjili Araç Yarışmaları öncesinde, tasarlanan motor öncelikle bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları ile 3 boyutlu olarak hazırlanacak ve ardından üretime geçilecektir.

Elektrikli araçlarda kullanılan fırçasız doğru akım motorları yaygın olarak hall effect sensörleri ile birlikte kullanılır. Hall effect sensörü fırçasız doğru akım motorunun komütasyon adımlarını yakalamak amacıyla kullanılır. Bu komütasyon adımları farklı komütasyon yöntemleri ile sürülebilmektedir. Komütasyon yöntemleri; trapezoidal komütasyon, sinusoidal komütasyon ve vektör kontrollü komütasyon olarak 3 başlıkta toplanır. Trapezoidal komütasyon yönteminde fırçasız doğru akım motorunun faz sargılarına kare dalga uygulanır. Trapezoidal komütasyon diğer komütasyon yöntemlerine göre yüksek devirlerde verimli bir çalışma yöntemidir. Ancak düşük devirlerde tork üretiminde dalgalanmalara sebep olmaktadır. Sinusoidal komütasyon yönteminde fırçasız doğru akım motorunun fazlarına sinusoidal dalga uygulanır. Sinusoidal komütasyon, düşük devirlerde tork üretimindeki dalgalanmaları ortadan kaldırmaktadır ancak yüksek devirlere sinusoidal komütasyon yöntemi verimliliğini kaybetmektedir. Komütasyon yöntemleri arasında en gelişmiş yöntem vektör kontrollü komütasyondur. Vektör kontrollü komütasyon yönteminde fırçasız doğru akım motoruna, trapezoidal komütasyon yöntemine benzer şekilde kare dalga uygulanır. Ancak fırçasız motor doğru akım motorunun fazları arası ölçüldüğünde sinusoidal bir dalga biçimi gözlenir. Vektör kontrollü komütasyon düşük devirlerde tork üretimindeki dalgalanmaları ortadan kaldırdığı gibi yüksek devirlerde de verimliliğini korumaktadır [29].

Elektrikli araçlarda kullanılacak olan motor sürücünün tasarımında veya seçiminde sürücü iki ayrı ana başlıkta incelenmelidir. Bu ana başlıklardan ilki motor sürücünün anma gücüdür. Motor sürücünün anma gücü belirlenirken aracın ağırlığı, batarya gerilimi ve batarya deşarj akım kapasitesi değerleri önemli rol oynamaktadır. Elektrik araç momentsiz konumda iken motorun kalkış ataletini yenerek aracın ivmelenebilmesi için motor sürücünün yüksek güçlere cevap verebilmesi gerekmektedir. Araç ağırlığını düşürmek ve batarya gerilimini yükseltmek kalkış ataletini yenmede pozitif etki yaratmaktadır. MilAT 1453 topluğunun çalışmalarında görüldüğü üzere kalkış anında çekilen akımları karşılayabilmek için en az 3C deşarj kapasitesine sahip batarya paketleri oluşturmak ve bu akımları karşılayabilecek motor sürücü kullanmak aracın dinamik sürüşünü önemli derecede etkilemektedir. Motor sürücü tasarımında veya seçiminde ikinci önemli konu ise motorun nominal gücüdür. Motor sürücü tasarımında veya seçiminde elektrikli aracın en yüksek olasılıkla sürüleceği hız değeri ve elektrikli aracın bu hız değerini koruyabilmesi için ihtiyaç duyduğu kuvvet mekaniksel olarak hesaplanır. Bu mekaniksel kuvvet değerine eş değer gelen motor ve motor sürücünün cevap vereceği mekaniksel güç, motorun açılma hızı ve ürettiği torkun üzerinden hesaplanır. Bu hesaplamalar göz önüne alınarak motor ve motor sürücü tasarımında veya seçiminde motor ve motor sürücünün en verimli çalışma noktası belirlenir.

D. Batarya Paketi ve Batarya Yönetim Sistemi

Lityum tabanlı bataryalar yüksek enerji ve güç yoğunluğu, %100'e yakın coulomb verimliliği, yüksek çevrim ömrü, hafıza etkisinin olmaması ve düşük iç deşarj kapasitesi sebepleriyle günümüzde elektriksel sistemlerin enerji ihtiyacını karşılamak için en ekonomik çözümler olarak tercih edilmektedir [30]. Bu kapsamda lityum tabanlı bataryaların özellikle telekomünikasyon, tüketici elektroniği, yenilenebilir enerji, robotik ve elektrikli araç uygulamalarında enerji depolama ve güç kaynağı olarak kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır [31, 32]. Ancak lityum tabanlı bataryalar, hücre elektrokimyasal özellikleri sebebiyle bir takım tasarım sınırlamalarına sahiptir. Bunlar aşırı şarj, aşırı deşarj ve aşırı sıcaklık sınırlamalarıdır. Lityum tabanlı hücreler bu kısıtlar gözetilmeden kullanıldığında yanma, ergime, patlama gibi geri dönüşü mümkün olmayan kazaların meydana gelmesine neden olabilmektedir. Bu sebeple lityum tabanlı enerji depolama ünitelerinde batarya güvenliğini sağlamak, servis ömrünü arttırmak, şarj ve sağlık durumlarını kontrol ederek batarya performansının iyileştirilmesi için batarya yönetim sistemlerine (BYS) ihtiyaç duyulmaktadır.

Batarya hücrelerinin dengelenmesi batarya yönetim sisteminin ana görevlerinden biridir. Dengeleme işleminde amaç şarj/deşarj işleminde tüm batarya hücrelerinin aynı gerilim düzeyinde tutulmasıdır. Dengeleme işlemi aktif ve pasif dengeleme olmak üzere iki çeşittir.

E. Yerleşik Şarj Birimi

Bir bataryanın şarj ve deşarj olma kabiliyeti [33, 34] bataryanın tasarımı, şarj durumu, sıcaklığı, daha önceki çevrim geçmişi ve kullanımı gibi bir çok unsura bağlıdır. Bu çoğul bağımlılık, bataryanın şarj durumu tespitini ve şarj yöntemlerini karmaşık hale getirmektedir. En çok kullanılan batarya şarj yöntemleri; sabit akımda şarj, sabit gerilimde şarj ve sabit akım-sabit gerilim (iki basamaklı) şarj olarak sıralanabilir. Batarya şarj ederken genel eğilim [34, 35], bataryaya zarar vermeden kısa sürede şarj olabilmesi için şarj cihazının ve bataryanın limitleri çerçevesinde, bataryaya maksimum şarj akımı sağlamaktır. Bu bağlamda, şarj yöntemi büyük şarj ve sızıntı şarjı [36] olmak üzere iki bölüme ayrılabilir. Enerji transferinin büyük kısmı, büyük şarj kısmında ve büyük şarj akımıyla gerçekleşir. Sonra sızıntı şarjı ile ve küçük akımlarla tamamlanır. Şarj süresinin olabildiğince kısa olması, büyük şarj kısmında mümkün olduğunca büyük şarj akımı sağlanmasıyla gerçekleşir. Bataryanın aşırı şarja maruz kalmaması için şarjın sonlarına doğru akım azaltılır [37, 38]. Böylece bataryanın aşırı şarj olup gaz çıkışı ve elektrolit kaybına uğraması nedeniyle ömrünün kısalması ve performansının azalması engellenmiş olur [34].

Sabit Voltaj: Bir sabit voltaj (C-V) şarj kaynağı bataryayı önceden ayarlanmış bir voltaj değerinde akım vererek zorlamaya çalışır. Genellikle ayar-noktası veya ayar voltajı olarak kullanılır. Bu voltaj değerine ulaşıldığında ise şarj cihazı bataryada bu sabit voltajı korumak için ihtiyaç kadar akım beslemeye devam eder. Bundan dolayı da sabit voltaj şarjı olarak isimlendirilir. Ayar voltajının doğruluğu buradaki hassas noktadır. Eğer bu voltaj değeri fazla olursa bataryanın tekrar şarj edilebilme sayısı (yani batarya ömrü) azalır. Voltaj değeri düşük olursa da batarya tam şarj olamaz.

Sabit Akım: Bu yöntemde seri bağlı olan tüm batarya hücrelerinde şarj akımı eşittir. Bataryalarda şarj durumu arttıkça beraberinde iç direncinde artış göstermesinden dolayı, sabit akımda şarja devam edebilmek için gerilim sürekli artırılmalıdır [39]. Ancak bu yöntemde seçilen şarj akımı çok önemlidir. Çünkü çok yüksek seçilen şarj akımı bataryanın kısa sürede şarj olmasına imkân sağlarken diğer yandan bataryanın aşırı şarja maruz kalması ve fazla ısınması nedeniyle zarar görmesine sebep olabilir. Düşük akımda şarj ise şarj süresinin uzamasına neden olur [35]. Bu tasarım genellikle nikel-kadmiyum ve nikel-metal hidrit hücreleri veya piller için kullanılır.

Sabit Akım-Sabit Gerilim: Bu yöntemde [35], bataryaya sabit akım ve sabit gerilim periyotları olmak üzere iki periyotta şarj uygulanır. Bataryaların aşırı şarja karşı çok hassas olmaları, şarjın başlangıcında sabit gerilim uygulandığında kaynaktan aşırı akımlar çekilmesi ve şarjın olabildiğince kısa olması istendiğinden dolayı şarj önceden ayarlanmış bir gerilim seviyesine ulaşana kadar sabit akımla başlar, sonrasında sabit gerilimle devam eder ve biter.

Şarj Cihazı Topolojileri

Şarj cihazları, normal olarak, aküye uygulanan şarj voltajını kontrol etmek için bazı voltaj regülasyonlarına sahiptirler. Şarj devresi teknolojisinin seçimi genellikle bir fiyat-performans karşılaştırmasıdır. Bazı örnekler şu şekildedir;

Anahtarlama Şarj Cihazları (Switchmode Charger): Gerilimi kontrol etmek için darbe genişliği modülasyonunu kullanır. Giriş ve batarya voltajında geniş varyasyonlar üzerinde düşük güç dağılımı sağlar. Doğrusal regülatörlerden daha verimli ama daha karmaşıktır. Darbeli dalga formunu düzeltmek için büyük bir pasif LC (endüktans ve kondansatör) çıkış filtresi gerekir. Komponent boyutu mevcut kullanım kapasitesine bağlıdır ancak gerekli trafo, indüktör ve kapasitörlerin çalışma frekansıyla ters orantılı olduğu için, daha yüksek bir anahtarlama frekansı (tipik olarak 50 kHz - 500 kHz) kullanılarak azaltılabilir. Yüksek akımlarda anahtarlama, elektromanyetik girişim (Electro Magnetic Interference-EMI) ve elektriksel gürültüye neden olur.

Doğrusal Regülatör: Daha az karmaşık fakat daha fazla kayıplıdır. Transistörler üzerindeki gerilim düşümünden kaynaklanan ısının dağıtılması için soğutucu kullanılması gerekmektedir. Tam yük akımı regülasyon transistöründen geçer ve dolayısıyla yüksek güçlü bir cihaz olmalıdır. Anahtarlama olmadığı için saf DC çıkıştır ve bir çıkış filtresine ihtiyaç duymaz. Bu sebeple elektromanyetik girişim ve elektriksel gürültü sorunu da yaşanmamaktadır. Düşük gürültülü kablolu ve radyo uygulamaları için uygundur. Daha az bileşen kullandıkları için oldukça az yer kaplarlar.

Şönt Regülatörler: Şönt düzenleyiciler, fotovoltaik (PV) sistemlerde yaygın olarak bulunurlar çünkü yapıları nispeten ucuzdur ve tasarımı basittir. Şarj akımı, fotovoltaik panel ve depolama aküsüne paralel bağlı bir anahtar veya transistör ile kontrol edilir. Akünün, önceden belirlenmiş bir sınır değerine ulaştığı zaman transistör vasıtasıyla PV çıkışını şönt üzerinde kısa devre yaparak aşırı gerilimi önler. Batarya voltajı PV besleme gerilimini aşarsa, şönt de batarya şöntü üzerinden boşaltarak aşırı gerilim nedeniyle PV panelini hasardan korur.

Seri bağlı regülatörler genelde daha iyi kontrol ve şarj özelliklerine sahiptir.

Buck Regülatörü: Kademeli bir DC-DC dönüştürücü içeren bir anahtarlama regülatörüdür. Yüksek verimlilik ve düşük ısı kayıplarına sahiptirler. Geleneksel çıkış modu regülatörlerine kıyasla yüksek çıkış akımlarını idare edebilir ve daha az RF paraziti üretirler. Düşük anahtar gerilimi ve küçük bir çıkış filtresi ile basit ve transformatör gerektirmeyen bir yöntemdir.

Darbeli Şarj Cihazı: Bu yöntemde anahtarlana bilen bir dizi transistör kullanılır. Düşük pil voltajlarıyla transistör açık kalır ve kaynak akımını direkt olarak bataryaya iletir. Akümülatör voltajı arzu edilen regülasyon voltajına yaklaştığında, seri bağlı transistörler istenen voltajı korumak için giriş akımını darbeler. Çevrimin bir kısmı için bir anahtar modu kaynağı olarak işlev gördüğü için daha az ısı yayar ve zamanın doğrusal bir kaynağı parçası olarak işlev görür çünkü çıkış filtresi daha küçük olabilir. Bu işlem, şarj sırasında aktif kimyasalların kademeli olarak stabilize edilmesine izin vermediğinden, bataryaya zarar verebilecek bir uzun süreli yüksek şarjla mümkün olduğunca daha hızlı şarj işlemine izin verir. Darbeli şarj cihazları genellikle giriş kaynağı üzerinde akım sınırlamasına ihtiyaç duymaktadır güvenlik nedeniyle yapılan bu sistem maliyetleri arttırmaktadır.

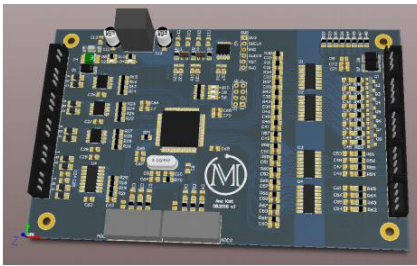
Endüktif Şarj: Bir transformatörün şarj cihazı çıkışını regüle etmesi prensibine göre çalışır [40]. Ferrerezonanslı transformatörler, sabit gerilim veren transformatör ya da otomatik kademeli transformatör olarak da bilinirler. Endüktans kontrol ederek gerilim ayarlaması yapma mantığına göre çalışırlar [39]. Bir ferrerezonanslı transformatörün primer tarafında, sadece primer sargısı bulunur. Sekonder tarafında ise çıkış sargısı ve rezonans sargısı bulunur [41]. Sekonder tarafta kullanılan kondansatör, rezonans karakteristiğini belirler. Transformatörün çalışması esnasında rezonansa giren 3. sargı, nüvenin doyuma girmesini sağlar. Doyuma giren nüve nedeniyle çıkış gerilimi kare dalgadır [39]. Çıkışın kare dalga olması, doğrultularak elde edilen gerilimin daha az dalgalı olmasını sağlar. Ayrıca giriş gerilimi dalgalanmalarında çıkış gerilimi olabildiğince sabittir [41]. Ancak hat frekansındaki küçük değişimlerden oldukça etkilenirler. Elektronik kontrole sahip olmamaları nedeniyle sağlam ve güvenilirlerdir. Fakat gelişmiş kontrol devrelerinin olmaması, batarya şarj ihtiyacını karşılamakta birçok sınırlamayla karşılaşmalarına neden olur [40]. Sonuç olarak bataryayı şarj ederler. Ancak bataryanın kolayca aşırı şarja maruz kalmasına neden olabilirler. Geleneksel transformatörlere göre daha fazla ısı yaymaları sebebiyle verimleri düşüktür. Düşük frekansla çalışmaları nedeniyle sesli çalışırlar aynı zamanda büyük ve ağırdırlar. Yüksek güçlerde yüksek verimle çalışırken (%89-%93) düşük güçlerde verimleri düşüktür (%60)[40].

MiLAT 1453 Topluluğu'nun yarışlarda kullandığı elektrikli otomobillerde lityum iyon temelli batarya kullanılmakta ve bu bataryalar yukarıda bahsedildiği gibi sabit akım- sabit gerilim yöntemi ile batarya şarj edilmektedir. 2017 TÜBİTAK Alternatif Enerjili Araç Yarışlarında yarışacak olan AZAK için yapılan yerleşik şarj birimi tasarımında ağırlık parametresi düşük tutulmak istendiği için yerleşik şarj biriminde anahtarlama güç kaynağı (SMPS) topolojisi kullanılarak tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Ağırlık parametresinin düşük

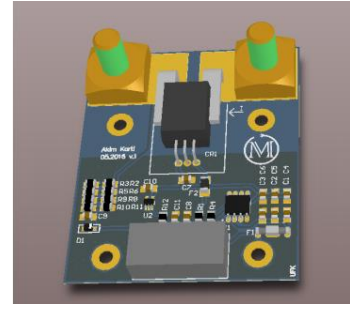
tutulması amacıyla paralel olarak güç faktörü düzeltme yöntemi kullanılmamıştır. Güç faktörü düzeltme, enerji verimliliğini pozitif yönde etkilemesine karşın 600 W güç ile batarya şarjı gerçekleştirildiği için oluşabilecek olan kayıplar göz ardı edilmiştir. Tasarımın alternatif akım giriş katmanında elektromanyetik uyum için gerekli olan ortak mod ve diferansiyel mod filtrelemeler gerçekleştirilmiştir. Doğrultma katmanı ve yüksek kapasitif filtrelemenin ardından güç anahtarlama kısmında piyasada yaygın olarak kullanılan IRFP460 model MOSFET'ler ile tam köprü topolojisi referans alınarak tasarım gerçekleştirildi. Güç kaynağının izoleli kısmında sabit akım-sabit gerilim yöntemini uygulamak için ARM Cortex M3 tabanlı mikrodenetleyici kullanılmıştır. Güç faktörü düzeltme kullanılmadığı için oluşan güç kayıpları göz ardı edildiğinde tam köprü topolojisinin sağladığı verim avantajı ile yerleşik şarj istasyonunun ortalama %85 verim ile çalıştığı gözlemlenmiştir.

F. Araç İçi Haberleşme ve Uzaktan İzleme

Bir elektrikli otomobilin üzerinde yer alan elektronik sistemler modüler yapı disiplinine uygun olarak tasarlanmalıdır. Modüler yapı, araç içerisinde çıkabilecek olan arızaları ve yaşanabilecek olan olumsuzlukları kısa sürede gidermek açısından önemlidir. Araç üzerindeki elektronik sistem bileşenleri; batarya yönetim sistemi, telemetri ana modülü, telemetri analog modülü, araç gösterge modülü, RF verici, motor sürücü olarak sıralanabilir. Modüller arasındaki çalışma hiyerarşisinde telemetri ana modülü en üst katmanda bulunmaktadır. Telemetri ana modülü RS-485 arayüzü ile batarya yönetim sisteminden batarya paketi ile ilgili bilgileri, analog arayüz ile telemetri analog modülünden aracın enerji tüketimi ile ilgili bilgileri ve dijital arayüz ile motor sürücünden motor sürücünün durumu ile ilgili bilgileri toplar. Bu bilgiler kapsamında aracın elektronik işleyişi hakkında çıkarımlar yaparak gerekli bilgileri RF verici aracılığıyla yer ekibine ve RS-485 arayüzü aracılığıyla araç gösterge modülüne iletir. Aşağıdaki şekillerde MilAT S2 aracının haberleşme sistemini oluşturan kartların tasarımları görülmektedir;



Şekil 8. Telemetri ana modül görseli



Şekil 9. Telemetri analog modül görseli



Şekil 10. Araç gösterge modülü

TÜBİTAK yarış kurallarına uygun olarak yarış boyunca aracın tüm elektronik sistemlerinin sürücü ve yer ekibi tarafından izlenilmesi ve takip edilmesi gerekmektedir. Bu izleme ve takip durumunu sağlamak amacıyla bir telemetri sistemi tasarlanmalıdır. Telemetri sistemi sayesinde yer ekibi; aracın batarya paketinin sıcaklığını, batarya paketinde yer alan hücrelerin gerilimlerini, batarya paketinde yer alan hücrelerin denge durumlarını, aracın batarya paketinden çektiği elektrik akımını ve aracın hızını anlık canlı olarak takip edebilmektedir. Araç içerisindeki işleyen telemetri devresi RS-485 arayüzü ile araç üzerinde yer alan RF vericiye bilgileri gönderir. Yer ekibinde bulunan RF alıcı vasıtasıyla RS-485 arayüzü ile bilgiler bilgisayara aktarılır. Bilgisayar üzerinde veri doğrulama, veri ayıklama ve verileri arayüz ortamına aktarma işlemleri gerçekleştirilir. Telemetri devresi, RF alıcı, RF verici ve bilgisayar bileşenlerinden oluşan komple sistem Telemetri Sistemi olarak adlandırılır.



Şekil 11. Telemetri arayüzü

III. MILAT S2'NİN ÜRETİMİ VE GERÇEKLENMESİ

Milli Araç Tasarımı hedefiyle yola çıkan MilAT (Milli Araç Tasarımı) 1453 Topluluğu, İstanbul Üniversitesi Elektrik-

Elektronik Mühendisliği Bölümü akademisyenleri ve öğrencileri tarafından kurulmuştur. Sonrasında farklı mühendislik dallarının öğrencileri de ekibimize katılmıştır. Gönüllü genç beyinlerin oluşturduğu ekip, özgün tasarımlar ve öncü teknolojiler geliştirme hedefiyle elektrikli araç üretimi çalışmalarını yürütmektedir.

Kendini geliştirmenin ne kadar önemli olduğunu farkında olan topluluğumuz, 2015 yılında TÜBİTAK Alternatif Enerjili Araç Yarışlarında Türkiye ikincisi olmuştur. 2016 yılı içerisinde Shell-Eco Marathon ve TÜBİTAK yarışları konseptine uygun yeni bir araç tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ekonomik yetersizliklerden ötürü topluluğumuz 2016 Shell-Eco Marathon yarışmalarına katılamamıştır ancak aşağıda üretim aşamaları anlatılan aracımız 2016 yılında TÜBİTAK Electromobile Efficiency Challenge yarışmasında şampiyon olmuştur. 2017 yılında gerçekleştirilecek olan TÜBİTAK Electromobile Efficiency Challenge yarışmasına katılabilmek için tamamı yerli üretim yeni bir araç ve alt parçaları üretme konusundaki çalışmalarımız son hızla devam etmektedir. Bu araçta bir elektrikli otomobilin en önemli elektronik ekipmanları olan Motor, Motor Sürücü, Yerleşik Şarj Birimi, Akıllı Kontrol Sistemi, Kullanıcı Arayüzü, Batarya Paketi ile Batarya Yönetim Sistemi ve Uzaktan İzleme Sistemi topluluğumuz tarafından tasarlanıp üretilmektedir. Elektronik ekipmanların yanı sıra bir otomobilin en önemli parçalarından olan kompozit aerodinamik gövde ile şasi, mekanik yürür aksam sistemi, direksiyon sistemi, iç trim ve jant yine topluluğumuz tarafından tasarlanıp üretilmektedir. Türkiye genelinde kalitesini kanıtlayan bir ekip olarak yakın gelecekteki hedeflerimizden biri tüm dünya ülkelerinden ekiplerin katılımıyla gerçekleştirilen Shell-Eco Marathon organizasyonun 2018 yılı yarışlarına katılmaktır.

Tüm bu çalışmaların yanısıra TÜBİTAK Uluslararası İnsansız Hava Araçları yarışmaları için topluluğumuz bünyesinde Sabit Kanatlı İHA ve Döner Kanatlı İHA Takımları oluşturulmuştur. Her iki takımın çalışmaları da büyük bir hızla devam etmektedir.

Aşağıda 2016 yılında TÜBİTAK Electromobile Efficiency Challenge yarışmasında şampiyon olan MilAT S2 aracımızın üretim aşamaları anlatılmaktadır.

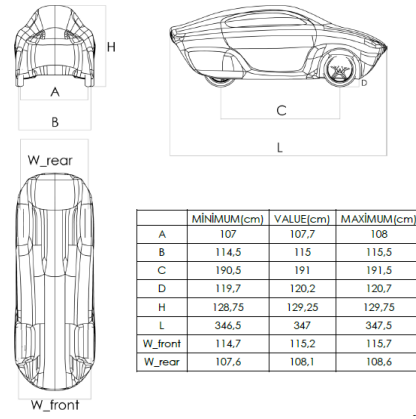
A. Gövde Üretimi

MilAT S2 aracının tasarım seçenekleri SolidWorks Flow Simulation modülü ile akış analizine tabi tutulmuş ve sonuçlar içerisinde en düşük C_d katsayısına (aracın sürtünme katsayısı) sahip olan model tercih edilmiştir. Aşağıdaki şekilde aerodinamik akış analizi ile ilgili bir görsel verilmiştir;



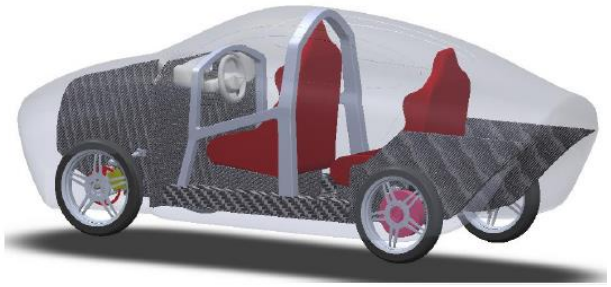
Şekil 12. Aerodinamik akış analizi

En düşük C_d katsayısına sahip olan modelin boyutları aşağıdaki şekilde verilmiştir;



Şekil 13. MilAT S2'nin boyutları

Aşağıdaki şekilde ise MilAT S2 aracının şasi kısmı görülmektedir;



Şekil 14. Şasi

Aracın şasi parçaları 20, 10 ve 5 mm'lik, 80 kg/m³ yoğunluğa sahip yapısal köpük içeren ve karbon takviyeli sandviç plakalarından oluşmaktadır. Sandviç plakayı oluşturmak için 200 gr/m² yoğunluğa sahip twill örgü yapısında karbon fiber kullanılmıştır. Şasinin oluşturulması için parçalar birbirine önce kompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış sonrasında ise laminasyon yöntemiyle birleştirilmiştir.

Şekilde görülen alüminyum parçalar rollcage görevi görmek üzere tasarlanmış ve üretilmişlerdir. Kafes yapısının desteklenmesi ve ön ile arka salıncakların bağlantılarının yapıldığı kasaların birbirlerine yüksek sağlamlıkla bağlanabilmesi için karbon fiber U profillerinin içerisinde Alüminyum 6063- T6 kutu profiller geçirilmiştir. Kasalara olan bağlantılar her profilde 4 Adet M8 civata ile sağlanmıştır.

Yukarıdaki U profillere ek olarak 2016 kuralları gereği gövdeden bağımsız roll bar ile roll cage tasarlanmış ve üretilmiştir. Yapılan tasarımlar sonunda ağırlık/mukavemet oranı yüksek olduğu için 7075-T6 Alüminyum tercih edilmiştir.

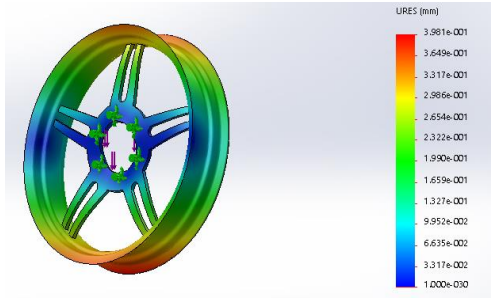
Aracın dış kabuk konstrüksiyonunda yüksek performans ve düşük yoğunluk özelliklerini bir arada elde edebilmek amacıyla aracın karbon fiber sandviç yapıdan üretilmesi kararlaştırılmıştır. Matris malzemesi olarak kullanılacak reçinenin özellikleri ve karışım oranları yıllar süren çalışmalar sonucunda elde edilen tecrübeyle özel olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak kompozit malzeme ve yapısal köpük bahsi geçen reçine kullanılarak ve vakum paketleme (vacuum bagging) yöntemi ile araç gövdesinin üretimi gerçekleştirilmiştir.

B. Mekanik Aksamaların Üretimi

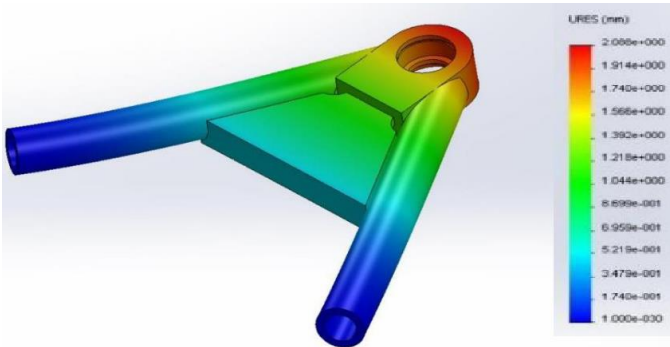
MilAT S2 aracı için birçok jant tasarımı yapılmış, ağırlık/mukavemet oranı dikkate alınarak bir jant tasarımına karar verilmiştir. Jant analizi iki aşamada yapılmıştır. İlk olarak janta gelen yatay kuvvetler uygulanmış, oluşan gerilmeler ve yer değiştirmeler incelenmiştir. Analizin bu aşamasında jantın mekanik dayanım konusunda yeterli olduğu görülmüştür.

Analizin ikinci kısmında ise, ani bir frenleme anında jantta oluşacak gerilmeler ve yer değiştirmeler incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda da en yüksek ağırlık/mukavemet oranına sahip olan jant belirlenmiş ve üretilmiştir.



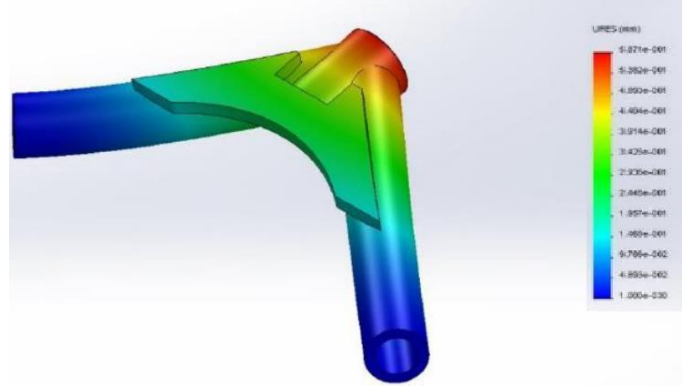
Şekil 15. Tasarlanan jantın analizleri

Araç manevra sistemi önde bulunmaktadır. Ön tekerleklere ait salıncak kolları alt ve üst ayrı olmak üzere statik analize tabi tutulmuştur. Salıncak kolları açısallara bağlandığı noktalardan mesnetlenmiş, mafsal kafaların bulunduğu noktalardan dikey düzlemde kuvvet uygulanmıştır. Alt salıncak kollarına uygulanan analizlerden sonra ağırlık/mukavemet oranı en yüksek olan alt salıncak koluna karar verilmiştir.



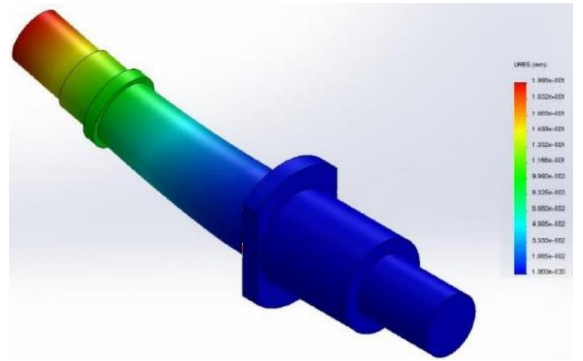
Şekil 16. Alt kol analizleri

Üst salıncak kollarına uygulanan analizlerden sonra ağırlık/mukavemet oranı en yüksek olan üst salıncak koluna karar verilmiştir.



Şekil 17. Üst kol analizleri

Ön salıncak miline uygulanan analizlerden sonra ağırlık/mukavemet oranı en yüksek olan üst salıncak koluna karar verilmiştir.



Şekil 18. Ön salıncak mili analizleri

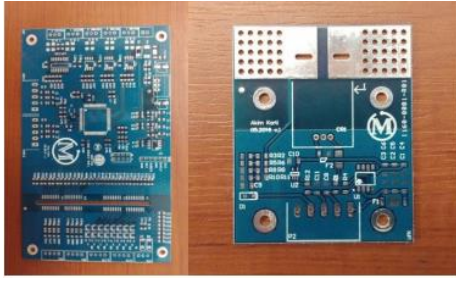
Şekil 15-18'de görülen FEM analizlerinde kırmızı ile gösterilen bölgelerde en fazla gerilme oluşurken mavi ile gösterilen kısımlarda ise en az gerilme oluşmaktadır.

Arka tekerlekler için özel bir salıncak sistemi kullanılmamıştır. Araç hafif olduğu için arka sol tekerlekte doğrudan aktarmalı fırçasız doğru akım motoru kullanılmıştır. Dolayısıyla araç arkadan itişlidir.

Araçta kullanılan tüm mekanik aksamaların tasarımları, bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları kullanılarak yapılmış ve yine bu programlarda gerekli analizler tamamlanmıştır. Analizlerin sonucunda ise bilgisayar destekli üretim (CAM) yöntemleri ile talaşlı imalat tekniği kullanılarak aksamaların tamamı üretilmiştir.

C. Elektronik Bileşenlerin Üretimi

MilAT 1453 Topluluğu'nun ürettiği MilAT S2 aracında yer alan telemetri sistemi, batarya yönetim sistemi ve diğer tüm elektronik bileşenler Altium Designer programı aracılığıyla tasarlanmıştır. Tasarımların baskı devre üretimleri ise yerli bir firma tarafından gerçekleştirilmiştir. Baskı devre üretiminin ardından devreler krem lehim kullanılarak reflow fırınında üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 19. Üretilen elektronik kartlardan bazıları



Şekil 20. Komponentlerin dizgi aşaması

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bilindiği üzere TÜBİTAK tarafından düzenlenen Alternatif Enerjili Araç Yarışlarında 2009 yılından itibaren İstanbul Üniversitesi farklı dallarda çoğu şampiyonluk olmak üzere çeşitli dereceler elde etmiş ve söz konusu yarışlara damgasını vurmuştur. 2015 yılında kurulan ve Milli Araç Tasarımı hedefiyle yola çıkan MilAT (Milli Araç Tasarımı) 1453 Topluluğu Elektromobil ve İnsansız Hava Araçları konularında çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Ekip ismine yaraşır bir şekilde çalıştıkları sektörde kullanılan herhangi bir aracın önemli bileşenlerini yerli ve milli olarak üretebilmek amacıyla başarıyla yoluna devam etmektedir.

Yeni açıklanan (31.10.2016) TÜBİTAK 2017 Alternatif Enerjili Araç Yarışları kuralları gereğince aşağıda belirtilen unsurlardan en az 4 tanesinin (ilk 4 tanesi zorunlu) yarışmaya katılan takımlar tarafından yerli olarak üretilmesi gerekmektedir;

- Motor
- Motor Sürücü
- Batarya Yönetim Sistemi
- Yerleşik Şarj Birimi
- Telemetri (Veri Toplama Sistemi)
- Akıllı Kontrol Sistemi
- Batarya Paketlenmesi
- Elektronik Diferansiyel Sistemi

Önceki yıllarda yukarıda bahsedilen unsurlardan sadece iki tanesinin yerli olması TÜBİTAK tarafından kabul edilmekteydi. Bu durum yarışmaya katılan takımları sistem entegrasyonu yöntemini uygulamak zorunda bırakıyordu.

Ülkemizin teknolojik bilgi birikimine katkıda bulunacağını düşündüğümüz bu karar doğrultusunda MilAT (Milli Araç Tasarımı) 1453 Topluluğu Elektromobil takımı olarak Ağustos 2017 yılında düzenlenmesi planlanan TÜBİTAK Alternatif Enerjili Araç Yarışlarında yukarıda bahsedilen 7 unsurun

tamamının (araçta tek motor kullanıldığı için Elektronik Diferansiyel Sistemi uygulanamamaktadır) yerli ve milli olarak takımımız tarafından üretilmesi amaçlanmaktadır.

Topluluğumuz ile aynı düşünceler içinde olduğumuz diğer üniversite takımlarının da özverili çalışmaları sayesinde; elektrikli araçlar konusunda dünyadaki yenilikleri takip ederek, üniversite-sanayi işbirliği çerçevesinde, Türkiye sanayisinin ihtiyaçları doğrultusunda milli alt sistemler üreterek tamamen Milli araçlar tasarlamak, geliştirmek ve elektrikli araçlar konusunda dışa bağımlılığı minimize etmek yolunda önemli adımlar atılacaktır.

Bu çalışmada bir elektrikli otomobilin üretilmesi için önemli hususlar ve ihtiyaç duyulan tasarımların genel özellikleri anlatılmıştır. Bir elektrikli otomobilin üretim aşamalarını genel hatlarıyla anlatan bu ve bunun gibi çalışmalar sayesinde ülkemizde elektrikli araçlar konusunda yürütülen projelerin devamlılığı sağlanmış olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 23442 numaralı “Elektronik Kontrol Ünitesi için Veri Toplama Sistemi Gerçeklenmesi” başlıklı ve FBA-2016-20972 numaralı “İnsansız Hava Aracı Tasarımı ve Uygulaması” başlıklı Normal Araştırma Projeleri, 23573 numaralı “Elektrikli Araçlar için Fırçasız Doğru Akım Motoru Tasarımı” başlıklı Yüksek Lisans Tez Projesi ve 52033 numaralı “Değiştirilebilir Manyetik Alanlı Fırçasız DC Motor ve Sürücüsünün Üretimi” başlıklı ve 28029 numaralı “Elektrikli Binek Otomobilin Geliştirilmesi” başlıklı Güdümlü Projeleri ile desteklenmiştir. Bu bağlamda İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği’ne ve 2009 yılından bu yana Alternatif Enerjili Araç Yarışlarını düzenleyerek gençlerimizin ve akademisyenlerimizin gelişimine katkı sağlayan TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1]. S.A. Nasar, I. Boldea, L.E. Unnewehr, “Permanent Magnet, Reluctance and Self-Synchronous Motors”, CRC Press, USA, 1993.
- [2]. P. Yedamale, Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals, Microchip Technology Inc. App. Note, Note-AN885, 2003, pp.1-20.
- [3]. E. Öksüztepe, “Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorların Algılayıcısız Kontrolü”, Elazığ, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [4]. H. Gödekoğlu, “Fırçasız Doğru Akım Motoru Konum Kontrolörü Tasarımı”, İstanbul, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [5]. K. Orman, “Daimi Mıknatıslı Senkron Motorlar için Akım Gözetleyici ve Hız Kestirimi”, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, Atatürk Üniversitesi, 2008.
- [6]. Y.S. Lai, F.S. Shyu, Y.H. Chang, “Novel Loss Reduction Pulsewidth Modulation Technique for Brushless DC Motor Drives Fed by MOSFET Inverter,” IEEE Transactions On Power Electronics, 2004, Vol. 19, No. 6.

- [7]. B. Singh, "Recent Advances in Permanent Magnet BLDC Motor", Sadhana, 2010, vol 22, part6, pp 837-853.
- [8]. J. Fang, H. Li, B. Han, "Torque Ripple Reduction in BLDC Torque Motor With Nonideal Back EMF," IEEE Transactions On Power Electronics, 2012, Vol. 27, No. 11.
- [9]. V. Baskar, "State of Charge Estimation for Batteries", Msc Thesis, The University of Tennessee, Knoxville, December 2002.
- [10]. Z. Yuan, C. Yaobin, G. Tian, H. Wu, Q. Chen, "A Four-Step Method to Design an Energy Management Strategy for Hybrid Vehicles", Proceeding of the American Control Conference Boston, Massachusetts, June 30 - July 2, 2004.
- [11]. C. Barlak, Y. Özkazanç, "Batarya Kapasite Kestirimi", Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2011, Cilt 26, No:1, 185-191.
- [12]. L. Languang, H. Xuebing, L. Jianqiu, H. Jianfeng, O. Minggao, "A Review on the Key Issues for Lithium-Ion Battery Management in Electric Vehicles", Journal of Power Sources, 2013, 226 272-288.
- [13]. X. Hu, N. Murgovski, L. Johannesson, B. Egardt, "Energy Efficiency Analysis of a Series Plug-In Hybrid Electric Bus with Different Energy Management Strategies and Battery Sizes", Applied Energy, November 2013, Volume 111, Pages 1001-1009.
- [14]. J.L. Torres, R. Gonzalez, A. Gimenez, J. Lopez, "Energy Management Strategy for Plug-In Hybrid Electric Vehicles; A Comparative Study" Applied Energy, January 2014, Volume 113, Pages 816-824.
- [15]. S. Amjad, S. Neelakrishnan, R. Rudramoorthy, "Review of design considerations and technological challenges for successful development and deployment of plug-in hybrid electric vehicles", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14 1104-1110.
- [16]. J. Larminie, J. Lowry, Electric "Vehicle Technology Explained", John Wiley Sons, England, ISBN: 0-470-85163-5.
- [17]. G. Tamai, "Aerodynamic Design of Ultra-streamlined Land Vehicles", Robert Bentley, USA, ISBN: 0-8376-0860-0.
- [18]. S. Watkins, G. V. V. "The effect of vehicle spacing on the aerodynamics of a representative car shape", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2008, 96 1232-1239.
- [19] www.automobilemag.com [Ziyaret Tarihi: 9 Aralık 2016]
- [20] P. Elofsson, M. Bannister, "Drag reduction mechanisms due to moving ground and wheel rotation in passenger cars", SAE 2002 World Congress, 4-7 Mart 2002, Michigan.
- [21] www.petrolicious.com [Ziyaret Tarihi: 9 Aralık 2016]
- [22] G. Erdoğan "Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Modal Analizi". Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2016.
- [23] S. Segla, S. Reich, "Optimization and comparison of passive, active, and semi-active vehicle suspension systems", 12th IFToMM World Congress, 18-21 Haziran 2007, Besançon (France).
- [24] Y. Kami, M. Minikawa, "Double-wishbone suspension for honda prelude", Passenger Car Meeting, 1-4 Ekim 1984, Michigan.
- [25] R. D. Carroll, "The winning solar car", SAE International, USA, ISBN: 0-7680-1131-0.
- [26]. H. Tiryaki, A. S. Çağışlar, A. Akgündoğdu, İ. Kocaarslan, "Elektrikli Araçlar İçin Fırçasız Doğru Akım Motorlarında Değiştirilebilir Manyetik Alan Uygulaması (Commutable Magnetic Field on Brushless Direct Current Motor for Electrical Vehicle)", Int.J.Eng.Research & Development, June 2016, Vol.8, No.2, pp. 37-45.
- [27]. B. Demir, M.N. Yıldız, "Formula-G Güneş Arabaları Yarışı İçin Güneş Enerjili Bir Aracın Mekanik Tasarımı ve Üretimi" Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2009, (3) 31-42.
- [28]. ANSYS Electromagnetics Suite Maxwell, Reference Manual 2016.
- [29]. S. Lee, T. Lemley, G. Keohane, "A comparison study of the commutation methods for the three-phase permanent magnet brushless DC motor", 2009, www.kves.uniza.sk/kvesnew/dokumenty/EP2/BLDC.pdf, [Ziyaret Tarihi: 9 Aralık 2016].
- [30]. D. Andrea, "Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs", Artech House, 2010, London.
- [31]. H. Qian, J. Zhang, J.-S. Lai, and W. Yu, "High-efficiency grid-tie battery energy storage system", IEEE Trans. Power Electron, 2011, vol. 26, no. 3, pp. 886-896.
- [32]. L. Maharjan, T. Yamagishi, H. Akagi, and J. Asakura, "Fault-tolerant operation of a battery-energy-storage system based on a multilevel cascade PWM converter with star configuration", IEEE Trans. Power Electron., Eylül 2010, vol. 25, no. 9, pp. 2386-2396.
- [33]. J.K. Nor, "Art of Charging Electric Vehicle Batteries", WESCON/93. Conf. Rec., San Francisco, CA, 1993, pp. 521- 525.
- [34]. C.A. Bendall, W.A. Peterson, "An EV On-Board Battery Charger", APEC'96, 1996, vol 1, pp. 26-31.
- [35]. C.C. Hua, M.Y. Lin, "A Study of Charging Control of Lead-Acid Battery for Electric Vehicles", IEEE International Symposium on, 2000, vol.1., pp. 135- 140.
- [36]. B.J. Masserant, T.A. Stuart, "A Maximum Power Transfer Battery Charger for Electric Vehicles", Aerospace and Electronic Systems IEEE Transactions on, 1997, vol 33, pp. 930-938.
- [37]. Dhameja, Sandeep, Electric Vehicle Battery Systems, Newnes Press, Boston, 2002.
- [38]. A. I. Khan, "Battery Chargers for Electric and Hybrid Vehicles", Power Electronics in Transportation, 1994, pp. 103-112.
- [39]. O. Satılmış, E. Meşe, "Elektrikli Ve Hibrit Elektrikli Araçlar İçin Batarya Şarj Cihazları" Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu 2011, TMMOB EMO.
- [40]. N. Kutkut, "Battery Chargers-Technology Overview".
- [41]. M.M. Morcos, C.R. Mersman, G.D. Sugavanam, N.G. Dillman, "Battery Chargers for Electric Vehicles", Power Engineering Review IEEE, 2000, vol 20, pp. 8-11.