



Şehir İçi Bir Aracın Kullanım Profiline Saptanarak Elektrikli Taşıta Dönüştürülmesinde Üç Faz AA Motoru ve FDA Motoru Tercihleri ile Farklı Batarya Paketi Seçimlerinin Karşılaştırılması

Emre AKBIYIK^{*1}, Aytaç GÖREN¹

^{*1}Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 35390, İzmir

ARTICLE INFO

Received: November: 13. 2017
Reviewed: November: 11. 2018
Accepted: December: 7. 2018

Keywords:

Conversion to an EV,
Vehicle Usage Profile,
BLDC Hub Motor,
EV Battery Types.

Corresponding Author:

*E-mail: emre.akbiyik@hotmail.com

ABSTRACT

Increase in number of personal vehicles used for transportation induces environmental pollution. Environmental pollution jeopardize the life quality. Technological advancements, achievements in battery capacities and electric motor efficiencies make EVs popular again and enables electric vehicles to be used in urban transportation. In this research, daily use profile of a personal vehicle is obtained by repetitive tests. Resistance forces on selected vehicle are calculated and corroborated using experimental results. According to the consumption profile of the vehicle, power needs and battery package required for conversion to EV have investigated, a hub motor and an AC motor with a speed reducer implementations are technically compared.

ÖZ

Anahtar Kelimeler:
Elektrikli Araç Dönüşüm,
Araç Kullanım Profili,
Göbek İçi Fırçasız Doğru Akım Motoru,
Elektrikli Araç Batarya Çeşitleri.

Ulaşımında kullanılan kişisel araçların günlük yaşamda sayılarının artması, çevre kirliliğinin de katlanarak artmasına ve yaşam kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte yüksek kapasiteye sahip bataryaların gelişmesi ve daha verimli elektrik motorlarının yapılabilmesi günlük yaşamda kullanılacak yeterlilikte elektrikli araçların tekrar gündeme gelmesini sağlamıştır. Bu çalışmada, günlük ulaşım için trafikte kullanılan kişisel bir aracın kullanım profili tekrarlı testler yapılarak belirlenmiş, araç dinamikleri teorik olarak hesaplanarak yapılan deneysel çalışmalar ile desteklenmiştir. Araç kullanım profiline uygun olarak elektrikli araca dönüşüm için gerekli olan elektrik motoru ve batarya paketi oluşturma çalışmaları karşılaştırılmalı olarak araştırılmıştır.

1. Giriş

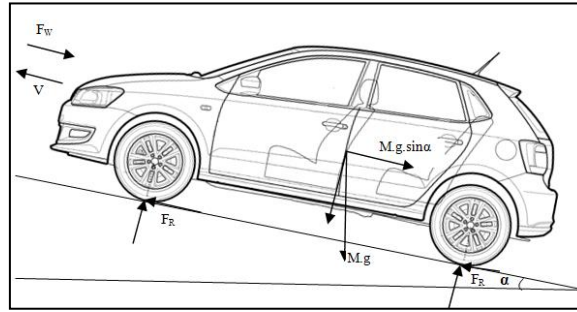
Enerji kullanımının çevreye verdiği zararı azaltmak için iyileştirme çalışmaları günümüzde büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmalarda; fosil bazlı enerji kaynaklarını iyileştirmenin yanı sıra temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırmak için de çaba sarf edilmektedir. Araçlarda kullanılmakta olan fosil yakıtların küresel etkilerinin azaltılmaya çalışılması için yeterli zaman bulunmamaktadır. Ekonomilere yön verme konusunda yapı taşı konumunda olan otomotiv sektörünün gelişimi yenilenebilir enerjilerin kullanımı ile hız kazanacaktır. Yaptığımız çalışmada; TÜİK verilerine göre günlük hayatta yaygın olarak kullanılan Volkswagen Polo marka araç tercih edilmiştir [1]. İçten yanmalı motora sahip bu aracın elektrik motoru tahrikli hale dönüştürülmesi için gerekli adımlar ve alınan veriler ile test bulguları sonucunda yapılan dönüşümün avantajları aktarılmıştır. Çalışmada elektrikli taşıtlarda en yaygın tercihlerden ikisi olan şanzımandan önce elektrik motoru takılması ve tekerlek içi motor kullanımları karşılaştırılmış; farklı batarya kimyasallarının avantajları incelenmiştir.

2. Materyal ve Metod

Bir aracın hareket sınırlarını aracın sahip olduğu motorun gücü ve araca etki eden direnç kuvvetleri belirlemektedir [2]. Bu amaçla; seçilen aracın genel araç dinamiği değişken parametreler ile incelenecek ve her bir çevrim oranına göre farklı motor devirlerinde gerekli olan motor gücü hesaplanacaktır [3]. Çalışmanın ikinci aşamasında deneysel test metodları ile aracın ihtiyacı olan güç ve motor torku bulunarak teorik hesaplamalar ile karşılaştırılacaktır.

2.1 Teorik hesaplamalar ile enerji sarfiyatının bulunması

Çalışmamızda ele aldığımız 2012 Model 55 [kW] (75 [Hp]) ve maksimum 180 [Nm] torklu Dizel bir motora sahip Volkswagen marka Polo'yu etkileyen direnç kuvvetleri Şekil 1'de resmedilmiştir. Bu direnç kuvvetleri; Yuvarlanma direnci (F_R), Hava direnci (F_L), Yokuş Direnci (F_{ST}) ve İvmelenme direnci (F_B)'dir [4, 5]. İvmelenme direnci bu çalışma kapsamında incelenmeyecektir.



Şekil 1. Araca tesir eden direnç kuvvetleri.

Araca etki eden her bir direnç kuvvetinin hesaplanması sonucunda genel hareket denklemi çıkarılır ve bu denkleme göre aracın istenilen hız ve şartlarda sorunsuz ilerleyebilmesi için gerekli olan güç ihtiyacı ve motor torku bulunur.

Yuvarlanma Direnci (F_R)

$$F_R = \left(\frac{a}{r_{dyn}} \right) \cdot G = f_r \cdot G = f_r \cdot m \cdot g \quad (1)$$

(r_{dyn} 185/65 R14 için 0,29 [m] Bkz. Tablo 1)

(f_r : 0.013 [4])

Hava Direnci (F_L)

$$F_L = C_D \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot (V^* + V_W)^2 \quad (2)$$

$$\rho_L = \frac{348,7 \cdot p [bar]}{273,2 + t [^{\circ}C]} \quad (3)$$

(ρ_L 20 °C sıcaklıkta 1,22 [kg/m³] alınabilir)

Yokuş Direnci (F_{ST})

$$\alpha = \tan^{-1}(0,0X) \quad (4)$$

$$F_{ST} = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

Hareket Güçleri

Araca tesir eden her bir direnç kuvvetinin toplanması neticesinde hareket güçleri bulunur.

$$F_T = F_R + F_{ST} + F_L \quad (6)$$

$$F_T = f_r \cdot G + C_w \cdot A \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot V^{*2} + G \cdot \sin \alpha \quad (7)$$

$$V = \frac{\pi \cdot n_m \cdot r_{dyn}}{30 \cdot i_v \cdot i_D} [m/s] \quad (8)$$

Genelleştirilmiş Güç İhtiyacı Denklemi

$$\begin{aligned} P_T &= F_T \cdot V \\ &= \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot r_{dyn} \cdot n}{60 \cdot i_v \cdot i_D} \right) \cdot \left(f_r \cdot m \cdot g + m \cdot g \cdot \sin \alpha \right. \\ &\quad \left. + C_w \cdot A \cdot \rho_L \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot r_{dyn} \cdot n}{60 \cdot i_v \cdot i_D} \right)^2 \right) \end{aligned} \quad (9)$$

$$F_T \cdot r_{dyn} = T \cdot i_v \cdot i_D \quad (10)$$

Tablo 1. Çalışmaya konu olan aracın teknik özellikleri

Motor	
Motor Tipi	Dizel Yakıtlı Motor
Kapasite	1199
Maksimum Güç	55 [kW] / 75 [Hp]
Maksimum Tork	180 [Nm]
Tekerlek Ölçüleri ve Ağırlık	
Net Araç Ağırlığı	1132 [kg]
Lastik Ölçüleri	185/65 R14 (Ön- Arka) r_{dyn} :0,29 [m]
Şanzıman & Vites Kutusu	
1.Vites Oranı (i_1)	3.78:1
2.Vites Oranı (i_2)	2.12:1
3.Vites Oranı (i_3)	1.27:1
4.Vites Oranı (i_4)	0.87:1
5.Vites Oranı (i_5)	0.66:1
Diferansiyel Oranı (i_D)	3.39:1
Aerodinamik Özellikler	
Sürtünme Katsayısı (C_D)	0.317
Kesit Alanı (A)	2.05 [m ²]
Yakıt Tüketim Bilgileri	
Yakıt Tüketimi	6.5/4.4/5.1 [l/100 km]
CO ₂ Emisyonu	89 [g/km]

Tablo 1'de çalışmaya konu olan aracın teknik bilgileri bulunmaktadır [6-8] . Bu bilgiler yardımı ile Denklem 9 ve Denklem 10 kullanılarak aracın ihtiyaç duyduğu güç ve motor torku hesaplanır ise;

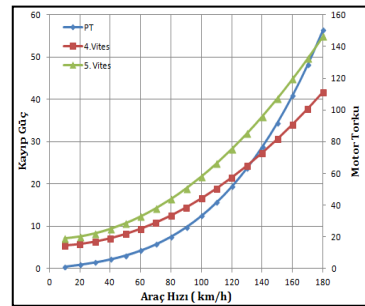
Tablo 2. Farklı vites kademelerinde ve motor devirlerinde gerekli olan güç ve motor torku

Vites	n [dev/dk]	1000			2000			3000		
		Tahvil Oranı	P _T [kW]	V [km/h]	T [Nm]	P _T [kW]	V [km/h]	T [Nm]	P _T [kW]	V [km/h]
1	$i_1=3.78$	0.34	8.50	3.3	0.72	17.03	3.4	1.16	25.56	3.7
2	$i_2=2.12$	0.64	15.23	6.1	1.45	30.38	6.9	2.63	45.61	8.3
3	$i_3=1.27$	1.15	25.38	11.0	3.14	50.76	15.0	6.80	77.44	21.6
4	$i_4=0.87$	1.91	37.04	18.3	6.42	74.09	30.7	16.12	111.13	51.3
5	$i_5=0.66$	2.94	48.82	28.1	11.83	97.67	56.5	32.59	146.48	103

Tablo 2' de aracın sorunsuz ilerleyebilmesi için gerekli olan motor torku ve ihtiyaç duyulan güç bilgileri farklı motor devirlerinde, farklı vites kademeleri için hesaplanmıştır.

Tablo 3. Hıza göre güç ve motor torku

V[km/h]	P _T [Nm]	T ₄ [Nm]	T ₅ [Nm]
10	0,41	14,49	19,11
20	0,87	15,39	20,29
30	1,43	16,89	22,26
40	2,14	18,89	25,02
50	3,05	21,67	28,57
60	4,22	24,96	32,90
70	5,69	28,85	38,03
80	7,51	33,34	43,94
90	9,74	38,42	50,64
100	12,42	44,10	58,14
110	15,61	50,38	66,41



Şekil 2. 4. ve 5. vites kademeleri için motor torku ve güç grafiği.

Tablo 3'te ve Şekil 2'de, aracın sahip olduğu motorun üretmesi gereken güç bilgileri ile 4. ve 5. vites basamağı için gerekli olan motor torku bilgileri yer almaktadır.

Bu kısma kadar olan hesaplamalarda yokuş direnci hesaplanmamıştır. Yokuş direnci hesaplamalara eklenir ise yeni sonuçlar;

Tablo 4. Farklı yol eğimlerinde gerekli olan motor gücü ve motor torku

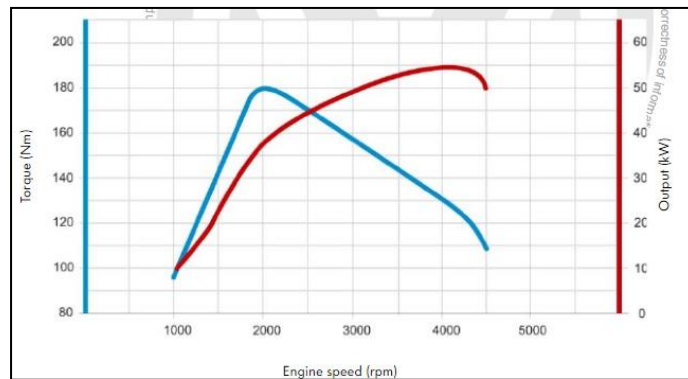
V [km/h]	%5			%10			%15		
	P _T [kW]	T ₄ [Nm]	T ₅ [Nm]	P _T [kW]	T ₄ [Nm]	T ₅ [Nm]	P _T [kW]	T ₄ [Nm]	T ₅ [Nm]
10	1,92	68	89,6	3,45	122,6	161,6	4,96	176,1	232,1
20	3,88	68,9	90,8	6,96	123,5	162,8	9,97	176,1	233,3
30	5,95	70,4	92,8	10,56	125,0	164,7	15,08	177,0	235,3
40	8,17	72,5	95,5	14,32	127,1	167,7	20,35	178,5	238,0
50	10,59	75,2	99,1	18,28	129,7	171,0	25,82	180,6	241,6
60	13,26	78,5	103,4	22,49	133,0	175,4	31,53	183,3	245,0
70	16,24	82,3	108,5	27,01	136,9	180,5	37,56	186,5	251,0
80	19,57	86,8	114,4	31,88	141,4	186,4	43,93	190,5	256,9
90	23,31	91,9	121,1	37,15	146,5	193,1	50,71	194,9	263,6
100	27,50	97,6	128,6	42,88	152,2	200,6	57,95	200,0	271,1
110	32,19	103,9	136,9	49,11	158,4	208,9	65,69	205,7	279,4

Tablo 4, genelleştirilmiş güç ihtiyacı denkleminde yokuş direnci eklendiğinde bulunan yeni sonuçları içermektedir. Tablo 4 incelendiğinde, yokuş direncinin güç ihtiyacına olan etkisi net bir şekilde anlaşılmaktadır. Çalışmamız, günlük yaşamda kullanılan bir aracın elektrik tahrikli haline dönüştürülmesini içerdiği için motor seçimi yapılırken yokuş direnci de hesaba katılacaktır.

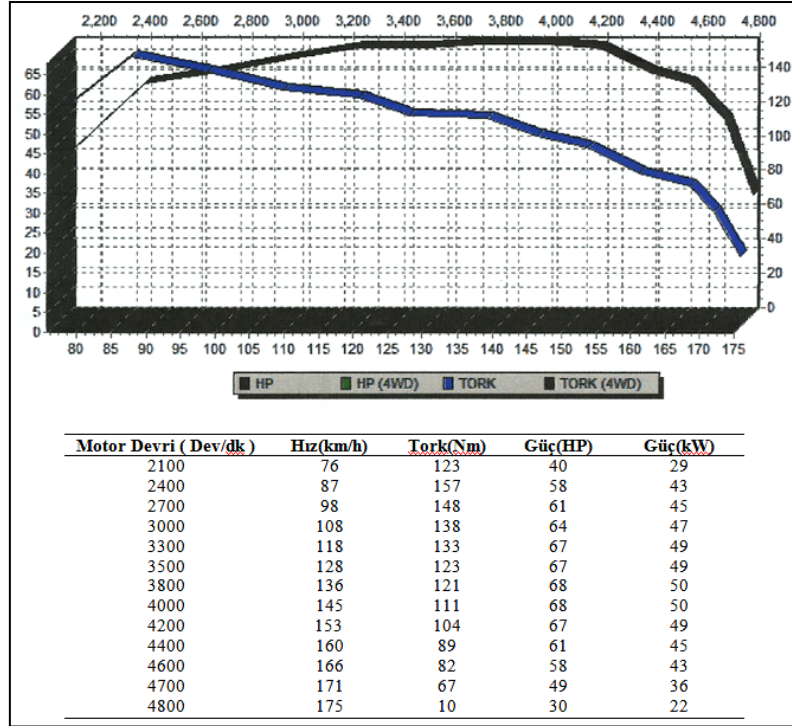
2.2 Deneysel çalışmalar ile enerji sarfiyatının ve kullanım profiline bulunması

Çalışmanın bu kısmına kadar olan bölümde teorik hesaplamalar ile enerji sarfiyatı bulunmuştur. Deneysel olarak yapılan çalışmalar ile yapılan hesaplamaların örtüşüp örtüşmediğinin araştırılması gerekmektedir.

İlk yapılan test metodunda araç dinamik teste tabi tutulmuştur [9]. Dinamik test (Motor Performans Testi), genellikle oto ekspertizlerinin araç motorlarının durumunu öğrenmek için kullandıkları bir test metodudur. Bu metoda göre aracın tahrik tekerlekleri, üzerlerinde dinamometre bulunan tamburlar üzerine çıkarılır ve gerçek motor gücü ile motor torku bulunur. Bu testin yapılmasının amacı; dönüşüm için kullanılacak olan aracın motor durumundan emin olma gerekliliğidir. Aksi durumda, aracın motoru hasarlı ise testlerin ve dönüşümün kontrollü yapılmasından söz edilemez.



Şekil 3. Araca ait motorun performans grafiği.



Şekil 4. Motor performans testi sonuç raporu.

Şekil 4'te dinamik test sonuç raporu yer almaktadır. Bu rapora göre araç 3800-4000 [dev/dk]'da maksimum gücüne, 2400 [dev/dk]'da maksimum motor torkuna erişmektedir. Şekil 3'te ise araca ait üretici firma tarafından ideal şartlar altında test edilmesi sonucunda oluşan motor performans grafiği yer almaktadır [10]. Şekil 4'te elde edilen sonuçlar Şekil 3 ile karşılaştırıldığında test verilerinin üretici firma verileri ile örtüşüğü anlaşılmaktadır.

İkinci test metodu ELM-327 hata tespit sistemi ile veri toplanmasıdır [11]. Bu sistem, araç üzerinde bulunan OBD-II (On-Board Diagnostic System) soketi yardımı ile araçlarda zorunlu olan Elektronik kontrol sistemine (ECU) bağlanır ve sensör verilerinin bluetooth yardımı ile okunmasına olanak sağlar [12,13]. Çalışmada ELM - 327 cihazı ile beraber OBd Check Tourçe programı kullanılmıştır [14]. Bu çalışmanın yapılmasının amacı; aracın günlük kullanım profilini çıkarmaktır. Bu profil oluşturma işlemi, günlük bir iş gününden farklı olmamak kaydı ile şehir içerisinde günlük ulaşım esnasında sürekli ve tekrarlı olarak veri toplanması neticesinde oluşturulmuştur.

Tablo 5. Çalışma konusu olan aracın günlük kullanım profili

Testler Sonucu Oluşan Kullanım Profil Bilgileri		
Tanım	Maksimum	Ortalama
Motor Gücü [kW]	17,04	6
Motor Torku [Nm]	127	33
Araç Hızı [km/h]	96	36 (Trafik Yoğun) 72 (Trafik Az Yoğun)
Sürüş Mesafesi [km]	52	36
Sürüş Süresi [dk]	56	42
Yakıt Tüketimi [L/100 km]	26,98	7,06
CO ₂ Emisyonu [g/km]	549	104

Tablo 5'te Hata Tespit Cihazı ile yapılan kontrollü ve tekrarlı testler esnasında kayıt altına alınan verilerin detaylı olarak incelenmesi sonucunda oluşan günlük araç kullanım profili yer almaktadır. Bu profile göre, çalışmaya konu olan araç; günlük ortalama 36 [km] yol almakta ortalama 72 [km/h] hız ile gitmektedir. Bu alınan veriler, elektrik motoru tahrikli hale dönüşüm için gerekli olan bilgilerdir. Dönüşüm için motor seçimi ve batarya paketi oluşturulmasında bu verilerden yararlanılacaktır. Bu sebep ile yapılan testler farklı günlerde tekrarlı olarak yapılmıştır.

3. Elektrik Tahrikli Hale Dönüşüm

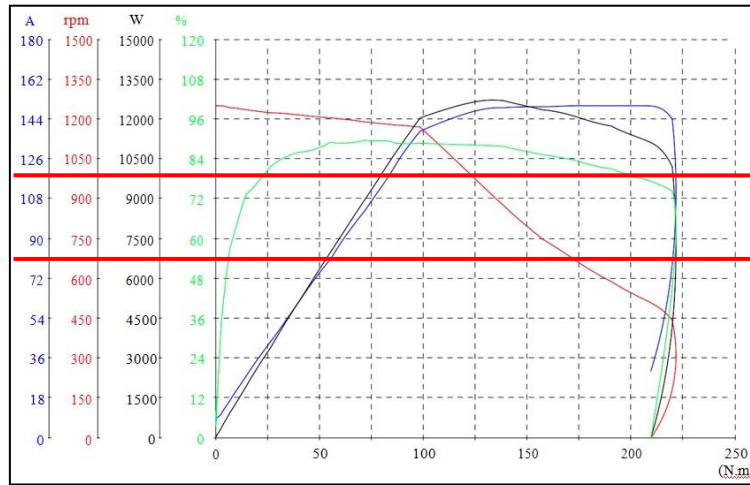
3.1 Elektrik motoru seçimi ve montaj şekillerinin karşılaştırılması

Tablo 5, günlük kullanım profiline göre; seçilen elektrik motoru ile araç ortalama 72 [km/h] hız ile gidebilmeli, gerektiğinde kısa süreli 96 [km/h] hıza çıkabilmelidir. Tablo 3 ve Tablo 4'te sarı bölge ile gösterilmiş alan; kullanım profiline uygun olarak aracın gidebilmesi gereken seçilmiş hız bölgesidir ve seçilen elektrik motoru bu bölgelerdeki gerekli olan gücü ile motor torkunu karşılayabilmelidir.

Dönüşüm için iki farklı motor tipi seçilmiştir. İki motor seçilmesinin amacı; montaj teknikleri arasındaki farklılıkları ve motorların birbirlerine olan üstünlüklerini saptayabilmektir. Kullanılması ön görülen elektrik motoru QSMOTOR firmasına ait yüksek torklu göbek içi fırçasız doğru akım elektrik motoru (BLDC Hub Motor) ve HPEVS alternatif akım (AA) elektrik motorudur [15,16]. Tablo 6'da kullanılması ön görülen motorların teknik bilgileri bulunmaktadır.

Tablo 6. Seçilen motorlara ait teknik bilgiler

Tanım	Değer	
	BLDC Hub Motor	Alternatif Akım Motoru
Motor Gücü	8X2 [kW]	52.2 [kW]
Motor Torku	Max. 350 [Nm]	162 [Nm]
Nominal Voltaj	96 [V]	96 [V]
Maksimum Akım	150 [A]	650 [A]
Nominal Motor Devri	1250 [dev/dk]	5000 [dev/dk]
Verim	85 - 92 [%]	80 - 85 [%]
Ağırlık	25 [kg]	52 [kg]



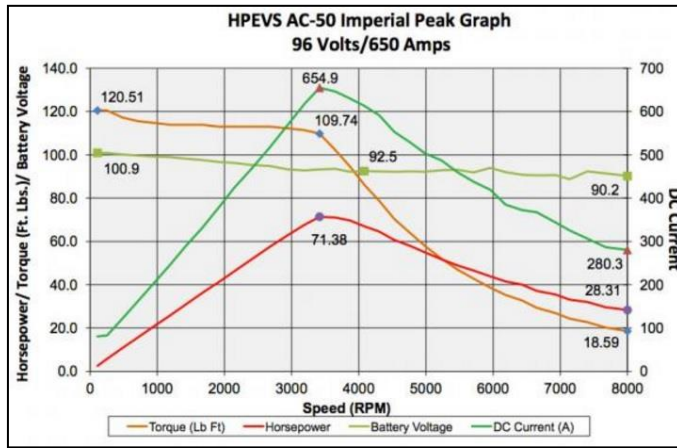
Şekil 5. BLDC Hub motora ait performans grafiği.

BLDC Hub motor kullanılmasının amacı doğrudan aracın tahrik tekerleklerine montaj yapılabilmesi, bu sebep ile direk sürüş olduğu için vites kutusuna, debriyaja, diferansiyel ve aktarım

organlarına gerek duyulmaması neticesinde gereksiz ağırlıklardan kurtulmak ve her bir organdaki verim kaybının önüne geçilmesidir [17, 18].

Seçilen Hub motorun uygunluğunu saptayabilmek için seçilen hız bölgesindeki motor torku ve ihtiyaç duyulan gücün sağlanabilmesi gerekmektedir (Bkz. Tablo 3 ve Tablo 4). Denklem 8 kullanılarak araç hızı [dev/dk] cinsinden hesaplandığında 70 [km/h] ve 100 [km/h] araç hızı [dev/dk] cinsinden 640 [dev/dk] ve 951 [dev/dk]'ya karşılık gelmektedir ve Şekil 5 BLDC Hub motora ait performans grafiğinde [15] kırmızı ile işaretlenmiş bölge arasında kalmaktadır. Bu bölge incelendiğinde tek bir motorun yeterli güce sahip olmadığı anlaşılmaktadır. Bu sebep ile dönüşüm için 2 adet aynı Hub motordan kullanılması uygun olacaktır. Hub motorlar aracın arka iki tahrik tekerleğine direk olarak akupule edilecektir. İki adet motor kullanmanın sağlayacağı diğer bir avantaj ise, diferansiyel olmamasından kaynaklı dengeli bir sürüşün sağlanamayacağı ve tek tekerlekten tahrik olması durumunda hızlanma esnasında zemin ile tekerlek arasında kayma meydana gelerek sürüşü olumsuz yönde etkileyeceğidir.

İkinci seçenek, Alternatif Akım motoru olarak belirlenmiştir. Tablo 6'ya göre, seçilen AA motoru yüksek hıza (nominal devir 5000 [dev/dk]) sahiptir. Bu sebep ile, bu motorun kullanılması durumunda bir redüksiyon kullanılması gerekmektedir. Bu sebep ile vites kutusunun, diferansiyelin veya yeni bir redüktörün kullanılması durumları araştırılmalı gerekmektedir [19, 20].



Şekil 6. Alternatif akım elektrik motoruna ait performans grafiği.

Şekil 6'da seçilen AA motora ait performans grafiği yer almaktadır [16]. Bu grafiğe göre motor 3000 [dv/dk] ile 4000 [dev/dk] arasında sürülürse en yüksek gücün elde edildiği verimli bölge kullanılmış olur.

Vites kutusu ve diferansiyelin araçtan çıkarılması durumu:

Vites kutusunun ve diferansiyelin araçtan çıkarılıp motorun direk olarak akupule edildiği düşünülür ise; Denklem 8 kullanılarak, 70 [km/h] ile 100 [km/h]'in 640 [dev/dk] ile 951 [dev/dk]'ya denk geldiği hesaplanmıştır (i_v ve i_D 1 olarak alınır). Bu hızlar arasında Şekil 6'ya göre motorun çalışma aralığı dışına çıkmaktadır. Yani bir redüksiyon kullanılması gerekmektedir.

Vites kutusu ve diferansiyelin araçta sabit tutulması durumu:

Vites kutusu ve diferansiyelin sabit tutularak AA motorun araca akupule edilmesi neticesinde Denklem 8 her bir vites basamağına göre tek tek hesaplanır ise;

Tablo 7. Vites kademelerine göre motor devri

Vites Basamağı	70 [km/h]	100 [km/h]
$i_1=3,78$	8208,8	11726,8
$i_2=2,12$	4603,8	6577

$i_3=1,27$	2758	3940
$i_4=0,87$	1890	2700
$i_5=0,66$	1433,3	2047,5

Tablo 7'de vites kutusu ve diferansiyelin araçta sabit tutulması neticesinde her bir vites basamağına göre 70 [km/h] ve 100 [km/h] hızlara karşılık gelen motor devirleri yer almaktadır. Bu vites basamaklarına göre Şekil 6 incelendiğinde;

1. Vites basamağında, motorun çalışma alanının dışına çıkılmaktadır.
2. Vites basamağında, motor verimli bölgesinin dışına çıkılmaktadır.
3. Vites basamağında, motorun yüksek güç üretebildiği alan içerisine girilmiştir.
4. Vites basamağında, motor çalışma bölgesinin dışına çıkmaya başlanmış güç düşmüştür.
5. Vites basamağında, motorun çalışma alanının dışına çıkılmaktadır.

Yapılan karşılaştırmalar neticesinde, vites kutusu ve diferansiyelin sabit tutulması seçeneğine göre 3. vites kademesinde aracı kullanmak uygun gözükmektedir. Araç sabit olarak 3 vites kademesinde kullanılmalıdır. Vites değiştirmek dönüşüm öncesinde olduğu gibi, tork ve hız değiştirilmesine imkan sağlayamayacak aksine araç ya ilerleyemeyecek yada verimsiz olarak kullanılacaktır.

Vites kutusunun çıkarılıp, diferansiyelin araçta sabit tutulması durumu:

Vites kutusu çıkarılıp motor direk olarak diferansiyele akuple edilir ise Denklem 8 tekrar hesaplandığında ($iV=1$ ve $iD=3,39$ olarak alınır) 70 [km/h] ve 100 [km/h] araç hızı 2171,6 [dev/dk] ile 3102,3 [dev/dk]'ya karşılık gelmektedir. Bu hız bölgesi Şekil 6 performans grafiği ile karşılaştırıldığında motorun bu bölgede yüksek tork ve motor gücünde çalışabildiği ve Tablo 3 ve Tablo 4'te sarı ile işaretlenmiş hız bölgesinde gerekli olan motor gücü ve torkunu karşılayabildiği görülmektedir. Bu seçenek teknik olarak uygun gözükmektedir.

Açıklanan montaj teknikleri karşılaştırılarak incelendiğinde en uygun seçenek vites kutusunun çıkarılıp diferansiyelin sabit tutulmasıdır. Bu şekilde; vites kutusu ve debriyaj aksamalarının çıkarılması neticesinde yaklaşık 92 [kg]'lık ek ağırlıktan kurtulunur ve vites kutusundan kaynaklı verim düşümünün önüne geçilir. Ayrıca vites kutusu ve diferansiyelin sabit bırakılması durumunda 3. vites kademesi en uygun çözüm olarak gözükse de 3500 [dev/dk] dan sonra motor torku keskin bir şekilde düşmektedir.

3.2 Motor sürücü seçilmesi

Uygun bir motor sürücü seçimi motorun verimli bir şekilde kullanılabilmesi için önem arz etmektedir. Seçilen motor sürücü motorun nominal voltajına ve maksimum akımına uygun olmalıdır. Aksi durumda sürücü ısınma neticesinde zarar görecektir veya motor verimli kullanılamayacaktır. Bu sebep ile kullanılması ön görülen BLDC Hub motor için uygun motor sürücü aynı firmanın AE96600 [21] kodlu motor sürücüsüdür. 2 adet motor kullanılacağı için çift motor sürücü kullanılacaktır. AA motor için uygun olan motor sürücü Curtis 1238-7601 [22] kodlu motor sürücü olarak belirlenmiştir. Bu sürücüler kullanıcı profiline uygun olarak programlanarak en verimli şekilde kullanılabilir.

Tablo 8. Seçilen Motor Sürücülere ait teknik bilgiler

Tanım	QSMOTOR AE96600	Curtis 1238-7601
Maksimum Akım	600 [A]	550-800 [A]
Nominal Güç	8 [kW]	50 [kW]
Nominal Voltaj	96 [V]	24-96 [V]
Ağırlık	5.9 [kg]	6.4 [kg]

Tablo 8'de kullanılması ön görülen motorları sürececek olan motor sürücülere ait teknik bilgiler bulunmaktadır. Bu bilgiler batarya paketi oluşturmak için kullanılacak olan bilgileri içermektedir.

3.3 Batarya çeşitlerinin karşılaştırılması ve uygun batarya paketinin oluşturulması

Batarya teknolojisinin gelişmesi, yüksek kapasiteye sahip yeni batarya çeşitlerinin bulunmasına ve elektrikli araçların tekrardan canlanmasına direk olarak etki etmiştir. Yüksek kapasiteli bataryalar ile daha uzun mesafeler kat edilebilmektedir. Bu nedenle uygulamaya yönelik uygun batarya tipi seçilerek batarya paketi oluşturulmalıdır.

Tablo 9. Elektrikli araçlarda kullanılan farklı batarya çeşitlerinin teknik özellikleri

Pil Çeşidi	Nominal Voltaj [V]	Enerji Yoğunluğu [Wh/kg]	Çevrim Ömrü [-]	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı [°C]
Pb-acid	2	35	1000	Yok	-15, +50
NiCd	1.2	50-80	2000	Var	-20, +50
NiMH	1.2	70-95	<3000	Nadir	-20, +60
Zebra	2.6	90-120	>1200	Yok	+245, +350
Li-ion	3.6	118-250	2000	Yok	-20, +60
LiPo	3.7	130-225	>1200	Yok	-20, +60
LiFePO ₄	3.2	120	2000	Yok	-45, +70
Zn-air	1.65	460	200	Yok	-10, +55
Li-S	2.5	350-650	300	Yok	-60, +60
Li-air	2.9	1300-2000	100	Yok	-10, +70

Tablo 9'da elektrikli araçlarda sıklıkla kullanılan bataryaların karşılaştırılması yapılmıştır [23].

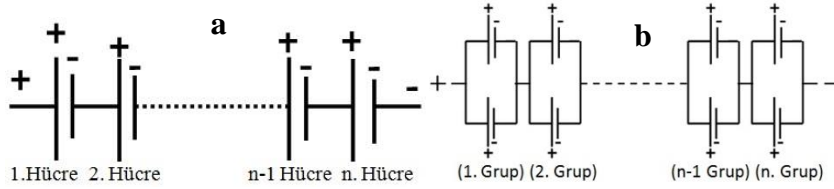
Çalışmamıza konu olan aracın dönüşümü yapılırken ihtiyaç duyulan güce uygun elektrik motor seçimi ve bu motora uygun bir sürücü seçimi yapılmıştır. Oluşturulacak olan batarya paketi; kullanılacak olan motorun nominal voltajı olan 96 [V] (Bkz. Tablo 6) olmalı, motorun ihtiyacı olan maksimum akımı karşılayabilmeli (Bkz. Şekil 5 ve Şekil 6) ve günlük kullanım profiline (Bkz. Tablo 5) uygun olarak günlük kat edilecek mesafe olan ortalama 36 [km]'yi karşılayabilmelidir. Bu bilgiler ışığında ;

Tablo 10. Elektrikli araç dönüşümüne uygun olarak oluşturulmuş batarya paketlerinin karşılaştırması

	Teknik Özellikler	Kurşun Asit	Li-ion	Li-Po	LiFePO ₄
Göbek İçi Fırçasız Doğru Akım Elektrik Motoru	Hücre Gerilimi	12 [V]	3,7 [V]	3,7 [V]	3,2 [V]
	Seri	8	26	26	30
	Paralel	-	100	15	-
	Kapasite	150 [Ah]	1500 [mAh] (2C 10 sn)	10 [Ah] (10C 10 sn) (5C sürekli)	160 [Ah] (8C 10 sn)
	Paket Kapasitesi	14,4 [kWh]	14,4 [kWh]	14,4 [kWh]	15,36 [kWh]
	Toplam Ağırlık	356 [kg]	92,3 [kg]	81,9 [kg]	168 [kg]
	Toplam Fiyat	2968 [\$]	11570 [\$]	11563,5 [\$]	6240 [\$]
	Teknik Özellikler	Kurşun Asit	Li-ion	Li-Po	LiFePO ₄
Alternatif Akım Elektrik Motoru	Hücre Gerilimi	12 [V]	3,7 [V]	3,7 [V]	3,2 [V]
	Seri	8	26	26	30
	Paralel	3	200	40	2
	Kapasite	150 [Ah]	2200 [mAh]	10 [Ah]	200 [Ah]

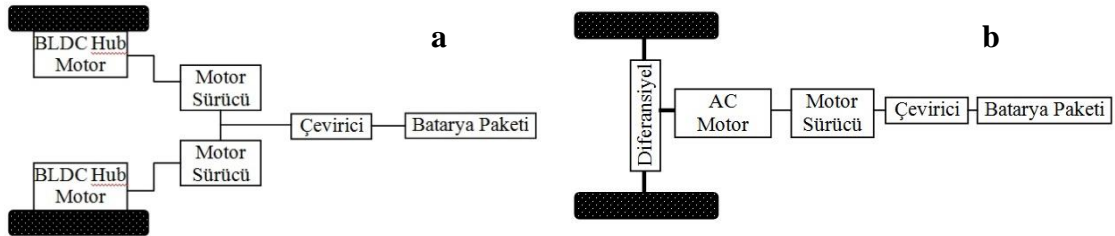
		(5C sürekli)	(5C sürekli)	(3C sürekli)
Paket Kapasitesi	43,2 [kWh]	42,32 [kWh]	38,48 [kWh]	38,4 [kWh]
Toplam Ağırlık	1068 [kg]	241,8 [kg]	222,56 [kg]	348 [kg]
Toplam Fiyat	8904 [\$]	21253 [\$]	30836 [\$]	14400 [\$]

Tablo 10'da kullanılması ön görülen elektrik motoru çeşitleri için, elektrikli araçlarda sıklıkla kullanılan batarya çeşitlerinden oluşturulmuş batarya paketleri yer almaktadır.



Şekil 7. a. Seri bağlı batarya hücrelerinin şematik olarak bağlantı şekli b. Paralel bağlı batarya hücrelerinin şematik olarak bağlantı şekli.

Şekil 7'de uygun olarak seçilen batarya paketlerinin şematik olarak çizimleri yer almaktadır. Seçilen bataryaların kapasitesi yeterli ise Şekil 7.a.'daki gibi hücreler birbirlerine seri olarak bağlanır. Eğer paralel bağlantı yapılması gerekir ise Şekil 7.b.'deki gibi bağlantı yapılır.



Şekil 8. a. BLDC Hub motora ait yapısal bağlantı şeması, b. AA motora ait yapısal bağlantı şeması

Şekil 8'de seçtiğimiz elektrik motor tipine uygun olarak elektrikli araca dönüşüm sonrası aracın yapısal şekli resmedilmiştir. Şekil 8.a. Hub motor kullanılması durumunda geçerli olan yapı şeklidir. Burada 2 adet Hub motor arka tekerleklere montajlanmış ve çift motor sürücü kullanılmıştır. Şekil 8.b.'de ise AA motor kullanılması durumunda motor diferansiyelin önüne bağlanmıştır.

4. Bulgular ve Sonuçlar

Ağırlığın fazla olması, yakıt tüketimi bakımından araçlarda dezavantaj oluşturur [24]. BLDC Hub motorlar direk sürüş sistemleri olduğu için aktarım organına ihtiyaç duymazlar. Bu sebep ile, aktarım organları ve diğer sistemler aradan çıkarıldığında, her bir organdaki verim kaybının önüne geçilmiş olmakla birlikte araç AA motoruna göre yaklaşık 150 [kg] hafifleyecektir. Ayrıca AA motoru için gerekli olan batarya ağırlığı Hub motora göre yaklaşık 2 kat daha fazladır (Bkz. Tablo 10). Buna karşı, BLDC Hub motor kullanılması durumunda, araç maksimum 100 [km/h] hıza çıkabilmekte ve ivmeli harekete tepki düşük olmaktadır. AA motor kullanılması durumunda ise araç dönüşüm öncesi içten yanmalı motor ile yapabildiği tüm kabiliyetlere sahip olup yüksek hızlara çıkabilecektir. Fakat, menzil olarak kısıtlı olacaktır. Çalışmanın temelinde günlük kullanım profiline (Bkz. Tablo 5) uygun elektrik motoru tahrikli dönüşüm olduğu için BLDC Hub motor kullanımının daha avantajlı olacağı saptanmıştır.

Tablo 10'da, elektrikli araçlarda sıklıkla kullanılan batarya çeşitleri yer almakta ve kullanılması ön görülen motorlar için batarya paketi oluşturma çalışmaları görülmektedir. Batarya paketleri incelendiğinde; kurşun asit pillerin maliyeti azdır fakat enerji yoğunlukları diğer pillere oranla çok düşüktür. Bu sebep ile kurşun asit piller sıklıkla güneş enerjili sistemler gibi sabit yerlerde kullanılır [25]. Lityum iyon ve lityum polimer bataryaların enerji yoğunluklarının yüksek olması nedeni ile elektrikli araçlarda sıklıkla tercih edilir [26]. Fakat, bu tip bataryaların maliyetinin yüksek olması sıcaklığa duyarlı olması, yanarak patlama risklerinin fazla olması nedeni ile maliyet olarak daha ucuz, ağır çalışma şartlarına dayanıklı ve patlama riski olmayan LiFePO₄ (Lityum Demir Fosfat) batarya tipinin çalışmamız için kullanılması düşünülmüştür [27]. Dönüşüm için BLDC Hub motor kullanılacağından, Voltronix 160 Ah (8C 10 sn) LiFePO₄ bataryalardan 30 seri olarak kullanılacaktır [28].

Tablo 11. Maliyet analizi

Malzeme	BLDC Hub Motor		AA Motor	
	Adet	Birim Fiyat [\$]	Adet	Birim Fiyat [\$]
Motor	2	627	1	3950
Motor sürücü	2	388	1	
Gaz pedalı ve diğer ekipmanlar	1	288	1	250
Batarya paketi	30	208	60	240
Toplam Maliyet		8558 [\$]		18650 [\$]

Tablo 11'de her iki motorun kullanılması durumunda hesaplanmış maliyet analizi yer almaktadır. İlk yatırım maliyetinin yüksek olması, elektrikli araçlara ön yargı ile yaklaşılmasına neden olmaktadır. Fakat, maliyetin büyük kısmını batarya paketinin oluşturduğu görülmektedir. Yıllardır yapılan çalışmalar neticesinde oluşan bilgi birikimi sayesinde daha verimli bataryalar geliştirilerek maliyetin düşmesi sağlanacaktır [29].

Deneyler esnasında, CO₂ emisyonu ile ilgili olan sensör aktif edilerek sensörden alınan veriler kaydedilmiştir. Test sonuçlarına göre içten yanmalı motorlu hali ile araç [km] başına çevreye 104 [g] CO₂ (Bkz. Tablo 5) yaymaktadır. Bu değer sadece tek bir araç içindir. Hava kirliliği, sera etkisi, iklim değişikliği gibi sebepler ulaşımında elektrikli araçların yaygınlaşmasını zorunlu hale getirmiş, araç üreticileri üzerinde baskı oluşturarak marketin genişlemesini sağlamıştır [30]. Uluslar arası Enerji Ajansının (IEA) öngörüsü, 2020 yılına geldiğinde dünyada elektrikli araç sayısı 9 - 20 milyon arasında, 2025 yılına geldiğinde ise bu sayı 40-70 milyon arasında olacaktır [31].

Elektrikli araçlar güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile şarj edilebilmektedir [32-34]. Bu şekilde, şarj istasyonları bulunmakta ve geliştirilmektedir. Araçların hızlı şarj edilebilmesi için akıllı şarj ve temassız şarj istasyonları çalışmaları yapılmaktadır[35,36]. Şarj süresinin kısaltılarak menzilin artırılması çözümleri getirildiğinde çevreye ve insana daha az zarar veren daha verimli olan bu araçların kullanım alanları genişleyecek ve daha da yaygınlaşacaktır.

Yapılan bu çalışmada, trafik içerisinde ulaşım için kullanılan içten yanmalı motora sahip kişisel bir aracın günlük kullanım profiline uygun elektrikli araç dönüşümü amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, tekrarlı testler yapılarak kullanım profili bulunmuştur. Günlük kullanım profili sınırları içerisinde elektrikli araca dönüşüm için ihtiyaç duyulan ana ekipmanların seçilebilmesi için gerekli teorik hesaplamalar yapılmış ve deneysel çalışmalar ile desteklenmiştir. Ardından, dönüşüm için kullanılacak ekipmanlar seçilmiş bir birlerine olan avantajları, dezavantajları teknik ve mali açıdan karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır.

Semboller

V^*	: Araç hız [m/s] (Hesaplamalar dışında araç hızı [km/h] olarak kullanılmıştır)
V_w	: Rüzgar hızı [m/s]
r_{dyn}	: Tekerleğin dinamik yarıçapı [m]
i_v	: İlgili vitese ait çevrim oranı [-]
r_{dyn}	: Tekerleğin dinamik yarıçapı [m]
i_D	: Diferansiyel çevrim oranı [-]

f_R	: Yuvarlanma direnç kat sayısı [-]
p	: $\sin\alpha$ [-]
C_D	: Hava direnci kat sayısı [-]
A	: Araç kesit alanı [m^2]
ρ_L	: Hava yoğunluğu [kg / m^3]
n	: Motor devri [dev/dk]
T	: Motor torku [Nm]
g	: Yer çekim ivmesi [m/s^2]

Teşekkür

Çalışmamızın tüm aşamalarında teknik destek veren ve deneysel çalışmalar için zemin oluşturan Destek Otomasyon firmasına, elektrikli araçlar konusunda sahip oldukları bilgi birikimini paylaştıkları Solaris Güneş Enerjili Araçlar Ekibi'ne teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu. (2017). Markalara Göre Trafığe Kaydı Yapılan Motorlu Kara Taşıt Sayısı. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051, (22.09.2017)
- [2] Şahin, Y. (2017). Fırçasız doğru akım elektrik motoru karakteristiği ölçüm sistemi tasarımı ve uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [3] Asamaer, J., Graser, A., Heilmann, B., Ruthmair, M. (2016) Sensitivity analysis for energy demand estimation of electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 46: 183-189s.
- [4] Kuralay, N. S. (2008). Motorlu taşıtlar I-II temel ve tasarım esasları yapı elemanları. İzmir: Makine Mühendisleri Odası. Cilt 1.
- [5] Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S.E. & Emadi, A. (2005). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles fundamentals, theory and design* (1.baskı). New York: CRC Yayınevi
- [6] Cars Data. <http://www.cars-data.com/en/volkswagen-polo-1.2-tdi-75hp-trendline-specs/52982>, (10.08.2017)
- [7] Carinf.com Focused on data. <http://www.carinf.com/en/8f60424131.html>, (11.08.2017)
- [8] Dosya Upload. 6R Kullanıcı Kılavuzu. <https://www.dosyaupload.com/77T>, (23.08.2017)
- [9] Bettes, A. & Hancock, B. (2008). *Dyno testing and tuning*. Car Tech. <https://www.carttechbooks.com/dyno-testing-tuning.html>, (16.07.2017)
- [10] SCRIBD. (2014) 6R Servis Kılavuzu. <https://tr.scribd.com/doc/231388480/SSP465-The-1-2l-3-Cylinder-TDI-Engine-With-CR>, (09.08.2017)
- [11] ELM Electronics. OBD. <https://www.elmelectronics.com/products/ics/obd/>, (07.09.2017)
- [12] Sosnowski, D., Gardetto, E. (2001). *Performing Onboard Diagnostic System Checks As Part Of A Vehicle Inspection And Maintenance Program*. EPA420-R-01-015. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- [13] Environmental Protection Agency. (2001). 40 CFR Parts 51 and 85. Amendments to Vehicle Inspection Maintenance Program Requirements Incorporating the Onboard Diagnostic Check; Final Rule. *Federal Register / Vol. 66, No. 66. Rules and Regulations*. <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2001-04-05/pdf/01-8276.pdf>
- [14] TORQUE. <https://torque-bhp.com/>, (21.09.2017)
- [15] QSMOTOR. E-car conversion kits. http://www.cnqsmotor.com/en/article_read/96V%20125KPH%20Electric%20Car%20Conversion%20Kits,%202X8000W%20Hub%20Motor%20Kits/567.html, (11.08.2017)
- [16] EW WEST. (2011) *Catalog/motors/AC-50-96*. http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=83, (07.09.2017)
- [17] Gordić, M., Stamenković, D., Popović, V., Muždeka, S. & Mićović, A. (2017) *Electric Vehicle Conversion: Optimisation Of Parameters In The Design Process*. *Tehnički vjesnik* 24, 4: 1213-1219
- [18] Gören A., (2011) *Güneş Arabaları İçin Yüksek Verimli Fırçasız Doğru Akım Motoru Tasarımı ve Üretimi*. *Endüstri ve Otomasyon*, 173: 34-39
- [19] Park, G., Lee, S., Jin, S., Kwak, S. (2013) *Integrated modeling and analysis of dynamics for electric vehicle powertrains*. *Expert Systems with Applications*.
- [20] Jiageng Ruan, J., Walker, P. & Zhang, N. (2016) *A comparative study energy consumption and costs of battery electric vehicle transmissions*. *Applied Energy*. 165: 119–134.
- [21] QSMOTOR. APT controller, sine wave. http://www.cnqsmotor.com/en/article_read/APT%20Programmable%20Sine%20Wave%20FOC%20AE96600%2072V%2096V%208kW%20PM%20Motor%20Driver%20Controller/332.html, (11.08.2017)
- [22] Curtis Instruments. Scroll by model 1238. <http://curtisinstruments.com/?fuseaction=Products.home#/motorcontrollers/64>, (07.09.2017)

- [23] Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. K., Tan, K. M., Mithulananthan, N. (2015) A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49: 365-385
- [24] Gören A. (2017) *Solar Energy Harvesting in Electro Mobility Energy Harvesting and Energy Efficiency*, Springer International Publishing AG 2017, Cham, İsviçre, 293-326
- [25] Achaibou, N., M. Haddadi, A. Malek. (2012) Modeling of lead acid batteries in PV systems. *Energy Procedia* 18: 538-544.
- [26] Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M. N., Hossain, E. (2017) A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development. *Energies* 1: 19-24
- [27] Celik A., Gocmen S., Coban H., Bestav M., Ereğ A., Goren A., Ezan M.A. (2018). Experimental and Numerical Investigation of 18650 Lithium - Ion Battery Cells. *Conference Proceedings of GCGW - Izmir*, 24 - 28 Haziran 2018, ss: 271 - 274, ISBN: 978-605-66381-3-8
- [28] EV WEST. (2014). Voltronix 160 ah lithium iron phosphate battery. http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=4&products_id=263, (12.08.2017)
- [29] Manzetti, S., Mariasiu, F. (2015) Electric Vehicle Battery Technologies: From Present State to Future Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51: 1004–1012.
- [30] Andwari, A. M., Pesiridis, A., Rajoo, S., Martinez-Botas, R. Esfahanian, V. (2017) A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78: 414–430.
- [31] International Energy Agency. <https://www.iea.org/newsroom/news/2017/june/electric-vehicles-have-another-record-year-reaching-2-million-cars-in-2016.html>, (21.09.2017)
- [32] Torreglosa, J. P., García-Triviño, P., Fernández-Ramirez, L. M., Jurado, F. (2016). Decentralized energy management strategy based on predictive controllers for a medium voltage direct current photovoltaic electric vehicle charging station. *Energy Convers Manag* 108:1–13s.
- [33] Valentine, K., Temple, W., Thomas, R. J., Zhang, K. M. (2016). Relationship between wind power, electric vehicles and charger infrastructure in a two-settlement energy market. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 82: 225-232s.
- [34] Pearre, N., Swan. L. (2016). Electric vehicle charging to support renewable energy integration in a capacity constrained electricity grid. *Energy Conversion and Management* 109: 130– 139s.
- [35] Tan, K. M., Ramachandaramurthy, V.K., Yong J.Y. (2016) Integration of electric vehicles in smart grid: a review on vehicle to grid technologies and optimization techniques. *Renew Sustain Energy Reviews*, 53: 720-732s.
- [36] Aydemir, M. T. (2016) Elektrikli araçların batarya dolun sistemlerinde kullanılan temassız güç aktarım sistemleri. *Elektrik Mühendisliği* 458: 27-33