

**DA HUB MOTORUN MONOKRİSTAL GÜNEŞ MODÜLLERİYLE
ÇALIŞTIRILMASI VE SİSTEM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

Özgür DEMİR

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2009**

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Özgür DEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DA HUB MOTORUN MONOKRİSTAL GÜNEŞ MODÜLLERİYLE ÇALIŞTIRILMASI VE SİSTEM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Özgür DEMİR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Eğitimi Anabilim Dalında

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr Sezayi YILMAZ

Haziran 2009, 54 sayfa

Bu çalışmada mono-kristal ve yarı esnek özelliğe sahip fotovoltaik güneş modüllerinden faydalanarak, fırçasız doğru akım motorunun çalıştırılması ilkesine dayanan bir güneş arabası imal edilip elektrik sisteminin performansı belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Işınım şiddetine bağlı olarak panellerde üretilen enerji miktarı belirlenmiştir. 1000W/m^2 ışınım şiddetine göre, akü kayıpları ve motorun tükettiği güç izlenirken şarj-deşarj süresi, araç seyir mesafesi, sürtünmesiz-yüksüz ortam şartlarında hesaplanmış, ölçülmüş ve Formula G 2008 yarış verileri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Güneş Enerjisi, DA Hub Motor, Güneş Arabası.

Bilim Kodu : 626.11.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SEMI FLEXIBLE MONOCRYSTALLINE SOLAR MODULES FOR DC HUB MOTORS WORKING AND ASSIGN SYSTEM PERFORMANCE

Özgür DEMİR

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Education**

Thesis Advisor :

Asst Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

June 2009, 54 Pages

In this study, by using the mono-crystal and photovoltaic solar modules that has semi-flexible privacy, a solar car has been manufactured which depends on the working principles of direct current engine without scrub, the performance of electrical system has been determined and evaluated. Input produced in panels has been determined dealing with radiation intensity. According to $1000\text{W}/\text{m}^2$ radiation intensity -while trailing the loss of accumulator and power consumed by engine-charge discharge process, car progress haul has been calculated and evaluated in unobstructed-neutral conditions and compare Formula G 2008 race datas.

Keywords : Solar Energy, DC Hub Motor, Solar Car

Science Code : 626.11.01

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca ve deneyler sırasında, benden desteğini esirgemeyen, kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen Özge BULAT'a ve Karabük Üniversitesi Güneş Arabası Takımında yer alan çalışma arkadaşlarıma, imalat ve yarış aşamalarında yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Raif BAYIR ve Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA'ya deneyler esnasında ve prototip imalatında desteğini esirgemeyen, bilimsel bakış açımın gelişmesinde bilgilerinden sonsuz faydalandığım kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Sezayi YILMAZ'a ayrıca öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
EKLER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
BÖLÜM 1.	1
1.1. GİRİŞ.....	1
1.2. ÇALŞMANIN AMACI VE KAPSAMI.....	3
1.3. KONUYLA İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	3
BÖLÜM 2.	5
2.1. GÜNEŞ VE GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ.....	5
2.2. GÜNEŞ PİLLERİ VE ARABALARDA KULLANIMI.....	6
2.2.1. Güneş Pilleri.....	6
2.2.1.1. Güneş Pillerinin Tarihçesi.....	7
2.2.1.2. Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışma Prensibi.....	9
2.2.1.3. Güneş Pili Çeşitleri.....	11
2.2.2. Güneş Enerjisinin Kara Taşıtlarında Kullanımı.....	14
2.2.2.1. Güneş Arabalarının Kullanımının Kazandıracakları.....	15
2.3. FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORLARI.....	16
2.3.1. Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Avantajları.....	17
2.3.2. Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Dezavantajları.....	17
2.3.3. Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Çalışma Prensibi.....	17
2.4. GÜNEŞ ARABASI SİSTEM BİLEŞENLERİ.....	18

	<u>Sayfa</u>
2.4.1. Mekanik ve Yapısal Bileşenleri.....	18
2.4.1.1. Sürücü Kontrolleri.....	18
2.4.1.2. Sürüş Takımı.....	19
2.4.1.3. Mekanik Sistemler.....	20
2.4.1.4. Gövde ve Şase.....	21
2.4.2. Elektrik ve Elektronik Bileşenleri.....	25
2.4.2.1. Motor.....	25
2.4.2.2. Akü.....	25
2.4.2.3. Güneş Jeneratörü.....	25
2.4.2.4. Maksimum Güç Noktası İzleyici.....	26
2.4.2.5. İleri Düzey Kontrol Sistemleri.....	27
BÖLÜM 3.	28
3.1. ŞASE TASARIM VE İMALATI.....	28
3.2. KASA TASARIM VE İMALATI.....	30
3.3. YÜRÜYEN AKSAM, YÖN VERME DÜZENEGİ VE SÜSPANSİYON.....	34
3.4. FREN SİSTEMİ.....	35
3.5. MOTOR VE MOTOR SÜRÜCÜSÜ.....	35
3.6. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ.....	36
3.7. AKÜ.....	37
3.8. GÜNEŞ MODÜLLERİ VE ELEKTRİK SİSTEMİ.....	38
3.8.1. Güneş Modülleri.....	38
3.8.2. Elektrik Sistem Düzeni.....	39
3.8.3. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazları.....	42
3.8.3.1. Dijital Pens Avometre.....	42
3.8.3.2. Güneş Işınımı Ölçüm Cihazı.....	42
3.8.3.3. Motor Devri Ölçüm Cihazı.....	42

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
4.1. GÜNEŞ IŞINIMINA GÖRE GÜNEŞ MODÜLÜ GERİLİM VE AKIM DEĞERLERİ.....	43
4.1.1. Güneş Işınımı Gerilim İlişkisi.....	43
4.1.2. Güneş Işınımı Akım İlişkisi.....	44
4.2. AKÜ ŞARJ VE DEŞARJ SÜRELERİNİN GÖZLEMLENMESİ.....	45
4.3. MESAFENİN HESAPLANMASI.....	46
4.4. SİSTEM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	47
BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Güneş Pili, Hücre, Modül ve Panel.....	7
Şekil 2.2. P-N Birleşimli Bir Diyodun Simetrik Özellikleri ve Diyodun Karanlık Işık Altında Akım-Gerilim Karakteristikleri.....	9
Şekil 2.3. Boron İçeren P Tipi ve Fosfor İçeren N Tipi İki Slikon Parçasının Birleşimi İle Oluşan P-N Birleşme Bölgesi.....	10
Şekil 2.4. Yıllara Göre Toplam Akaryakıt Tüketimi.....	15
Şekil 2.5. Fırçasız Doğru Akım Motoru İç Yapısı.....	18
Şekil 2.6. Güneş Arabalarında Kullanılan Gövde Şekilleri.....	23
Şekil 3.1. Aracın Şase Tasarımının Solidworks’ de Yapılması.....	29
Şekil 3.2. Aracın Şase İmalatı.....	29
Şekil 3.3. Kasa Tasarımı.....	30
Şekil 3.4. Kasa Tasarımı Üstten Görünüşü.....	30
Şekil 3.5. Kasa Tasarımı Yandan Görünüşü.....	31
Şekil 3.6. Kasa Tasarımı Önden Görünüşü.....	31
Şekil 3.7. Üst Kabuk Kalıbı İmalatı.....	32
Şekil 3.8. Üst Kabuk İmalatı.....	33
Şekil 3.9. Kasa İmalatı Bitmiş Boyama Öncesi.....	33
Şekil 3.10. Kasa İmalatı Bitmiş Boya Sonrası.....	33
Şekil 3.11. Yürüyen Aksam ve Direksiyon Düzeneği.....	34
Şekil 3.12. Disk Fren.....	35
Şekil 3.13. Erato 2500 W Fırçasız Doğru Akım Motoru.....	36
Şekil 3.14. Motec PV 4830 Mppt Şarj Kontrolcüsü.....	37
Şekil 3.15. Select Kuru Akü.....	38
Şekil 3.16. Güneş Pili.....	38
Şekil 3.17. Kapsülleme İşlemi Yapılmış Yarı Esnek Güneş Modülü.....	39
Şekil 3.18. Birincil Elektrik Sistem Düzeni.....	40
Şekil 3.19. İkincil Elektrik Sistem Düzeni.....	41
Şekil 3.20. Güneş Modülleri Montajı.....	41

Sayfa

Şekil 4.1. Güneş Işınımına Göre Gerilimve Akımın Güç İle Karşılaştırılması.....	44
Şekil 4.2. Sıcaklığa Bağlı Gerilim ve Akım Değişim Grafiği.....	45
Şekil 5.1. Formula G 2008 Yarışı.....	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Güneş Işınımına Göre Ölçülen Güneş Modülü Gerilim Akım Değerleri.....	43

EKLER DİZİNİ

EK A. Fırçasız Doğru Akım Motoru Kontrolör Bağlantısı Blok Diyagram

EK B. Fırçasız Doğru Akım Motoru Kontrolör Bağlantı Şekli

EK C. Motor ve Montaj Ölçüleri

EK D. Fırçasız Doğru Akım Motorlarına İlişkin Blok Diyagram

EK E. FIA'nın Belirlediği TÜBİTAK Tarafından Açıklanan Kurallar

EK F. TÜBİTAK Tarafından Açıklanan Formula G 2008 Sonuçları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	:	akım
Ah	:	amper saat
kg	:	kilogram
km	:	kilometre
km/h	:	hız / saatte gidilen yol
mV	:	milivolt
Nm	:	Newton metre
rpm	:	hız / devir
V	:	(Volt) gerilim
VDC	:	volt doğru akım
W	:	(watt) güç
Wh	:	watt saat
W/m ²	:	ışınım şiddeti

KISALTMALAR

DC	:	(DA) doğru akım
FV	:	fotovoltaik
Mppt	:	Maximum power point tracker
Mtep	:	Milyon ton eşdeğer petrol
PV	:	photovoltaik

BÖLÜM 1

1.1. GİRİŞ

Ülkemiz enerji durumu ve gelecek için yapılan ön değerlendirmeleri incelersek; konutlarda, ulaşım ve sanayide ihtiyaç duyulan enerji seviyesi yükselmekte: buna karşın üretilen enerji seviyesi düşmektedir. Yapılan enerji üretim ve tüketim projeksiyonlarında 2000 yılında 79,7 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) olan genel enerji talebinin, yıllık ortalama %6,8 artış hızı ile 2005 yılında 129,6 Mtep, 2010 yılında 171,3 Mtep ve 2020 yılında 298,4 Mtep'e ulaşması beklenmektedir. 2000 yılında toplam birincil enerji talebinin, sadece % 34'ü yerli kaynaklar ile karşılanabilmiştir. Üretim imkanlarının çok üzerinde gerçekleşen talep artışı nedeniyle, üretimin tüketimi karşılama oranının, 2010 yılında %27, 2020 yılında ise %23 olması tahmin edilmektedir. Diğer bir deyişle yakın gelecekte enerji tüketiminde ithalatın payının daha da artması beklenmektedir. Toplam enerji ithalatının 2010 yılında 124 Mtep ve 2020 yılında 228 Mtep'e ulaşması beklenmektedir [1].

Yaşanan 2001 - 2002 ve 2008 krizleri de göz önüne alındığında bu oranların ön görülenlerden daha düşük olması beklense de; enerji talebindeki yükseliş gerçeği değişmeyecektir. Tüm bu oranlar göz önüne alındığında ve özellikle petrol, motorin, doğalgaz gibi yakıtları ülkemizin ithal etmesi, fosil yakıt teminini dışa bağımlı şekilde devam ettirmesi enerji politikamızın milli olmadığını ortaya koymaktadır. Fosil yakıt kullanımı, ülkemize ekonomik anlamda ciddi zararlar verirken çevresel etkileri de küçümsenecek boyutta değildir. Gelecek yüzyılda milli enerji politikaları gereği, yenilenebilir enerji kaynaklarında gelişim göstermek durumunda olan ülkemizde de bir takım çalışmalara da başlanmıştır. Bunlardan rüzgar santrallerinin kurulması, güneş enerjisi ile elektrik üretiminin teşvik edilmesi umut verici gelişmelerdir.

Fosil yakıt tüketiminin en yüksek olduğu alan ulaşım araçlarıdır. Ulaşım araçları için alternatif yakıtlar denense de, henüz petrolden tam bağımsız bir sistemin seri üretimine geçilmemiştir. Uzun yıllardır akademik düzeyde yürütülen güneş ve hidrojen enerjili araba projeleri prototip olmaktan çıkamamıştır. Bazı araba firmaları melez (hibrit) sistemli araçlar üretip satışa sunsa da bu genelde benzin jeneratörü mantığına dayanmaktadır. Bilim çevrelerinde, dünya petrol rezervi azalımının tehlikeli düzeye gelmesine kadar, yenilenebilir enerji kaynakları ile işleyen araçları caddelerde göremeyeceğimiz görüşü hakimdir.

Diğer yandan fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit (CO_2) miktarı giderek artmakta ve çevresel etkileri dünyayı geri dönülmez tahribatlara maruz bırakmaktadır. Ormanların azalması, küresel ısınma ve sonucunda buzulların erimesi 2040 yılında deniz seviyesinin 1 metre yükselmesini sağlayarak bazı şehirlerin yakın zamanda tamamen sular altında kalacağı ön görülmektedir. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan gazlar canlı yaşamını sağlık açısından da tehdit etmektedir. Karbon monoksit (CO) vücuttaki oksijen oranını azaltarak ölümlere yol açarken, kükürt dioksit (SO_2) kansere sebep olmaktadır. Doğalgazın yanmasıyla ortaya çıkan kokusuz ve gözle görülemeyen azot oksit (NO) ise atmosferde diğer gazlarla etkileşime girerek vücudun bağışıklık sistemini etkilemektedir.

Yenilenebilir enerji kaynağı "Doğanın kendi evrimi içinde bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı" olarak tanımlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özellikleri, karbondioksit emisyonlarını azaltarak çevrenin korunmasına yardımcı olmaları ve yerli kaynaklar oldukları için enerjide dışa bağımlılığın azalmasına sebep olmalarıdır. Unutulmamalıdır ki; gelecekte dünya lideri olacak olan ülkeler, enerjisini üreten ve dünya enerji ihtiyacını karşılayabilen ülkeler olacaktır. Bunu gerçekleştirirken kullanılan enerji kaynakları dünyaya ve canlı yaşama zarar vermeye devam ettiği takdirde biz insanlar yaşadığımız dünyanın sonunu yanlış tercihler yüzünden getirmiş olacağız.

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Yapılan çalışma TÜBİTAK'ın düzenlediği "Formula G" Güneş Arabaları yarışı için Karabük Üniversitesi adına "Safran Car" yarış aracının imalatı, çalıştırılması ve test edilmesi verimli çalışma şartlarının belirlenebilmesi, aracın gelişimi açısından doğru bir strateji takibi ve sürüş stratejisi oluşturabilmek amacıyla yapılmıştır. Aracın ayrı ayrı Karabük ili şartlarında, yüksüz koşulda, sürtünmesiz ortamdaki verilerinin yarış verileri ile karşılaştırılmasını ve analizini kapsamaktadır.

1.3. KONUYLA İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Hammad and Khatib (1996), yaptıkları çalışmada; 6m² güneş modülü kullanılan 5 m uzunluk 1,8 m genişlikte 2 kişilik ve kişi başına 480 W enerji üreten bir güneş arabasının tüm enerji parametrelerinin Amman şartlarında incelemiştir [2].

Pudney et al. (2000), güneş enerjili arabalarda optimal enerji düzenini belirlemek amaçlı bir çalışma yapmışlardır. Üzerinde çalışılan araç Dünya Güneş Rallisinde yarışan bir güneş arabasıdır. Aracın optimum çalışma verilerini belirlemek amacı ile yapılmış bir çalışmadır [3].

Howlett et al (1997), yaptıkları çalışma 1993 dünya güneş rallisinde yarışan 52 araçtan yarışı bitiren 5 araç üzerinden yapılmış bir araştırma projesidir. Çalışmada optimal sürüş stratejisinin yarış için önemi anlatılırken verimsiz enerji depolamanın gereksizliği enerji depolama ihtiyacının güneş ışınımının düşük olduğu anlarda kullanımı için gerekli olduğu ve bu durumlarda sürüş hızını üretilen güç ile orantılı düşürmek gerektiğini ispatlama amaçlı bir çalışmadır [4].

Kennedy et al (1999), yaptıkları çalışmada; elektrikli araçlarda lityum-ion pil kullanımı denenmiştir. 1999 yılında dünya güneş rallisine katılan bir güneş arabasında kullanılan lithium-ion pillerin uygunluğu konusunda yapılmış bir çalışmadır [5].

Lovatt et al (1997), yaptıkları çalışmada; dünyada nadir bulunan bir mıknatıs türünden imal edilen manyetik doğru akım motorunun, verimi %92-%95 ve ağırlığı 12 kg–16 kg aralığında olan motorlarla karşılaştırmışlardır. Karşılaştırılan motorun verimi %97,5 ve ağırlığı 8,3 kg’ dır. Dünya güneş rallisinde motor veriminin diğer motorlara oranla daha yüksek olduğu ispatlanmıştır [6].

King (1990), yaptığı çalışmada; yarışlarda kullanılan güneş arabalarından yola çıkarak, günlük kullanımda evden işe yolculuk maksatlı güneş enerjili araçların kullanılabilirliğini ve Amerika Birleşik Devletleri şartlarında uygunluğunu araştırmıştır [7].

Üstün vd (2006), yaptıkları çalışmada; Tübitak Bilim Teknik Dergisi’nin düzenlediği Formula G yarışmasının, her iki ayağında da birincilik kazanan İstanbul Teknik Üniversitesi Güneş Arabası Ekibi’ne ait, ARİba isimli güneş arabasının elektrik, elektronik, elektromekanik düzeneklerinin tasarım metodolojisi ve bu düzeneklerin bilgisayar benzetim çalışmaları sunulmaktadır. Bu tasarımda güneş gözeleri (güneş pilleri), elektrik besleme ve akü devreleri, doğrudan sürürlü fırçasız doğru akım motoru, motor sürüş ve kontrol devreleri, veri haberleşme sistemi, yol sürüş senaryoları ve benzetimleri ile aracın yarış performansını optimize eden enerji yönetim sistemi ile ilgili geliştirmeler açıklanmaktadır. Bu çalışma ile, İTÜ ARİba ekibi, yarış jürisi tarafından TÜBİTAK “2006 En Yüksek Yerli Katkı Özgün Tasarım Ödülü” ne layık bulunmuştur [8].

BÖLÜM 2

2.1. GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ

Güneş 1,4 milyon km çapıyla, dünyanın 110 katı büyüklüğünde ve dünyadan $1,5 \times 10^{11}$ m uzaklıkta, yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı bir yıldızdır. Yüzey sıcaklığı, yaklaşık 6.000 °K olup iç bölgelerindeki sıcaklığın 8×10^6 °K ile 40×10^6 °K arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Doğal ve sürekli bir füzyon reaktörü olan güneşin enerji kaynağı; 4 Hidrojen atomunun 1 Helyum atomuna dönüşmesinde gizlidir. 4 hidrojen atomu 4,032 birim ağırlıkta, hâlbuki 1 Helyum atomu 4,003 birim ağırlıktadır. Bu olay sonucu; 0,029 birim ağırlık Einstein'ın madde-enerji bağıntısı sonucu enerjiye dönüşmektedir. Yani güneşte, her saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı $3,86 \times 10^{26}$ J enerji açığa çıkmakta ve bu enerji, ışınım şeklinde uzaya yayılmaktadır. Toplam enerji rezervi $1,785 \times 10^{47}$ J olan bu yıldız daha milyonlarca yıl ışınmasını sürdüreceğinden Dünya için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Dünyanın çapına eşit bir dairesel alan üzerine çarpan güneş gücü, 178 trilyon kW düzeyindedir. Güneş enerjisi, uzaya ve gezegenlere elektromanyetik ışınım (radyasyon) biçiminde yayılır Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır [9, 11].

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar, özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [9, 10].

Güneş enerjisi, günümüzde konut ve iş yerlerinin iklimlendirilmesi (ısıtma-soğutma), yemek pişirme, sıcak su temin edilmesi ve yüzme havuzu ısıtılmasında; tarımsal teknolojide, sera ısıtması ve tarım ürünlerinin kurutulmasında; sanayide, güneş ocakları, güneş fırınları, pişiricileri, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesi

konularında kullanılmaktadır. Ayrıca güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, ısı borusu uygulamalarında; ulaşım ve iletişim araçlarında, sinyalizasyon ve otomasyonda, elektrik üretiminde kontrollü olarak kullanılmaktadır [9, 12]. Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir:

Isıl Güneş Teknolojileri: Bu sistemlerde, öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.

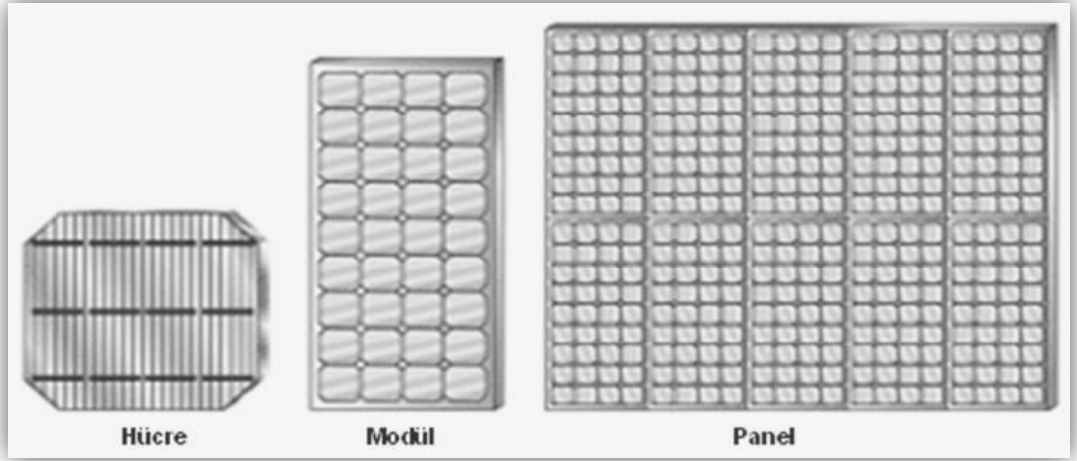
Güneş Pilleri: Fotovoltaik piller de denen bu yarı iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler.

2.2. GÜNEŞ PİLLERİ VE ARABALARDA KULLANIMI

Güneş enerjisi birçok alanda kullanıldığı gibi ulaşım araçlarında da kullanımı mümkündür. Elektrik motorlu araçlar otomobil firmalarınca satışa sunulmaya başlanmış olup tüketici talebinin gün geçtikçe arttığı gözlemlenmektedir. Halen gelişme sürecinde olan güneş pili teknolojileri, elektrikli arabaların enerji gereksinimini karşılayabilecek düzeye geldiğinde güneş enerjili arabaların günlük hayatta kullanımını da mümkün kılacaktır.

2.2.1. GÜNEŞ PİLLERİ

Fotovoltaik terimi “foto” ve “volta” kelimelerinden oluşmaktadır. Foto “ışık”, Volta ise elektrik birimi olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaik “güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirme” anlamına gelmektedir. Fotovoltaikler için kullanılan ortak kısaltma PV’dir [13]. Fotovoltaik piller için kullanılan ortak terim “Güneş Pilleri” olmakla birlikte, piller her tür ışık altında elektrik üretebilirler (Şekil 2.1). Güneş pilleri, enerjinin korunumu yasasına uygun olarak, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır; ancak enerjiyi depolayamazlar [14].



Sekil 2.1.Günes pili, hücre, modül ve panel [15].

Güneş Pillerinin yapısında temel malzeme olarak silikon kullanılmasına rağmen pillerin yapısında bulunan diğer malzemelerin gelişmesi ile birlikte maliyet kayıpları azaltılmış ve verimlilikleri arttırılmıştır. Güneş pili maliyetlerinde son yıllarda etkili bir azalma yaşanmaktadır. Ancak fotovoltaik enerji üretim maliyetleri hala konvansiyonel enerji kaynaklarından daha yüksektir. Fotovoltaik sektöründeki yüksek büyüme oranından dolayı, maliyetlerinin giderek azalacağı yönünde beklentiler devam etmektedir [13].

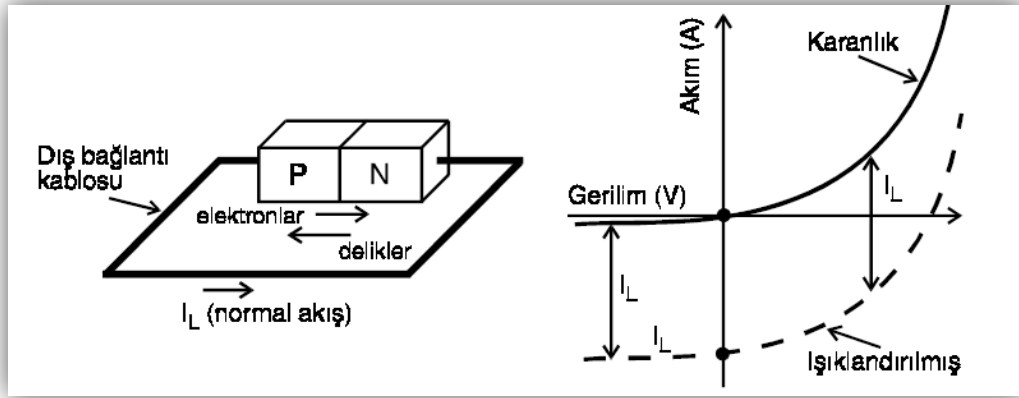
2.2.1.1. Güneş Pillerinin Tarihçesi

İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek Fotovoltaik olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1, değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için

yapılmıştır. Fotovoltaik güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir. 1970' li yılların başlarına kadar, güneş pillerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'ler de başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki 1. Petrol bunalımını izleyen yıllarda olmuştur. Amerika'da, Avrupa'da, Japonya'da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir. 1975' ten sonraki ilk 15 yılda özellikle uzay programları için silikon güneş pillerinin üretimi yılda ortalama 100 kW civarındaydı. 1987 yılına doğru tüm dünya içinde yerküre uygulamaları için kullanılan modellerin yıllık siparişi 1986 yılında 28.6 MW' a ulaştı. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirme, basit, çevre dostu olan fotovoltaik sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması misyonu uzun yıllar üniversitelerin yüklendiği ve yürüttüğü bir görev olmuş ve bu nedenle kamuoyunda hep laboratuarda kalan bir çalışma olarak kalmıştır. Ancak son yirmi yılda dünya genelinde çevre konusunda duyarlılığın artmasına bağlı olarak kamuoyundan gelen baskı, çok uluslu büyük şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamışlardır. Büyük şirketlerin devreye girmesiyle fotovoltaik piller konusundaki teknolojik gelişmeler ve güç sistemlerine artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir. Yakın geçmişe kadar alışıla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek "sosyal maliyet" göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemlerden fosile dayalı sistemlerin daha ekonomik olarak değerlendirilebilir [16].

2.2.1.2. Güneş Pillinin Yapısı ve Çalışma Prensibi

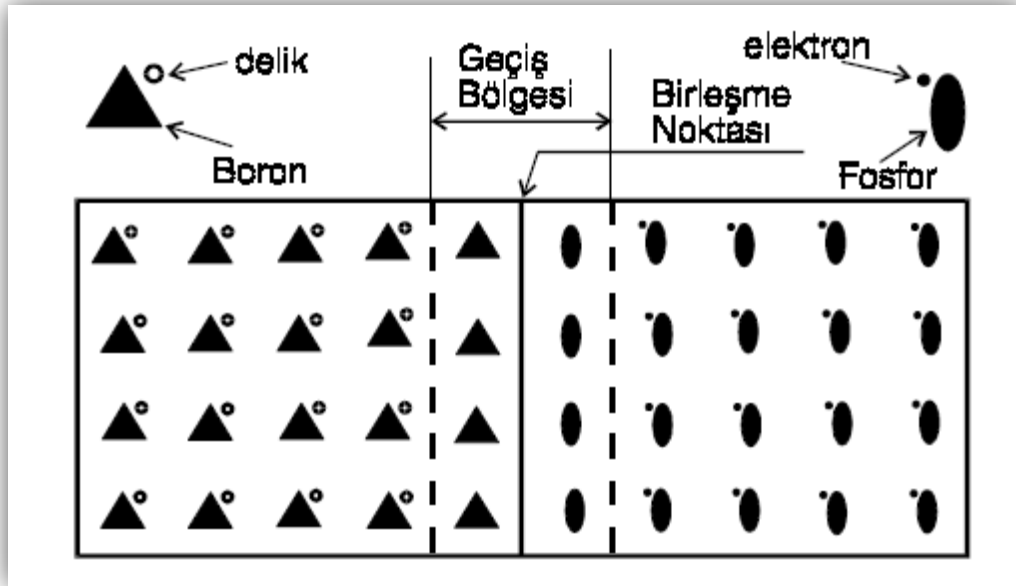
Fotovoltaaj (FV) güneş pilleri algıladıkları foton enerjisinden eşit sayıda pozitif ve negatif yükler oluşturarak güneş enerjisini doğrudan kullanılabilir yararlı elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Oluşturulan pozitif ve negatif yükler fotovoltaaj ve fotoakım meydana getirmek üzere ayrıştırılırlar. Negatif (elektronlar) ve pozitif (delikler) yükleri ayırştırmak için en uygun malzemeler Silikon, Bakır-Kadmium Sülfat ve Galyum-Arsenit gibi yarıiletkenler olup, fotovoltaaj güneş pillerinin üretiminde en fazla bunlar kullanılırlar.



Şekil 2.2. P-N Birleşimli Bir Diyodun Simetrik Özellikleri ve Diyotun Karanlık Işık Altındaki Akım-Gerilim Karakteristikleri [14].

FV güneş pillerinin çalışması pozitif-negatif (P-N) birleşimli bir diyotun çalışmasına benzer. Yani elektronlar N katmanından çıkıp bir dış devre üzerinden P katmanına geri dönerler ve deliklerle yeniden birleşirler. Şekil 2.2'de bu P-N birleşimi basitçe gösterilmiştir. Yarıiletken bir diyot oluşturulurken, pozitif (P) tipi ve negatif (N) tipi iki yarıiletken malzeme birleştirilir. Örneğin bir Silikon P-N diyotta, P tipi bir malzeme elde etmek için genellikle saf Silikon malzemeye bir miktar (1:1,000,000 oranında) Boron eklenir. Benzer şekilde N tipi bir malzeme elde etmek için de saf Silikona bir miktar Fosfor eklenir. Fosfor eklenen Silikon parçasında serbest elektronlar oluşurken, Boron eklenen parçada da boşluklar (delikler) oluşur. Biri Boron, diğeri Fosfor karışımına sahip iki Silikon parçası birleştirilmeden önce, N ve P malzemeler doğal yüklerine sahiptirler. Yani proton ve elektronları birbirine eşittir. Hatta malzemelerden birinde kullanılabilir elektronlar, diğesinde ise kullanılabilir

delikler mevcuttur. Ayrıca her iki parça da kendi doğal atomları ve normal elektron sayılarına sahiptirler. P ve N tipi malzemelerin birleştirilmesiyle N tipi malzemede ki elektronlar P tipi malzemeye akmaya başlarken, P tipi malzemede ki delikler de N tipi malzemeye akmaya başlar. Bu akış, aniden bir dengesizlik meydana getirir. N tipi malzeme bazı valans elektronlarını kaybetmeye başlar ve böylece net bir pozitif yüke sahip olur. P tipi malzeme de bazı ek elektronlar kazandığı için net bir negatif yüke sahip olur. Böylece sınır potansiyeli olarak isimlendirilen küçük bir gerilim, birleşme noktası kenarlarında oluşarak daha fazla elektronun N tipi malzemedan P tipi malzemeye akması önlenir ve geçiş bölgesindeki bütün serbest elektron ve delikler bu bölgenin dışına itilirler. P-N birleşimi ve prensip yapısı Şekil 2.3'de verilmektedir. Aslında burada, bir malzeme bloğu içerisinde faaliyete sokulan sürekli bir elektromanyetik kuvvet oluşturulmaktadır.



Şekil 2.3. Boron İçeren P Tipi ve Fosfor İçeren N Tipi İki Silikon Parçasının Birleşimi İle Oluşan P-N Birleşme Bölgesi [14].

Daha önce de belirtildiği gibi, P tipi malzeme de bol miktarda delikler bulunur. Bunun nedeni de Silikona karıştırılan Borondur. Benzer şekilde Silikona karıştırılan Fosfor nedeniyle N tipi malzemede de bol miktarda elektron bulunur. Boron karışımı nedeniyle P tipi malzemede yoğunluk kazanan deliklere P çoğunluk taşıyıcılar, Fosfor karışımı nedeniyle N tipi malzemede yoğunluk kazanan elektronlara da N

çoğunluk taşıyıcılar adı verilebilir. Ancak bu çoğunluk taşıyıcıların yanı sıra, hem P hem de N tipi malzeme de azınlık taşıyıcılar mevcuttur. Yanı çoğunlukla deliklerin bulunduğu P tipi malzeme de bir miktar da elektron bulunur. Ancak bunlar az miktarda olduğundan, P azınlık taşıyıcılar olarak isimlendirilirler. Benzer şekilde N tipi malzemede çoğunluğu oluşturan elektronların yanı sıra bir miktar da delik bulunur ve bunlar N azınlık taşıyıcılar olarak isimlendirilirler. P ve N tipi malzemelerdeki çoğunluk taşıyıcılar Silikonla birleştirilen Boron ve Fosfor tarafından belirlendiği için ışık ya da termik uyarmalardan etkilenmezler. Ancak, azınlık taşıyıcıların sayısı, doğrudan doğruya PN birleşimini etkileyen ışık ve ısıya bağlıdır. İşte bu azınlık taşıyıcılar, bir FV güneş pilinde elektrige dönüştürülecek güneş gücünün temel taşlarını teşkil ederler [14].

2.2.1.3. Güneş Pili Çeşitleri

Fotovoltaik teknolojileri, her biri ayrı kristal yapıya sahip atomlara göre sınıflandırılabilir. Bube (1998) tarafından, bu kristallerin boyutlarına göre bir soyağacı tanımlanmıştır [17].

Tek Kristalli Silikon Güneş Pilleri

Yakın bir zamana kadar güneş pillerinin çoğu saf tek kristalli silikonlardan yapılmıştır. Tek bir silikonla birbirini takip eden kristal kafes şeklindeki bu yapılar hemen hemen kusursuz denecek saflıktadır [16]. Silisyum elektriksel, optiksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojisinde elde edilen ilerlemeler bu malzemenin öne çıkmasını sağlamıştır. Saf tek kristal üretimi oldukça zor ve pahalı bir teknolojiyi gerektirmektedir. Oksijenden sonra yeryüzündeki en çok bulunan element olan silisyumun en çok bulunan biçimi kum ve kuartzdır. Kumun saflık derecesi çok düşük olduğundan, kullanılmaya uygun değildir. Ancak, kuartzın %90'ı silisyumdur. Kuartz işlenerek %99 silika elde edilir. Ardından, silikadan metalürji kalitesinde silisyum elde edilir. Bunu izleyen aşamada ise, silisyum saflaştırılarak yarı-iletken niteliğinde çok kristalli silisyum elde edilir. Poly-silisyum elde edilmesine kadar olan aşamaların her birisi yoğun enerji gerektiren ve maliyeti yükselten işlemlerdir [18].

Çok Kristalli Silikon Güneş Pilleri

Çok kristalli silikonlar, tek kristal silikonların küçük taneciklerinden oluşmaktadır. Çok kristalli silikonlardan değişik yollarla direkt güneş pili levhaları yapılmaktadır. Tek kristalli silikonların üretimine benzeyen bu piller eriyen çok kristalli silikonların kontrollü şekilde küp şeklindeki kalıplara dökülüp soğumasından sonra kare şeklinde kesilmesi ile oluşur. Çok kristalli fotovoltaik pillerin üretimi tek kristallilere göre daha kolay ve daha ucuzdur. Fakat çok kristalli silikonların verimi daha düşüktür. Çok kristalli pillerin verimlilikleri laboratuvar üretimlerinde %18, seri üretimlerde ise %13-14 oranındadır. Her iki hücre pili için de yarı iletken tabakanın kalınlığının arttırılması ile verimliliğin artacağı savunulmaktadır [16].

İnce Film Güneş Pilleri

İnce film hücreler, yarı iletken malzemelerin; cam, paslanmaz çelik ya da plastikten yapılmış geniş yüzeyler üzerine ince film tabakası şeklinde kaplanması ile elde edilen hücrelerdir [19]. Güneş pillerinde kullanılan malzemenin ve işçiliğinin azaltılması, teknolojinin basitleştirilerek maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarından, yarı-iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması yöntemi, farklı bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Bu alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları güneş pilleri üretiminde kullanılabilecek birçok yarı-iletken malzemenin düşük maliyetlerde cam, metal ya da plastik folyo gibi tabakalar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceğini göstermiştir. İnce film fotovoltaik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. Başka bir deyişle ince film yarı-iletken malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden-milyonda birine kadar değişen damarlardan oluşmaktadır. İnce film güneş pilleri arasında üç büyük aday öne çıkmaktadır. Bunlar; amorf-silisyum, kadmiyum ve tellür elementlerinden meydana gelen bileşiklerdir [18]. Optiksel özellikleri uygun seçilen bir yarı iletken malzeme milimetrenin binde biri kadar bir kalınlık içerisinde güneş ışınlarının tümüne yakın bir kısmı soğurulabilir. Dolayısı ile ince film fotovoltaik malzeme kalınlık, silisyum üzerinde yapılan pillere göre çok daha azdır. Ayrıca ince-film malzeme istenen bir biçimde çok farklı malzeme üzerinde ve geniş yüzeylere kaplanabilir, oysa silisyum piller büyütülen kristalin

boyutları ile sınırlıdır. Fotovoltaik modül yapımında ince filmlerin kullanımı daha kolay ve uygundur. Bugün laboratuvar verimlilikleri %18'lere kadar çıkmış olan ince film güneş pillerinin uzun dönemde istenen düzeylere ulaşmamış olması, üretici firmaların kararlılıklarını etkilemektedir. Ancak, ulaşılan düzeyde bile ince film güneş pilleri için Siemens, BP Solar, Conan gibi firmalar pilot üretim denemelerini sürdürmektedirler. Amorf Silisyum güneş pilleri Amorf silikon olarak bilinen güneş pilleri silikonların çok ince tabakalarından oluşmaktadır. Bu silikon atomları yukarıda belirtilen kristal formlara göre daha düzensiz şekilde yerleşmiştir. Amorf silikon hücrelerini üretmek diğer kristal silikonlara göre oldukça ucuzdur. Ayrıca bir Amorf Silisyum ışığı daha kolay içine çekmektedir. Bu pillerin üretim işlemleri kristal silikonlar için gerekenden daha düşük sıcaklıklardadır. Düşük enerji ihtiyacı olan yerlerde daha çok tercih edilmektedir [16]. Soğurma katsayısı çok büyük olan amorf silisyum, 250°C dolayındaki sıcaklıklarda geniş yüzeylere düzgün bir şekilde kaplanabilmektedir. Amorf Silisyum ilk olarak 1981 yılında ticari anlamda ürün olarak satışa sunulmuştur. Bu yıllardaki verimi %10 civarında olan amorf silisyum PV hücrelerin verimi, 1987 yılına gelindiğinde %12,7'lere ulaşmıştır [20]. Amorf-Silisyum malzemesini kristalli-silisyumdan ayıran özellik, silisyum atomlarının malzeme içindeki düzenlerinin, birinci derece komşu atomların ötesinde gelişigüzel olmasıdır. Malzeme içindeki yapı taslarının gelişigüzel dizilisi amorf silisyumun elektriksel iletim kalitesini düşürse de, yarı iletken içerisine %5-10 oranında hidrojen katılarak fotovoltaik çevrime uygun düzeyde tutulabilirler [18].

Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilleri

Periyodik tablonun ikinci grubunda bulunan Kadmiyum elementi ile altıncı grubunda bulunan Tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşan (II-VI birleşik yarı-iletkeni kadmiyum tellür) CdTe'nin, oda sıcaklığında yasak enerji aralığı $E_g=1,5\text{eV}$ değeri ile güneş spektrumundan maksimum dönüşümü elde etmek için gerekli olan değere oldukça yakındır. Yüksek soğurma katsayısı yanında, ince film büyütme teknolojisinin birçoğu ile kolayca üretime olanak tanınması, geniş yüzey alanlı güneş pili üretiminde CdTe birleşik yarı iletkeninin öne çıkmasını sağlamıştır [18]. Kadmiyum Tellür modülleri basit ve ucuz galvanize işlemlerine yakın bir şekilde üretilmektedir. Amorf-Silikonda meydana gelen başlangıç performans düşüklükleri

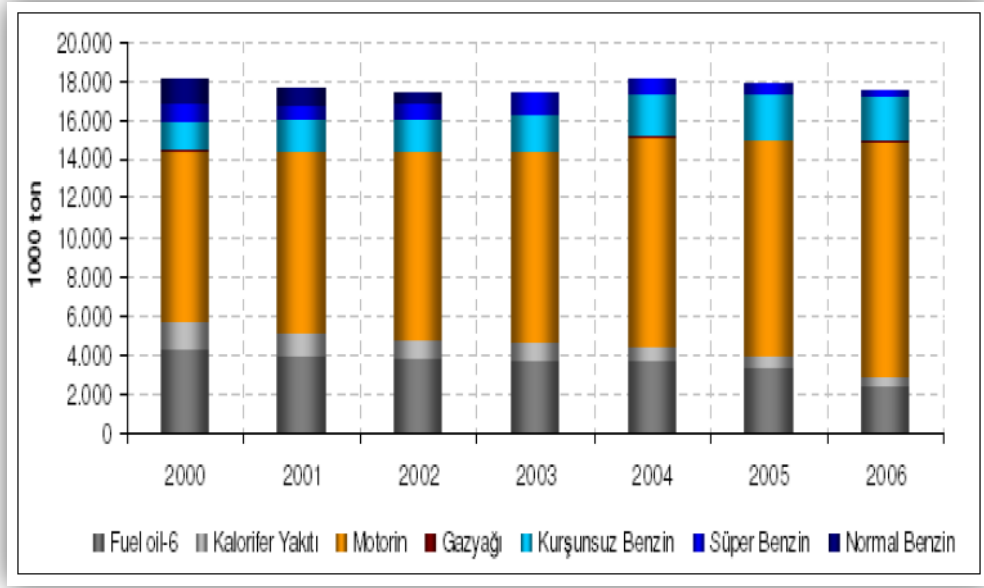
olmadan Kadmiyum Tellürün modül verimliliğın %10'u asması istenmektedir. Bu modüller Kadmiyum ve yüksek zehirli madde içerdiklerinden üretimleri boyunca sıkı güvenlik önlemleri alınması gerekmektedir. BP şirketine bağılı BP Solar 2002'de Kadmiyum Tellür üretimlerini durdurmuştur. Diğer Japon firma Matsushita'da 2002'de Kadmiyum Tellür üretimini durdurmuştur. Fakat Amerika'da hala Kadmiyum Tellür üretimi mevcuttur [16]. BP solar firması zehirli etkiyi ortadan kaldırmaya yönelik olarak pilot üretime başlamış olup, 10 MW/yıl üretim kapasiteli bir fabrikayı Fairfield California-ABD kurma çalışmalarını sürdürmektedir. Bu gibi etkenlerin olmasına rağmen BP Solar, Solar Inc. ve Antek gibi çok uluslu şirketler büyük ölçekli üretimler için ciddi adımlar atmaktadır [18]. Bakır indiyum diselenid güneş pilleri Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı grupta yer alan elementlerin üç ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşikte, yarı-iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır indiyum ve Selenyumdan yapılan üçlü bileşik yarı-iletkenle başlayan bu grup (CIS) güneş pilleri olarak anılır. Laboratuardaki küçük alan pillerinin verimliliği %18'e kadar ulaşırken, 900cm² yüzey alana sahip modüllerin verimlilikleri %15 dolayındadır [19].

2.2.2. Güneş Enerjisinin Kara Taşıtlarında Kullanımı

Yalnızca elektrik enerjisiyle çalışan otomobil fikrinin temeli, 1900'lü yılların başına kadar uzanıyor. Ancak asıl ilgi, 1983 yılında Avustralya'da Hans Tholstrup ve Larry Perkins adındaki iki adamın, Perth'den Sydney'e kadar, güneş enerjisiyle çalışan bir arabayla yolculuk etmesiyle ortaya çıkar. Geleceğın otomobilinin güneş enerjisiyle çalışan otomobil olacağı fikri, iyice taraftar toplamaya başlar. O günden itibaren de, pek çok kişi, güneş enerjisiyle çalışan otomobiller üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Aradan geçen yıllara ve bu konuda çalışan bilim adamlarının küçümsenmeyecek kadar çok olmasına rağmen, ilerleme son derece yavaş bir şekilde sürüyor (Anonim 2006).

2.2.2.1. Güneş Arabalarının Kullanımının Kazandıracakları

Yüksek kazanç sağlanan petrol sektörünün, birden bire ortadan kaldırılabilmesi kuşkusuz ihtimal dahilinde olmayan bir durum olsa da konu ile ilgili otoriteler olarak niteleyebileceğimiz insanların beyanları, bu teknolojinin tam kullanımının 80 yıl gibi bir sürede olabileceği doğrudur.



Şekil 2.4. Yıllara Göre Toplam Akaryakıt Tüketimi.

Şekil 2.4'te görüldüğü üzere en çok kullanılan petrol ürünleri motorin ve benzin türleridir. Dünya güneş enerjili araç kullanımına geçtiğinde, petrol tüketimi %90 oranında azalacaktır.

Şüphesiz ki, petrol kullanımı yıllık 18 milyon ton seviyesinden 2 milyon ton seviyelerine indiğinde, çevre kirliliği de aynı oranda azalma gösterecek ve dünya daha yaşanır bir hal alacaktır. Unutulmamalıdır ki; güneş enerjili araçların imalat fiyatları yüksek olsa da, kullanım sırasındaki sarf giderleri yok denebilecek kadar az bir seviyededir. Basit bir hespla ayda 100 TL yakıt harcayan bir insanın, güneş enerjili bir araca, fosil yakıtlı bir araçtan 1200 lira fazla ücret ödeyerek sahip olması, aracı aldıktan 10 yıl sonra araca ödediği fazla ücreti karşılayarak, sonraki yıllarda akaryakıt sarfiyatı olmadan kullanımı mümkün kılar. Araç kullanımının devam ettiği

diğer yıllarda, petrole ödenen maddi bedeller düşünülürse, güneş enerjili araç orta vadede kullanıcıya araç için ödediği parayı da geri kazandıracaktır.

2.3. FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORLARI

“Fırçasız” terimi servo motorların özel çeşitlerini temsil etmek için kabul görmüştür. Adım motoru ve asenkron motorun yapılarında fırçalar ve komütatör (kollektör) kullanılmasına rağmen fırçasız motor olarak adlandırılmamaktadır. Çünkü “fırçasız” motor, fırçalar ve komitatöre sahip bir doğru akım servo motora benzer performans elde etmek için fırça ve komitatör takımının mekanik sınırlamalarını ortadan kaldırmak amacıyla komitasyon işlemi elektronik olarak yerine getirilecek şekilde tasarlanmaktadır. Komitasyon terimi, genellikle doğru akım makinalarında endüvi sargılarında akımın yönünü değiştirme işlemi olarak bilinir. “Fırçasız doğru akım motoru” terimi alternatif akım makinasının, yarıiletken invertörün ve rotor konum sensörünün bir kombinasyonunu isimlendirmek için kullanılır. Bu kombinasyon sonucunda, klasik doğru akım makinalarındaki gibi doğrusal moment-hız karakteristiğine sahip bir sürücü sistemi meydana getirilir. Bir alternatif akım makinesi stator ve rotordan meydana gelmektedir. Stator kısmında faz sargıları ve rotor yatakları vardır. Bir fırçasız motorda çok sayıda faz sargısı olabilir. Motorun rotoru dönen kısım olup kalıcı mıknatıslardan yapılı ve manyetik akımın kaynağıdır. Motorun otomatik (self) senkron olarak çalışabilmesi için konum sensörü ve yarıiletken invertöre gerek vardır. Yarı iletken invertör konum sensöründen gelen konum bilgisine göre komitasyon sağlamak için kullanılır. Zıt EMK dalga şekli (trapeziodal) olan otomatik-senkron motorlar için “Fırçasız DA Motoru” terimi, zıt EMK şekli sinüsoidal olan otomatik-senkron motorlar için “Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor” terimi kullanılması genel kabul görmüştür. Yamuk zıt EMK’li makine için rotor konum sensörü olarak basit konum dedektörleri kullanılır. Örneğin Hall-Etkili sensörler rotor manyetik alanını algılar ve böylece faz anahtarlama noktalarını tespit edebilirler. Sinüsoidal zıt EML’li makine ise daha hassas konum bilgisi gerektirir. Çünkü stator sargılarına uygulanan akımın dalga şeklinin hassas olarak izlenmesi gerekir. Fırçasız doğru akım motorunda moment fonksiyonu yamuk iken Kalıcı mıknatıslı motorda moment fonksiyonu sinüsoidaldir. Fırçasız hub motorlar genellikle 3,4 veya 6 fazlı olarak üretilirler.

2.3.1. Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Avantajları

- Yüksek verim,
- Doğrusal moment/hız ilişkisi,
- Yüksek moment/havim oranı,
- Az bakır gerektirir,
- Fırçalar ve komitatör yoktur,
- Daha az bakım,
- Tehlikeli ortamlarda kullanılabilir.

Fırçasız motorların uygulama alanlarındaki hızlı artış bu makinaları artık genel makine sınıfına girmeye aday konumuna getirmektedir. Bu motorlar birçok avantaja sahiptirler. Öncelikle verimleri yüksektir. Gerekçe, yüksek verim en büyük katkılarından biridir. Kontrolleri çok kolaydır. Çünkü fırçasız motorlar klasik fırçalı doğru akım motorlara benzer bir doğrusal moment-hız eğrisine sahiptirler. Fırçasız motorlar yüksek bir moment/hacim olmasına rağmen eşdeğer güçteki diğer motor tiplerinden çok daha küçük boyutludur.

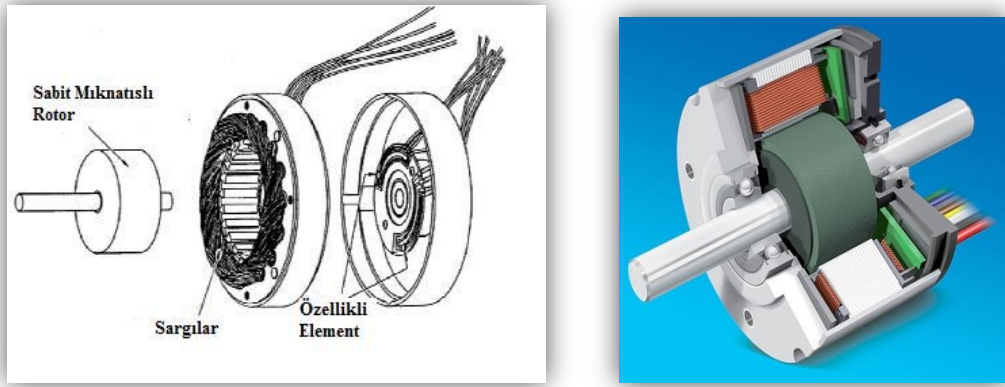
2.3.2. Fırçasız Doğru Akım Motorların Dezavantajları

- Harici güç elektroniği gerektirir.
- Uygun çalışma için rotor konum bilgisini gerektirir.
- Hall-etkili sensörlere gerek vardır.
- Algılayıcı yöntemlerin kullanılması ilave algoritmali sistem gerektirir.
- Rotor mıknatısları motor maliyetini arttırır.

2.3.3. Fırçasız Doğru Akım Motorların Çalışma Prensibi

Temel prensip ve çalışma şekli Fırçalı DC motorlarla hemen hemen aynıdır. Çalışmadaki farklılığı bobinlerin stator gövdesine sabit olması rotor üzerinde bobin bulunmaması, sabit mıknatısların rotora bağlı olmasından kaynaklanır(Şekil 2.5). Yani bu motorda rotor ve stator yeri bir bakıma değiştirmiştir. Bunun avantajı, fırça ve komütatör sisteminin kalkması, dolayısı ile sürtünmeden ve fırça/komütatör

(kolektör) ikilisinin oluşturduğu dirençten dolayı oluşan elektrik/mekanik kayıpların ortadan kalkmasıdır. Aynı zamanda bu tasarım, mekanik olarak denetlenmediğinden ve bobinlerin sayısının artırılmasına da izin verdiği için, bu motorlardan çok yüksek tork almak mümkündür. Dezavantajları ise bobinlere gelen akımın elektronik bir devre ile kontrol edilmesi yani motorun çalışabilmesi için ek donanımlar gerektirmesidir. Komutator/fırça sistemi ile kolayca elde edilen karmaşık ateşleme sistemi dış devreler tarafından yapılmalıdır. Bu da motor için olmasa da motoru kullanmak isteyen kişilere ek maliyet getirmektedir [21].



Şekil 2.5. Fırçasız Doğru Akım Motoru İç Yapısı

2.4. GÜNEŞ ARABASI SİSTEM BİLEŞENLERİ

2.4.1. Mekanik ve Yapısal Bileşenler

Mekanik ve fiziksel bileşenler, bir güneş arabasının ana hatlarını oluşturmaktadır. İyi bir tasarım ve malzeme seçimi, araç verimini ve sürüş stratejisini yakından ilgilendirmekte ve etkilemektedir.

2.4.1.1. Sürücü Kontrolleri

Çoğu güneş arabası, tek koltuklu ve sürücüler için çok az konfor sağlayan arabalardır. Çok az araba bir yolcu ya da bir gözlemci taşıyabilir. Sürücüler ve

yolcular; rahatsız koltuklar, kramplara sebep olan oturma pozisyonları ve yüksek kokpit sıcaklıkları ile karşılaşılır [12].

Güneş arabalarında, normal arabalarda karşılaştığımız türden standart özellikler vardır; örneğin dönüş sinyalleri (ön ve arka) stop lambaları, gaz pedalı, aynalar, havalandırma ve direksiyon bileşenleri mevcuttur. Sürücülerin ve yolcuların güvenliğini sağlamak için 5 ya da 6 noktada güvenlik koşumu ve kasklar vardır. Arabayı kullanmanın yanı sıra sürücünün en önemli görevi arabanın sistemlerini gözlemlemek ve muhtemel problemleri izlemektir [12].

2.4.1.2. Sürüş Takımı

Güneş arabasının sürüş takımı, normal bir arabanın sürüş takımından oldukça farklıdır. Konumuz açısından belirtmek gerekirse; sürüş takımı, elektrik motoru ve motor gücünün tekerleklere iletilmesini sağlayan ve dolayısıyla arabayı hareket ettiren sistemlerden oluşmaktadır. Üretilen düşük enerji miktarı (5 beygir gücünden daha az) sebebiyle güneş arabaları genellikle tek tekerden itişli olurlar [12].

Güneş arabasında kullanılan motorun tipi açısından bir sınırlama yoktur. Motorlar genellikle 2 ila 5 beygir gücü arasında olsalar da daha yüksek güce sahip motor üretimi de mümkündür. En yaygın motor tipi, çift sargılı fırçasız DC motorlardır. Bu motor oldukça hafiftir ve devir gücünde %98 verim sağlar. Ancak standart bir fırçalı DC motordan daha pahalıdır. Çok vitesli transmisyonlar güneş arabalarında nadiren kullanılır. Çift sargılı motorlar elektronik transmisyon olarak kullanılabilirler. Sargılar arasındaki geçişler, motorun hız oranında değişiklikler yapar. Düşük hızdaki sargılar kalkış ve geçiş için yüksek tork sağlarlarken, yüksek hız sargıları daha yüksek verimliğe sahiptir ve normal sürüş için en uygundur. Güneş arabalarında 3 çeşit temel transmisyon tipinin farklı varyasyonları kullanılır [12].

- Tek indirgemeli doğrudan tahrikli sürüş
- Değişken oranlı kayışlı sürüş (Variable ratio belt drive)
- Hub Motor

Geçmişte en yaygın motor tipi, doğrudan tahrikli transmisyon motor tipiydi. Bu tipte bir motor, zincir ya da volan kayışı vasıtasıyla tekerleğe bağlıdır. Bu güvenilir ve kolayca tamir edilebilir bir transmisyon şeklidir. Verimlilikleri, düzgün tasarlandığında %75 i bulur. Çok az arabada, gücü tekerleklere iletmek için değişken oranlı kayışlı sürüş kullanılmıştır. Vites aralığı, motorun hızı arttıkça değişkenlik gösterir. Bu da; düşük hızlarda, motora daha fazla kalkış torku kazandırır. Ancak, yine de araba yüksek hızda daha etkin bir sürüş kazandırır. Değişken oranlı kayışlı sürüş tam bir hizalama ve dikkatli bir kurulum sağlandığında etkin bir şekilde çalışır.

1995 yılından itibaren vites kutusuz sürüşün yaygınlığı artmıştır. Hub motor, herhangi bir dış transmisyon ihtiyacını ortadan kaldırır, çünkü motor şaftı bu geçişi tekerlek üzerinden direkt olarak sağlar. Bu durum, sürüş takımının etkinliğini çok büyük oranda artırır ve tekerleği hareket ettirmek için gereken hareketli parçaların sayısını azaltır. Bir hub motorun, düşük vites eksikliğini telafi etmek için düşük beygir gücü kullanır. Sonuçta bu durum sürüş takımının etkinliğinde kademeli bir düşüş eğilimine neden olur, ancak sürüş takımları hala %95'e varan bir etkinlik gösterebilmektedir. Ancak yine de bu tür bir motorun kullanılması, diğer metotların hepsinden çok daha etkindir [12].

2.4.1.3. Mekanik Sistemler

Prensipte, bir güneş arabasının mekanik sistemleri son derece basittir. Tasarım hedefleri, çeşitli yol durumlarıyla başa çıkmak için gerekli gücü sağlarken sürtünmeyi ve ağırlığı en aza indirmektir. Titanyum ve bileşik metaller gibi hafif metaller, etkin bir araç için gerekli olan dayanıklılık / ağırlık oranını azaltmak için kullanılır.

Mekanik sistemler, süspansiyon, frenler, direksiyon, tekerlekler ve lastiklerden oluşur. Araçlar tipik olarak üç ya da dört tekerleklidir. Genel üç tekerlekli konfigürasyonun, iki ön tekerleği ve bir arka tekerleği vardır. Dört tekerlekli araçlar bazen geleneksel araçlar gibi tasarlanırlar. Diğer dört tekerlekli araçların ise ön tekerlekleri ortada birbirine daha yakındır. Çoğu süspansiyon sistemleri, güneş arabalarına uygulanabilir. Bunun sebebi, arabalar arasındaki kasa ve şasi tasarımları

açısından görülen belirgin çeşitliliklerdir. En çok kullanılan ön süspansiyon çeşidi, çift çatal süspansiyondur. Trailing arm süspansiyonu, (üç tekerlekli araçlar için) motosikletlerdekine benzemektedir ve arka tekerlekte kullanılır.

Güvenlik son derece önemli bir konudur. Bu nedenle güneş arabaları, standart frenleme performansını mutlaka yakalamalıdır ve her güneş arabasında, iki bağımsız fren sistemi bulunmalıdır. Disk frenleri ayarlanabilirlikleri ve frenleme güçleri sebebiyle en çok kullanılan frenlerdir. Bazı arabalarda mekanik olarak hareket ettirilen frenler kullanılırken, bazılarında hidrolik frenler tercih edilir.

Mekanik frenler, hidrolik frenlere oranla; genellikle daha küçük ve daha hafiftirler. Ancak, hidrolik frenler kadar frenleme kuvveti sağlamazlar ve düzenli ayar gerektirirler. En yüksek etkinliğe ulaşmak için; frenler, kızaklamayı yok etme yoluyla bağımsız hareket etmek üzere tasarlanırlar.

Güneş arabasının direksiyon sistemleri büyük çeşitlilik gösterir. Aracın yönlendirilmesi için, kritik olan tasarım faktörleri güvenilirlik ve etkin performanstır. Direksiyon sistemi tam bir sıralama ile tasarlanır. Çünkü en ufak bir sıralama hatası önemli kayıplara ve yüksek lastik aşınmasına sebep olabilir. Yakın geçmişte, araçlarda hafif ve düşük sürtünme sağlayan bisiklet tekerlekleri ve lastikleri kullanılmaktaydı. Bu tekerlek ve lastikler, genellikle aracın ağırlığı arttıkça aşırı yüklemeye maruz kalırdı ki; bu durum, performansı ve güvenliği son derece etkilerdi. Ne var ki güneş arabası yarışlarının popülerleşmesi sebebiyle, bir kaç üretici firma sadece güneş arabaları için tasarlanmış lastikler tasarlamaya başladılar. Bu lastikler düşük sürtünme katsayısına sahip, hafif lastiklerdir. Hem güvenliği, hem de performansı arttırırlar [12].

2.4.1.4. Gövde ve Şasi

Bir güneş arabasının en ayırt edici kısmı gövdesidir. Güneş arabaları, çeşitli gövde sınıflarına ayrılabilir. Ancak her araba kendine özgüdür, zira boyut sınırlamaları dışında hiçbir standart yoktur. Gövde tasarlanırken temel hedefler; aerodinamik sürtünmeyi en aza indirmek, güneş ışınımına maruz kalma oranını en yükseğe çıkarmak, ağırlığı en aza indirmek ve en yüksek güvenliği sağlamaktır.

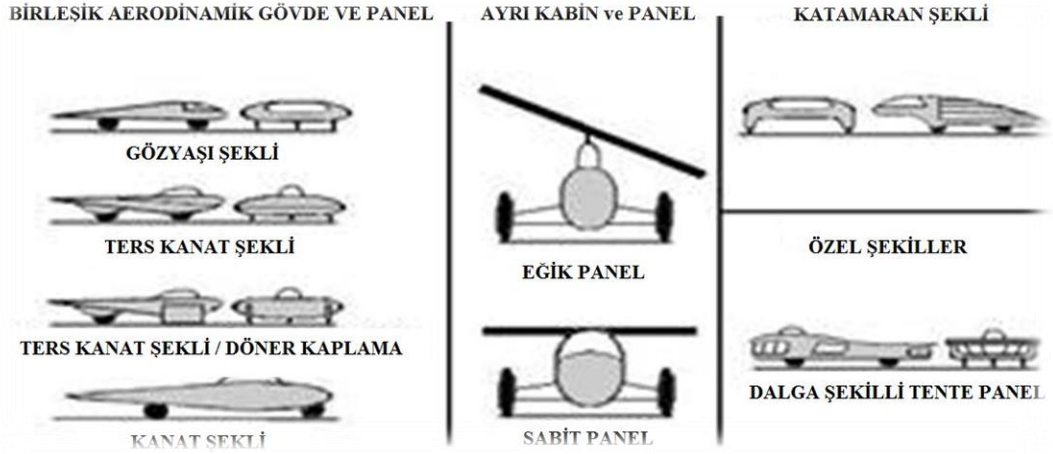
Etkin bir güneş arabası şasisi geliştirilirken, zorluk çıkartacak ilk şey en yüksek dayanıklılığı ve güvenliği sağlarken ağırlığı en aşağıya çekmektir. Her ekstra ağırlık üretilmesi gereken daha fazla enerji demektir. Bunun anlamı tasarımda ağırlığı en aza indirmekle uğraşılmasıdır ve burada da odaklanması gereken şey şasidir. Ancak güvenlik birincil meseledir ve şasi tam dayanıklılık ile güvenlik gerekliliklerini sağlamalıdır. Güneş arabalarında kullanılan üç tip şasi vardır (Şekil 2.6) [12].

- Uzay çerçevesi
- Yarı - monokok
- Monokok

Bir uzay çerçevesi şaside, yükleri ve gövdeyi taşımak için birbirine bağlanmış ya da kaynakla eklenmiş tüp yapısı kullanılır. Gövde, şasiye ayrı olarak eklenen hafif, yük taşıyamayan bileşik bir kaplamadır. Yarı - monokok şaside ise yükleri taşımak için bileşik krişler ve bölmeler kullanılır. Monokok şasi de ise yükleri taşımak için gövde yapısı kullanılır. Her üç tip şasi de dayanıklı hafif araçlar ortaya çıkarır. Birçok güneş arabasında bunların birer kombinasyonu kullanılır.

Birbirine birleşik aerodinamik gövde ve panel en çok kullanılan biçimdir. Bu tasarım küçük bir ön yüzey alanını, düşük ağırlığı ve geniş bir görüş açısı sağlayan bir kabin kubbesini bir araya getirir. Sabitlenmiş ya da eğik olarak sürücü kabini üzerine monte edilmiş düz panelleriyle, Tasarım hafiflik, ucuz imalat sağlamasına karşın, gövde dışında kalan süspansiyonlar ile çapraz rüzgarlara karşı açık olma nedeniyle aerodinamik etkinlikten taviz vermeye sebep olur.

Katamaran biçimler ise, indirgenmiş ön yüzey alanı ve düşük aerodinamik sürüklenme sağlar. Buna ek olarak kuzey / güney yönlü yarış rotalarında kavisli donanım güneşin ufukta hareket ettiği sabahın ilk saatlerinde ve öğleden sonraları oldukça güçlü hale gelir. Son olarak, kendine has özellikleri olan tasarımlar mevcuttur. Bu tip tasarımlarda aerodinamik etkinlik ve güç toplama kapasitesi tasarımdan tasarıma değişir.



Şekil 2.6. Güneş Arabalarında Kullanılan Gövde Şekilleri [12].

Güneş arabasının tasarlanmasında yüksek verimlilik oldukça önemlidir. Bunu başarmak için arabadaki tüm sistemler tek tek tasarlanmalıdır. Arabayı tasarlayan kimse, arabadaki sürüklenmeyi en düşük seviyede tutmalıdır, fakat yine de enerji unsurlarının tüm kaynaklarını en yüksek seviyeye çıkarmalı ve bunlara öncelik vermelidir.

Bir nesnenin, aerodinamik olabilmesi için üzerinden ve etrafından geçen akışın, (hava ya da su akışı gibi) kolaylıkla geçmesi ve nesnenin hızı, ivmelenmesi ve hareketi üzerinde büyük bir etki yapmaması gereklidir. Aerodinamik bir araç oluşturmaya çabalarırken, takip edilmesi gereken çeşitli kurallar vardır. Aşağıda bu kurallara dair ufak açıklamalarda bulunacağız. Aracın aerodinamik dizaynı şu kriterler içerisinde sürdürülmektedir.

Tasarımcı, arabanın tüm korumasız yüzeyleri üzerine, tamamıyla ekli bir akış olduğuna emin olmalıdır. Ekli akış şöyle ortaya çıkar: Bir nesnenin etrafındaki bir akışın hareketi, nesnenin şekli sebebiyle, fiziksel olarak başından sonuna dek bu şekli takip etmeye zorlanır. Akış bir yandan da nesnenin yüzeyinden ayrılır ve düzensiz bir türbülans akışı ile şeklin geriye kalanı boyunca yuvarlanır. Birinci kural uygulanırken, diğer yandan da arabanın tüm yüzey alanı minimuma indirgenmelidir. Tüm yüzey alanı, nesnenin akışa maruz kalan alanıdır. Kanat şeklinde, uzunluk-kalınlık oranı tavsiye edilen değerin üzerine çıkarıldığında sorun ortaya çıkar. Bu

oranı yükseltmek yoluyla, tüm yüzey alanı da sabit biçimde artar. Bunun anlamı yüzey sürtünmesinin de artmasıdır. Bunun bir diğer sonucu da sürüklenme katsayısının artmasıdır.

Bir güneş arabası ile normal bir otomobil arasındaki fark güneş arabalarında sürüklenme kavramı tüm yüzey alanına dayanırken, otomobiller için bu arabanın ön yüzeyiyle ilgili bir prensiptir. Düzgün sınır katmanı akışı maksimumda olmalı ve ayrıca aracın mümkün olan en fazla alanında bu akış sağlanmalıdır. Düzgün sınır katmanında hava pürüzsüz bir şekilde hareket eder. Düzgün akış, türbülans şeklindeki akışa göre daha az bir yüzey sürtünmesine neden olur. Üçüncü kuralın uygulanabilmesi için arabanın ön kısmı, üzerinden geçen hava akımını aşamalı şekilde hızlandırmalıdır. Yüzey pürüzsüz olmalıdır. Buradaki amaç ihtiyaç duyulan düzgün akışa ulaşmaktır. Akış güneş arabası üzerinde kaldırma gücü yaratmamalıdır. Temel olarak kaldırma gücü varsa, orada sürüklenme gücü var demektir. Kanat uçlarındaki sürüklenme minimuma indirgenmelidir. Bunun için de araba gövdesinin yan kenarları inceltilmeli ve yuvarlanmalıdır [12].

Çoğu güneş arabasının şekli, devasa kanatlar olarak düşünülebilir, böylece araba bir kanat şeklinde tasarlanırsa, normal bir kanatın sürüklenme kuvvetine maruz kaldığı kadar bir sürüklenme elde edilir. Arabanın ön yüz alanı yukarıdaki kurallara uyularak, minimumda tutulmalıdır. Arabanın karışık sürüklenmesi minimumda tutulmalıdır. Bu tip sürüklenme, kubbe şeklindeki sürücü penceresi ya da çamurluklar gibi elemanlar gövdeye eklendiğinde ortaya çıkar. Örneğin; çamurluklar ve ana gövde farklı sınır katmanlarına sahiptir. Ancak iki eleman bir araya geldiğinde, bunların sınır katmanları da bir araya gelmiş olur.

Sonuç olarak bir basınç sürüklenmesi meydana gelir ki; aslında bu bir karışık sürüklenmedir. Hava akımı sürüklenmesi de minimumda tutulmalıdır. Hava akımı arabanın iç yüzeyine girdiğinde, bir enerji kaybı olur. Bu tip sürüklenmenin yaygın olduğu yerlere şu örnekler verilebilir. Tekerleklerin ana gövdeden dışarıda olduğu, gövdeye eklenmiş parçaların olduğu yerler ya da pencereler veya havalandırma deliklerinin olduğu yerler [12].

2.4.2. Elektrik ve Elektronik Bileşenleri

2.4.2.1. Motor

Elektrik motoru bir güneş enerjili otomobilin en temel ve en önemli elemanıdır. Optimal güçte ve veriminin yüksek olması önemlidir. Motorun gücü, tekerleğe zincir ya da kayış ile aktarılabilmesi gibi, tekerlek ve motor akuple olarak kullanılabilir. Bu sayede mekanik kayıp olmaz ve sistem verimi yükselir. Çoğu takımın, akuple hatta bütünleşmiş sistemleri tercih edilmektedir. Ancak, tekere akuple edilebilecek bir motorun, devir aralığı düşük olduğundan, çok gelişmiş motorlara gereksinim duyulmaktadır. Ayrıca, daha yeni teknoloji olan ve özel devrelere ihtiyaç duyan fırçasız DC motorlar, yüksek verimleri sebebiyle fırçalı motorlara göre daha fazla tercih edilmektedir [12].

2.4.2.2. Akü (Batarya)

Tahrik Bataryası aracın temel güç kaynağıdır. Motorun, fazla güç ihtiyacına karşılık vermek ve fazla enerjiyi depolamak için gereklidir. Uygun gerilim ve kapasite değeri için piller seri ve/veya paralel bağlanarak batarya grubu oluşturulur. Kurşun asit aküler, güneş enerjili araçlarda birim kütleye düşen kapasitenin az olması ve şarj-deşarj verimlerinin düşük olması nedeni ile tercih edilmezler. Nikel metal hidrit, lityum iyon, lityum polimer gibi gelişmiş batarya sistemleri kullanılır. Bataryaların hızlı ve güvenli şarj olmalarını sağlayacak, şarj kontrol devresi kullanılması gereklidir [12].

2.4.2.3. Güneş Jeneratörü

Fotovoltaik piller (güneş pilleri), algıladıkları foton enerjisinden eşit sayıda pozitif ve negatif yükler oluşturarak, güneş enerjisini doğrudan kullanılabilir, yararlı elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Oluşturulan pozitif ve negatif yükler gerilim ve akım meydana getirmek üzere ayrıştırılırlar. Elektronlar ve protonları ayrıştırmak için en uygun malzemeler Silikon, Bakır-Kadmium Sülfat ve Galyum-Arsenit gibi yarıiletkenler olup, fotovoltaik pillerin üretiminde en fazla bunlar kullanılırlar.

Belli gerilim ve akım değerini vermek üzere birbirine seri ve paralel bağlanmış güneş hücreleri bir güneş enerjisi modülünü oluşturur. Sistem tasarımında belirlenen güç çıktı düzeyine ulaşmak üzere birbirine seri ve/veya paralel bağlanan güneş enerjisi modülleri ise Güneş Jeneratörünü oluşturmaktadır. Burada üretilen enerji, güç çekilmiyorken bataryalara depolanır, güç çekiliyorken güce eklenir. Modüller aracın üst dış yüzeyine en iyi güneş görecekle ve aerodinamik yapıyı bozmayacak şekilde, yapıştırma usulüyle monte edilmiştir. Güneş hücrelerinin dönüşüm verimi, dış yükle çok duyarlıdır. Bu sebeple, yükü ayarlayarak gerilim-akım değerlerini optimum seviyede tutan MPPT (maximum power point tracker) devresi kullanılması, güneş jeneratöründen her zaman en yüksek gücün alınmasını garantiler [12].

2.4.2.4. Maksimum Güç Noktası İzleyici

Güneş panellerinin güç çıkışlarını bataryanın voltajı ile eşleştirip, maksimum şarjı garanti etmektedir. 100 Watt lık bir güneş panelinden, batarya optimum voltajda olmadıkça 100 Watt güç çıkışı alınamaz. Örneğin; bataryalardaki gerilim 12.4 volt olsun ve klasik şarj kontrolörlerden biri kullanılsın. 100 Watt bir güneş paneli kullanılıyorsa, bu panel 6 amper akım ve 16.5 volt ($16.5 \text{ volt} \times 6 \text{ A} = 100 \text{ Watt}$) değerlerine sahiptir. Bataryadaki gerilim 12.4 volt olduğundan 6 amper akımla sadece $12.4 \text{ volt} \times 6 \text{ A} = 75 \text{ watt}$ enerji depolanabilir. Bu da, panelin çıkış gücünden %25 kayıp olduğuna anlamına gelir. Mppt (Max. Power Point Tracker) kontrolörler, akımı arttırarak bataryaların solar panelden çıkan tüm gücü depolayabilmesini sağlar. Şarj kontrolörler güneş panelleri ile bataryalar arasında konumlandırılır.

Güneş panellerinin elektriksel karakteristiği, sıcaklığa, ışık şiddeti ve açısına, bağlanan yükle göre çok değişim gösterir. Mppt devresi güneş panellerinin çıkışına bağlanır ve panellerin karakteristiği değişmede, en verimli akım - voltaj değerlerinde çalışma şartlarını oluşturur. Bu sayede panellerden elde edilen güç koşullara göre %10–30 a kadar arttırılabilir. Mppt devreleri, özellikle güneşin yeryüzüne az ulaştığı soğuk kış aylarında, yükselen panel voltajları sebebiyle çok yarar sağlamaktadır [12].

2.4.2.5. İleri Düzey Kontrol Sistemleri

İvme kontrolü, aracın kalkış ve hızlanmalarında ivmeyi belli değerlerde tutarak/sınırlayarak gereksiz güç harcamalarını önler. Sistem hız bilgisinin, zamana göre değişimini kontrol eder ve belli değer üzerine çıkması durumunda, sürücü devresine gücün kısılmasını sağlayacak uyarı gönderir.

Seyir kontrol sistemi ise, aracın seyri boyunca belirlenen aşamalarda (seyredilen rotadaki konumuna yada zamana göre) genellikle hızını yada enerji sarfiyatını istenen değerlerde sabitlemek ve otomatik değişmesini sağlamak amaçlı kullanılır. Pilotun direksiyonu tutması ve sistemin doğru çalışıp çalışmadığını izlemesi, sistem çalıştığı sürece yeterlidir. Hız, pozisyon (GPS ya da gidilmiş yol), harcanan/kalan enerji, güneşten alınan enerji gibi birçok veriyi analiz eden ve buna göre karar verip aracı ayarlayan bir sistemdir. Ayrıntılı enerji hesapları gerektirir [12].

BÖLÜM 3

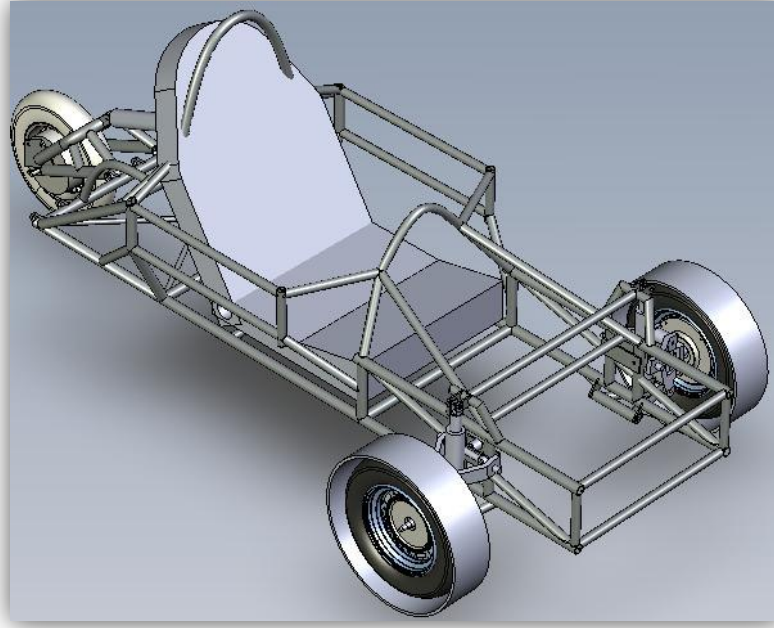
MATERYAL VE METOT

3.1. ŞASE TASARIM VE İMALATI

Şase tasarımı Solidworks programında yapılmıştır. Malzeme olarak paslanmaz çelik boru seçilmiştir (Şekil 3.1). Şase imalatında, paslanmaz çelik hem uzun ömürlü hem de dayanımı yüksek olduğu için tercih edilmiştir. Dayanım ve esneme oranlarının iyi olması noktasında, kullanılan malzemenin dairesel kesitli olması ve kaynaklı birleştirme yapılması uygun görülmüştür.

Tasarım yapılırken;

- Dayanıklılık ve uzun ömürlü olması,
- Ergonomik olması,
- Sürücü konforu,
- Ön takım ve yürüyen aksam montaj ölçüleri,
- Arka tekerlek ve motor montaj ölçüleri,
- Elektrik bağlantı durumu ve konumu,
- Aracın denge ve sürüş sırasında yola tutunma durumu,
- Amortisör bağlantı noktaları,
- Tekerlek dönme açıları,
- Frenleme ve ani frenleme durumlarında aracın gösterdiği tepkileri en aza indirme,
- Üzerini örtecek kasanın montajı ve kasa montajından sonra aracın yerden yüksekliği,
- Sürüş esnasında olabilecek bir kaza durumunda sürücünün can güvenliğini korumak ve alacağı zararı en aza indirmek,
- Aracın uluslar arası federasyonlarca belirtilen ölçülere uygun olması, parametreleri göz önüne alınmıştır.



Şekil 3.1. Aracın Şase Tasarımının Solidworks de Yapılması.

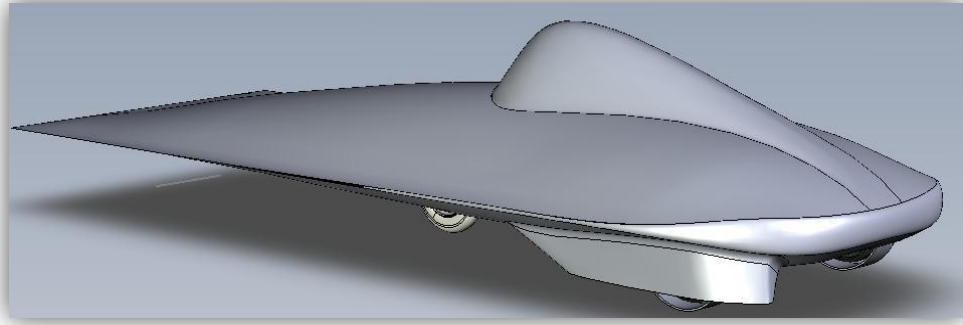
İmalatta paslanmaz çelik borular, tasarıma uygun biçimde kesilerek kaynak işlemine geçilmiştir (Şekil 3.2). Kaynak işlemi için kullanılan elektrotlar, paslanmaz çelik için özel üretilmiş olup, kaynak kalıntılarını temizlemek için pelox kullanılmıştır. Tüm borular dikişli tercih edilirken, ön ve arkada bulunan iki devrilme çubuğu dikişsiz 2” çelik borudan ısıtılarak bükülmüş, ana şaseye kaynaklı birleştirme ile monte edilmiştir.



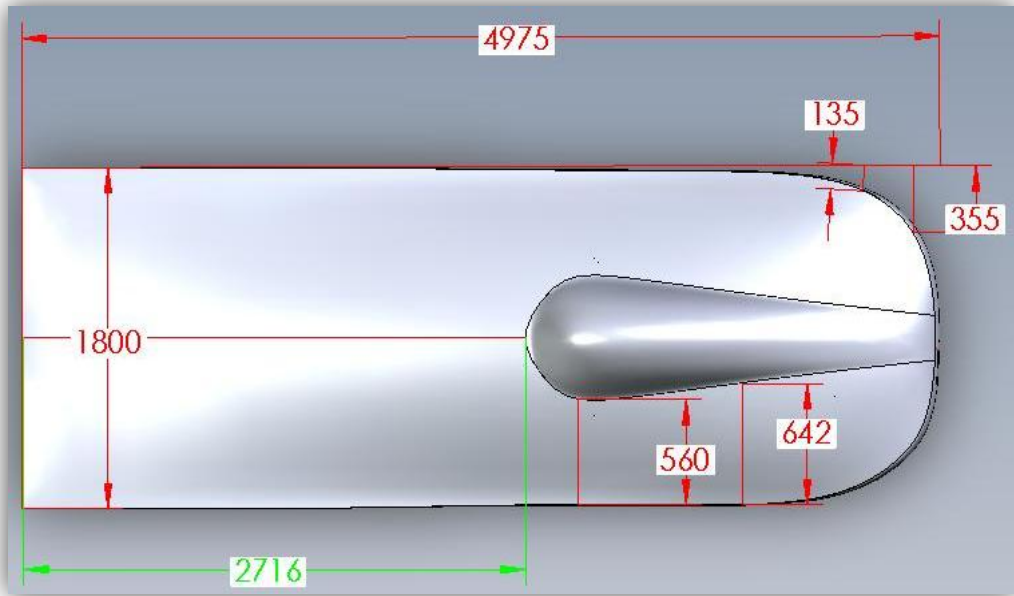
Şekil 3.2. Aracın Şase İmalatı.

3.2. KASA TASARIM VE İMALATI

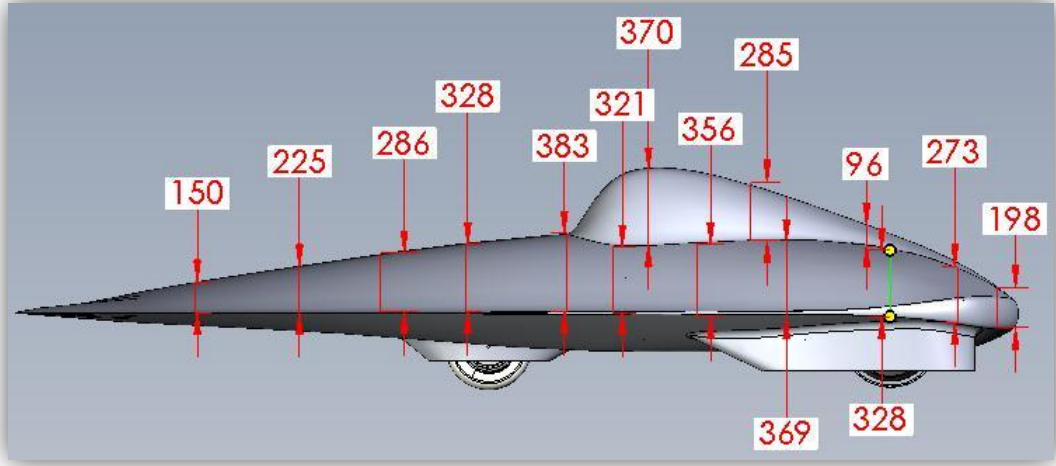
Şekil 3.3’de de görüldüğü üzere kasa tasarımında yağmur damlasından esinlenilmiş olup, aerodinamik yapı ön planda tutulurken, güneşin geniş açıların değişimi durumunda kokpit çıkıntısının gölgelenmeye yol açmaması, güneş panellerinin ölçüleri ve montaj rahatlığı, uluslararası kuruluşların belirlediği ölçüler, sürüş kolaylığı ve denge göz önüne alınmıştır (Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6).



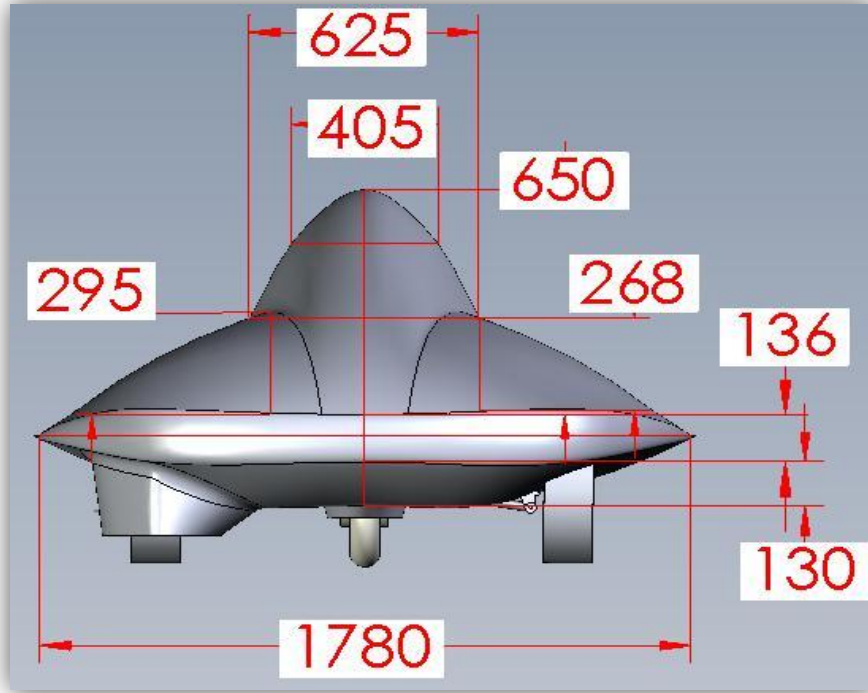
Şekil 3.3. Kasa Tasarımı.



Şekil 3.4. Kasa Tasarımı Üstten Görünüşü.



Şekil 3.5. Kasa Tasarımı Yandan Görünüşü.



Şekil 3.6. Kasa Tasarımı Önden Görünüşü.

İmalat aşamasında kasa, alt ve üst iki ayrı parça olarak kalıplandırılmıştır. İnşaat demiri üzerine kafes teli kaplama, alçı sıvama ve son kata kumaş kaplama yapılarak kalıplar oluşturulmuştur (Şekil 3.7). Hazırlanan kalıplar üzerine tek kat cam elyafı serilerek, bakalit sürülmek suretiyle fiberglass bir kabuk oluşturulmuştur (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9). Son olarak boyama işlemi yapılarak araç kasası imalatı tamamlanmıştır

(Şekil 3.10). Sürücünün araç içine giriş çıkışı, güneş panellerinin boyutu ve yerleşimi, motor ve motor sürücüsüne, batarya paketine, Mppt ve ön takıma müdahale edilebilmesi, araç kabuğunun montajından sonra da bütün mekanik ve elektrik aksamına müdahale göz önüne alınarak kokpit kapağı kesilmiş, sol taraftan menteşe ile alt kabuğa bağlanmıştır. Kokpitin ön kısmında şeffaf mika malzeme kullanılarak sürücünün yol görüşü sağlanmıştır. Burada malzemenin mika seçilmesinin sebebi kaza olduğunda ve camın parçalanması sonucunda ortaya çıkacak sürücü yaralanmalarını önlemektir.



Şekil 3.7. Üst Kabuk Kalıbı İmalatı.



Şekil 3.8. Üst Kabuk İmalatı.



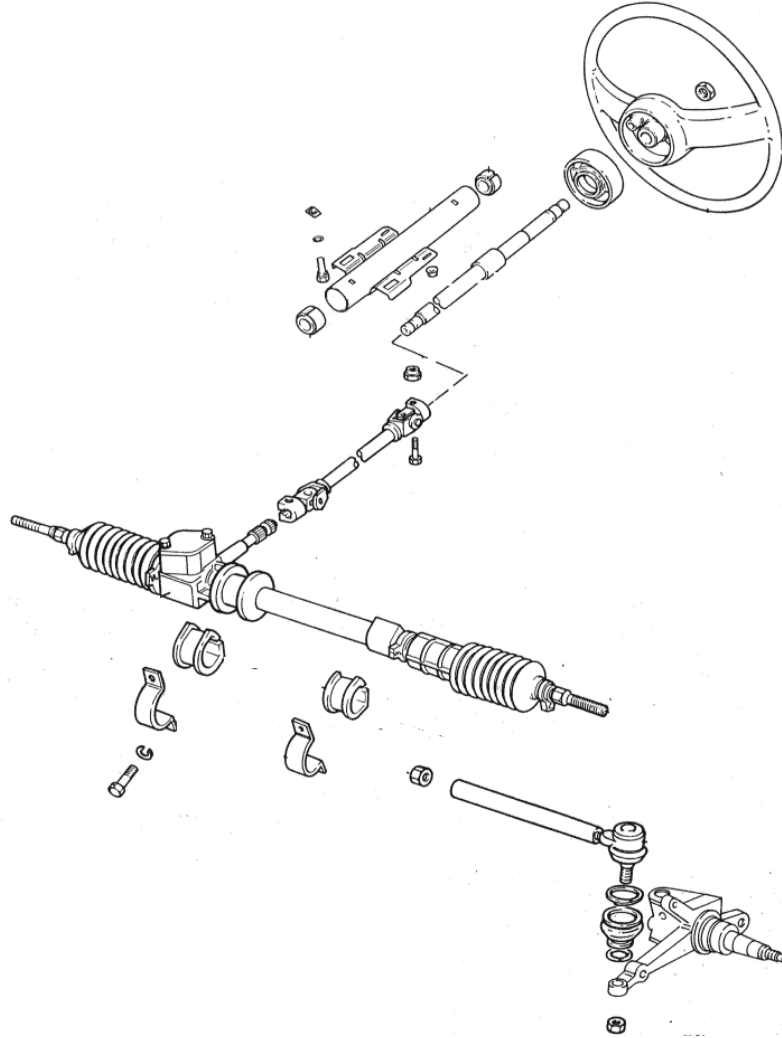
Şekil 3.9. Kasa İmalatı Bitmiş Boyama Öncesi.



Şekil 3.10. Kasa İmalatı Bitmiş Boya Sonrası.

3.3. YÜRÜYEN AKSAM, YÖN VERME DÜZENEĞİ VE SÜSPANSİYON

Kullanılan ön takım Fiat 126 bis aracının ön takımı ve direksiyon kutusu olarak tercih edilmiştir. Alt ve üst salıncak kolları dökme demir olup göbek düzeneğinde iki adet konik rulman kullanılmıştır. Ön takımda rot millerinin boylarında, 65 mm sağda 65 mm solda olmak üzere kısaltma yapılmıştır. Direksiyon göbeği ve direksiyon değiştirilerek spor direksiyon ve göbeği takılmış, yaprak yay sistemi sökülerek süspansiyon sistemi sağda ve solda birer tane olmak üzere, yaylı hidrolik amortisör (mondial RS 150 motosiklet amortisörü) kullanımı, yaprak yayın ağır olması sebebi ile tercih edilmiştir.



Şekil 3.11. Yürüyen Aksam ve Direksiyon Düzeneği.

3.4. FREN SİSTEMİ

Aracın ön iki tekerleğinde disk fren sistemi kullanılırken, arkadaki tek tekerlekte kampana kullanılmıştır. Üç fren tek pedaldan kontrol edilirken, tepki süreleri ve oranları aynıdır. Kullanılan diskler alüminyum alaşımli olup ön takımındaki tekerlek göbeklerine civata ve somun kullanılarak montajları yapılmıştır. Araç 60 km/h hızla seyir halindeyken, ani frenleme durumunda 5,8 metrede durabilmektedir. Disk frenlere bağlı iki adet stop lambası da frenleme yapıldığını arkadaki araca bildirmek amacıyla aracın arka bölümüne yerleştirilmiştir.



Şekil 3.12. Disk Fren.

3.5. MOTOR VE MOTOR SÜRÜCÜSÜ

Motor olarak 2500 W fırçasız doğru akım motoru kullanılmıştır (Şekil 3.13). Motor ve kontrolör bağlantısına ilişkin blok diyagram Ek A'da, bağlantı şekli ise Ek B'de sunulmuştur. Motor alüminyum janta entegre edilmiş olup kampana fren sistemini içermektedir. Motor ve montaj ölçüleri Ek C'de sunulmuştur. Motor sürücüsü, köprü tipi olup motorun çalışma şartlarına uyumlu olarak, aşırı yüksek ve aşırı alçak gerilim düzeylerinde motorun çalışmasını engelleyerek korurken, aracı kullanan kişiye de bir led ile hata bildirimini yapmaktadır. Fırçasız doğru akım motorlarına ilişkin blok diyagram Ek D'de sunulmuştur. Motorun elektriksel özellikleri şöyledir;

Çalışma gerilimi: 60 V (min 53V-max 75V)

Azami akım : 45A

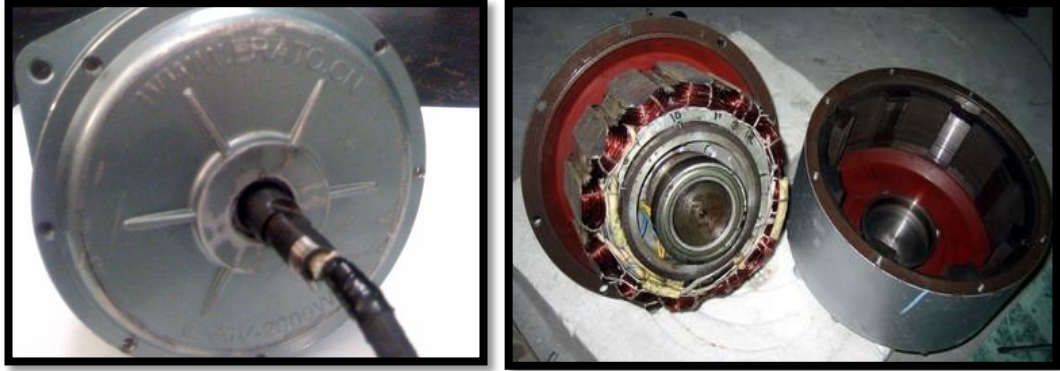
Nominal Güç: 2500 W

Azami Hız : 865 rpm (60 V) 1070 rpm (75V)

Azami Sürekli Tork : 103 Nm

Ağırlık : 10.3kg motor, 0.97 kg motor kontrolcüsü

Verim : % 91.1



Şekil 3.13. Erato 2500W Fırçasız Doğru Akım Motoru.

3.6. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ

Araçta kullandığımız mppt cihazı, Motec firmasının PV4830 modelidir. Üzerindeki lcd ekran sayesinde, eş zamanlı bilgilendirme ve ayarlanabilme özelliğine sahiptir. Ayarlanabilme özelliğinin daha detaylı kullanımının bilgisayar kontrolü ile yapılabilmesi için, cihaz üzerinde seri ve usb bağlantı noktaları da bulunmaktadır. Ayrıca batarya ısısını kontrol ve aşırı ısınmalarda şarjı kesme amaçlı ısıl sensör girişi de mevcuttur (Şekil 3.14).

Motec PV 4830 mppt cihazının özellikleri:

PV gerilimi: 130 VDC

Çıkış Akımı: 30 A

Batarya Şarj Gerilimi: 12/24/36/48 VDC

Güç Dönüşüm Verimi: %97

Şarj Düzeni: Multistage charge, CC/CV, Relieve

Çalışma Sıcaklığı: -20~60°C

Soğutma: Fan Kontrollü

Ağırlık: 5,5 kg

Ölçüler: 36X26X12 (WxDxH)



Şekil 3.14. Motec PV 4830 Mppt Şarj Kontrolcüsü.

3.7. AKÜ

Araçta, şarj akımları düşük olmasına rağmen, deşarj konusunda daha kararlı olduğu için, kurşun asit kuru tip akü tercih edilmiştir(Şekil 3.15). Kuru aküler; tam kapalı, bakımsız, stasyonere tip olup, 10 yıl ömür beklentilidir. İçlerinde herhangi bir sıvı elektrolit bulunmadığından, dik ya da yatay her pozisyonda çalıştırılabilirler. Genel kullanım amaçları sabit tesislerde enerji sağlamaktır. Toplamda yaklaşık 1000W kapasiteli, 5 adet Select marka kuru akü kullanılmış olup, özellikleri aşağıdaki gibidir;

Gerilim: 12 Volt

Akım: 12 Ah

Ölçüler: 97 x 150 x 99

Ağırlık: 3.93 kg



Şekil 3.15. Select Kuru Akü.

3.8. GÜNEŞ MODÜLLERİ VE ELEKTRİK SİSTEMİ

3.8.1. Güneş Modülleri

Güneş modülleri 4 x 7 ve 3 x 8 şeklinde hücre dizilimi ile meydana getirilmiştir. Bu işlem sonucu seçmiş olduğumuz mono-kristal güneş hücreleri (Şekil 3.16) seri bağlanarak 14 V - 3,51 A (4 x 7' lik seri) 12 adet ve 10,5 V – 3,51 A (3 x 8' lik seri) 2 adet olacak şekilde birleştirilerek modül haline getirilmiştir. Kapsülleme işlemi, modüller yarı esnek olacak şekilde “Gochemann” isimli firmaya Almanya'daki tesislerinde yaptırılmıştır (Şekil 3.17). Modüllerde kullanılan güneş hücrelerinin özellikleri aşağıdaki gibidir;



Şekil 3.16. Güneş Pili.



Şekil 3.17. Kapsülleme işlemi yapılmış yarı esnek güneş modülü.

Başlıca Materyal: Mono-kristal Silikon

Dış Ölçüleri: 100 mm x 100 mm ($\pm 0,5$ mm)

Kalınlık: 300 μm (± 100 μm)

Ön yüzeye temas eden tip: 2 devamlı gümüş çubuk

Arka: 2 x 4 dikdörtgensel gümüş

Ön kutupsallık: Negatif

Arka: Pozitif

Yansıtma tabaka: Silikon Nitrid

Test gerilimi: 500 mV*

Test akımı: > 3,4*

Güç: 1,72 W*

Verim: %17,2*

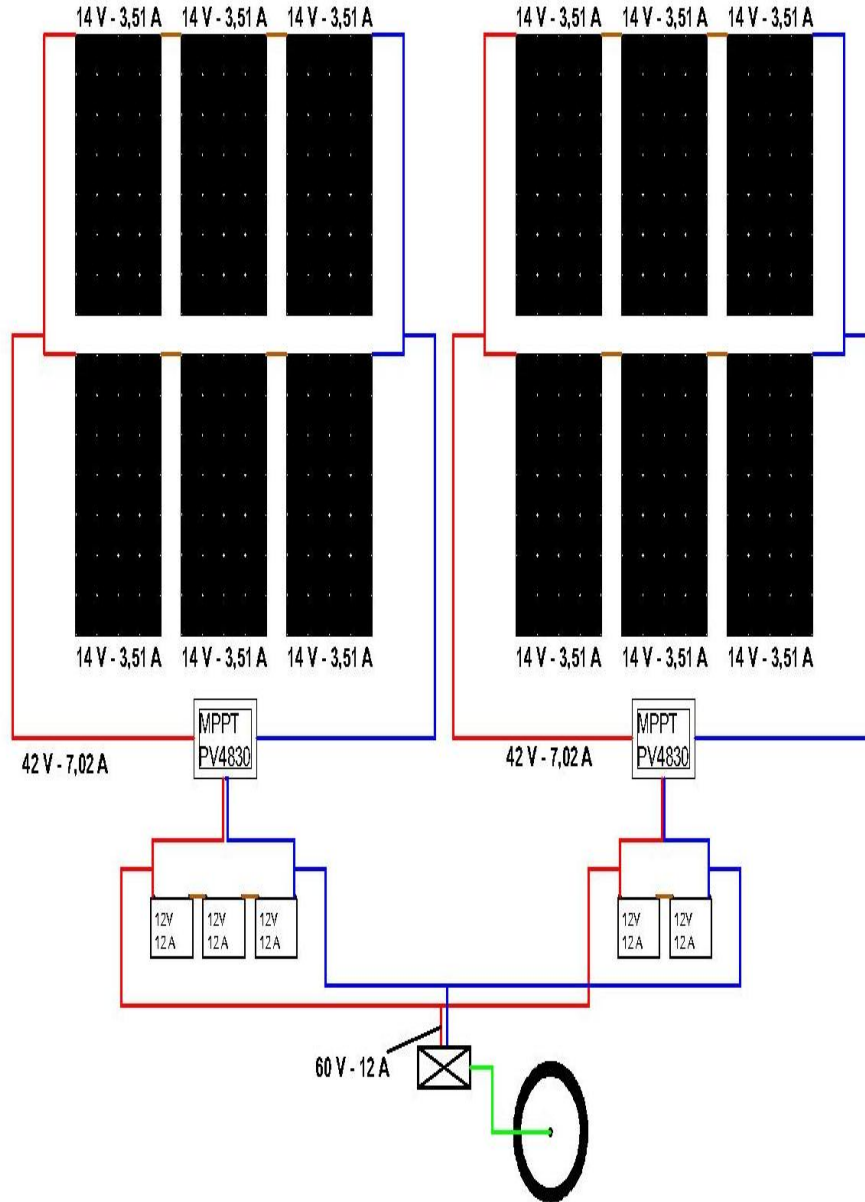
*Değerler 1000 W/m² ışınım 25°C-75°C sıcaklıkta ölçülmüş ortalama değerlerdir. (Üreticinin belirttiği değerler.)

3.8.2. Elektrik Sistem Düzeni

Toplam 6,2 m² alan kaplayan güneş modüllerinden, 14 V – 3,51 A değerindeki 3 modül seri bağlanmış ve 42 V - 3,51 A gerilim ve akım değerlerine ulaşılmıştır. Aynı şekilde diğer 9 modülde 3 erli seriler olarak birleştirilmiştir. Aracın sağ tarafında bulunan bu üçlü serilerden ikisi paralel bağlanarak 42 V – 7,02 A, maksimum güç noktası izleyiciye iletilmiştir.

Aracın solundaki modül dizilimi sağ taraftın simetriğidir. Farklı oldukları nokta akü kapasiteleridir. Sağdaki dizilimin şarj ettiği akü, 12 V – 12 A üç adet aküden

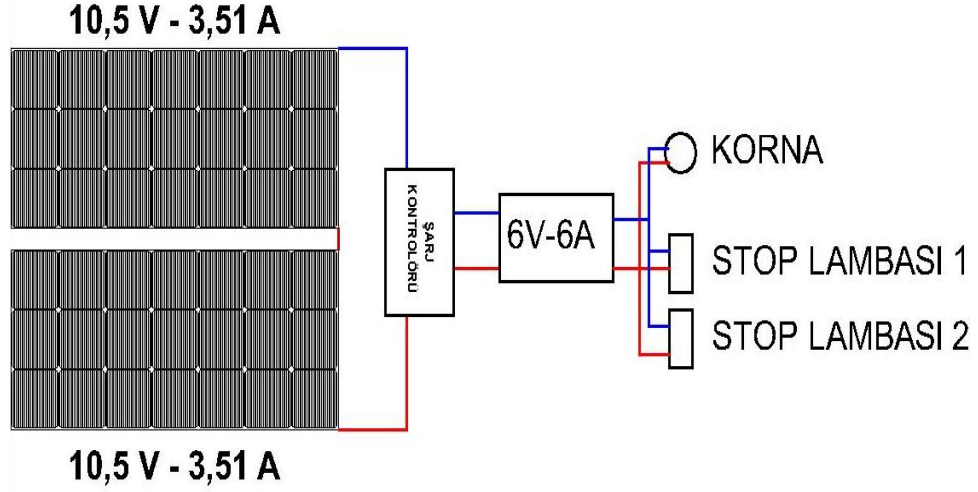
oluşurken, solda 12 V – 12 A iki adet akü kullanılmıştır. Bu akü çıkışları seri bağlanarak 60 V – 12 A değerine ulaşmaktadır. Bu değer motorun çalışması için kabul edilebilir aralıkta olup, motor sürücüsü yardımıyla motora iletilir. Burada elektrik enerjisi hareket enerjisine dönüşür ve arabayı hareket ettirir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Birincil Elektrik Sistem Düzeni.

Araçta kullanılan ikinci elektrik sisteminde, 10,5 V – 3,51 A iki adet güneş modülü paralel bağlanmıştır. Daha sonra, şarj kontrolörüne iletilen bağlantı aracın stop

lambaları ve korna düzeneği için gerekli olan 6 V - 6 A değerine sahip akünün şarjını sağlar (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. İkincil Elektrik Sistem Düzeni.

Birincil ve ikincil elektrik sistem düzeni panel montajı araç kasası üzerinde yapıldıktan sonra oluşturulmuştur (Şekil 3.20). Mppt, akü ve motor bağlantıları panel montajı yapıldıktan sonra araç üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.20. Güneş Modülleri Montajı.

Araç tasarımı ve imalatı yapılırken FIA (Uluslararası Motor Sporları Federasyonu) tarafından belirlenen ve TÜBİTAK tarafından açıklanan kurallar göz önüne alınmış olup, Ek E'de sunulmuştur.

3.8.3. DeneYlerde Kullanılan Ölçüm Cihazları

3.8.3.1. Dijital Pens Avometre

Avometre, akım (Amper), gerilim (Volt), direnç (Ohm) ve kısa devre ölçebilen elektronik bir alettir. Avometre sözcüğü, Amper, Volt ve Ohm kelimelerinin baş harflerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Avometreler, elektrik ve elektronik sektöründe kullanılırlar. Analog ve dijital olarak imal edilirler. Üzerindeki komutatörle istenilen ölçme değeri seçilip ölçme yapılır. Günümüzde avometreler oldukça gelişmiş ve birçok yeni özellik eklenmiştir. Dijital avometre güneş modülü çıkışı, mppt çıkışı, akü çıkışı gerilim ve akım değerlerini gözlemlemek amacı ile kullanılmış olup aynı zamanda mppt veri ekranında görüntülenen değerlerin doğruluğunu saptamak amacı ile de kullanılmıştır.

3.8.3.2. Güneş Işınımı Ölçüm Cihazı

Güneş ışınımı ölçümü için piranometre özellikli HOB0 H8 4 kanallı veri toplama cihazı ile birlikte verileri kayıt etmek ve verileri anlık gözlemlemek amaçlı bilgisayar kullanılmıştır. Cihazın yazılımı sayesinde, belirlenen zaman aralıklarında alınan ışınım değerleri kayıt edilmiştir.

3.8.3.3. Motor Devri Ölçüm Cihazı

Motor devrini ölçmek amacıyla bisikletler için üretilmiş hız, devir, mesafe bilgilerini gözlemleyebildiğimiz hız ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın algılayıcısı motora takılan jant üzerine monte edilmiş bir mıknatısın karşısına yerleştirilmiştir. Dönüşün gerçekleştiği dairesel çapın belirtilmesi sonucu motor dönüş hızı, dakikada yaptığı devir ve gidilen mesafe bilgilerini gözlemlememize olanak tanımıştır.

BÖLÜM 4

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. GÜNEŞ IŞINIMINA GÖRE GÜNEŞ MODÜLÜ GERİLİM VE AKIM DEĞERLERİ

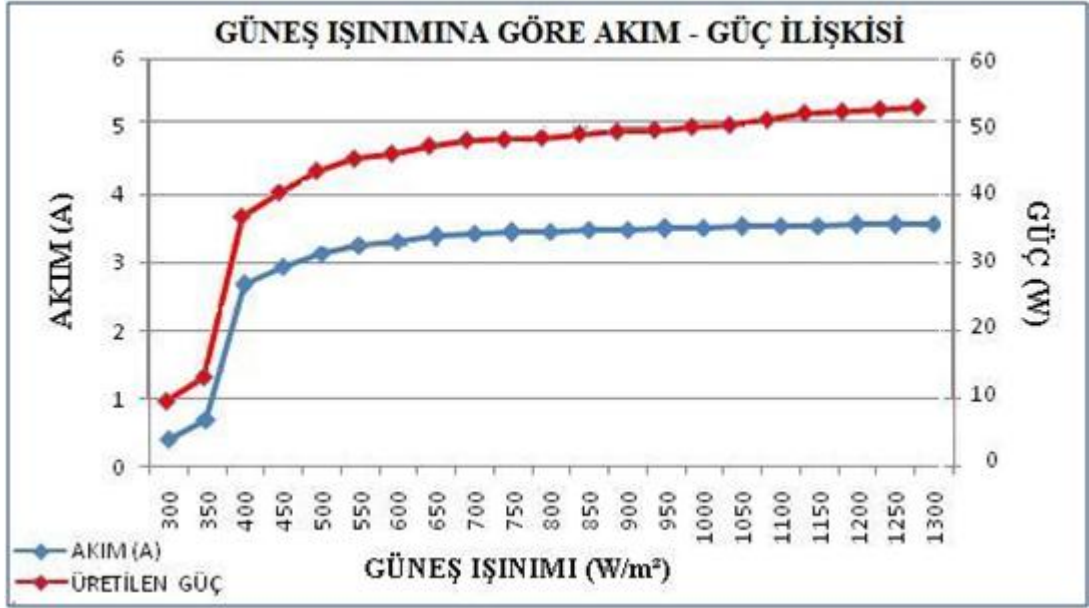
4.1.1. Güneş Işınımı Gerilim İlişkisi

Güneş ışınımı, güneş modüllerinden alınan akım ve gerilim değerlerini doğrudan etkilemektedir (Çizelge 4.1). Düşük ışınım değerlerinde gerilim değeri azalma gösterse de, akımdaki düşüş kadar şiddetli değildir (Şekil 4.1). Burada yapılan ölçümler sırasında ortam sıcaklığı ortalama 27 °C olarak gözlemlenmiştir.

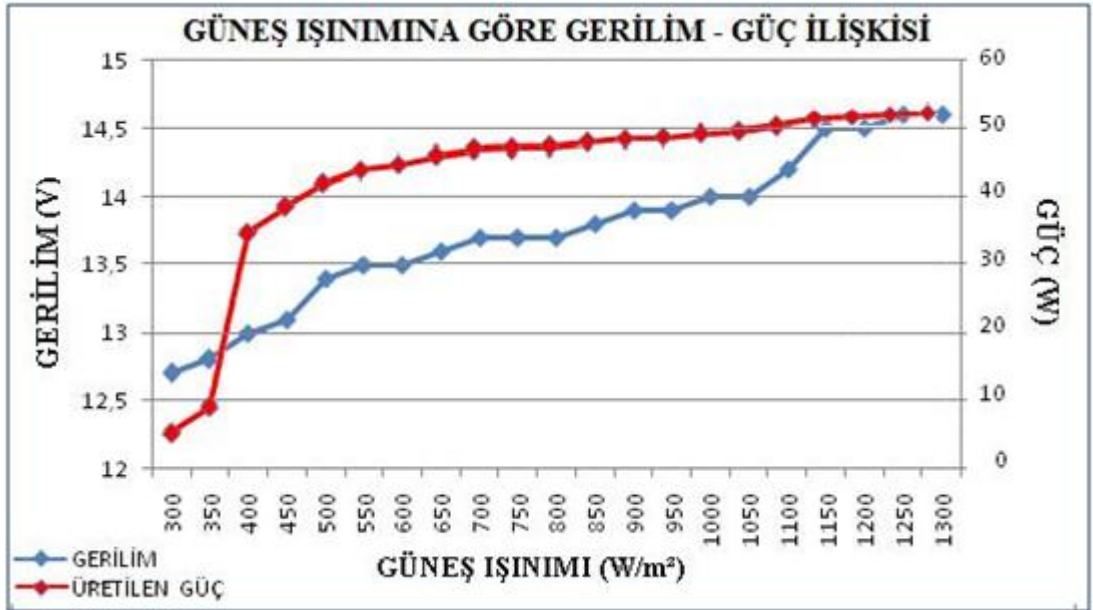
Çizelge 4.1. Güneş Işınımına Göre Ölçülen Güneş Modülü Gerilim Akım Değerleri
(Bir güneş modülü için okunan değerler).

GÜNEŞ IŞINIMI W / m ²	GERİLİM V	AKIM A	ÜRETİLEN GÜÇ Watt
300	12,7	0,4	5,08
350	12,8	0,7	8,96
400	13	2,67	34,71
450	13,1	2,95	38,645
500	13,4	3,14	42,076
550	13,5	3,26	44,01
600	13,5	3,32	44,82
650	13,6	3,39	46,104
700	13,7	3,43	46,991
750	13,7	3,44	47,128
800	13,7	3,46	47,402
850	13,8	3,48	48,024
900	13,9	3,48	48,372
950	13,9	3,5	48,65
1000	14	3,51	49,14
1050	14	3,53	49,42
1100	14,2	3,54	50,268
1150	14,5	3,54	51,33
1200	14,5	3,56	51,62
1250	14,6	3,56	51,976
1300	14,6	3,58	52,268

4.1.2. Güneş Işınımı Akım İlişkisi



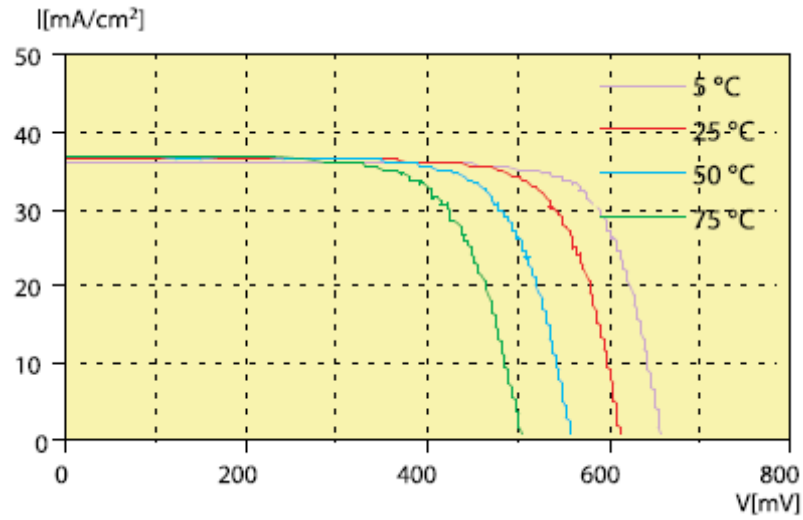
(a)



(b)

Şekil 4.1. Güneş Işınımına Göre Gerilim ve Akımın Güç ile Karşılaştırılması
a) Işınımına Göre Akım-Güç İlişkisi b) Işınımına Göre Gerilim-Güç İlişkisi.

Ölçümler Ağustos 2008, Eylül 2008, Ekim 2008, Mart 2009, Nisan 2009 ve Mayıs 2009 aylarında, ortalama hava sıcaklığı 27°C de, Karabük ilinde, 2-4 m/s rüzgar hızı şartlarında yapılmıştır. Veriler anlık veriler olup, elektronik solar metre, maksimum güç noktası izleyici veri ekranından okunmuş ve avometre ile paralel ölçüm yapılarak gözlemlenen verilerin doğrulanması sağlanmıştır. Ölçümler esnasında ortam sıcaklığının 40°C 'nin üzerine çıktığı durumlarda, değerlerin düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum bize yüksek sıcaklıklarda güneş pili verimlerinin düştüğünü göstermektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Sıcaklığa Bağlı Gerilim ve Akım Değişim Grafiği.

4.2. AKÜ ŞARJ VE DEŞARJ SÜRELERİNİN BELİRLENMESİ

Aküler %97 (%3 doluluk oranının altına inildiğinde MPPT'nin çalışmadığı gözlemlenmiştir) oranında boşaltıldıktan sonra ortalama $1000\text{W}/\text{m}^2$ ışınım, 27°C ortam sıcaklığında, akü şarj akımı 5 A (güvenlik sınırları içerisinde en yüksek değer) değerindeyken, dolum süresi gözlemlenmiş ve 153 dk olarak tespit edilmiştir.

Akü doluluk oranları %100 iken, motor 833 rpm devirde sürekli olarak, yüksüz şekilde çalıştırılmış ve deşarj süresi, şarj işlemi devam ederken 72 dakika olarak ölçülmüştür. Bu gözlem esnasında motoru çalıştıran gerilim 58,87 V ve çektiği akım 11,13 A olarak, avometre yardımı ile deney süresince ölçülmüştür.

Şarj işlemi devam etmeden yapılan deneyler neticesinde bu süre, 53 dk olarak gözlemlenmiştir. Buradaki 19 dakikalık fazla çalışma süresi, akü deşarj olurken sistemin aküyü tekrar şarj etmesinden kaynaklanmaktadır. Araç seyir halinde aküyü deşarj ederken, yaklaşık %20 oranında tekrar şarj etmektedir.

4.3. MESAFENİN HESAPLANMASI

13” çapındaki bir janta entegre ettiğimiz motorun, 72 dakikada 833 rpm devir ile gidebileceği mesafeyi şu şekilde hesaplayabiliriz;

Tekerleğin yarı çapı;

$$R = 13'' = 33,02 \text{ cm}$$

$$r = 33,02 / 2 = 16,51 \text{ cm}' \text{ dir.}$$

Tekerleğin çevresi;

$$\Ç = 2\pi r = 2 \times \pi \times 16,51 = 103,735 \text{ cm}' \text{ dir.}$$

1 dakikada 833 devir yapan motorun takıldığı tekerlek dakikada;

$$833 \times 103,735 = 86412,255 \text{ cm} = 0,86 \text{ km mesafe gidebilir.}$$

Saatte gidebileceği mesafe ise;

$$0,86412255 \times 60 = 51,85 \text{ km dir. (Devir hız saatinden ölçülen değere uygundur.)}$$

Yapmış olduğumuz sistem tam kapasite dolu akü ile motor döndüğü sürece ortalama 1000 W/m^2 ışınım değeri ile şarja devam ettiği takdirde 72 dakika seyir halinde bulunabileceğini gözlemlemiştik, bu süre göz önüne alındığında aracın 72 dakikada;

$$0,86412255 \times 72 = 62,2 \text{ km mesafe gidebileceğini hesaplayabiliriz.}$$

Başka bir deyişle aracımız ortalama 1000 W/m^2 ışınlım değeri ile şarj edildiği takdirde $53,83 \text{ km/h}$ hızla 72 dakikada $64,60 \text{ km}$ mesafe gidebilmektedir. (Devir hız saatinden ölçülen değere uygundur.)

Bu hesapta sürtünme, araç ağırlığı ve diğer kayıplar göz önüne alınmamıştır. Ölçümler yapılırken aracın arka tekerleği havaya kaldırılarak yer ile teması kesilmiştir.

4.4. SİSTEM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kurulum ve testleri yapılmış olan sistemin analizini yaparsak, ortam sıcaklığı 27°C şartlarında;

300 W/m^2 ışınlım değeri için bir analiz yaparsak;

Güneş modüllerinden elde edilen toplam enerji: $60,96 \text{ W}$ ($38,1 \text{ V} - 0,8 \text{ A}$ 2 adet)

Akü şarjı için kullanılan güç: 300 W ($60 \text{ V} - 12 \text{ A}$)

Motorun harcadığı güç: 468 W ($58,99 \text{ V} - 7,93 \text{ A}$)

500 W/m^2 ışınlım değeri için bir analiz yaparsak;

Güneş modüllerinden elde edilen toplam enerji: $504,912 \text{ W}$ ($40,2 \text{ V} - 6,28 \text{ A}$ 2 adet)

Akü şarjı için kullanılan güç: 300 W ($60 \text{ V} - 12 \text{ A}$)

Motorun harcadığı güç: 468 W ($58,99 \text{ V} - 7,93 \text{ A}$)

800 W/m^2 ışınlım değeri için bir analiz yaparsak;

Güneş modüllerinden elde edilen toplam enerji: $568,824 \text{ W}$ ($41,1 \text{ V} - 6,92 \text{ A}$ 2 adet)

Akü şarjı için kullanılan güç: 300 W ($60 \text{ V} - 12 \text{ A}$)

Motorun harcadığı güç: 468 W ($58,99 \text{ V} - 7,93 \text{ A}$)

1000 W/m^2 ışınlım değeri için bir analiz yaparsak;

Güneş modüllerinden elde edilen toplam enerji: $589,68 \text{ W}$ ($42 \text{ V} - 7,02 \text{ A}$ 2 adet)

Akü şarjı için kullanılan güç: 300 W ($60 \text{ V} - 12 \text{ A}$)

Motorun harcadığı güç: 468 W ($58,99 \text{ V} - 7,93 \text{ A}$)

1300 W/m² ışınım değeri için bir analiz yaparsak;

Güneş modüllerinden elde edilen toplam enerji: 627,216 W (43,8 V – 7,16 A 2 adet)

Akü şarjı için kullanılan enerji: 300W (60 V – 12 A)

Motorun harcadığı güç: 468 W (58,99 V – 7,93 A)

İmalatını ve deneylerini yaptığımız araçla ilgili TÜBİTAK'ın belirttiği Ek F' deki verilerde de görüldüğü gibi aracımız İzmir Pınarbaşı Yarış Pistinde 2186 metrelik parkurda toplam 10 tur gidebilmiştir. Yarış sırasında toplam 21,86 km mesafe giden araç ortalama 55 km/h hızla 36 dakika sürede yarışı tamamlamıştır. Buradan yola çıkarak deneylerde tam dolu akülerle yüksüz ve sürtünmesiz ortam şartlarında yaptığımız ölçümleri yarış şartlarıyla karşılaştırırsak, aracımız 53,85 km/h hızla 53 dakikalık (Akü şarjı sürüş sırasında devam etmediği durumda) bir sürüş imkanı sunuyordu. Yarış esnasında, havanın bulutluluk oranının yüksek oluşu ve şarj sisteminde meydana gelen arıza sürüş sırasında akülerin yeniden dolumunu engellemiştir.

Safran-Car güneş enerjili yarış arabası İzmir Pınarbaşı Yarış Pisti yol şartlarında ve 283 kg ağırlık, ortalama 55 km/h hızla 36 dakikada 21,86 km mesafe gitmiştir. Tüm bu veriler bize aracın yarış şartlarındaki sürüş süresinin, yüksüz ve sürtünmesiz ortam şartlarındaki sürüş süresinden 17 dakika kısa olduğunu göstermektedir. Aracın yarış ortamındaki ölçümleri, yüksüz ve sürtünmesiz ortam şartlarında alınan ölçümlerle karşılaştırıldığında sürtünme, araç ağırlığı ve sürüş stratejisi parametrelerinin %32 oranında bir kayba neden olduğu belirlenmiştir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Güneş arabaları hakkında yapılan yerli ve yabancı çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalarda kullanılan sistem bileşenlerinden farklı bir model tasarlanmıştır. İmalatı yapılan araç, 2008 yılında TÜBİTAK'ın düzenlediği "Formula G" yarışına katılmış (Şekil 5.1) ve 18. olmuştur (Ek F).



Şekil 5.1. Formula G 2008 Yarışı.

Bu çalışmada, yapılan aracın çalışma düzeni konusunda bilgi vermiş olup, kullanmış olduğumuz akü tipi sebebi ile ürettiğimiz enerjinin tamamını motora iletmediğimiz için motorun optimum gerilim ve akım değerlerini sağlayamadığımızı göstermiştir. Ölçümler sonucunda ortalama 1000 W/m^2 ışınım değeri ile 589 Wh enerji üretirken 468 Wh enerji tüketilmiştir. Akülerimizin yapısı nedeniyle, 5 A şarj değerini aşamamız neticesinde, ürettiğimiz enerjeyi %49 oranında kullanılamamıştır. Kurşun – asit akü yerine şarj akım değeri 15 A (en yüksek) olan bir lityum polimer akü kullanımı durumunda bu kaybın önüne geçilebilecektir. Sistem, 589 Wh güç üretirken 468 Wh tüketim yapacak, 121 Wh fazla enerjeyi de akülerinde

depolayabilecektir. Bu durumda; araç hareket halinde iken kullandığı enerjiyi, güneş modüllerinden karşılamakla birlikte, aküleri de şarj edebilecektir.

TÜBİTAK'ın Ek F'de Safran-Car güneş enerjili yarış arabası için belirttiği yarış verileri ve aracın yüksüz, sürtünmesiz ortam şartlarında alınan ölçümler karşılaştırılmıştır. Yarış sırasında sürtünme, ağırlık ve sürüş stratejisi parametrelerinin % 32 oranında kayba neden olduğu ortaya koyulmuştur.

Üretilen ve tüketilen enerji miktarının, araç seyri sırasında devamlı gözlemlenmesi durumunda, sistemde üretilen enerjiye göre motor devri ayarlanarak üretim ve tüketim değerleri eşit seviyede tutulabilir. Başka bir deyişle; üretilen 121 Wh gücü motor hızını arttırmak için veya güneş ışınım şiddetinde çok ciddi bir düşüş olmadığı sürece, sistemin tükettiği kadar enerjiyi üretebilecek ve güneş görebildiği sürece devamlı bir sürüş imkanı sağlayacak şekilde kullanabilirdik.

Sonuç olarak; sistemde kullanılan akü tipi değişikliği ve sürüş esnasında devamlı sistem denetimi yapan bir telemetri sistemi ile aracın optimum sistem ve sürüş şartlarının yakalanabileceğidir.

Bu konuda bundan sonra yapılacak çalışmalarda;

Sistemde akü çeşidi değişikliği yapılarak ve bu değişiklik yapılırken şarj akımı değerinin, güneş modülünün ürettiği gücün akım değerine yakın bir değerde seçilmesi uygun olacaktır. Sistem bileşenlerine, ileri düzey kontrol sistemi (telemetri) eklenmesi, optimum sürüş şartlarının belirlenmesi noktasında faydalı olacaktır. Araç ağırlığının Ek E'de bulunan FIA' nın belirlediği TÜBİTAK'ın yayınladığı kurallar çerçevesinde 150 kg seviyesine düşürülmesi kayıpların azaltılması noktasında uygun olacaktır. Araç yarış şartları göz önüne alınarak büyük jant çapları ve sürtünme oranı düşük yarış lastikleri kullanımı faydalı olacaktır. Şarj sistemi problemleri, mppt çıkış geriliminin en fazla 48V olduğu akü geriliminin en az 53V olduğu göz önüne alındığında tek mppt ve tek akü grubu kullanımı için motor çalışma gerilimi 48 Volta düşürülmesi uygun olacaktır. Arabanın kasa tasarımında kokpit çıkıntısının

azaltılması veya ortadan kaldırılması yarış esnasında güneş modülleri üzerinde meydana gelen gölgelenmenin önüne geçilmesi noktasında faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Başbakanlık dış ticaret müsteşarlığı <http://www.dtm.gov.tr>.
2. Hammad M., Khatib T., Energy parameters of a solar car for Jordan, **Energy conversion and management** ISSN 0196-8904 CODEN ECMADL, 37 (12): 1695-1702 (1996).
3. Peter Pudney M.App.Sc, B.App.Sc, “Optimal energy management for solar powered cars”, University of South Australia, (2000).
4. Howlett P., Pudney P., Tarnopolskaya T. and Gates D., Optimal driving strategy for a solar car on a level road, **IMA Journal of Management Mathematics**, 8 (1): 59-81 (1997).
5. B. Kennedy, D. Patterson and S. Camilleri; Use of lithium-ion batteries in electric vehicles, **Journal of Power Sources**, 90 (2): 156-162 (2000).
6. Lovatt, H.C. Ramsden, V.S. Mecrow, B.C.CSIRO, “Design of an in-wheel motor for a solar-powered electric vehicle”, **Electrical Machines and Drives, 1997 Eighth International Conference on** , 444 (1997).
7. King, R.J,” Photovoltaic applications for electric vehicles”, **Photovoltaic Specialists Conference, 1990, Conference Record of the Twenty First IEEE**, (2): 977-98 (1990).
8. R. Nejat Tuncay, Özgür Üstün, Murat Yılmaz, Arda Tüysüz, Kaan Titiz, Anıl Şahin, Can Gökçe, Ali Yıldırım, “Güneş enerjili yarış aracının elektrik tasarım ölçütlerinin, yol performans simulasyonunun ve enerji yönetim sisteminin geliştirilmesi”, **ELECO'2006, International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Bursa, Turkey**, (2006).
9. Varınca, K. B, Varank, G, “Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri”, **Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi**, İçel, (2005).
10. İnternet: Yıldız Teknik Üniversitesi Güneş Enerjili Sistemler Kulübü, www.gesk.yildiz.edu.tr, (2009).
11. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Resmi internet sayfası, www.eie.gov.tr, (2008).
12. İnternet: Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi <http://web.gyte.edu.tr/enerji> (2008).

13. Quaschnig, V., “Understanding Renewable Energy Systems”, Toronto, **ON**, Canada, 117 (2005).
14. Güven, S.Y.,”Günes pil destekli çevre aydınlatma ve sulama sisteminin örnek bir uygulaması”, **Mühendis ve Makine**, 548: 46-48 (2006).
15. Boyle, G., “Solar Photovoltaics”, Renewable energy: power for a sustainable future,.1st ed., **Oxford University Press**, New York, 66–83 (2004).
16. Özgöçmen, A.,”Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2007).
17. İnternet: “Enerji Günes Pilleri”, **Habitat**, 1-3
<http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/gunespilleri/gunespilleri.html>, (2006).
18. Gilbert M. M., “Renewable and Efficient Electric Power Systems”, **John Wiley & Sons Hoboken**, USA, 471-486, (2004).
19. Korkmaz, A., “Günes enerjisinden direk elektrik üretimi”,Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 58, (2001).
20. Oktik, S., “Fotovoltaik güneş pilleri ve güç sistemleri; dünü bugünü yarını”, **Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 8. Enerji Kongresi**, Ankara, 47, (2000).
21. Büyükdeğirmenci T., Nas A., Sarfati M., Özdemir M., “Elektrik Makinalarında Akım Denetimi ve Algılayıcılar”, **İTÜ Elektrik Mühendisliği**, (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Özgür DEMİR 1982 yılında İstanbul'da doğdu; İlk ve orta öğrenimini Bursa Altıparmak Fethi Açıncıçek İlköğretim okulunda tamamladı. Bursa Erkek Lisesi'nden mezun olduktan sonra, 2000 yılında Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu İklimlendirme Soğutma bölümünde ön lisans eğitimine başladı. Eğitimine 2004 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği bölümünde lisans eğitimi ile devam etmiştir.

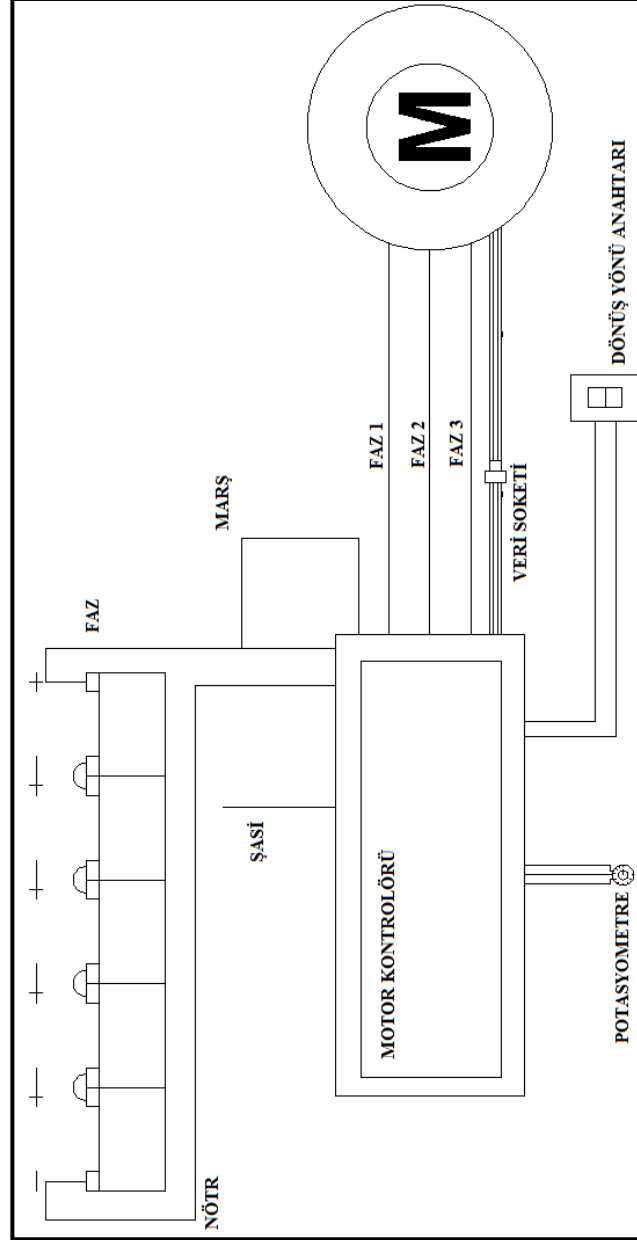
2007 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen Yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

İLETİŞİM BİLGİLERİ

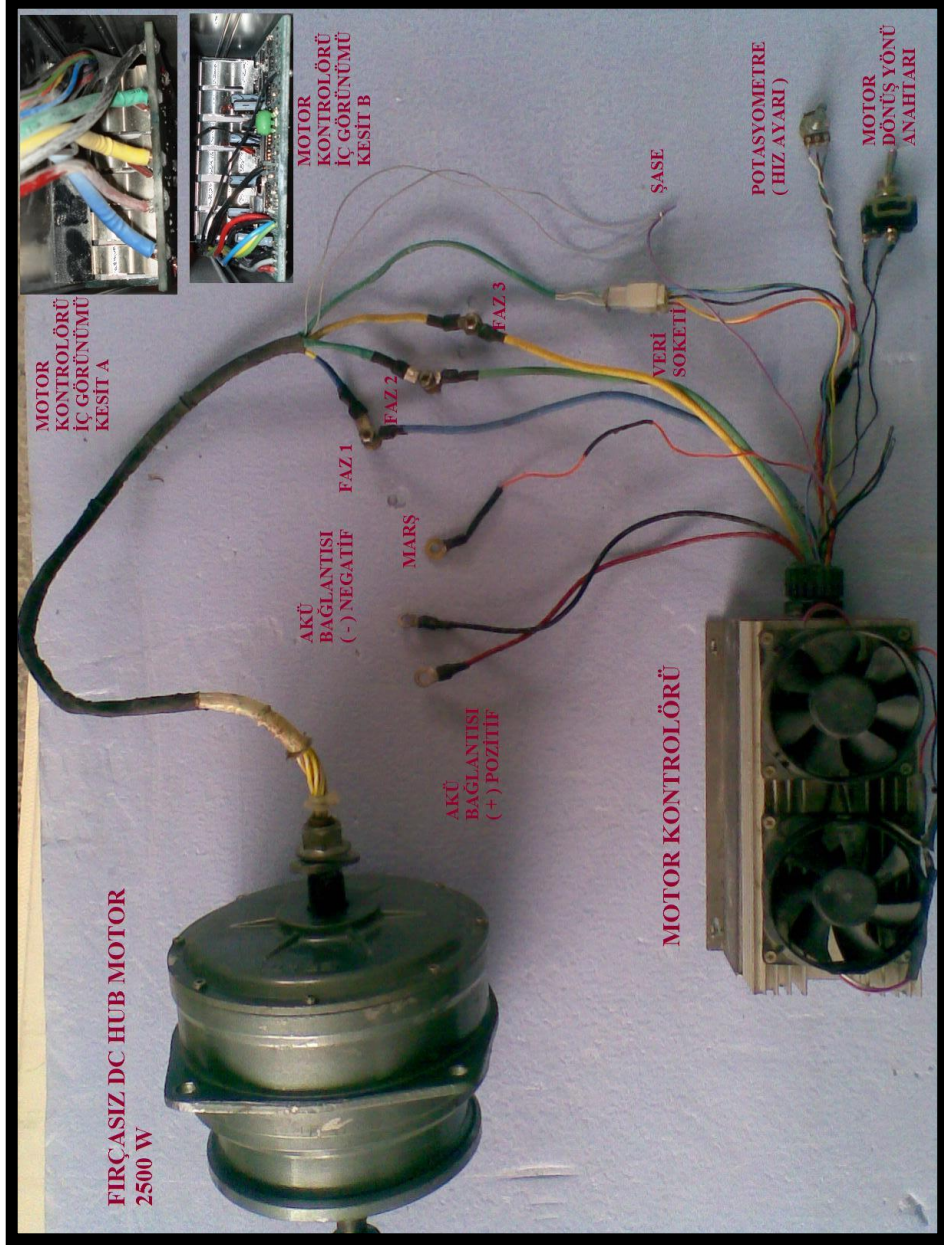
E-posta: ozgur_ktef@hotmail.com

Tel : +9 0532 559 76 51

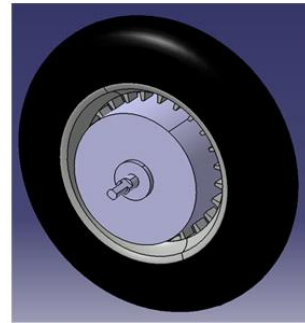
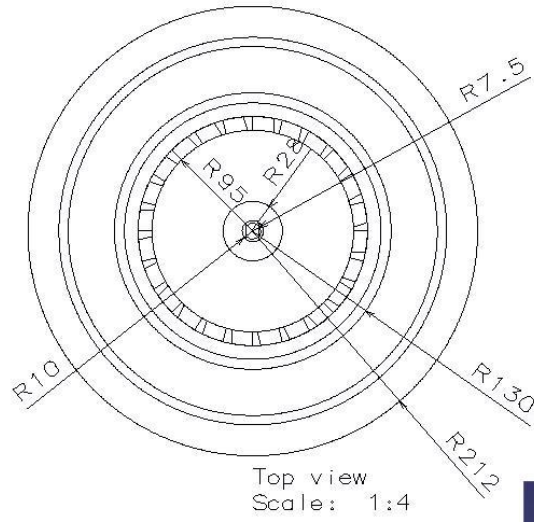
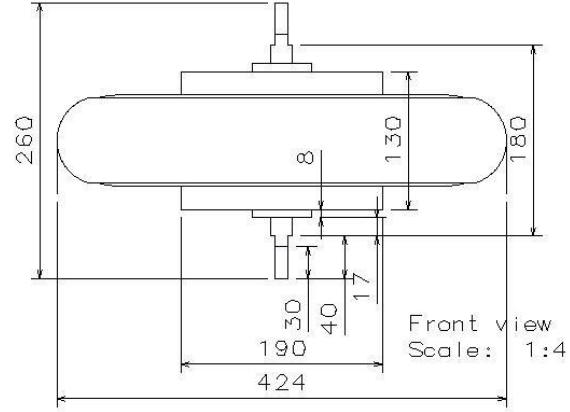
EK A – Fırçasız Doğru Akım Motoru Kontrolör Bağlantısı Blok Diyagramı



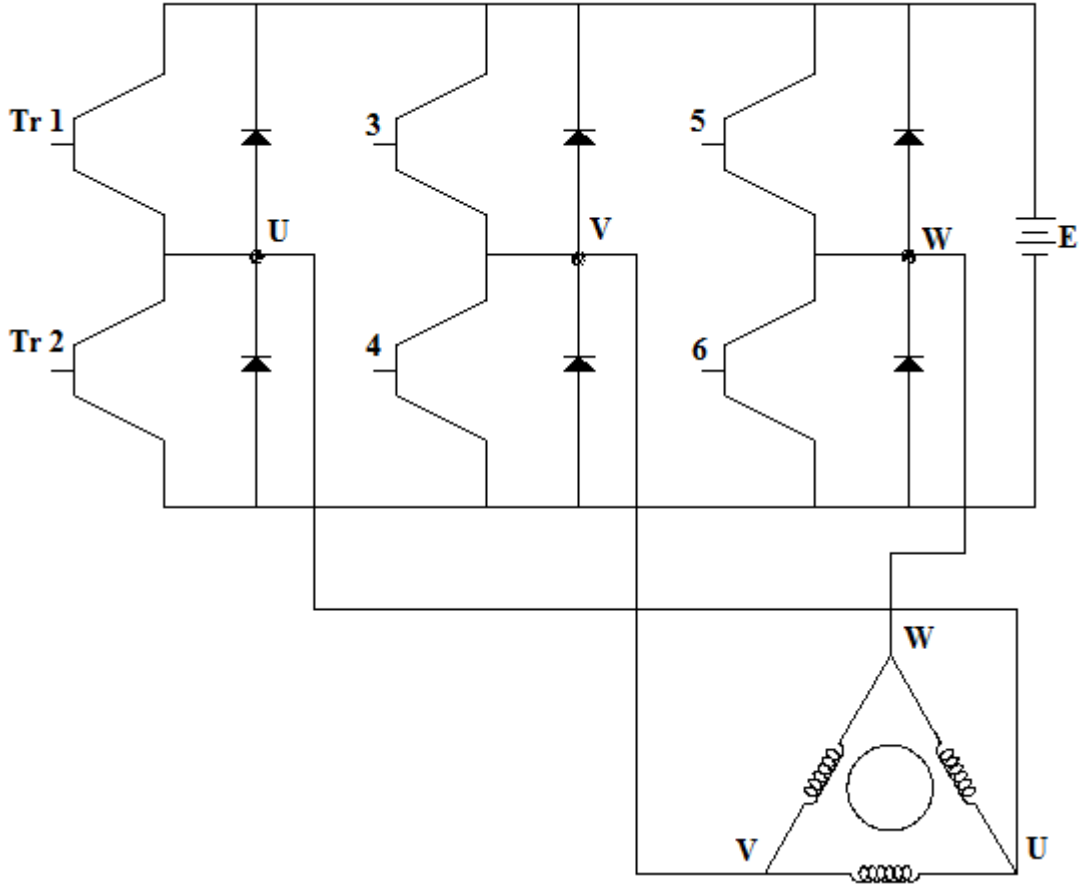
EK B – Fırçasız Doğru Akım Motoru Kontrolör Bağlantı Şekli



EK C – Motor ve Montaj Ölçüleri



EK D – Köprü Tipi Fırçasız Doğru Akım Motorlarına İlişkin Blok Diyagram



EK E – FIA'nın Belirlediği TÜBİTAK Tarafından Açıklanan Kurallar

ELEKTRO-SOLAR ve ALTERNATIF ENERJİ ARAÇLARI İÇİN TEKNİK KURALLAR -2008

Aşağıdaki hükümler, Uluslararası Otomobil Sporları Federasyonu'nun (FIA) Alternatif Enerjili Araçlar klasmanında 2008 yılı için geçerli olacak teknik kurallarından, yalnızca pist yarışları için tasarlanmış Güneş Arabaları için geçerli olanlarının Türkçe çevirileridir... (Mukavemet yarışları için tasarlanmış Güneş Arabaları için de aynı kurallar büyük ölçüde geçerli olmakla birlikte özellikle boyut, ağırlık vb. parametrelerde değişiklik olmaktadır). Takımların, tasarlayacakları araçlarda bu kural ve ölçülere titizlikle uymaları gerekmektedir. Formula-G Denetleme Kurulu (Jüri) Türkiye Otomobil Sporları Federasyonu (TOSFED) ile birlikte, yarış için bunlara ek kural ve kayıtlamalar getirecek yarış yönetmeliği çıkarabilecektir.

Güneş enerjili YARIŞ arabaları en az 150 kg olmalıdır.

TARİFLER:

Güneş Enerjili Yarış Arabaları:

(Kategori I) pist bir tahrik bataryası aracılığıyla gücünü araç üzerindeki bir güneş enerjisi jeneratöründen sağlayan, en az üç tekerlekli, sürücüsüz en az 150 kg ağırlıklı araçlar.

ARAÇLARIN TEKNİK KİMLİK BELGELERİ:

FIA gözetimindeki organizasyonlara katılan tüm araçların, ASN tarafından verilen ve FIA teknik temsilcisi tarafından onaylanmış bir FIA teknik kimlik belgesi bulunması gerekmektedir. Aracın tam bir tanımının yer alacağı bu teknik belgede ayrıca aracın tam olarak tanımlanması için gerekli tüm verilerin bulunması gereklidir.

Teknik kimlik belgesinde aracın güç devreleriyle bunların yerlerinin çizimleri bulunmalıdır. Teknik kimlik belgesinde, aşırı ısınma ya da yangın gibi batarya (akü) ile ilgili sorunlara karşı bir acil çözüm planı da bulunmalıdır. Bu teknik kimlik belgesi araçların kontrolü sırasında yetkililere verilmek zorundadır. Katılımcının bu belgeyi vermemesi halinde, hakemlerin aracı yarış dışı bırakmak yetkisi vardır. Araç için teknik kimlik belgesini, varsa eğer belgeye ilişkin değişiklikler ya da eklerle birlikte ASN/FIA'dan almak, katılımcının sorumluluğundadır.

GENEL ÖZELLİKLER:

BOYUTLAR:

Aracın üstten görüldüğü biçimde çevresi:

Bu tanım, aracın yarış başında start gridinde sahip olduğu çevre boyutlarını betimlemektedir.

Rallilere katılan güneş arabalarının, yerden 1 m'den daha az olmayan yükseklikte en az bir noktası bulunmalıdır (Ör: üzerinde turuncu bayrak bulunan bir anten).

Pist yarışına katılacak araçların boyu 5 m'yi, eniyse 1,8 m'yi geçmemelidir.

Yerden yükseklik:

Aracın bir yanındaki lastiklerin tümünün havası boşaltıldığında, aracın hiçbir noktası yere değmemelidir. Bu test, araçların sürücüleri üzerindeyken düz bir yüzeyde gerçekleştirilecektir.

Safra:

Aracı izin verilen ağırlık tabanına çıkarmak için , sağlam ve blok yapıda olmaları, araca sabitlenebilme ve üzerlerine mühür takılmaya elverişli olmaları koşuluyla araçlara ağırlık bağlanabilir. Ağırlık, kokpit tabanında görünür bir yere sabitlenmeli ve gözlemciler tarafından mühürlenmelidir. Yedek bir lastik, bu koşullara uyması halinde ağırlık olarak kullanılabilir. Bir aküyse, ağırlık olarak kullanılamaz.

MOTOR:

Farklı tasarımlarda da olsalar, yarışa katılacak araçlarda yalnızca elektrik motorları kullanılabilir. Başka tür motorların kullanımı kesinlikle yasaktır. Dayanıklı malzemeden yapılmış ve imalatçının adını, motor numarasını, tasarlanmış güç çıktı düzeyini, motorun tipini, seçilen voltajı ve IP korunma kodunu içeren bir plaka sürekli olarak motorun üzerinde bulundurulacaktır

ŞASI:

Şasi, aracın tam olarak askılanmış tüm parçaları içerir. Yani kendi yapısal parçaları da dahil olmak üzere, üzerine mekanik birimler ve kaportanın monte edileceği aracın genel iskeletidir.

TEKERLEK ve LASTİKLER:

Tekerlek, göbek, jant ve lastikten oluşur. Tekerleklerde havalı lastiklerin kullanılması zorunludur. Lastiklerin herhangi bir yöntemle ısıtılması ya da kimyasal işleme tabi tutulması yasaktır. Aracın dışına taşmamak koşuluyla tekerleklerin jant ve lastiklerinin boyutları ve yapıldıkları malzeme serbesttir.

KAPORTA:

Dış kaporta: Hava akımının yaladığı, aracın askıdaki tüm parçalarıdır.

İç kaporta: Kokpit ve bagajdır.

Kaporta, tümüyle kapalı olmalıdır. Kaportanın her tarafı tam ve özenli yapılmış olmalıdır. İğreti parçalar ya da geçici çözümler kabul edilmez. Güneş enerjili yarış arabalarında yalnızca tüm olarak askılanmış parçaların kaportayla örtülmüş olması zorunludur.

ELEKTRİK EKİPMANI:

Tanımlar:

Tahrik Bataryası (Depolama Aküsü):

Tahrik bataryası, güç döngüsüne enerji sağlamak üzere elektriksel olarak birbirine bağlı tüm ikincil güç kaynaklarından oluşur.

Güç kaynağı: Kapalı bir bölmede de tutulabilecek, akü modülleri ve bunları tutan çerçeve ya da tabladan oluşacak biçimde bir araya getirilmiş mekanik bir birimdir.

Akü modülü: Tek bir hücre ya da elektriksel olarak bağlanmış ve mekanik olarak bir araya getirilmiş bir dizi hücreden oluşan bir birimdir.

Hücre: pozitif ve negatif elektrodlardan ve elektrolitten oluşan, elektrokimyasal enerji depolama düzeneği. Bu düzeneğin nominal voltajı, elektrokimyasal bağlanma için gerekli nominal voltajdır.

Tahrik bataryası tanımı, güneş jeneratörü ya da şarj ünitesince sağlanan elektrik enerjisini geçici olarak depolayan herhangi bir ekipman için kullanılır. Tahrik bataryası, aracın yarış öncesi incelenmesinde kontrol edilir ve mühürlenir.

Araçta gövdeye bağlı her akü, aracın sürüş aküsünün bir parçası sayılır. Araçta bulunan ve normal olarak kuru piller, küçük şarjedilebilir piller ya da kendi güneş hücreleriyle çalışan aygıtlar dışında, araçta bulunan tüm elektrikli ekipman, kullanacağı enerjiyi aracın tahrik bataryasından almalıdır. (Bu kural haberleşme ekipmanı için de geçerlidir).

Yarışa katılacak araçlarda aşağıdaki akü tiplerine izin verilebilir:

- Kurşun-asit
- Nikel-kadmiyum
- Nikel-demir
- Nikel-çinko
- Çinko-brom
- Nikel-metal-hidrit
- Lityum-iyon

Bu liste dışındaki kombinasyonlar için, kullanılacak kimyasal işlemlerin tüm ayrıntılarıyla birlikte yarıştan üç ay önce komisyona başvurulması gerekmektedir. İstemin incelenmesi için ücret istenebilir.

Ağırlıklarının %5'i altın, gümüş ve platinden oluşan tahrik bataryaları kullanılamaz.

FORMULA-G DENETLEME KURULU, YUKARIDA LİSTELENENLER DIŞINDA LİTYUM POLİMER AKÜLERİN KULLANIMINA DA İZİN VERMİŐTİR.

Operasyon Voltajı:

Voltaj, iki nokta arasında 1000 voltu geçemez.

Tahrik Bataryasının Enerji Kapasitesi:

C1 kapasitesi - 25 derece batarya sıcaklığında ve bataryanın en çok 1 saatte tümüyle boşalması koşulunda Ah cinsinden batarya kapasitesidir.

C5 kapasitesi – 25 derece batarya sıcaklığında ve bataryanın en çok 5 saatte tümüyle boşalması koşulunda Ah cinsinden batarya kapasitesidir.

C20 kapasitesi -25 derece batarya sıcaklığında ve bataryanın en fazla 20 saatte tümüyle boşalması koşulunda Ah cinsinden batarya kapasitesidir.

Enerji, volt cinsinden aracın tahrik bataryasının nominal voltajı ile Ah cinsinden C5 kapasitesinin çarpımıyla hesaplanır. Enerji kapasitesi kWh cinsinden açıklanmalıdır.

Tahrik Bataryasının Şarjı:

Aracın tahrik bataryası, yarış organizatörünün belirleyeceği yer ve saatlerde şarj edilebilir.

Maksimum Voltajın Ölçüm Koşulları:

Maksimum voltaj, tahrik bataryasının şarjı sonundan en az 15 dakika sonra ölçülmelidir.

Enerji Geri Kazanımı:

Aracın kinetik enerjisi tarafından sağlanan enerji aracın itkisinde kullanılabilir. Yarış öncesinde bu tür aygıtlarda depolanmış enerji tutulmasına izin verilmez.

Harici enerji kaynakları kullanımı:

Aracın performansını artırmak için herhangi bir harici enerji kaynağı kullanmak kesinlikle yasaktır. Aracın soğutma sistemi, aracın kendi sürüş aküsünden alacağı güçle çalışabilir.

DİKKAT : Yarışta kullanılacak bataryanın enerji kapasitesi en çok 1 kWh olacaktır.

Güneş Jeneratörü:

Tanımlar:

Güneş hücresi:

Bir güneş hücresi, Güneş'ten gelen ışınımı elektrik enerjisine dönüştürmekte kullanılan bir fotovoltaiik elemandır. Araçlarda her türden güneş hücresi kullanılabilir.

Modül:

Bir modül, bir mekanik birim meydana getirmek üzere bir araya getirilen güneş hücrelerinden oluşur.

Güneş jeneratörü:

Bir güneş jeneratörü, istenen sayıda güneş hücrelerinden oluşmuş modüllerin birbirine bağlanmasıyla ortaya çıkar. Yarış süresince güneş jeneratörünün boyutları büyütülemez ve küçültülemez. Bir arıza halinde, arızalanmış modüller değiştirilebilir. Elektronik araçlarla, güneş jeneratörünün verimi optimize edilebilir. Güneş jeneratörü araca sağlam biçimde sabitlenir ve araç hareket halindeyken aracın gidiş yönüne göre konumunun değişmesine izin verilmez.

Araç hareket halindeyken güneş jeneratörünün tüm aktif yüzeyinin Güneş alması zorunludur. Araç dururken aküleri doldurmak için güneş jeneratörünün yüzey

konumu değiştirilebilir ya da araç krikao yardımıyla Güneş'e bakacak biçimde yatırılabilir.

Güneş jeneratörü ile sürüş aküsü arasına iki ölçüm noktası (artı ve eksi kutuplu) konularak güneş jeneratörünün toplam güç çıktısının ölçülebilmesi sağlanmalıdır. Ölçüm sırasında jeneratörün tümünün, aracın öteki devreleriyle olan elektriksel bağı kesilmelidir.

Güneş Jeneratörünün Gücü:

En az 300 Watt tepe gücünde olan güneş jeneratörünün tümü, yarışan aracın üzerine yerleştirilir.

- Araçların ölçülerinin kuşbakışı 5m x 1,8m sınırını açmaması kaydıyla güneş panelinin güç çıktısı sınırsız olabilir.

Ölçümler:

Güneş jeneratörleri ve elektrik ekipmanının tüm öteki parçaları için tüm veri ve ölçümlerle, bunlara dayalı hesapları, 25 derecelik bir ortam sıcaklığında geçerli olmalıdır.

Güneş jeneratörünün güç çıktısı ortam sıcaklığından hücre sıcaklığına çevrilirken, aşağıdaki işlem gerçekteştirilmelidir:

25 derecelik ortam sıcaklığındaki gücün 1,17 ile çarpımı, 25 derecelik hücre sıcaklığında jeneratörün gücüne eşittir.

Elektrik Donanımının Çizimi:

Aracın elektrik donanımının tüm güç devrelerini gösteren A4 boyutlarında (21x 29,7 cm) bir çiziminin verilmesi zorunludur. Çizim, aküleri, sigortaları, devre kesicileri, güç ayar düğmelerini kapasitörleri, motor kontrol araçlarını, motor ya da motorları, şarj ünitesini ve bağlantı kablolarını içermelidir.

Araca tepeden bakan ikinci bir çizimle de bu bileşenlerin araç içindeki yerleri açıkça gösterilmelidir.

GÜVENLİK DONANIMI:

Dizaynı ya da yapımı tehlike yaratabilecek araçlar, hakemlerce yarıştan men edilebilir.

Kablo, hortum, tel ve elektrik ekipmanı:

Fren telleri, borular, hortum, elektrik kabloları ve elektrik ekipmanı, araç dışına monte edildiğinde (taş darbesi, paslanma, mekanik arıza gibi) hasar riskinden , kaporta içine monte edildiğinde de ateş riskinden korunmalıdır.

Frenler:

Bir pedalla harekete geçirilen iki devreli bir fren sistemi zorunludur. Aynı pedal, tüm tekerleklerdeki frenleri harekete geçirmelidir. Fren sıvısının dışarı sızması ya da frenleme kuvvetini aktaran sistemde bir arıza olsa bile frenleme kuvveti araçtaki dingillerden en az birinde etkili olabilmelidir. Karbon fren diskleri kullanılmaz. Frene güçlü basıldığında motorun otomatikman durması zorunludur. Motor, frenleme etkisini güçlendirmek için de kullanılabilir. Frenlerin denenmesi araç viteste değilken yapılmalıdır. Frenlemeyi sağlayacak aygıtlar, bir yapısal bozulmaya uğramadan maksimum yükü karşılayacak biçimde yapılmalıdır. Bu aygıtlar en az 1200 N düzeyinde bir minimum yüke dayanabilmelidir.

Dört tekerlekli araçlar:

Dört tekerlekli araçlarda ana fren zorunludur. Bu fren dört teker üzerinde de etki yapmalı ve çift-devreli bir frenleme sistemi olarak tasarlanmalıdır. Her devre en az farklı taraflardaki iki tekerlek (bir diğer deyişle en az bir dingil) etki yapacak biçimde çalışmalıdır. Devrelerden biri çalışmazsa, tek devreyle kategorideki araçlar için belirlenmiş ters ivmelenme (hız kesme) değerinin üçte biriyle araç yavaşlatılabilmelidir.

Ortalama hız kaybı: 5,8 m/S² olmalıdır.

Dörtten daha az sayıda tekerlekli araçlar:
Bu araçlarda da bir ana fren zorunludur.

Ortalama hız kesme oranı:

- her iki fren birden kullanıldığında 4,5m/s²
- tek fren kullanıldığında 2,5 m/s²

Bağlama düzenekleri:

Hem kaput, hem de bagaj kapağı için en az iki bağlama düzeneği bulunmalıdır. Araçta taşınacak büyük yükler (Ör: yedek lastik, şarj kablosu, alet çantası vb.) yerlerine sıkıca tutturulmalıdır.

Emniyet kemerleri:

FIA standartlarına göre iki omuz kemeri, bir karın kemeri ve iki bacak kemerinin bulunması ve kullanılması zorunludur.

Yangın söndürücüler:

Güneş enerjili yarış arabalarında yangın söndürücü bulunması zorunludur.

Rollbarlar:

Rollbarlar en az 350 N/mm² dayanıklılığında en az 38 x 2,5 mm çapında soğuk çekimli, dikişsiz çelik ya da en az 350 N/mm² dayanıklılıkta en az 40 x 2.0 mm çapında karbon çelik borulardan yapılmalıdır. Bunlar minimum standartlar olup, çelik kalitesi seçilirken uzama özelliği ve kaynak tutma yetisine dikkat edilmelidir.

Güvenlik kafesleri:

Sabit plastik kaportalı kapalı araçlarda bir güvenlik kafesi bulunmalıdır. Bu kafeslerin direnci:

- yanlara doğru 1,5 w
- öne-arkaya 5,5 w

- düşey yönde 7,5 w olmalıdır
w= aracın ağırlığı + 75 kg

Geri Görüş:

Sürücünün bir dikiz aynası ve aracın arkasında en az 50 cm genişliğinde ve 10 cm yüksekliğinde bir açıklıkla arkasını görmesi sağlanır. Bu mümkün olmadığı takdirde başka yollarla (örneğin 2 dış ayna) bu olanak sağlanır. Ralli ve pist yarışlarında iki dış aynanın araçlarda bulunması zorunludur.

Çekme Halkaları:

Araçların hepsinde, biri önde ve bir arkada olmak üzere, kolayca görülebilecek yerlerde kırmızı, turuncu ya da sarıya boyalı çekme halkaları bulunmalıdır. Bu halkalar yardımıyla araçlar, ancak serbestçe hareket edebilir durumdayken çekilebilir. Bu halkalar, aracı yukarı kaldırmak için kullanılamaz.

Ön Cam ve Pencereler:

Güneş enerjili pist yarış arabaları için lamine cam zorunluluğu yoktur. Tüm pencereler, kırıldığında ciddi yaralanmalara yol açmayacak malzemenin yapılmalıdır. Sürücüye görüş alanı sağlayacak tüm pencereler berrak olmalı ve görüntüyü çarpıtmamalıdır. Uzun süre kullanımdan sonra bile ışığın %70'ini geçirebilmelidir.

Elektrik Güvenliği:

Tüm araçlar, düşük voltajlı elektrik aksamının standardizasyonu ve kullanımıyla ilgili olarak ulusal yetkililerce konulmuş kurallara uymak zorundadır. Aynı şekilde Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC)'nin ya da IEC'nin ulusal temsilcilerinin koyduğu kurallara da uyulmalıdır.

Elektrik ekipmanının hiçbir noktasında yere ve sistemin topraklamasına göre 500 volttan daha yüksek voltaj olmamalıdır. Sistem topraklamasıyla şasi ya da kaporta

arasında 50 volttan daha yüksek bir voltaja izin verilemez. Voltaj, herhangi iki nokta arasında 1000 volt tavanını aşamaz.

Güç devresinin voltajının 42 voltu aştığı durumlarda , bu güç devresi, yedek güç devresinden uygun bir yalıtkanla ayrılmalıdır. Elektrik ekipmanının koruyucu mahfazaları üzerinde ya da yanlarında “Yüksek Voltaj” uyarı sembolleri bulunmalıdır. Bu sembol kenarları 12 cm olan bir üçgen içinde kalın ve siyah bir şimşek işaretidir.

-Güç devresi, elektrik donanımının aracın hareket etmesi için kullanılan tüm parçalarını kapsar.

-Yardımcı devre (network) elektrik donanımının sinyal, ışık düzeni ya da iletişim için kullanılan kısımlarını kapsar.

Elektrik donanımının tüm parçaları en az IP 44 tipi (toza ve su sıçramasına karşı güvenli) koruma altına alınması gerekmektedir de IP 55 tipi koruma tavsiye edilir.

Genel Devre Kesici:

Sürücü normal pozisyonda dik ve bağlı durumda direksiyon başındayken, tüm tahrik bataryası donanımıyla enerji tüketen birimler arasındaki her türlü elektrik iletişimini, kıvılcım çıkarmayan bir devre kesiciyle (acil durdurma düğmesi) aracılığıyla kesebilmelidir. Düğme, sürücünün kolayca görebileceği ve gerektiğinde dışarıdan da kolayca erişilebilecek bir yerde olmalıdır. GENEL DEVRE KESİCİ, EN AZ 8 cm ÇAPLI SARI BİR DAİRE İLE ORTASINDA KIRMIZI BİR DÜĞMEDEN OLUŞMALIDIR. DAİRENİN ÜZERİNDE KIRMIZI YA DA SİYAH HARFLERLE “ACİL DURUM” YAZISI BULUNMALIDIR.

Kapalı araçlarda genel devre kesicisinin dış düğmesi, kokpit penceresinin altında sürücünün gidiş yönüne göre sol tarafında bulunmalıdır. Açık araçlarda, devre kesicinin dış düğmesi gidiş yönüne göre solda, ana rollbarın tabanında. Düğme, kenarları en az 12 cm olan, beyaz bordürlü mavi bir üçgen içinde kırmızı bir şimşek işareti ile gösterilmelidir.

Genel devre kesicinin kontak nedeniyle erimesini önlemek için, (I_{2t}) değeri (açılma sırasında kesici kontak noktalarına yayılan ısı enerjisini betimleyen amperkare saniye özellikleri) devrenin, özellikle tahrik bataryasının güç otobüsüne yüklenmesi sırasındaki aşırı akım artışı koşullarında güvenilir biçimde çalışmasını garantileyecek

düzyeyde olmalıdır. Bir araç, örneğın bir genel devre kesici, sürücü koltuğuna tam olarak yerleşmemiş durumdayken aracın hareket etmesini önlemelidir.

Aşırı Akım Kesicileri (Sigortalar):

Tanım: Aşırı akım kesicisi, içine yerleştirildiği devredeki elektrik akımını, eğer bu akım belirli bir süre için tanımlanmış limit değeri aşarsa otomatik olarak kesen bir araçtır. Sigortalar ve devre kesiciler (motor devre kesicisi hariç), aşırı akım kesicileri sayılırlar (çok yüksek hızlı elektronik devre sigortaları ve yüksek hızlı sigortaların kullanımını uygundur.)

Elektrik Kabloları:

Aracın içindeki tüm elektrik kabloları, her bir iletkenin çapına uygun değerde bir aşırı akım kesicisiyle korunmalıdır. Aşırı akım kesiciler hiçbir şekilde devre kesicinin (acil durum stop düğmesi) yerini alamaz.

Genel Elektrik Güvenliğı:

Sistemdeki bileşenlerin normal işleyiş sırasında ya da öngörülebilir arıza hallerinde yaralanmaya yol açamayacak durumda olmaları güvence altına alınmalıdır.

Kişileri ya da nesneleri korumada kullanılan bileşenlerin makul bir zaman süresi boyunca işlevlerini güvenilir biçimde yerine getirebilmeleri gereklidir.

Yalıtım Direnci:

Elektrik ekipmanının tüm parçaları, tüm etkin bileşenler ve toprak arasında bir asgari yalıtım direncine sahip olmalıdır.

-300 volta kadar toprak çıkışlı olan ekipman için yalıtım direnci şu değerde olmalıdır: 250 k Ohm.

-300 volttan yüksek toprak çıkışlı ekipman için yalıtım direnci şu değere ulaşmalıdır: 500 k Ohm

Yalıtım direncinin ölçümü, en az 100 voltluk bir d.c. voltajı kullanılarak yapılmalıdır.

Dielektrik Şiddeti:

Aracın elektrik donanımında bulunan ve elektrik ileten her malzeme şu koşulları yerine getirmelidir:

Dielektrik şiddetiyle ilgili olarak hafif, normal ve güçlendirilmiş yalıtım seçenekleri vardır.

Normal yalıtım, bir dakika süreyle 50 hertz düzeyinde 2000 voltluk bir test voltajına dayanabilen yalıtımdır.

Güçlendirilmiş yalıtım, bir dakika süreyle 50 hertz düzeyinde 4000 voltluk bir test voltajına dayanabilen yalıtımdır.

Zayıf yalıtım kullanılmamalıdır.

Tüm etkin elektriksel bileşimler, kaza eseri kontağa karşı korunmalıdır. Yeterli mekanik dirence sahip olmayan , örneğin boya, enamel, oksitler elyaf kaplamalar (yapışık ya da değil) , ya da izolebantlar kabul edilmez.

Elektriksel olarak iletken pasif parçalar, araç topraklamasına bağlı olmalıdır.

Kapasitörler:

Güç devresine ait kapasitörlerdeki voltaj, genel devre kesicinin açılmasını ya da tahrik bataryasının aşırı akım kesicilerinin atmasını izleyen ilk beş saniye içinde 65 voltun altına düşmelidir.

Batarya Sabitleme:

Tahrik bataryası kokpitin içine yerleştirilmemelidir. Aracın içine yerleştirilmeli ve bir batarya kabı aracılığıyla kısa devre ve sızıntıdan korunmalıdır. Bu kap, bataryaları tümüyle çevrelemeli ve yalıtkan, dirençli ve akü sıvısının sızmasını önleyecek bir malzemeden yapılmalıdır. Akü kabı içindeki bataryalar, yalıtkan malzemeyle kaplanmış ve en az 10 mm çaplı civatalar ve somunlarla aracın tabanına sabitlenmiş metal kelepçelerle gövdeye bağlanmalıdır. Sabitleme öyle

tasarlanmalıdır ki, batarya, sabitleme aparatı ve sabitleme noktaları, bir kaza halinde bile yerlerinden oynamamalıdır. Arabayı imal eden kuruluş, batarya sabitleme düzeneği ve batarya kompartımanının, rollbarlar için tanımlanan streslere dayanacak sağlamlıkta olduğunu herhangi bir biçimde kanıtlamakla yükümlüdür. Batarya kabı, akü kutuplarıyla iletken bölümlerin kısa devre yapmasını önleyecek biçimde tasarlanmalı ve akü sıvısının kokpit içine sızma olasılığı önlenmelidir. Tahrik bataryasının yerleştirileceği bölge, sağlam bir çeperle kokpitten ayrılmış olmalıdır.

Araç içine yerleştirilmiş her batarya kompartımanının, çıkışı araç dışında olan bir havalandırma kanalı olmalıdır.

Her batarya kompartımanının üzerinde “Yüksek Voltaj” uyarı işaretleri bulunmalıdır.

Kokpit:

Tanım: Kokpit, sürücüyü (ve yolcu ya da yolcuları) öne dönük durumda barındıran iç hacim olarak tanımlanır. Kokpit, uzun mesafeli sürüşlerde bile sürücüyü yormayacak biçimde tasarlanmalıdır. Aracı sürmek için gereken ana ekipman, sürücünün bunları bedenini aşırı hareket ettirmeden ve emniyet kemerini çözmeden kolayca kullanabileceği biçimde tasarlanmalıdır.

Kokpit, içeriye yeterli miktarda temiz hava sağlayacak bir donanıma sahip olmalıdır. Kokpite başkalarının yardımına gereksinim olmadan girilip çıkılabilmelidir. Güneş enerjili yarış arabalarında sürücü en çok 20 saniye içinde araçtan çıkabilmelidir.

Koltuk:

Koltuk, oturma yastığı ve sırt dayanağından oluşur. Koltuk, araca güvenli biçimde sabitlenmiş olmalıdır. Pedal sürüslü olmayan araçlarda kokpitin altı bir döşemeyle kapatılmış olmalıdır. Sürücü için en az 10 cm x 20 cm alana sahip, yastıklı bir baş desteği bulunmalıdır. Koltukların minimum genişliği omuz seviyesinde kaporta (astarının) iç yüzeyinden yatay doğrultuda ölçüldüğünde 50 cm, döşemede yatay olarak ölçüldüğünde de 30 cm olmalıdır.

Temel İşlevli Araç Parçaları:

Bunlar özellikle,

- Frenleme ve sürüş kontrol cihazları
- Yük taşıyan parçalar
- Tekerlek suspansiyonu
- Emniyet kemeri sabitleme noktalarıdır.

Bu parçaların kalitesine özel önem gösterilmelidir. Mümkün olan her yerde, tescilli standart parçalar kullanılmalıdır. Vidalar yeterli uzunlukta olmalı ve kendiliklerinden gevşeyememelidir.

Yaralanma Riskinin Azaltılması:

Parçaların aracın içinde çıkıntı yapmasından kaçınılmalıdır. Sivri ya da keskin kenarlara izin verilmeyeceğinden, bunlar yeterli düzeyde yastıklanmalıdır. Araç dışındaki sivri kenarlar da yeterli biçimde örtülmeli ya da yastıklanmalıdır. Aracın örtülemeyen kısımları, sarı ve siyah tanıtıcı işaretlerle gösterilmelidir.

Korna:

Tüm araçlar, 90 dB(A) düzeyinde kesiksiz ses üreten tescilli bir akustik kornayla donatılmalıdır.

Hız Göstergesi:

Saatte 40 km'nin üzerinde hız yapabilen tüm araçlar, sürücünün görüş alanı içine yerleştirilecek bir hız göstergesiyle donatılmalıdır. Göstergedeki hız, aracın gerçek hızından daha düşük olmamalıdır.

Stop Lambası:

Aracın arka kısmında, gündüz uzaktan görünebilecek şekilde, kırmızı ışık veren ve frene tam ya da yarım basma durumunda devreye girecek bir stop lambası konulmalıdır.

EK F –TÜBİTAK Tarafından Açıklanan Formula G 2008 Sonuçları

ChronX Race Results

Event: TÜBİTAK
Run: formula g yarış
Date: 31.08.2008
Time: 11:50:00

Pos.	No.	Name	Laps	Total	Diff. Time	Best Laptme	In Lap	Speed	Class
1	1	İSTANBUL TEKNİK ÜNİ.	30	01:29:29.262		00:02:21.558	29	39,223	tubitak
2	13	İSTANBUL TEKNİK ÜNİ.	30	01:31:53.758	2:24.496	00:02:27.490	27	38,195	tubitak
3	17	BOĞAZIÇI 59R	29	01:31:21.244	-- 1 lap --	00:02:24.077	24	37,141	tubitak
4	14	ODTU TEK	29	01:35:40.623	4:19.379	00:02:05.389	22	35,463	tubitak
5	18	DOKUZ EYLÜL S3	27	01:31:52.183	-- 3 laps --	00:02:34.363	6	34,386	tubitak
6	12	SAKARYA SAGUAR	26	01:32:58.151	-- 4 laps --	00:02:26.363	23	32,721	tubitak
7	2	ATILIM ÜNİVERSİTESİ M	24	01:33:03.394	-- 6 laps --	00:02:25.832	17	30,175	tubitak
8	7	ANADOLU ÜNİVERSİTESİ	23	01:30:09.972	-- 7 laps --	00:02:55.926	12	29,845	tubitak
9	27	DOKUZ EYLÜL S2	22	01:31:31.298	-- 8 laps --	00:02:58.358	12	28,124	tubitak
10	20	ATILIM HASAT	22	01:33:53.556	2:22.258	00:03:01.587	17	27,414	tubitak
11	15	CELAL BAYAR ÜNİ. OLİM	21	01:35:20.650	-- 9 laps --	00:02:39.833	16	25,770	tubitak
12	21	ULUDAG ÜNİ.	19	01:31:48.023	-- 11 laps --	00:03:12.125	19	24,216	tubitak
13	9	MARMARA ÜNİVERSİTESİ	17	01:31:42.091	-- 13 laps --	00:04:08.512	2	21,690	tubitak
14	11	KOCAELİ ÜNİ.	15	01:14:50.613	-- 15 laps --	00:03:15.552	7	23,449	tubitak
15	3	MARMARA ÜNİVERSİTESİ	13	01:30:04.038	-- 17 laps --	00:03:27.276	5	16,887	tubitak
16	6	ANKARA ÜNİVERSİTESİ	13	01:30:44.340	40.302	00:04:12.031	4	16,762	tubitak
17	25	HACETTEPE ÜNİ.	12	01:33:24.953	-- 18 laps --	00:06:50.244	2	15,030	tubitak
18	23	KARABÜK ÜNİ.	10	01:29:41.885	-- 20 laps --	00:03:03.514	5	13,044	tubitak
19	24	EGE ÜNİ.	10	01:47:46.763	18:04.878	00:03:31.373	5	10,856	tubitak
20	29	BOĞAZIÇI 43R	8	01:20:48.781	-- 22 laps --	00:04:59.740	4	11,582	tubitak
21	19	SAKARYA ÜNİ. OLİMPIA	8	01:34:28.712	13:39.931	00:06:16.693	3	9,907	tubitak
22	28	KARADENİZ MEKATRO	4	02:00:10.947	-- 26 laps --	00:05:06.761	3	3,894	tubitak
23	--	Unrelated --	1	01:36:39.203	-- 29 laps --	---	--	1,211	--
24	16	SÜTÇÜ İMAM	0	00:00:00.000	-- 30 laps --	---	--	--	tubitak
25	26	SELÇUK ÜNİ. OLİMPIA	0	00:00:00.000	-- 30 laps --	---	--	--	tubitak