

12/133



T.C

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN ARABA (SOLAR CAR) DİZAYNI VE İMALATI

Barış MENDERES
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Ercan ERTÜRK

GEBZE

2005



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Barış Menderes'in tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 25.07.2005 Tarih ve 2005/1/26 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Enerji Sistemleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Erçan ERTÜRK

ÜYE

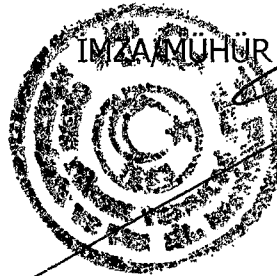
: Doç. Dr. F. Mahmut AKŞİT

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Hasan SADIKOĞLU

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15.09.2005 Tarih ve 2005/1/33 sayılı kararı.



ÖZET

Güneş enerjisi, petrol, kömür ve atom enerjisi gibi enerji kaynaklarına göre tükenme ömrü açısından tehlikesiz ve çevreyi kirlletmeyen bir enerji olması açısından çok daha avantajlıdır. Yakın bir gelecekte güneş enerjisi birincil bir enerji kaynağı olarak her alanda yaygın bir şekilde hayata geçecektir.

Güneş enerjisinin uygulama alanlarından biri olan güneş arabaları her ne kadar günümüzde ulaştırma, taşıma, vb. amaçlarla kullanılmayıp sadece dayanıklılık gerektiren off – road yarışları ya da tamamen aerodinamik tasarımların yarıştığı pist yarışlarında uygulansa da gelecekte güneş pillerinin geliştirilmesi sayesinde toplu taşımacılıkta da kullanılır hale gelmesi mümkün olacaktır. Bu amaçla güneş arabaları üzerinde gereken bilimsel çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada, güneş arabasının nasıl oluşturulduğuna dair bilgiler yer almaktadır. En uygun güneş arabası modeli oluşturmak için daha önce yapılmış olan güneş arabası modellerinin özellikleri incelenmiştir. Bu bilgiler ışığında “Enerji - 1” güneş arabasının tasarımı yapılmıştır. Bu tasarıma dayanarak ve Tübitak’ın düzenlediği “Solarcar” yarışının yapılacağı pist göz önünde bulundurularak “Enerji – 1” güneş arabası için senaryo oluşturulmuştur. Daha sonra “Enerji – 1” güneş arabasının enerji yönetimi modellenmesi, aerodinamik yapısı, güç sistemleri seçimi yapılmış ve GYTE ve Sabancı Üniversitesi laboratuvarlarında imalatı gerçekleştirilmiştir.

SUMMARY

Compared to petroleum, coal and atomic energy, solar energy is safe in terms of exhaustion length and more advantageous in terms of being a kind of energy not polluting the environment. In the near future, solar energy will be used extensively as the primary source of energy.

Although at the present they are not used for transportation, carriage etc. purposes but used for off-road races, which require durability and despite being implemented in the track races in which aerodynamic designs compete, thanks to the development of solar batteries, in the future it will be possible to use solar cars, as one of the implementation spheres of solar energy, for the mass transportation. Scientific surveys are being conducted on the solar cars for this purpose.

This study includes information on how to create solar cars. The models of previously produced solar cars are analyzed in order to produce the most appropriate solar car model. In the light of these information, "Energy-1" solar car was designed. Depending on this design and considering the track in which the "Solarcar" race, which was organized by TUBİTAK, will be staged, scenario was created for the "Energy-1" solar car. Then, energy management modeling, aerodynamic structure and the selection of the power systems were made and it was produced in laboratories of the GYTE and Sabancı University.

TEŞEKKÜR

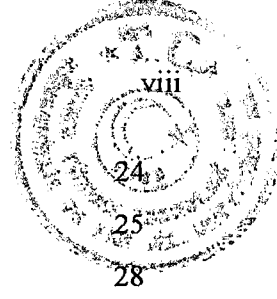
Tezimin hazırlanmasında bana her türlü konuda destek olan, anlayış ve yol gösteren ve yüksek lisans eğitimim boyunca üzerimde büyük emeği olan Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Ercan ERTÜRK'e ve her zaman yanımda bulunan ve desteğini hiç eksik etmeyen Sevgilim Evrim ÇELİK'e ve değerli yardımlarını esirgemeyen Sayın Azat Zana GÜNDOĞAN'a ve GYTE-SA Solar Car ekibine ve son olarak beni büyüten, yetiştiren, her zaman yanımda ve destek olan sevgili aileme katkılarından dolayı teşekkürlerimi bildiririm.



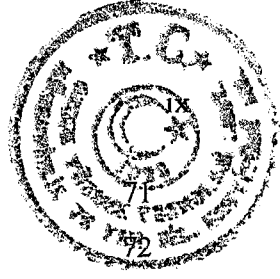


İÇİNDEKİLER DİZİNİ

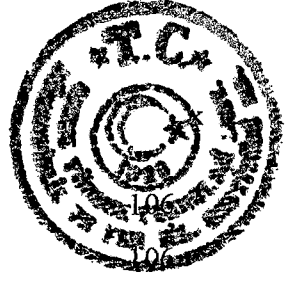
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ ARABASININ TEMELLERİ	4
2.1. Güneş Arabası İçin Enerji Akışı	4
2.2. Güneş Hücreleri	6
2.3. Sürücü Kontrolörleri	7
2.4. Elektrik Sistemi	9
2.5. Sürüş Takımı	10
2.6. Mekanik Sistemler	12
2.7. Güneş Paneli	13
2.8. Gövde ve Şasi	14
3. GÜNEŞ PİLLERİ	16
3.1. Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi	16
3.2. Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması	18
3.3. Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler	20
3.3.1. Kristal Silisyum	20
3.3.2. Galyum Arsenit (GaAs)	20
3.3.3. Amorf Silisyum	20
3.3.4. Kadmiyum Tellürid (CdTe)	20
3.3.5. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe ₂)	21
3.3.6. Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler	21
3.4. Güneş Pili Sistemleri	21
4. GÜNEŞ ARABALARINDA ENERJİ YÖNETİMİ MODELLEMESİ	23
4.1. Aerodinamik Sürüklenme	23



4.2. Yuvarlanma Direnci	
4.3. Güneş Paneli Gücü	
4.4. Akü Verimliliği	28
4.5. Motor Verimliliği	29
4.6. Yerçekimi Enerjisi	30
4.7. Kinetik Enerji	30
4.8. Yokuş Direnci	31
4.9. Enerji Yönetimi	33
5. “ENERJİ – 1” GÜNEŞ ARABASININ ENERJİ YÖNETİMİ MODELLEMESİ	35
5.1. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Özellikleri	35
5.2. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Aerodinamik Sürüklenmesi	36
5.3. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Yuvarlanma Direnci	38
5.4. “Enerji – 1” Güneş Arabasına Etki Eden Yerçekimi ve Sürtünme Etkisi	39
5.5. “Enerji – 1” Güneş Arabasına Etki Eden Dirençler	41
5.6. “Enerji – 1” Güneş Arabasınının Elde Ettiği Enerji	42
5.7. “Enerji -1” Güneş Arabasında Kullanılan Sanyo HIP - 205NHE1 Güneş Paneli	45
6. GÜNEŞ ARABALARININ AERODİNAMİĞİ	49
6.1. Bağlı Akışa Genel Bakış	50
6.2. Yüzey Alanı	51
6.3. Kanat Aerodinamiği	52
6.3.1. Düz bir Levha Üzerindeki Aerodinamik Kuvvetler	52
6.3.2. Düz bir Levha Üzerindeki Aerodinamik Kuvvetler	54
6.3.3. Profil Şekilleri ve Aileleri	55
6.3.4. Profillerin Aerodinamik Özellikleri	56
6.4. Güneş Arabasının Gövde Şekli	58
6.5. Reynolds Sayısı	66
6.6. Sürüklenme Alanı Hesaplanması	67
6.7. Gövde Sürüklenmesi	68
6.7.1. Gövde Sürüklenmesi Katsayısı	69



6.7.2. Gövde Yüzey Alanı	
6.7.3. Sınır Katmanı Basınç Kaybı	
6.7.4. Gövde Yüzeri Üzerindeki Açısal Değişimler	74
6.8. Sürücü Kubbesi Sürüklenmesi	74
6.9. Tekerlek Sürüklenmesi	77
6.9.1. Tekerleğin Muhafazasız Alanı	78
6.9.2. Muhafazalı Alan	80
6.10. Havalandırma	81
6.11. Kanat Ucu Sürüklenmesi	82
7. “ENERJİ – 1” GÜNEŞ ARABASININ AERODİNAMİĞİ	83
7.1. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Gövde Şekli	83
7.1.1. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Gövde Sürüklenme Katsayısı	83
7.1.2. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Gövde Yüzey Alanı	86
7.1.3. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Sınır Katmanı Basınç Kaybı	87
7.1.4. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Gövde Sürüklenme Alanı	88
7.2. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Sürücü Kubbesi Sürüklenmesi	90
7.3. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Tekerlek Sürüklenmesi	91
7.3.1. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Açık Tekerlek Sürüklenmesi	91
7.3.2. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Tekerlek Muhafazası Sürüklenmesi	92
7.4. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Havalandırması	92
7.5. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Kanat Ucu Sürüklenmesi	93
7.6. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Toplam Aerodinamik Sürüklenme Alanı	94
8. LASİTKLER ve YUVARLANMA DİRENCİ	95
8.1. Yuvarlanma Direncine Etki Eden Faktörler	96
8.1.1. Lastiğin Yapısının Yuvarlanma Direncine Etkisi	96
8.1.2. Lastiğin Çalışma Şartlarının Yuvarlanma Şartlarına Etkisi	97
8.2. Lastik Seçimi	100
8.3. Tekerlek Sapmasından Kaynaklanan Enerji Kaybı	102
9. AKÜ SİSTEMLERİ	104
9.1. Akü Tipleri	105
9.1.1. Gümüş – Çinko	105



9.1.2. Nikel – Çinko Aküler	
9.1.3. Kurşun – Asit Aküler	
9.1.4. Nikel – Kadmiyum Aküler	107
9.1.5. Lityum – İyon Aküler	108
9.2. Süper Kapasitörler	108
9.3. Akü Yönetimi	109
9.4. “Enerji – 1” Güneş Arabasında Kullanılan Kurşun Asit Akü Grubu	113
10. MOTORLAR	117
10.1. Fırçalı Sürekli Manyetik DC Motorlar	117
10.2. Tekerlek Motorları	117
10.3. Crystalyte 408 Motor	120
10.3.1. Crystalyte Motor Kontrolörü	122
11. “ENERJİ – 1” GÜNEŞ ARABASININ İMALATI	124
11.1. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Yan Kanatlarının Modellenmesi ve İmalatı	124
11.2. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Burun Kısım ve Tamponun Modellenmesi ve İmalatı	125
11.3. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Şasi Modellenmesi ve İmalatı	127
11.4. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Montajı	129
12. SONUÇ	130
KAYNAKLAR	131
ÖZGEÇMİŞ	133

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Güneş arabasının çalışma yapısı	2
2.1. Güneşli bir gün için tipik güneş etkisi değişimi	4
2.2. Güneş enerjili arabaların temel elektrik sistemi	5
2.3. Güneş hücresinin elektrik üretimi	6
2.4. Güneş arabası kasa direksiyon bağlantısı	8
2.5. Gaz pedalı direksiyon arası bağlantı sistemleri	8
2.6. Güneş arabalarında yer alan elektrik sistemi yapısı	9
2.7. Tekerlek ve motorun bağlantısı	11
3.1 Fotovoltaik pillerin yapısı	19
3.2. Şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sistemi	22
4.1 Güneş panelinin güneş ile yaptığı değişim açısı	27
4.2 Güneş ışığı geliş açısı	28
4.3 .Yokuş Direnci	31
4.4. Eğimin hesabı	32
4.5. Yokuş direnç kuvveti grafiği	32
4.6. Yokuş direnç gücü grafiği	33
5.1. “Enerji – 1” güneş arabasının Hız-Aerodinamik sürüklenme grafiği	37
5.2 “Enerji – 1” güneş arabasının Hız-Yuvarlanma Direnci grafiği	39
5.3 “Enerji –1” in Hız-Enerji Farkı grafiği	45
5.4 Sanyo HIP - 205NHE1 Güneş panelinin aydınlanmaya bağlı Akım-Voltaj Değişimi	46
5.5 Sanyo HIP - 205NHE1 Güneş panelinin sıcaklığa bağlı Akım-Voltaj Değişimi	47
5.6 Sanyo HIP - 205NHE1 Güneş panelinin ölçüleri ve ağırlığı	48
6.1 Akışa karşı hareket eden kanat şekli ve dairesel silindirin aerodinamik sürüklenme katsayısının değişimi	51
6.2 Düz levha üzerindeki aerodinamik kuvvetler	53
6.3 Profil geometrisi	54

6.4 Profil şekilleri	55
6.5 Moment katsayısının hücum açısı ile değişimi	57
6.6 NACA 64A Simetrik Kanat Şekli	60
6.7 NACA 64A kavisli kanat şekli	61
6.8 Sürüklenme katsayısının hıza göre değişimi (pembe çizgi pürüzlü yüzey, mavi çizgi düzgün yüzey için)	71
6.9 Sürücü kubbesi kesiti	75
6.10 Muhafazasız teker için sürüklenme	78
6.11 Tekerlek Hızı	79
6.12 Eliptik prizma etrafında akış	80
7.1 Arabanın hızına göre sürüklenme katsayısı değişimi grafiği	85
7.2 “Enerji – 1” Arabasının Uzunluk – Sürüklenme Katsayısı Grafiği	86
7.3 “Enerji – 1” Arabasının Hız – Sürüklenme Alanı Grafiği	90
8.1 Yuvarlanma direnç katsayısının şişirme basıncıyla değişimi	98
8.2 Radyal lastiğin yuvarlanma direnç katsayısının hız değişimi	99
8.3 Çapraz- katlı lastiğin yuvarlanma direnç katsayısının hız ile değişimi.	99
8.4 Tekerlek Çapı – Yuvarlanma Direnci Katsayısı	101
8.5 Tekerlek sapmasından kaynaklanan enerji kaybı	102
9.1 BP kurşun asit akülerin boşalma karakteristikleri	115
9.2 Bp Akülerin şarj olma karakteristikleri	116
10.1 Crystalyte Motor Kiti	120
10.2 Crystalyte 408 tekerlek motorun ölçüleri	122
10.3 Crystalyte kontrolörünün devre elemanları	123
11.1. Yan kanat profillerinin düz bir satıh üzerine dizilmesi	124
11.2. Yan kanat profil modeli	125
11.3 “Enerji – 1” Güneş Arabasının burun iskeleti	126
11.4 “Eneji – 1” Güneş Arabasının tampon iskeleti	126
11.5 “Enerji – 1” güneş arabasının burun modeli	127
11.6 “Enerji – 1” güneş arabasının şasisinin burun kısmı ve bağlantı noktaları	128
11.7 “Enerji – 1” güneş arabasının şasisi	128
11.8 “Enerji – 1” güneş arabası	129

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Bazı yol şartları için maksimum eğimler	33
5.1 “Enerji – 1” Güneş arabasının teknik özellikleri	35
5.2 “Enerji – 1” in maruz kaldığı aerodinamik sürüklenme	36
5.3 “Enerji – 1” e etki eden yuvarlanma direnci	38
5.4 “Enerji – 1” arabasının maruz kaldığı direnç hesapları	41
5.5 Türkiye’nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	42
5.6 Formula 1 İstanbul Pistinin Teknik Özellikleri	43
5.7 “Enerji – 1” Güneş Arabasının Enerji Miktarı	43
5.8 “Enerji – 1” in hızına göre toplam enerji ve toplam enerji kaybı tablosu	44
5.9. Sanyo HIP - 205NHE1 Güneş Paneli Özellikleri	46
6.1. Birçok yarışta kullanılmış araçların sürüklenme katsayısı oranları	52
6.2. NACA 64A Kanat Profilinin Gelişimi	62
6.3 Yüzey üzerindeki açısal değişim	74
6.4. Eliptik sürücü Kubbeleri	75
6.5. Kubbeleri idealleştirmek için kullanılan düzeltme faktörleri	76
6.6. Eliptik tekerlek muhafazaları	80
6.7. Havanlandırma etkisi	82
7.1 “Enerji – 1” güneş arabası Sürüklenme Katsayısı Tablosu	83
7.2 “Enerji – 1” arabasının hızına göre sürtünme katsayısı değişimi	84
7.3 “Enerji – 1” güneş arabasının 75 km/saat sabit hızda boy – sürüklenme katsayısı tablosu.	85
7.4 “Enerji – 1” güneş arabasının ölçüleri	87
7.5 “Enerji – 1” güneş arabasının hız – ACd tablosu	89
7.6 “Enerji – 1” güneş arabasının sürücü kubbesi özellikleri	90
7.7 “Enerji – 1” güneş arabasının Tekerlek özellikleri	91
7.8 “Enerji – 1” güneş arabasının tekerlek muhafazası özellikleri	92
7.9 “Enerji – 1” güneş arabasının havalandırma özellikleri	93
9.1 1996 World Solar Challenge yarışındaki arabaların akü özellikleri	111

9.2 BPL3.3-12 Kurşun-Asit Akülerin Teknik Özellikleri	115
9.3 Bp akülerin Değişik oranlarda boşalma kapasiteleri	116
10.1 Crystalyte 408 motorun'nin teknik özellikleri	121



1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarına bakıldığında güneş enerjisine gereken önem verilmemektedir. Alternatif enerji kaynağı olarak görülen güneş enerjisinden yararlanma çalışmaları, özellikle bilimsel çalışmalara verilen önem sonucunda artmaya başlamıştır. Bunun yanında endüstriyel olarak gelişmiş bölgelerde, çevre kirliliği problemleri nedeniyle kaygıyla bakılmaktadır. Uzun süreli büyük bir alternatif enerji konsepti gereği dünya çapındaki enerji problemleri için güneş enerjisi büyük bir alternatif olarak görülmektedir.

Teknolojik gelişmeleri yönlendiren kuvvetler fosil kökenli enerji kaynaklarının kömür, yağ, gaz vb. sadece limitli olduğuna değil, güvenilmez olduğu düşüncesine ulaşmıştır. Politik krizler, orta doğu üzerindeki ambargolar sonucu oluşan enerji sorunları nedeniyle ve artan karbondioksit emisyonları sonucu yakın gelecekte geri dönüşü olmayan iklim değişikliklerinin oluşabileceği endişeleri, bu kanıya neden olarak gösterilebilir.

Tarih boyunca çeşitli şekillerde kullanılan güneş enerjisi, hız kazanan teknolojik gelişmeler sonucu konutlarda, iletişim alanında, tarımda, endüstride, elektrikli güç üretimi merkezlerinde, askeri amaçlı kullanımda, deniz feneri, orman gözetleme kuleleri, otomobil ve çeşitli kara taşıtlarında, deneysel olarak hava ve deniz taşıtlarında ve yoğunluklu olarak uzay çalışmalarında kullanılmaktadır.

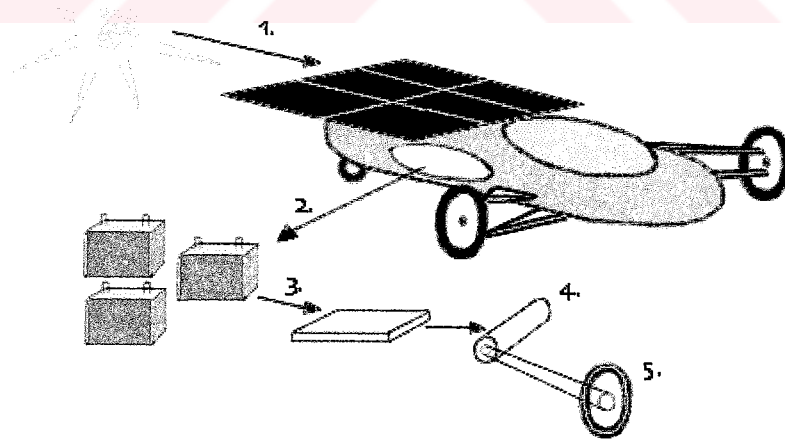
Güneş arabası, hafif ağırlıkta orta güçte çalışan, enerjisini güneşten alan arabalardır. Kısıtlı sayıda (genelde bir bazen iki kişilik) oturma yeri, çok az taşıma kapasiteleri vardır ve sadece gündüz kullanılabilirler. Ancak gelecek teknolojiler açısından daha pratik uygulamalar için kusursuz fırsatlar sağlayabilirler.

Güneş arabaları güneşten aldığı enerjinin toplanarak elektrik enerjisine dönüştürmeleri sonucu hareket eder. Güneş arabalarının üzerine monte edilen güneş hücreleri toplanılan bu enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesi için pillere ya da motora iletilmesini sağlar. Genellikle bu araçlar 700 - 1500 watt gücünde çalışırlar. Güneş

arabalarının dizaynında aerodinamik sürtünme, ağırlık ve titreşimler çok büyük rol oynar.

Güneş arabaları, üretimleri aşamasında işlemin kolaylaşması amacıyla sistemlere ayrılmışlardır. Bu sistemler;

- şasi sistemi
- Süspansiyon sistemi
- Direksiyon sistemi
- Fren sistemi
- Kasa sistemi
- Bağlantı sistemi
- Güneş panaeli sistemi
- Pil sistemi
- Mikro sistem
- Motor sistemi



şekil 1.1. Güneş arabasının çalışma yapısı

1. Güneş enerjisi arabanın üzerinde yer alan fotovoltaiik pillerden oluşan paneller sayesinde elektikrięe dönüştürülür.



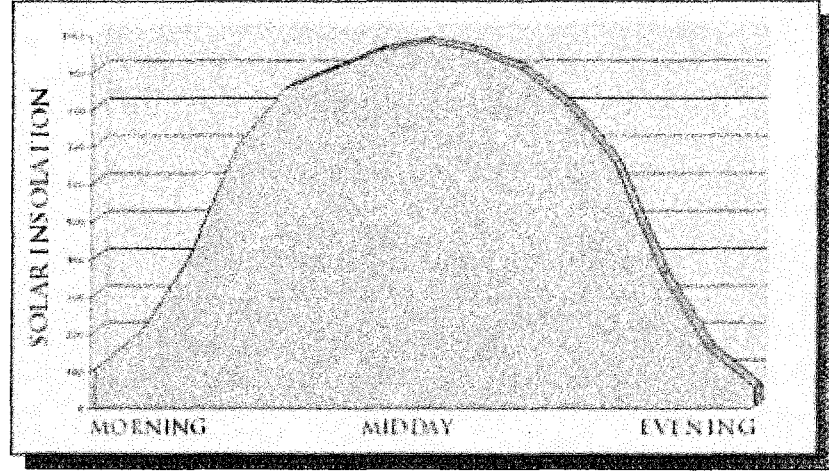
2. Elektrik enerjisi pillerde depolanır. Araba hareket halindeyken panallerden gelen elektrik direkt olarak motora aktarılır.
3. Motorlarda bulunan modern elektrik motor kontrolörleri bu enerjinin verimli ve düzgün bir şekilde kullanılmasını sağlar. Aracın hız kontrolü gaz pedalıyla sağlanır.
4. Motordan gelen hareketin tekerleğe iletimi sürtünmeyi minimuma indirgenicek ve verimi en üst seviyede tutacak şekilde oluşturulmalıdır.
5. Gelişmiş teknolojinin kullanıldığı araçlarda vites sistemine ihtiyaç duyulmaz. Vites değişimi direk olarak elektrik motoru sayesinde gerçekleşir. [1]





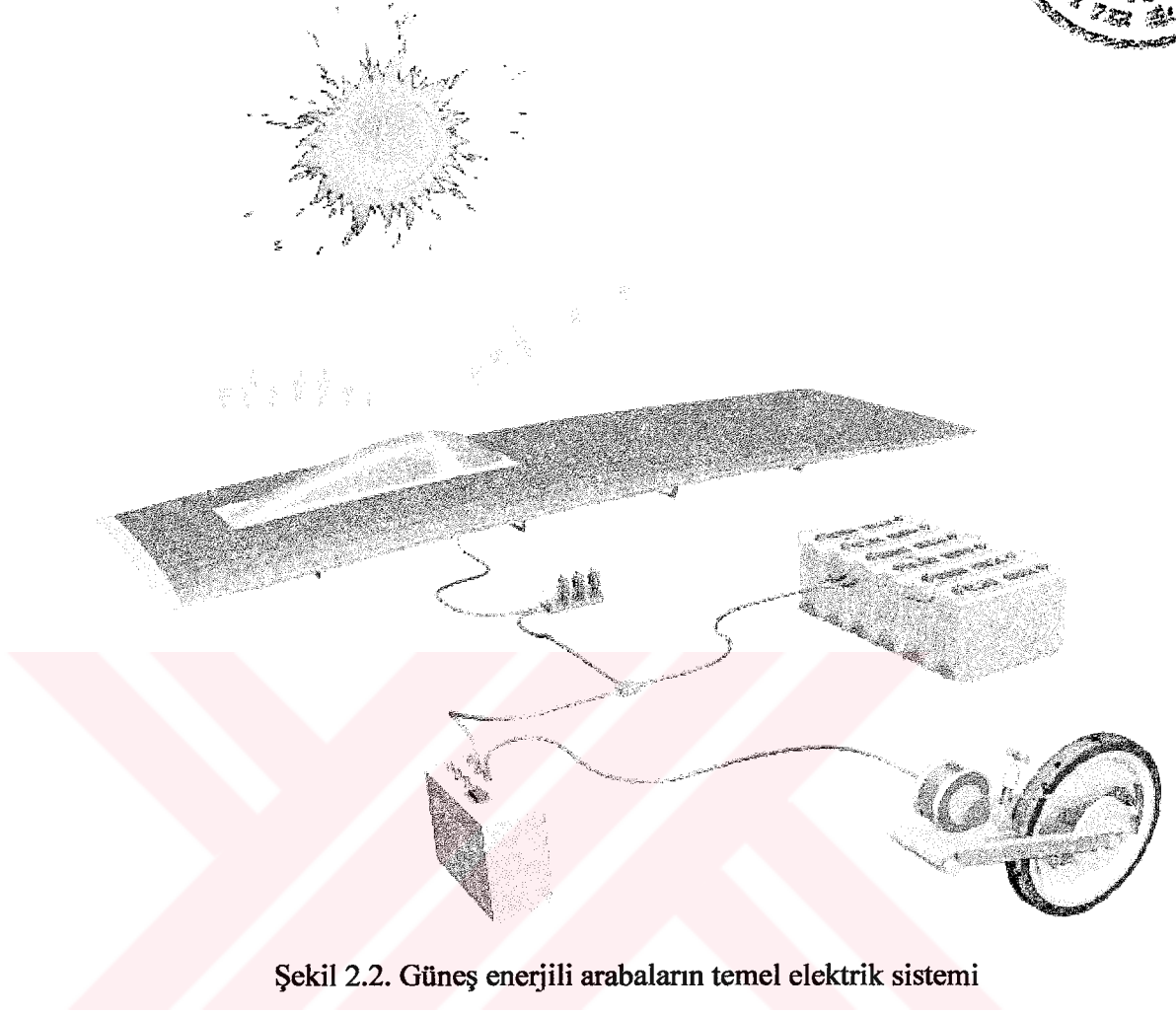
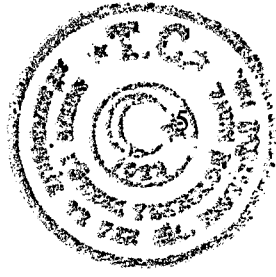
2. GÜNEŞ ARABASININ TEMELLERİ

2.1. Güneş Arabası İçin Enerji Akışı



Şekil 2.1. Güneşli bir gün için tipik güneş etkisi değişimi

Güneşten gelen enerji yerküreye bütün gün boyunca çarpar. Ancak enerjinin miktarı günün hangi saati olduğuna, hava koşullarına ve coğrafi konum bağlı olarak değişiklik gösterir. Kullanılabilir güneş enerjisi miktarı güneş ışıınımı olarak bilinir ve genellikle mertekare başına düşen güç miktarı ile ölçülür.



Şekil 2.2. Güneş enerjili arabaların temel elektrik sistemi

Şekil 2.2 bir güneş arabasına gelen genel enerji akışını göstermektedir. Güneş ışığı, bir elektrik akımı üreten güneş panellerinin her bir hücresi tarafından emilir. Enerji (akımı) depolanmak üzere pillere, araca güç vermek için direkt olarak motor kontrolörüne veya ikisine birden gidebilir.

Genel olarak eğer araba hareket halindeyse elektrik akımına çevrilmiş güneş ışığı direkt olarak motor kontrolörlerine iletilir. Bu durumda artan enerji sonraki kullanımlar için pillerde depolanır.

Güneş panelleri motoru istenilen hızda çalıştırmaya yetecek enerjiyi üretilmediğinde panelin enerjisi pillerde depolanan enerjiyle desteklenir. Araba hareket halinde değilken güneş panelinden gelen bütün enerji pillerde depolanır.

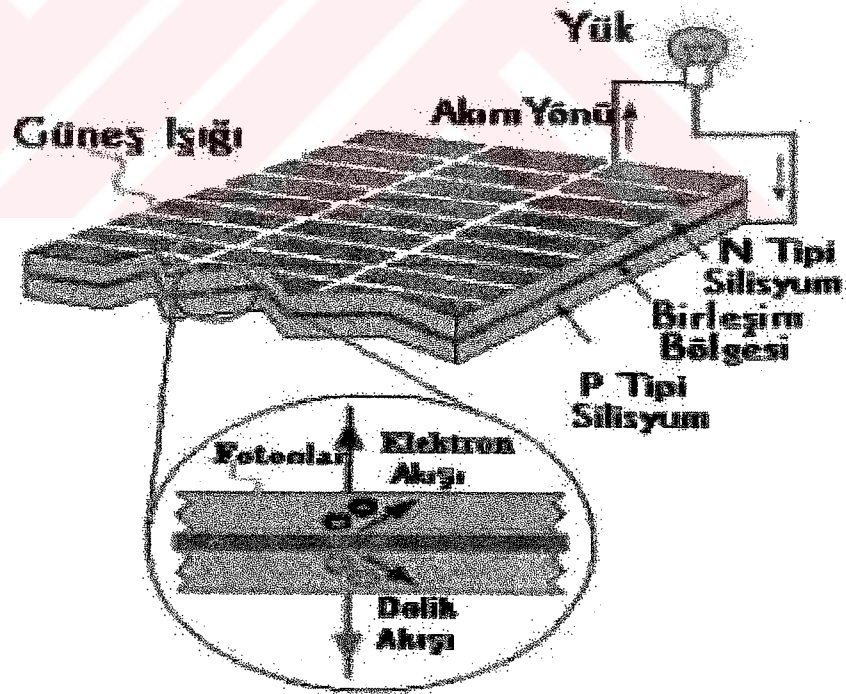


Güneş arabasını hareket ettirmek için kullanılan enerjinin bir kısmını yerine koymak için şöyle bir metot vardır. Araba normal mekanik frenleri kullanmak yerine motor frenlemesi yapıldığında motor jeneratör halini alır ve enerji motor kontrolörü vasıtasıyla pillere geri yollanır. Bu metoda rejenaratif frenleme denir (yeniden üretici frenleme).

2.2. Güneş Hücreleri

Güneş hücreleri güneşten gelen enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler. Güneş ışığındaki fotonlar, elektronları yarı iletken metalik bir yonga plakasının bir katmanından bir diğer katmanına hareket ettiren enerjiyi sağlar. Elektronların bu hareketi bir akım yaratır. [1,2]

İki tür güneş hücresi kullanılmaktadır: silikon ve gallium arsenid. Uydular gallium arsenidi kullanırlarken silikonlar ise genellikle yerküredeki uygulamalarda kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. Güneş hücresinin elektrik üretimi

Şekil 2.3 bir güneş hücresinin nasıl elektrik ürettiğini açıklamaktadır. Pilin üst tabakaları yansımayı önleyici kaplama ve korumalardan oluşur. Güneş hücreleri son derece kırılgan olduklarından böyle bir koruma çatlama ve kırılmaları önlemek açısından gereklidir. Aksi halde pilin çalışması sekteye uğrar ve bu da enerji kaybına sebep olur. Işık bu katmanlara nüfuz ettiğinde silikon veya gallium arsenide çarpar. P ve N tabakaları arasındaki bölümlerin farklılıkları sebebiyle güneşten gelen enerji bunlara çarptığında elektronların P tabakasından N tabakasına akışı sağlanmış olur. P ve N tabakaları arasına tel çekilmek suretiyle güneş hücresi artı ve eksi kutuplara sahip bir pil halini alır ve böylelikle bir araca güç sağlamak için kullanılabilir.

Depolama özelliği gösteren araçlarda piyasada bulunabilen yerküre bazında kullanılan silikon piller kullanılır. Tek tek sayısız piller (bine yakın) “Güneş Panelini” oluşturmak için bir araya getirilir. Kullanılan motora bağlı olarak bu paneller 50 ila 200 volt arasında işler ve 2000 watt a kadar güç sağlayabilirler. Güneş ışığının yoğunluğu, havanın bulutu olması ve hava sıcaklığı güneş panelinin ürettiği gücü etkiler. [3]

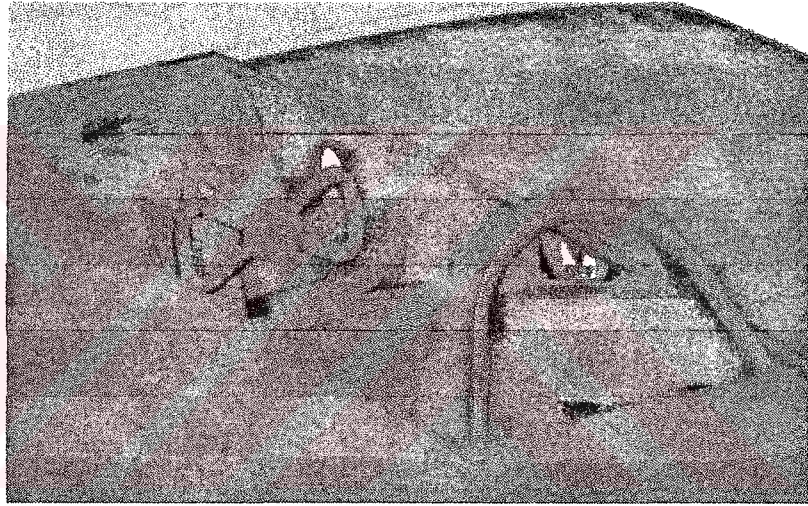
Diğer tip güneş arabalarında ise herhangi bir tip güneş hücresi kullanılabilir. Bu esneklik sebebiyle bir çok güneş arabası takımı uzayda kullanılan gallium arsenid güneş hücrelerini kullanırlar. Bu piller geleneksel silikon pillere oranla genellikle daha ufak ve çok daha pahalıdır. Ancak bunlardan çok daha verimlidirler. Bu iki pil arasındaki güç farkı 1000 watt a kadar çıkabilirken maliyet en az 10 kat daha fazladır.

Fotovoltaik piller ise bunlara göre daha yeni bir teknolojidir. Bu pillerin gelişimi ve kullanımı uzay yolculuğu ve iletişim uyduları sistemlerinin geliştirilmesi için kullanılan teknolojinin bir parçası olarak karşımıza çıkmıştır. [4]

2.3. Sürücü Kontrolleri

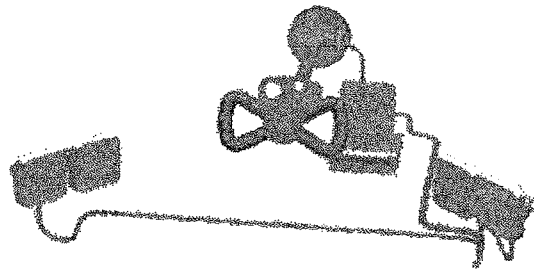
Çoğu güneş arabası tek koltuklu ve sürücüler için çok az konfor sağlayan arabalardır. Çok az araba bir yolcu ya da bir gözlemci taşıyabilir. Sürücüler ve yolcular rahatsız koltuklar kramplara sebep olan oturma pozisyonları ve yüksek kokpit sıcaklıkları ile karşılaşır.

Güneş arabalarında normal arabalarda karşılaştığımız türden standart özellikler vardır örneğin dönüş sinyalleri (ön ve arka) stop lambaları, gaz pedalı, aynalar, havalandırma, ve genellikle direksiyon.



Şekil 2.4. Güneş arabası kasa direksiyon bağlantısı

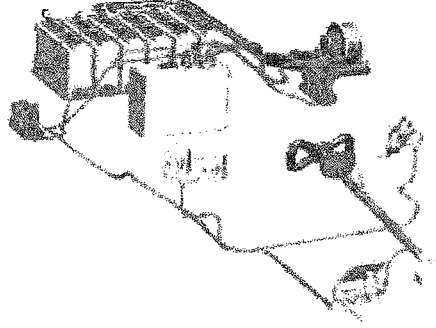
Sürücülerin ve yolcuların güvenliğini sağlamak için 5 ya da 6 noktada güvenlik koşumu ve kasklar vardır. Arabayı kullanmanın yanı sıra sürücünün en önemli işlemi arabanın sistemlerini gözlemlemek ve muhtemel problemleri izlemektir. [4]



Şekil 2.5. Gaz pedalı direksiyon arası bağlantı sistemleri

2.4. Elektrik Sistemi

Güneş arabalarının kalbi piller ve güç sisteminden oluşan elektrik aksamıdır. Sisteme giren ve sistemden çıkan bütün güç bir kontrolör ile denetlenir.



Şekil 2.6. Güneş arabalarında yer alan elektrik sistemi yapısı

Pil grubu normal bir arabadaki benzin depoları gibidir. Güneş arabasındaki bu pil grubu enerjinin daha sonraki kullanımlar için saklanması sağlar. Güneş enerjisi hareket etmeye bu dolu pil grubuyla başlar ancak harekete başladıktan sonra güneş panellerinde üretilen enerji pilleri yeniden doldurmak için kullanılır. Pilin kapasitesi pilin tipine göre değişiklikler gösterir. North Amerikan Solar Challenge (Kuzey Amerika Güneş Arabası Yarışmaları) takımları şu pil tiplerini kullanmaktadırlar.

- Lead - Acid (kurşun-asit)
- Nikel - Metal - Hidrit(NiMH)
- Nikel - Kadmiyum (NiCad)
- Lityum - İyon
- Lityum Polimer
- Nikel - Demir

NiCad , NiMH ve Lityum piller, daha yaygın Kurşun – Asit pillere oranla daha ileri bir güç seviyelerine ulaşmalarına karşın, daha dikkatli kullanım gerektirirler ve daha masraflıdırlar.

Pil grubu birbirinden ayrı ve tellerle bağlı çeşitli modüllerden oluşmuştur. Bunlar gerekli voltajı üretirler. Genelde arabaların elektrik sistemine bağlı olarak 84 ve 108 volt arasında sistem voltajı kullanılır. Kimi arabalar daha düşük voltajda da çalışır.

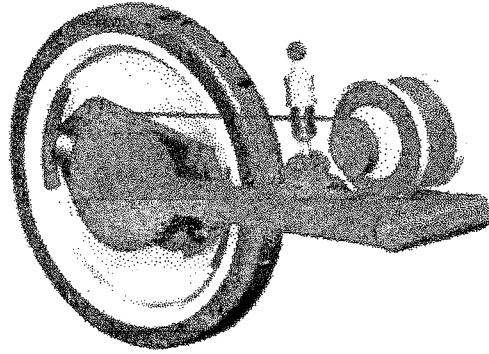
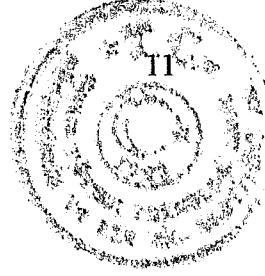
Güç sistemleri bu araçların en karmaşık ve ayrıntılı bileşenlerini oluştururlar. Bir güç sisteminde, güç bağlantı hatları, motor kontrolörü ve data edinme sistemi bulunur. Güç sisteminin birincil işlevi sistem içerisindeki elektriği izlemek ve denetlemektir. Güneş panelleri pilleri doldururken güç sistemi pilleri aşırı yüklemekten kaynaklanan zararlardan korumaya yardımcı olur. [4,5]

Motor kontrolörü gaz pedalından gelen sinyaller temelinde motora gönderilen elektriği denetler. Motor kontrolörü içerisindeki elektriği idare etme süreçleri bu tartışmanın dışındadır. Üreticiler genelde motor kontrolörünü motorla birlikte sunarlar.

Çoğu güneş arabası bütün elektrik sistemini denetlemek için karmaşık bir data edinme sistemi kullanırlar. Tekrarlamak gerekirse tam bir elektrik sisteminin şu bileşenleri vardır : güneş panelleri, piller, motor kontrolörü ve motor. En basit haliyle bir arabada pil voltajının ve akımın sürekli denetlenmesi gereklidir. Data edinme sisteminden elde edilen bilgi aracın karşılaşacağı problemlerin çözümünde faydalı olacaktır.

2.5. Sürüş Takımı

Güneş arabasının sürüş takımı normal bir arabanınkinden oldukça farklıdır. Konumuz açısından belirtmek gerekirse sürüş takımı elektrik motoru ve motor gücünün tekerleklerle iletilmesini sağlayan ve dolayısıyla arabayı hareket ettiren araçlardan oluşmaktadır. Üretilen düşük enerji miktarı (5 beygir gücünden daha az) sebebiyle güneş arabaları genellikle tek çekişli olur.



Şekil 2.7. Tekerlek ve motorun bağlantısı

Güneş arabasında kullanılan motorun tipi açısından bir sınırlama yoktur. Motorlar genellikle 2 ila 5 beygir gücü arasında olurlar. En yaygın motor tipi çift sargılı fırçasız DC motorlardır. Bu motorlar oldukça hafiftir ve devir gücünde %98 verim sağlar. Ancak standart bir fırçalı DC motordan daha pahalıdır. [2]

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 verimliliğe sahiptir ve normal sürüş için en uygundur.

Güneş arabalarında 3 çeşit temel transmisyon tipinin farklı varyasyonları kullanılır.

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

Geçmişte güneş arabalarında en yaygın motor tipi doğrudan tahrikli transmisyon idi. Bu tipte motor bir zincir ya da volan kayışı vasıtasıyla tekerleğe bağlıdır. Bu güvenilir ve kolayca tamir edilebilir bir transmisyon şeklidir. Tabi ki hızlanma sırasında özel bir önem gösterilirse. 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 verimli bir sürüş kazandırır. Değişken oranlı kayışlı sürüş tam bir hızlanma ve dikkatli bir kurulum sağlandığında verimli bir şekilde çalışır.

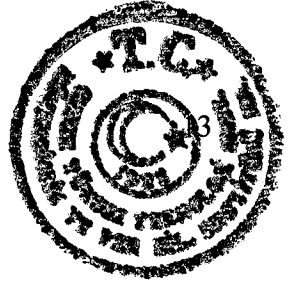
1995 yılından itibaren vites kutusuz sürüşün yaygınlığı artmıştır. Hub motor herhangi bir dış transmisyon ihtiyacını ortadan kaldırır çünkü motor şaftı bu geçişi tekerlek üzerinden direkt olarak sağlar. Bu durum sürüş takımının verimliliğini çok büyük oranda artırır ve tekerleği hareket ettirmek için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

2.6. 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 verimli bir araç için gerekli olan dayanıklılık ve ağırlık oranını maksimize etmek için kullanılır. Mekanik sistemler süspansiyon, frenler, direksiyon, tekerlekler ve lastiklerden oluşur.

Araçlar tipik olarak üç ya da dört tekerlekli. Genel üç tekerlekli konfigürasyonun iki ön tekerleği ve bir arka tekerleği vardır. Dört tekerlekli araçlar bazen geleneksel araçlar gibi tasarlanırlar.

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. Çatal süspansiyonu (üç tekerlekli araçlar için) motosikletlerdekine benzer 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 oranlara genellikle daha küçük ve daha hafiftirler ancak bunlar kadar frenleme kuvveti sağlamazlar ve düzenli ayar gerektirirler.

Güneş arabasının direksiyon sistemleri büyük çeşitlilik gösterir. Aracın yönlendirilmesi için kritik olan tasarım faktörleri güvenilirlik ve verimli 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 hemde performansı artırırlar.

2.7. Güneş Paneli

Güneş paneli aracın tek güç kaynağıdır. Bu panel birçok (genellikle yüzlerce) fotovoltaiik güneş hücrelerinden oluşur. Bu piller güneş enerjisini elektriğe çevirir.

Her bir hücre tellerle birbirine bağlıdır ve bunlar bir dizi oluştururlar. Birkaç dizi ise nominal pil voltajına yakın bir voltaja sahip bir kesit veya bir panel oluşturmak için tellerle birbirlerine bağlanır. Hücreleri birbirine bağlamanın çeşitli metotları vardır. Ancak ilk hedef mevcut boşluğu mümkün olan en çok güneş hücresiyle doldurmaktır. Güneş hücreleri son derece kırılmandır.

Güneş panelinin ürettiği gücün miktarı havanın durumuna, güneşin ve güneş panelinin konumuna bağlıdır. Açık güneşli bir öğleden sonra tipik bir güneş arabası panelleri 1000 watt'ın üzerinde (1.3 beygir gücü) güç üretebilir. Panelin ürettiği güç elektrik motoruna güç vermek için kullanılır veya daha sonraki bir kullanım için pil takımında depolanır.

2.8. Gövde ve Şasi

Bir güneş arabasının en ayıt 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, ve güneş ışınlamına maruz kalmayı en yükseğe çıkarma ağırlığı en aza indirme ve en yüksek güvenliği sağlamaktır.

Verimli bir güneş arabası şasisi geliştirilirken zorluk çıkartacak ilk şey en yüksek dayanıklılığı ve güvenliği sağlarken ağırlığı en aşağıya çekmektir. Her ekstra kilo üretilmesi gereken daha fazla enerji demektir. Bunun anlamı tasarımda ağırlığı en aza indirmekle uğraşılmasıdır. Ve burada da odaklanılması gereken şey şasidir. Ancak güvenlik birincil meseledir ve şasi tam dayanıklılık ile güvenlik gerekliliklerini sağlamalıdır. Güneş arabalarında kullanılan üç tip şasi vardır.

- 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 kirişler ve bölmeler kullanılır, yük taşıyamayan bileşik belly pane entegre edilir. 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.



3. GÜNEŞ PİLLERİ

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm^2 civarında, kalınlıkları ise 0,2 - 0,4 mm arasındadır.

Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir.

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan megaWatt'lara kadar sistem oluşturulur. [6]

3.1. Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi

Güneş pillerin geçmişine bakacak olursak 1839 yılına kadar vardığını görürüz. İlk olarak Becquerel tarafından bir elektrolit içine daldırılmış elektrotlara ışık düştüğünde bir fotovoltaj olduğu anlaşılmıştır. Benzer bir etkide selenyum materyal üzerinde 1877'de Adams ve Day tarafından rapor edilmiştir. Buna kısaca değinecek olursak Selenyum ve bakıroksit led, selenyum güneş pillerinin geliştirilmesinde kullanılıyordu. Bu değer daha sonra pozometre (ışık ölçüm cihazı) içerisinde kullanılmıştır. 1914 yılında Selenyum güneş pillerinde %1 verimle direkt olarak güneş ışığından taşınım yolu ile doğru akım elde edilmiştir.

Güneş pillerinde, modern yarı iletken devir 1954 yılında başlamıştır. Chaplin (1954) raporuna göre %6 taşınım verimli bir tek kristal silikon güneş piline ulaşmıştır. Reynards (1954) bakır sülfür/kadmiyum sülfür hücrelerde %6 verime ulaşmıştır. 1950'lerde başlayan uzay çalışmaları neticesinde, 1958 yılında Amerika Birleşik Devletleri silikon fotoelektrik pil ile çalışan "Vanguard" isimli uyduyu uzaya attılar. Daha sonra 1969 yılında ilk Fransız ve Avrupa uydularının fotovoltaik piller ile

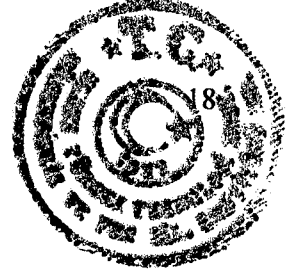
çalışabilmesi sağlandı. Bu gelişmeler sonucunda fotovoltaik piller enerji kaynağı olarak uzay çalışmaları için vazgeçilmez bir yer kazanmıştır.

1970'li yılların politik krizler Ortadoğu üzerindeki benzin ambargoları sonucu oluşan enerji sorunları neticesi, fosil kökenli enerji kaynakları yerine alternatif kaynakların kullanılması gündeme geldi. Hız kazanan araştırmalar sonucu yeryüzü kullanımı amaçlı, fotovoltaiklerin geliştirilmesi üzerine yoğun programlar ve çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sadece fotovoltaik verimlerin geliştirilmesi için değil, enerji maliyetinin düşürülmesi üzerine de yoğunlaşmıştır.

1980'lerin ortalarında laboratuvarlarda geliştirilen güneş pili verimlerinde iyileşmeler olmuştur. Bu da, aktif tabakalar üzerine düşen ışığın tutulması ve taşınmasının artırılması bunun yanında gelen ışık şiddetinin optiklerle artırılması ile sağlanır. Bu verim iyileştirmeleri maliyetin de düşmesini beraberinde getirmiştir. 1986 yılında 30 yıl ömürlü fotovoltaik tesislerin hedef enerji tutarı 0.06 \$/kwh olmuştur. Avrupada tahmini olarak, güç tesisleri 10 MW'dan daha büyük kapasiteli ve 30 yıldan daha uzun ömürlü olarak yapılabilmektedir. 1989 yılından itibaren teknoloji ve elektronik teknolojideki gelişimlerle fotovoltaiklerin Watt başına birim maliyetleri 500 \$'lardan 30 ila 10 \$ 'a düşmüştür. [6]

Güneş enerjisi kullanımı için çevresel ve iklimsel etkiye önemli belirleyicilerdir. Bu da büyük bir sınırlayıcılık getirmektedir. Yakın gelecekte enerji tüketiminin en çok %5-8 fotovoltaik teknoloji ile sağlanacağı tahmin edilmektedir.

Bir fotovoltaik sistemin tercih edilebilmesi için her şeyden önce maliyetinin düşürülmesi gerekmektedir. Ayrıca kullanılan teknolojilerin iyileştirilip, teknoloji maliyetlerinin düşürülmesi pil verimlerinin artması ve pazar payının da artması gerekmektedir.



3.2. Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması

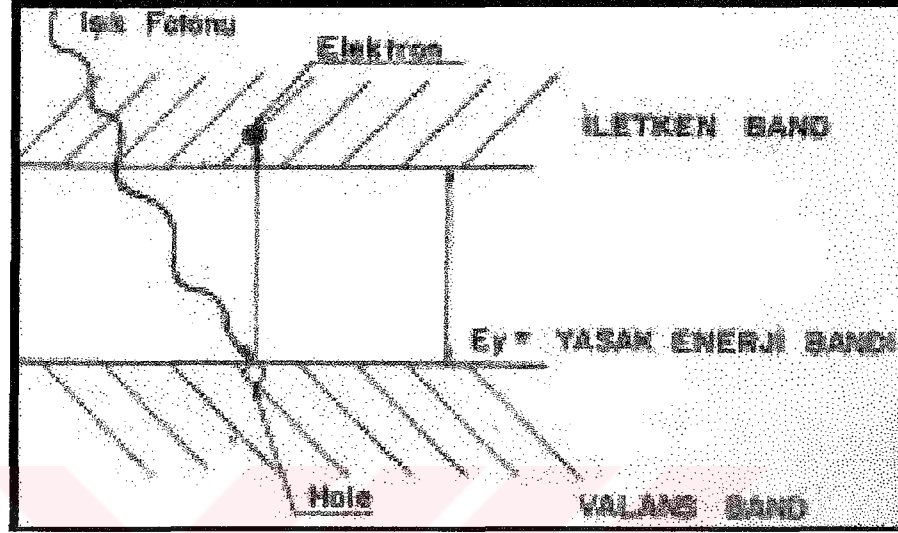
Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de, yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir.

Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkılamaları gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyum'un dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir.

P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir.

P ya da n tipi ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarıiletken eklemeler oluşturulur. N tipi yarıiletkende elektronlar, p tipi yarıiletkende holler çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve n tipi yarıiletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani p tipinde negatif enerji seviyeleri ile hol sayıları eşit, n tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. PN eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan" olarak

adlandırılır. Yarıiletken eklemın güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaiik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürölerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır.



Şekil 3.1 Fotovoltaiik pillerin yapısı

Yarı iletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banddaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, pn eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları n bölgesine, holleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar. [6]

3.3. Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır:

3.3.1. Kristal Silisyum

Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Tek kristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen Çok kristal Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır.

3.3.2. Galyum Arsenit (GaAs)

Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcılı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadır.

3.3.3. Amorf Silisyum

Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesinde. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş pilinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir.

3.3.4. Kadmiyum Tellürid (CdTe)

Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

3.3.5. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂)

Bu çok kristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

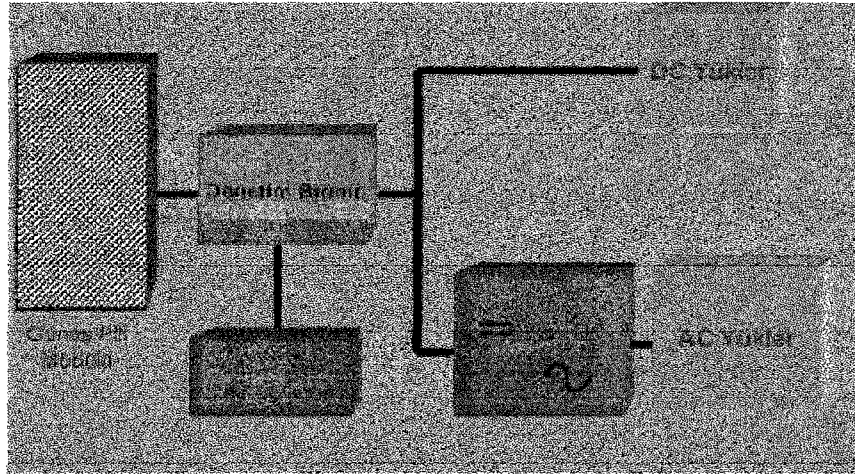
3.3.6. Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler

Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, pil verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır.

3.4. Güneş Pili Sistemleri

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür.

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur. [6]



Şekil 3.2. Şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sistemi

Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri yüksek güçte-santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

4. GÜNEŞ ARABALARINDA ENERJİ YÖNETİMİ MODELLEMESİ

Tasarımı yapmadan önce sayısal modelleme yaparak harcanacak enerji hakkında bilgi verecektir. Bu sayısal modelleme kullanılacak motor, akü, gövde ve şasi materyalleri, paneller ve daha birçok konuda karar vermesini kolaylaştıracaktır. Modelleme yapılırken yarışın cinsine göre doğru bir senaryo kurulmalı ve buna inilti olarak hedefler belirlenmelidir. Modelleme yapılırken Aerodinamik, Yuvarlanma direnci, Güneş paneli gücü, Akü Verimliliği, Motor Verimliliği, Yerçekimi Etkisi, Kinetik Enerji göz önünde bulundurulmalıdır. [9]

4.1. Aerodinamik Sürüklenme

Aerodinamik sürüklenme araba hızlı giderken toplam direnci en çok etkileyen kuvvettir. Düşük hızlarda daha az önemli olmasına karşın 40 km/saat 'in üzerindeki hızlarda önemli bir rol oynar.

Temel aerodinamik sürüklenme direnci

$$D_A = (0.5)\rho V^2 A C_d \quad (4.1)$$

D_A , aerodinamik sürüklenme kuvveti; ρ havanın yoğunluğu; V arabanın hızı, A arabanın karakteristik yüzey alanı (ön tarafından bakıldığı zaman); C_d sürüklenme katsayısı (arabanın şekline göre değişikliğe uğrar) olarak tanımlanmıştır. Tipik sürüklenme katsayıları; düşey konumdaki düz bir levha için $C_d = 2.0$, düzgün bir gözyaşı damlası için $C_d = 0.05$ ve iyi olarak dizayn edilmiş bir güneş arabası için $C_d = 0.1$ olur.

Sürüklenme alanı AC_d olarak tanımlanır. Günümüzde en iyi yapılmış güneş arabaları için $AC_d = 0.1 - 0.15 \text{ m}^2$ arasındadır. Sürüklenme kuvveti genellikle newton cinsinden ölçülür. Newton cinsinden hesaplama için arabanın hızı km/saat, ön yüzey alanı m^2 şeklinde alınmalıdır. Yaz aylarında havanın yoğunluğunun 1.17 kg/m^3 olduğunu düşündüğümüz zaman denklem şu şekilde de yazılabilir.

$$D_A = (0.0451)V^2AC_d \quad (4.2)$$

Bu denklemde sürüklenme kuvveti (D_A) newton (N), arabanın hızı (V) km/saat ve sürüklenme alanı (AC_d) m^2 olarak belirlenmiştir. Aerodinamik sürüklenme gücü (P_A) ise aerodinamik sürüklenme kuvvetinin aracın hızı ile çarpılarak hesaplanır.

$$P_A = (0.5) \rho V^3 AC_d \quad (4.3)$$

Enerji dengesi modellemesinde kullanılan bir diğer terminolojide kilometre başına harcanan enerji miktarıdır(EPK). Aracın verimliliğini ölçülendirilmesinde kullanılan bu parametre aracın bir kilometrede harcadığı watt-saattir.

$$EPK_A = (0.0125) V^2 AC_d \quad (4.4)$$

Havanın yoğunluğu yükseklikle birlikte değişkenlik göstermektedir. Yukarıdaki hesaplamalar havanın yoğunluğu 1.17 kg/m^3 alınarak yapılmıştır. [10]

4.2. Yuvarlanma Direnci

Yuvarlanma direnci düşük hızda arabanın maruz kaldığı en büyük sürüklenme kuvvetidir. Yüksek hızlara çıkıldıkça önemli bir rol oynamaya devam eder. Yuvarlanma direnci direk olarak arabanın ağırlığıyla orantılıdır ve arabanın hızıyla lineer bir artış göstermektedir. Yuvarlanma direnci ayrıca yolun döşemesiyle bağıntılıdır. Pürüzlü yüzeyde düzgün bir yüzeye oranla ciddi bir farklılık göstermektedir. Ayrıca yuvarlanma direnci lastik seçimiyle de değişkenlik göstermektedir. Yuvarlanma direncinden oluşacak olan enerji öncelikle lastiklerin esnekliğine, yan duvarlarının kalınlığına ve lastiğin yüzey kaplamasına bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Bu sebepten dolayı lastik seçimi Güneş Arabası Yarışları'nda oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Günümüzde sadece güneş arabaları için lastik üreten firmalar bulunmaktadır. Bunların başlıcaları da Michelin ve Bridgestone'dur.[9]

Üretici firmalar tarafından güneş arabaları için üretilen lastiklerde yuvarlanma direncini ölçmek için standart bir metot olmamasından dolayı arabanın hızına göre oluşacak olan yuvarlanma direnci hakkında bilgi edinmek oldukça güçtür.

Bu sebepten dolayı normal arabalarda kullanılan ölçümlerden yola çıkarak hesaplamalar yapılmaktadır. Arabanın hızına oranla oluşacak olan yuvarlanma direncini hesaplamak için şu denklem kullanılır:

$$D_R = C_{\pi} [1 + V/161] W \quad (4.5)$$

Bu denklemde D_R yuvarlanma direnci (N), C_{π} yuvarlanma direnci katsayısı, V arabanın bir saatteki kilometre cinsinden hızı ve W arabanın ağırlığı (N) olarak belirlenmiştir.

Tekerleğin aerodinamiği yüksek hızlarda aracın yuvarlanma direncinin düşmesinde önemli bir rol oynar. Bu sebepten dolayı tekerleğin basıncı 80-120 psi civarında olması tercih sebebidir. Bridgestone veya Michelin firmalarının ürettiği modellerde yuvarlanma direnci yaklaşık olarak düzgün yollarda 0.005 ve pürüzlü yollarda 0.006 olarak belirlenebilir. Pist yarışlarında daha önceki tecrübelerle dayanarak bu rakamın iyi modellenmiş bir güneş arabasında 0.0055 olarak kabul etmek yanlış olmayacaktır. Pürüzlü yollar tekerleğin daha çok esneme yapmasına sebep olacağından dolayı bu rakam yükselecektir ya da sıcak günlerde asfaltın yapışkanlığı artacağından dolayı yuvarlanma direncide artış gösterecektir. Yuvarlanma direncinin yarattığı kuvvette aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$P_R = (0.278) C_{\pi} [1 + V/161] W V \quad (4.6)$$

Bu denklemde P_R yuvarlanma direnci gücü (W), W arabanın ağırlığı (N), ve V arabanın hızı (km/saat) olarak alınmıştır. [10]

4.3. Güneş Paneli Gücü

Çoğu güneş arabası yarışında güneş paneli alanı 8 m^2 olarak belirlenmiştir. Günümüzde güneş arabalarında kullanılan hücre tiplerinin verimlilikleri %14-%23 arasında değişkenlik göstermektedir. Verimliliği %28'e varan hücre tipleri olmasına karşılık fiyatları ve bulunmalarından kaynaklanan zorluk nedeniyle genellikle uzay çalışmalarında kullanılmaktadır. Ancak hücrelerin verimlilikleri günden güne artmaya devam etmektedir. Yaz aylarında gün ortasında deniz seviyesindeki bölgelere 1000

W/m^2 yoğunluğunda güneş ışıını düşmektedir. Güneş paneli güçleri 1160 W (dünyada kullanılan hücre tipleri) ile 2240 W (uzayda kullanılan hücre tipleri) arasında değişkenlik göstermektedir. [10]

Güneş ışıını yoğunluğu yükseklikle değişkenlik göstermektedir. Amerika Birleşik Devletlerinde düzenlenen bir çok yarışta, deniz yüzeyinden 1800-2100 m yükseklikteki bölümlerde güneş panelleriyle %30 daha fazla enerji elde etme olanakları olmuştur.

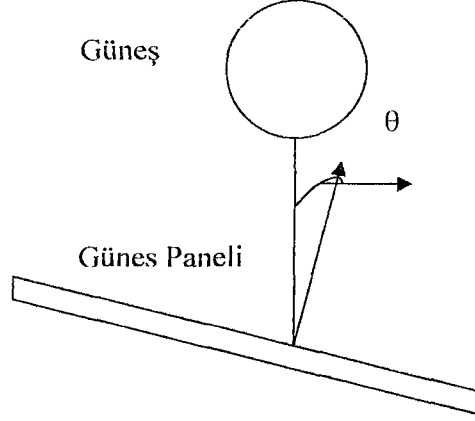
Güneş paneli gücü yüksekliğe bağlı olarak artar, hesaplamalar sonucunda güneş ışıınının yoğunluğu atmosfere bağlı olarak lineer bir artış gösterdiği bulunmuştur. Günümüzde panel gücü her 300 m de %5 artış gösterdiği kabul edilmektedir. Işınım yoğunluğu bulutlar ve havanın durumuna göre değişkenlik göstermektedir.

Ayrıca güneş hücreleri verimliliği sıcaklıkla değişkenlik göstermektedir. Bu sebepten dolayı hücrelerin serin tutulması istenir. Silikon hücreler için yaklaşık olarak panel üzerinde her $1^{\circ}C$ düşüş başına %0.5 verimlilik artışı gözlenir. Bunun için genel olarak bir spray yardımıyla hücrelerin üzerine damıtılmış su püskürtülür. Damıtılmış suyun etkisi güneş ışıınından gelen yoğunluğu azaltsa da soğutma karşısında elde edilen kazanç bu yoğunluk azaltımını göz ardı edilmesi için yeterlidir. Güneşli bir günde hücrelerin üzerinde oluşturulan su buharı kuru bir panele oranla elde edilen gücün %20 artmasına neden olacaktır. Gallium arsenide (GaAs) hücreler sıcaklık artışı karşısında silikon pillere göre daha az hassaslık göstermesi bu tip hücreler için bir avantajdır. Bu genel bir yargı olmasının yanında GaAs tipi hücrelerde damıtılmış suyla soğutma testleri devam etmektedir.

Güneş panelinin model gelişimi ve dizaynı çalışmaları sırasında, güneş ışıınılarının yüzey ile yaptığı açı sonucu panelden elde edilen gücün nasıl değiştiği dikkat edilmesi gereken bir diğer noktadır. Güneşin yüzey ile yaptığı açı sayesinde güç $\cos \theta$ kadar değişkenlik gösterir. Bu yaklaşım açının 90° 'ye yakın olduğu durumlarda panelin çıkışında oluşacak gücün hesaplanmasında oldukça güvenilirdir. Daha büyük açılarda ışıınının çevredeki objelerden oluşacak olan yansıması önemli hale gelecektir. $\theta = 90^{\circ}$ olduğu durumlarda bile çevredeki objelerden gelecek olan ışıınım maksimum

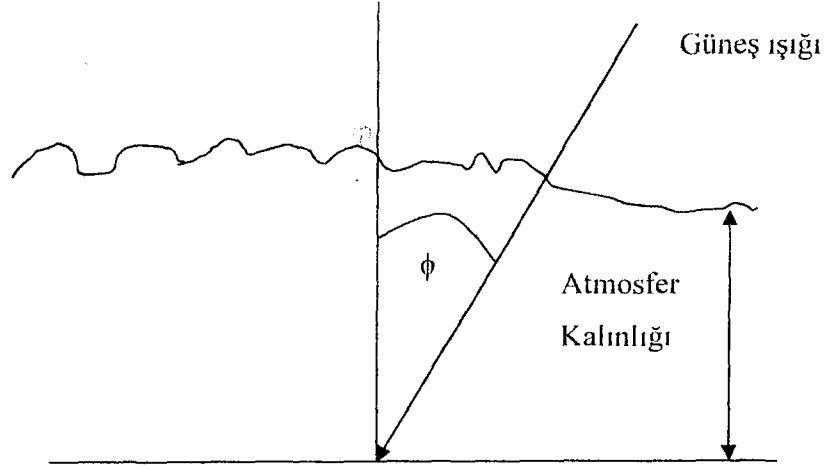
gücün %10 artmasına neden olabilir. Bu bilgilerden yararlanarak panel üzerinde oluşacak toplam gücü aşağıdaki denklemle hesaplayabiliriz. [9]

$$P_{\text{Panel}} = P_{\text{max}} \cos(\theta)$$



Şekil 4.1 Güneş panelinin güneş ile yaptığı değişim açısı

P_{Panel} panelden elde edilecek güç, P_{max} panelin elde edebileceği maksimum güç olarak tanımlanır. Güneş panelinden elde edilecek güç güneşin gün içindeki konumuna göre de değişkenlik gösterecektir. Güneş enerjisi atmosfer tarafından emilir, başka bir deyişle güneş ışığı atmosferin içerisinde geçerken enerjisinin bir kısmını atmosfer üzerinde bırakır. Daha önceki teorilerde güneş ışınımının yoğunluğu atmosfer içerisindeki yolculuğuyla orantılı olarak değiştiği fakat testler bunun doğru bir yaklaşım olmadığını göstermiştir. Örneğin güneş 30°'lik bir açı yaptığı zaman güneş ışığı dik gelen bir ışığa oranla atmosferden iki kez geçmiş gibi bir etki göstermesi gerekir. Fakat testler gelen bu ışık gücünün dik gelen güçle aynı olduğunu gösterir. Güneş ışınımı sabahın ilk saatlerinde ufuk üzerinden gelirken gün ortasına oranla oldukça farklılık göstermesine karşın güneşin doğmasıyla birlikte gelen güç miktarı hızlı bir şekilde artmaya başlar. Bu modelleme dokuz tane silikon hücre kullanılarak Missouri-Rolla Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2 Güneş ışığı geliş açısı

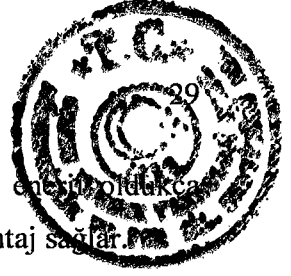
$$\text{Güç} = P_{\max} [\cos(\phi)]^{0.3} \quad (4.7)$$

$P_{\max}$ panele tam öğle vaktinde gelen ışınlam miktarından elde edilen güç olarak tanımlanmıştır. $P_{\max}$ yıl içerisinde değişikliğe uğrar. ϕ ise yarışın olduğu gün, zaman ve yarışın yapıldığı bölgeye bağlı olarak değişiklik gösterecektir. [9]

4.4. Akü Verimliliği

Genel olarak akülerin enerji depolanama verimlilikleri %100'ün altındadır. Aküler şarj olma veya boşalma sırasında ısınırlar ve depolanan enerjinin önemli bir bölümü bu ısınma için harcanır. Yaklaşık bir hesap olarak panel üzerindeki güç değişimi ile şarj etme durumu arasında %25 farktan az ise sürüş sırasında enerji verimliliği daha iyi olacaktır. Sürüş sırasında güç direk olarak panelden sağlanır.

Çoğu güneş arabasında tekrar kazanılabilir fren sistemleri kullanılır. Oluşan kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek akülerde depolanması sağlanır. Tekrar kazanılabilir tüm oluşan kinetik enerjinin oldukça az bir miktarını elektrik enerjisine



çevirebilir. Tekrar kazanılabilir fren sisteminden akülere aktarılan bu enerji oldukça etkisizdir. Tekrar kazanılabilir fren aracın tamamen durduğu anlarda avantaj sağlar.

Bütün akü tipleri güç tüketimin yavaş olduğu arabalarda daha verimli çalışır. Genellikle güneş arabası takımları kurşun-asit veya artık daha kullanışlı bir hal alan lityum-iyon veya lityum-polimer akü tiplerini tercih etmektedirler. Akü kapasitesi hesaplanırken;

$$\text{Enerji Kapasitesi} = C / I^{(n-1)} \quad (4.8)$$

denklemini kullanılır. Bu denkleminde C akünün sabit oranıdır, I ise boşalma akımı ve n akülerde Peukert sayısı olarak adlandırılır. Kurşun-asit pillerde Peukert sayısı yaklaşık olarak 1.2 olarak verilmiştir. İdeal bir aküde Peukert sayısı 1.0 olmalıdır. Lityum-iyon akülerde Peukert sayısı 1.05 ile 1.1 arasında değişiklik gösterir bu da bu akülerin kurşun asit akülere oranla daha kullanışlı olduğunun kanıtıdır. Nikel-Metal-Hidrit aküler ise kurşun asit akülere oranla daha az bir verimliliğe sahiptir. Nikel-Metal-Hidrit aküler daha hafif olmaları nedeniyle yuvarlanma direncine katkıları daha az olmasına karşın daha çok enerji tüketenlerdir.[9]

4.5. Motor Verimliliği

Güneş arabaları doğru akım(DA) fırçasız elektrik motorlarını kullanırlar. Bu motorlar güneş arabalarının verimliliğine uygun en geniş güç menziline sahip motorlardır. İyi bir DA motor maksimum devir sırasında (RPM) %95 verimlilik göstermelidir. Bu verimlilik düşük devirlerde ve az güç uygulandığında düşmeye uğrayacaktır. Bu sebepten dolayı motorun devri ve gerekli olan güç eğrileri dikkatle incelenip ihtiyaca en uygun olan motor seçilmelidir. Amacına uygun seçilmemiş bir motor iyi bile olsa verimsiz sonuçlar doğurabilir.

Motor, tırmanışlarda ve durma hallerinde her zaman maksimum verimlilikte çalışmayabilir. Arabaya uygun olarak seçilen bir motor ortalama olarak %90-95 civarında verimlilik oranı sağlanmalıdır. Motorun tekere olan bağlantısı tek kayışla ya da zincirle tahrik sistemi uygulamalarında %3-5 güç kaybı olacaktır. Bu da motorun

verimliliğinin %85-90 arasında olmasına yol açar. Genel olarak tekerleğin içerisine yerleştirilmiş motorlarda %94 e varan verimlilik sağlanırken bir aktarma organı kullanıldığı zaman verimlilik %90 civarında kalır.

4.6. Yerçekimi Enerjisi

Yükseklere doğru tırmanıldıkça yerçekimi etkisi artış gösterecektir ve aşağıya doğru inildikçe etki azalacaktır. Arabanın maruz kaldığı yerçekimi kuvveti etkisi:

$$F_G = W \sin (\theta_G) \quad (4.9)$$

denklemleriyle hesaplanır. Bu denklemde F_G arabanın maruz kaldığı yerçekimi etkisini, W arabanın ağırlığını ve θ_G ise yokuşun açısını gösterir. Eğer akülerin ve tekrar kazanılabilir fren sisteminin verimliliği %100 olursa yerçekiminin araba üzerinde etkisi oldukça az olacaktır. Araba tırmanış halindeyken panelin enerjisi yetmez ve akülerden yardım alınması gerekir. Bu da akülerin ve enerji kullanımının verimliliğine bir azalmaya yol açacaktır. Ancak tekrar kazanılabilir fren sistemleri iniş sırasında kaybedilen bu enerjiyi tekrar sisteme döndürerek kaybın en aza indirilmesini sağlar. Yerçekimi gücü etkisi ise;

$$P_G = (0.278)WV \sin (\theta_G) \quad (4.10)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Bu denklemdeki P_G yerçekimi gücü etkisi(W), W aracın ağırlığı (N), V aracın hızı (km/saat) ve θ_G ise yolun açısı olarak belirlenmiştir. [9]

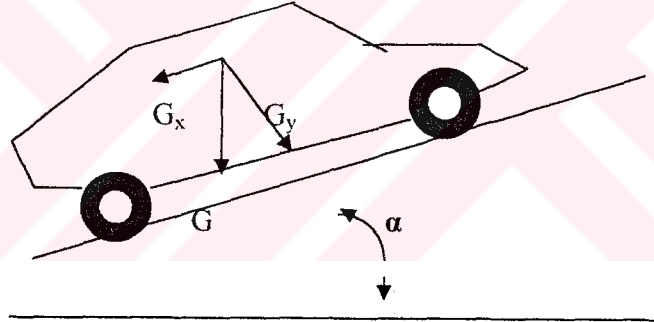
4.7. Kinetik Enerji

Arabanın yokuş çıkarken hızını düşürmek ve yokuş inerken hızını yükseltmek doğru bir yarış stratejisi olacaktır. Yokuş tırmanırken arabanın kinetik enerjisinin bir kısmı yerçekimi etkisini yenmek için kullanılır. Bu da akülerden fazla akım çekmeyi azalttığı için etkinliğin artmasını sağlayacaktır. Yokuş inerken tekrar kazanılabilir fren sistemi sayesinde bir kısım yerçekimi etkisi arabanın kinetik enerjisine dönüşecektir ama bu ihmal edilebilecek kadar az bir enerji olacaktır.

Kinetik enerji, pist yarışlarında yavaşlanması gereken virajlar sırasında çok önemli bir rol oynar. Çünkü ortalama olarak 40 km gibi bir hıza giderek yarışı bitirmesi için gerekli bir enerjiye sahip olan araba pist içerisinde bulunan keskin virajlar sonucu hızını 25 km.'ye düşürmesi gerekebilir ve bu arabanın tekrar eski hızına çıkması için daha fazla bir enerji sağlamasını gerektirecektir. Bu sebepten dolayı yarış pistinin iyi bir şekilde etüt edilmesi ve buna uygun bir senaryo kurarak yarışın sorunsuz tamamlanması hedeflenmelidir.

4.8. Yokuş Direnci

Yokuş direnci, taşıtın eğimli yolda hareketi sırasında taşıtın ağırlığının yola paralel bileşeninden kaynaklanır. Eğer hareket yokuş yukarı ise bu bileşen aracın hareketine direnç gösterir. İşte bu dirence yokuş direnci denilmektedir. Şekil 3.3'te yokuş direnci gösterilmiştir..



Şekil 4.3 Yokuş direnci

Yokuş direnci aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$W_s = \pm G * \sin(\alpha)$$

(6.2)

W_s : Yokuş Direnci (N)

G : Taşıtın Ağırlığı (N)

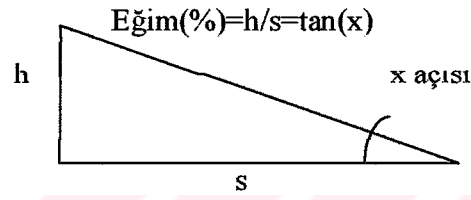
α : Yokuş açısı

Burada pozitif (+) değerler yokuş tırmanışı, negatif (-) değerler de inişi ifade etmektedir.

Bir taşıtın, herhangi bir sabit hızda (ivmesiz olarak) tırmanabileceği maksimum yokuş; o taşıtın tırmanma yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Tırmanabileceği maksimum

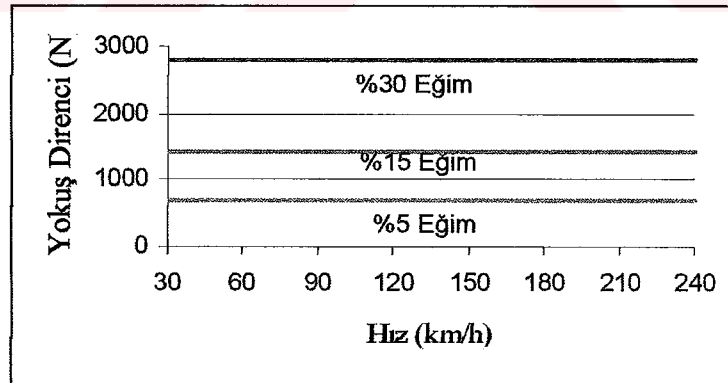
eğim ise, maksimum tırmanma yeteneğini belirlemektedir. Bu yetenek, özellikle ağır vasıtalar ve karayolu dışı taşıtlar için önem kazanmaktadır. Yolun eğimi, genellikle eğim açısı (α) veya bu açının tanjantı ($\tan \alpha = s/b$) ile tanımlanmaktadır.

Pratikte yokuşun eğimi, açı yerine genellikle yüzde olarak ortalama eğim verilir (Şekil 6.6). Hareket direnci için yapılan çözümler, bu eğimi açıya çevirerek çözüldüğünde yapılan hata %5 civarındadır.

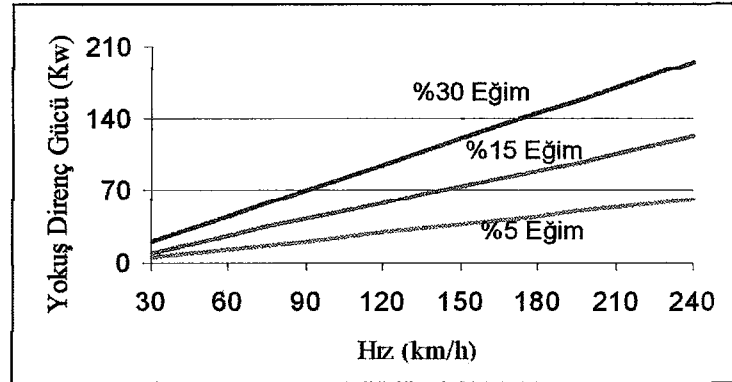


Şekil 4.4 Eğimin hesabı

Yolun sabit bir eğimde olduğu kabul edilerek bir taşıta ait yokuş direnç kuvveti ve yokuş direnç gücü grafikleri çizildiğinde aşağıdaki grafikler elde edilir. (Şekil 4.5, Şekil 4.6)



Şekil 4.5 Yokuş direnç kuvveti grafiği



Şekil 4.6 Yokuş direnç gücü grafiği

Eğim yolun durumuna göre sürekli değişmektedir (Tablo 3.1). Fakat aracın yol yükü hesaplanacağı zaman belli bir yolda eğim sabit bir değer alınır. Bu değerlerin maksimumları aracın kullanılacağı şartlara göre belirlenir. [15]

Tablo 4.1 Bazı yol şartları için maksimum eğimler

	Eğim (%)	Sin(α)	α
Otoyol	6	0,06	3,5
Normal dağ yolu	12	0,119	7
Dik dağ yolu	32	0,305	18
Yol dışı	60	0,514	31

4.9. Enerji yönetimi

- 1) Güneş arabaları hareket etmeleri için gerekli olan enerjiyi güneş panelleri ve akülerden sağlarlar.
- 2) Aerodinamik sürüklenme, yuvarlanma direnci, motor etkinliği, ve diğer kayıplar güneş panelleri ve akülerden gelen enerjiye direnç gösteren faktörlerdir.
- 3) Yerçekimi etkisi ve kinetik enerji araca tırmanış ya da inişe orantılı olarak kazanç sağlayan ya da direnç gösteren faktörler olacaktır. Ayrıca yoldun durumu

ve hava şartları kazanç ya da kayıp konusunda etki edecek olan bir diğer unsurdur.

Güneş arabalarında enerji modellemesi yapılırken yukarıda belirtilen 3 ana kurala dikkat edilmesi gerekir. Bu kurallara uygun hareket edildiği takdirde yarışta karşılaşılabilecek olan sürprizler en aza indirgenecek ve sağlıklı sonuçlar alınması sağlanacaktır.



5. “ENERJİ – 1” GÜNEŞ ARABASININ ENERJİ YÖNETİMİ MODELLEMESİ

5.1. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Özellikleri

“Enerji – 1” güneş arabasının teknik özelliklerini GYTE-Sabancı güneş arabası ekiplerinin çalışmaları sonucu belirlenmiş olup aşağıdaki tabloda detaylı olarak görebilmek mümkündür.

Tablo 5.1 “Enerji – 1” Güneş arabasının teknik özellikleri

Degiskenler		Birim		Birim
Tekerlek Capi	15	inch	0,381	m
Ağırlık	220	kg	2158,2	N
ivme	0,1		0,981	m/s ²
ivme_rampa	0,03		0,2943	m/s ²
Cd*A	0,15	m ²		
Crr	0,0055			
mu	0,01			
theta	6	deg		
Vyumusak	50	km/h	13,88888889	m/sn
Vnorm	57	km/h	15,83333333	m/sn
t_maks	16,1399932	s		
V_tmaks	15,83333333	m/s	57	km/h
Vsert	30	km/h	8,33333333	m/sn
Yumasak Viraj	2	adet	255,5498924	m
Düz Yol	4	adet	2673,422585	m
Sert Viraj	9	adet	258,0275229	m
Toplam Yol	80	km	3187	m
Tur Sayisi	20			
Güneş Pili Alanı	5,12	m ²		
Cf	0,16			
Güneş Açısı Kaybı	0,9			
Aku Kapasitesi	1	Kwh		
Aku Verimliliği	0,95			
Agustos Ayı 11-14	875	w/m ²		
İstanbul Farkı	0,85			
Eylül Ayı 11-14	816,75	w/m ²		

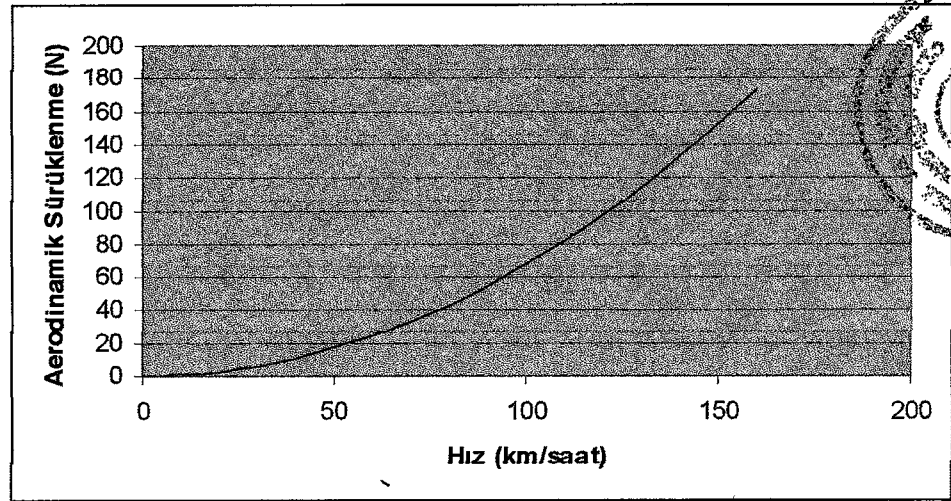


5.2. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Aerodinamik Sürüklenmesi

Bölüm 3.1’de anlatılan bilgilere dayanarak “Enerji – 1” güneş arabasının maruz kaldığı aerodinamik sürüklenme direncini hesaplamak mümkündür. Bu bilgilere dayanarak hesaplanan direnç aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 5.2 “Enerji – 1” in maruz kaldığı aerodinamik sürüklenme

V (km/saat)	Aerodinamik Direnç (N)	Aerodinamik Sürüklenme (Nm)
0	0	0
5,00	0,169125	0,032218313
10	0,6765	0,12887325
15	1,522125	0,289964813
20,00	2,706	0,515493
25	4,228125	0,805457813
30	6,0885	1,15985925
35,00	8,287125	1,578697313
40	10,824	2,061972
45	13,699125	2,609683313
50,00	16,9125	3,22183125
55	20,464125	3,898415813
60	24,354	4,639437
65,00	28,582125	5,444894813
70	33,1485	6,31478925
75	38,053125	7,249120313
80,00	43,296	8,247888
85	48,877125	9,311092313
90	54,7965	10,43873325
95,00	61,054125	11,63081081
100	67,65	12,887325
105	74,584125	14,20827581
110,00	81,8565	15,59366325
115	89,467125	17,04348731
120	97,416	18,557748
125,00	105,703125	20,13644531
130	114,3285	21,77957925
135	123,292125	23,48714981
140,00	132,594	25,259157
145	142,234125	27,09560081
150	152,2125	28,99648125
160	173,184	32,991552



Şekil 5.1 “Enerji – 1” güneş arabasının Hız-Aerodinamik sürüklenme grafiği

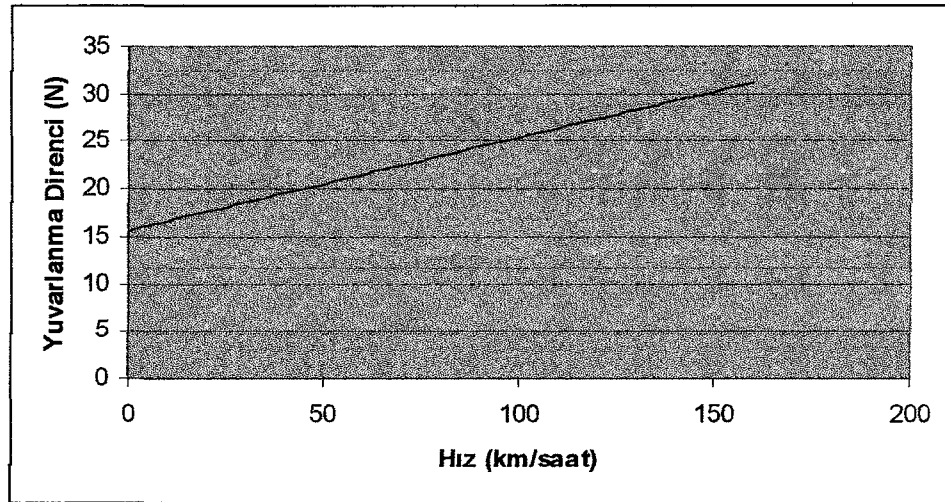


5.3. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Yuvarlanma Direnci

“Enerji – 1” güneş arabasına etki eden yuvarlanma direncini hesaplanırken Bölüm 3.2 deki bilgileri kullanmak gerekecektir. Bu bilgiler ışığında hareket ettiğimiz zaman “Enerji – 1” e ait olan bu değerler aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 5.3 “Enerji – 1” e etki eden yuvarlanma direnci

V (km/saat)	Yuvarlanma Direnci (N)	Yuvarlanma Direnci (Nm)
0	15,64695	2,980743975
5,00	16,13288012	3,073313664
10	16,61881025	3,165883352
15	17,10474037	3,258453041
20,00	17,5906705	3,35102273
25	18,07660062	3,443592418
30	18,56253075	3,536162107
35,00	19,04846087	3,628731796
40	19,53439099	3,721301484
45	20,02032112	3,813871173
50,00	20,50625124	3,906440862
55	20,99218137	3,99901055
60	21,47811149	4,091580239
65,00	21,96404161	4,184149928
70	22,44997174	4,276719616
75	22,93590186	4,369289305
80,00	23,42183199	4,461858994
85	23,90776211	4,554428682
90	24,39369224	4,646998371
95,00	24,87962236	4,73956806
100	25,36555248	4,832137748
105	25,85148261	4,924707437
110,00	26,33741273	5,017277126
115	26,82334286	5,109846814
120	27,30927298	5,202416503
125,00	27,79520311	5,294986192
130	28,28113323	5,38755588
135	28,76706335	5,480125569
140,00	29,25299348	5,572695258
145	29,7389236	5,665264946
150	30,22485373	5,757834635
155,00	30,71078385	5,850404324
160	31,19671398	5,942974012



Şekil 5.2 “Enerji – 1” güneş arabasının Hız-Yuvarlanma Direnci grafiği

5.4. “Enerji – 1” Güneş Arabasına Etki Eden Yerçekimi ve Sürtünme Etkisi

“Enerji – 1” güneş arabasının yarışacağı Formula 1 İstanbul pistinde yaklaşık olarak 6°’lik ve 220 metre uzunluğunda bir rampa olması sebebiyle bu yokuşu tırmanırken yerçekimi etkisinden doğacak olan bir dirence maruz kalacaktır. Bu rampa tırmanışı sırasında sürtünme etkisinde de bir azalma gözlenecektir. Rampa tırmanışı sırasında “Enerji – 1” güneş arabasının maruz kaldığı yerçekimi etkisi;

$$F_G = W \sin (\theta_G) \quad (5.1)$$

$$F_G = 297,3730252 \text{ N}$$

olarak bulunacaktır. Ayrıca bu tırmanış sırasında sürtünme etkisi de şu formülle bulunur;

$$F_{\text{fric}} = \mu W \cos(\theta) \quad (5.2)$$

bu denklemde μ sürtünme katsayısını, W arabanın ağırlığını (N), ve θ yokuşun açısını göstermektedir. Bu denklemden yola çıkarak “Enerji – 1” güneş arabasının rampa tırmanırken sürüklenme kuvvetini hesaplırsak;

$$F_{\text{fric}} = 28,2931534 \text{ N}$$

bulunur.

Güneş arabaları düz yolda ilerlerken de belli bir sürtünme direncine maruz kalacaklardır. Bu direncin hesaplanmasında ise;

$$F_{\text{fric}} = \mu W \quad (5.3)$$

denklemini kullanılır. Bu denkleme göre “Enerji -- 1” güneş arabasının sürtünme direnci;

$$F_{\text{fric}} = 28,449 \text{ N}$$

olacaktır.



5.5. Enerji – 1” Güneş Arabasına Etki Eden Dirençler

Tablo 5.4 “Enerji – 1” arabasının maruz kaldığı direnç hesapları

Düz Yol	Kuvvet					
$F_{fric} = \mu * A_{giriklik}$	21,582	N				
$F_a = m * a$	215,82	N				
Kalkis (0-60)			Yol Miktarı			Birim
$F_{drag} = 0,0451 * V_{tmaks}^2 * C_d * A$	21,979485	N	127,7749462	m		
$F_{roll} = C_{rr} * (1 + V_{tmaks}/161) * W$	16,07255776	N	Enerji			
$F_{drive} = F_{drag} + F_{fric} + F_{roll} + F_a$	275,4540428	N	703922,5099	Joule	195,5340305	Wh
Kalkis (30-60)			Yol Miktarı			
$F_{drag} = 0,0451 * V_{tmaks}^2 * C_d * A$	21,979485	N	28,66972477	m		
$F_{roll} = C_{rr} * (1 + V_{tmaks}/161) * W$	16,07255776	N	Enerji			
$F_{drive} = F_{drag} + F_{fric} + F_{roll} + F_a$	275,4540428	N	1421494,487	Joule	394,8595797	Wh
Kalkis (45-60)			Yol Miktarı			
$F_{drag} = 0,0451 * V_{tmaks}^2 * C_d * A$	21,979485	N	1,927045972	m		
$F_{roll} = C_{rr} * (1 + V_{tmaks}/161) * W$	16,07255776	N	Enerji			
$F_{drive} = F_{drag} + F_{fric} + F_{roll} + F_a$	275,4540428	N	21232,50415	Joule	5,897917818	Wh
Seyir			Enerji			
$F_{drags} = 0,0451 * V_{norm}^2 * C_d * A$	21,979485	N				
$F_{rolls} = C_{rr} * (1 + V_{norm}/161) * W$	16,07255776	N				
$F_{drives} = F_{drags} + F_{fric} + F_{roll}$	59,63404276	N	3488732,697	Joule	969,0924159	Wh
Yumuşak Viraj			Enerji			
$F_{drags} = 0,0451 * V_{norm}^2 * C_d * A$	16,9125	N				
$F_{rolls} = C_{rr} * (1 + V_{norm}/161) * W$	15,55646646	N				
$F_{drives} = F_{drags} + F_{fric} + F_{roll}$	54,05096646	N	68104,21774	Joule	18,91783826	Wh
Sert Viraj			Enerji			
$F_{drags} = 0,0451 * V_{norm}^2 * C_d * A$	6,0885	N				
$F_{rolls} = C_{rr} * (1 + V_{norm}/161) * W$	14,08191988	N				
$F_{drives} = F_{drags} + F_{fric} + F_{roll}$	41,75241988	N	626286,2981	Joule	173,9684161	Wh
Toplam Enerji Kaybı					1758,270198	Wh
					1,758270198	kWh

Yukarıdaki Tablo 5.1, Tablo 5.2, ve Tablo 5.3 teki bilgilerden yararlanarak ve “Enerji – 1” arabasının ortamala hızı 30 km/saat olarak kabul edilerek hazırlanmıştır. Yarışın Formula 1 İstanbul pistinde yapılacak olmasından dolayı bu pistin özellikleri göz önünde bulundurulduğunda virajlardan hız kesmeden dönülebileceği varsayılmıştır. Formula 1 İstanbul pistinin tam teknik özellikleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

5.6. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Elde Ettiği Enerji

“Enerji – 1” güneş arabasının elde ettiği toplam enerjiyi hesaplamak için Bölüm 4.3 ve Bölüm 4.4 te yer alan bilgilerden faydalanmak gerekir. Bu bilgileri Tablo 5.5 ve Tablo 5.6’da verilen değerlerle birleştirerek ortalama bir enerji miktarı elde etmek mümkün olacaktır.

Tablo 5.5 Türkiye’nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103
ŞUBAT	5,44	63,27	115
MART	8,31	96,65	165
NİSAN	10,51	122,23	197
MAYIS	13,23	153,86	273
HAZİRAN	14,51	168,75	325
TEMMUZ	15,08	175,38	365
AĞUSTOS	13,62	158,4	343
EYLÜL	10,6	123,28	280
EKİM	7,73	89,9	214
KASIM	5,23	60,82	157
ARALIK	4,03	46,87	103
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Tablo 5.6 Formula 1 İstanbul Pistinin Teknik Özellikleri

Pist uzunluğu	5.333	(m)
Pist genişliği	14 - 21,5	(m)
Çevreyolu uzunluğu	5.482	(m)
İç yolların toplam uzunluğu	2.286	(m)
Pist toplam viraj sayısı	14	adet
Pist toplam viraj sayısı (sağ)	6	adet
Pist toplam viraj sayısı (sol)	8	adet
Pist toplam düzlük sayısı	4	adet
En keskin viraj yarı çapı	15	(m)
Pist en uzun düzlük	720	(m)
Start-Finish düzlüğü uzunluğu	655,5	(m)
Teorik maksimum hız	320,58	km/h
Pist düşey kurp sayısı	16	adet
Pistteki en yüksek boyuna eğim	8,145	(%)
Altgeçit sayısı	2	adet
Üstgeçit sayısı	3	adet
Kullanılacak lastik bariyer sayısı	124.000	adet

Tablo 5.5 ve tablo 5.6'dan alınan bilgilerden yararlanarak Formula 1 İstanbul pistinde yapılacak olan yarış için "Enerji – 1" arabasının panellerden elde edeceği enerjiyi hesaplamak mümkündür. Bu hesaplamaları yaparken aşağıdaki denklemleri kullanmamız gerekir.

$$E_{\text{sun}} = \text{Gelen enerji miktarı} / \text{gün sayısı} \times \text{panel alanı} \times \text{hücre verimliliği} \times \text{kayıp}$$

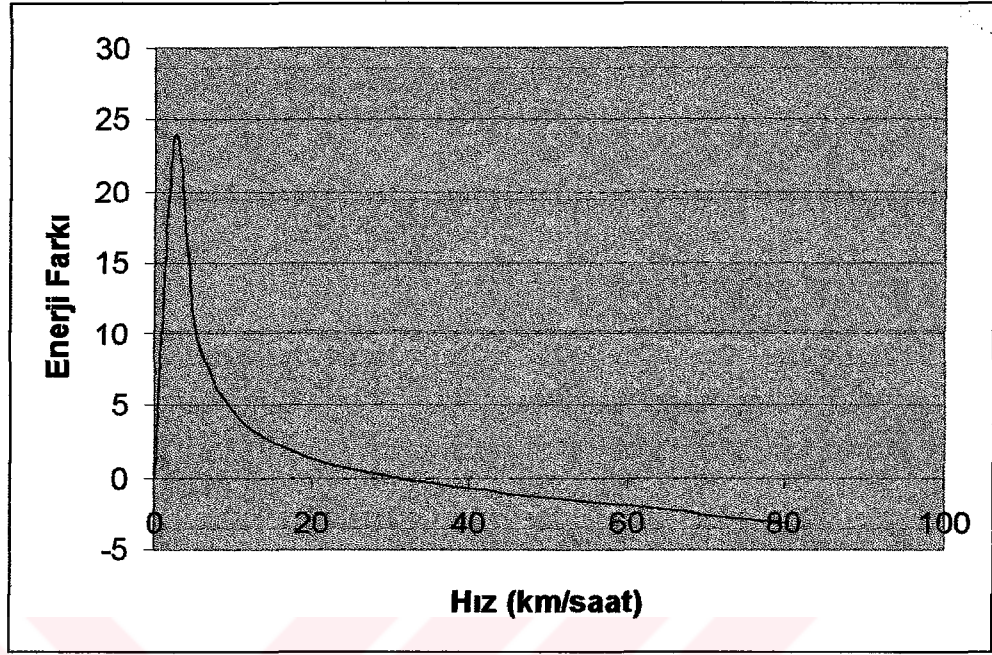
Tablo 5.7 "Enerji – 1" Güneş Arabasının Enerji Miktarı

$E_{\text{sun}} = \text{Gelen enerji miktarı} / \text{gün sayısı} \times \text{panel alanı} \times \text{hücre verimliliği} \times \text{kayıp(Ağustos)}$	0,60928	kWh
$E_{\text{sun}} = \text{Gelen enerji miktarı} / \text{gün sayısı} \times \text{panel alanı} \times \text{hücre verimliliği} \times \text{kayıp(Eylül)}$	0,580860	kWh
$E_{\text{batt}} C_d = E_{\text{batt}} \times \text{Akü Verimliliği}$	0,85	kWh
$\text{Toplam Enerji} = E_{\text{sun}} \times \text{Zaman} + E_{\text{batt}}$	1,805129825	kWh

Tablo 5.7 'de hesaplanmış olan enerji miktarı ile 30 km/saat sabit hızda 150 km olan Formula 1 İstanbul pistini 5 saat süre içerisinde tamamlamak mümkün olacaktır. Ancak bu hesaplama Türkiye'nin ortalama güneş potansiyeli ve saat ölçümü olmaksızın yapılmış bir hesaplama olup oldukça yuvarlık bir sonuçtur. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden İstanbul Özelinde Eylül ve Ağustos aylarına ait olan güneş potansiyeli tablolarını aldıktan sonra daha sağlıklı sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır.

Tablo 5.8 "Enerji – 1" in hızına göre toplam enerji ve toplam enerji kaybı tablosu

V	E_{rampa}	$E_{\text{düz}}$	Bitirme Zamanı	$E_{\text{sun}}+E_{\text{batt}}$	Fark
0	0,625741	1,878855	0	0	0
2,5	0,626264	1,891009	60	26,28636152	23,76909
5	0,626942	1,906766	30	13,56818076	11,03447
7,5	0,627775	1,926126	20	9,328787172	6,774887
10	0,628763	1,949089	15	7,209090379	4,631239
12,5	0,629906	1,975655	12	5,937272303	3,331712
15	0,631204	2,005824	10	5,089393586	2,452366
17,5	0,632657	2,039596	8,571428571	4,483765931	1,811512
20	0,634265	2,076972	7,5	4,02954519	1,318308
22,5	0,636028	2,11795	6,666666667	3,676262391	0,922284
25	0,637947	2,162532	6	3,393636152	0,593158
27,5	0,64002	2,210716	5,454545455	3,162396501	0,31166
30	0,642248	2,262504	5	2,969696793	0,064945
32,5	0,644632	2,317894	4,615384615	2,806643194	-0,15588
35	0,64717	2,376888	4,285714286	2,666882965	-0,35718
37,5	0,649863	2,439485	4	2,545757434	-0,54359
40	0,652712	2,505685	3,75	2,439772595	-0,71862
42,5	0,655715	2,575488	3,529411765	2,34625656	-0,88495
45	0,658874	2,648894	3,333333333	2,263131195	-1,04464
47,5	0,662187	2,725903	3,157894737	2,188755869	-1,19933
50	0,665656	2,806515	3	2,121818076	-1,35035
52,5	0,669279	2,89073	2,857142857	2,06125531	-1,49875
55	0,673058	2,978549	2,727272727	2,006198251	-1,64541
57,5	0,676992	3,06997	2,608695652	1,955928762	-1,79103
60	0,688742	3,164994	2,5	1,909848397	-1,94389
62,5	0,692718	3,263622	2,4	1,867454461	-2,08889
65	0,69685	3,365852	2,307692308	1,828321597	-2,23438
67,5	0,694276	3,471686	2,222222222	1,792087464	-2,37387
70	0,705578	3,581123	2,142857143	1,758441483	-2,52826
72,5	0,710174	3,694162	2,068965517	1,727115914	-2,67722
75	0,708868	3,810805	2	1,697878717	-2,82179
77,5	0,714042	3,931051	1,935483871	1,670527791	-2,97457
80	0,719371	4,0549	1,875	1,644886297	-3,12938



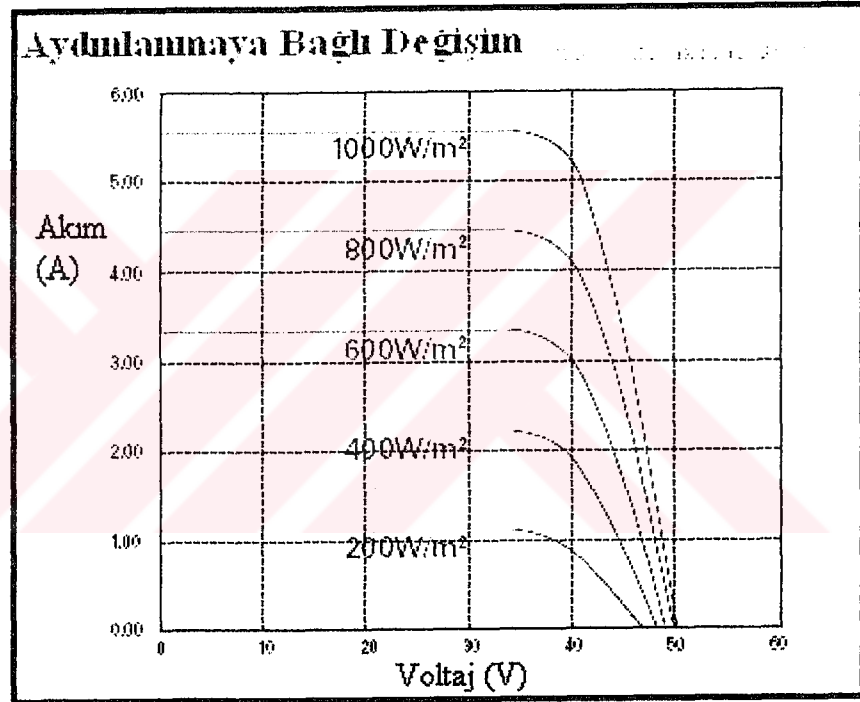
Şekil 5.3 “Enerji -1” in Hız-Enerji Farkı grafiği

5.7. “Enerji -1” Güneş Arabasında Kullanılan Sanyo HIP - 205NHE1 Güneş Paneli

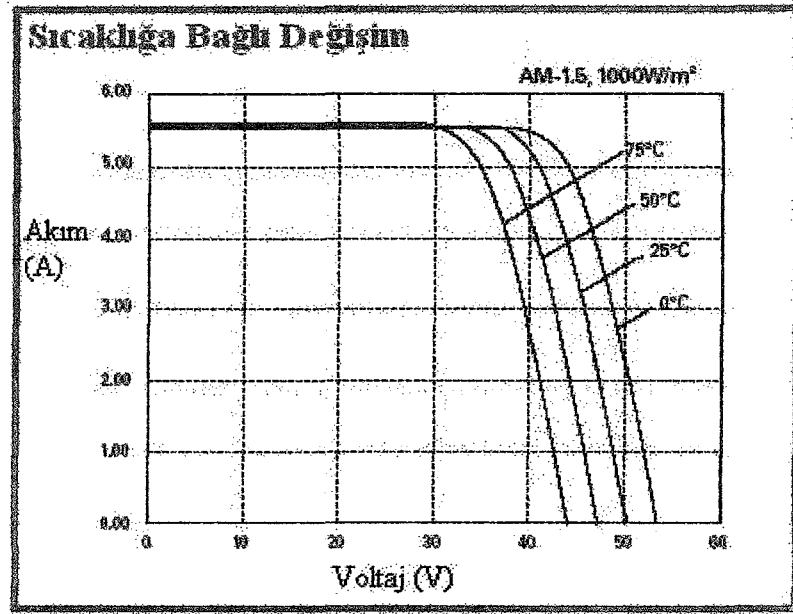
Sanyo firmasının ürettiği HIP - 205NHE1 fotovoltaiik modüllerin güneş hücreleri ince mono kristal silikon yapıdan oluşmaktadır. taban kısmı çok ince amorf silikon katmanlardan meydana gelmektedir. Bu güneş hücreleri tek halde yaklaşık olarak %18.2 ve modüler halde %16.4 verimlilikte çalışmaktadır. Dünya üzerinde modüler seri üretimde mono kristal silikon piller arasında en verimli olan hücre tipleridir. ayrıca Sanyo firmasının ürettiği bu güneş panelleri yüksek sıcaklıklarda en yüksek verimliliğe ulaşan hücre tipleridir.

Tablo 5.9 Sanyo HIP - 205NHE1 Güneş Paneli Özellikleri

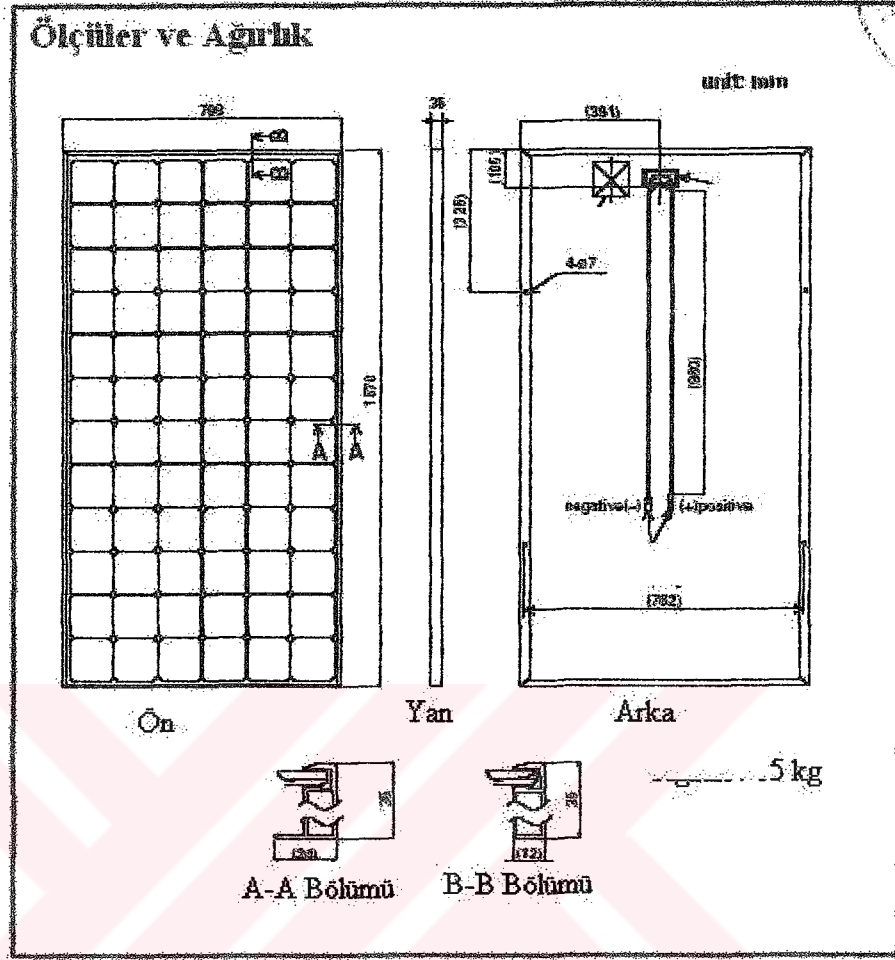
Elektrik Data		
Maksimum Güç (Pmax)	W	205
Maksimum Güç Voltajı (Vpm)	V	40,7
Maksimum Güç Akımı (Ipm)	A	5,05
Açık Devre Voltajı (Voc)	V	50,3
Kısa Devre Voltajı (Isc)	A	5,54
Çıkış Toleransı	%	+10/-5
Maksimum Sistem Voltajı	Vdc	760
Sıcaklık Katsayısı Pmax	%/oC	-0,3
Sıcaklık Katsayısı Voc	V/oC	-0,126
Sıcaklık Katsayısı Isc	mA/oC	1,66



Şekil 5.4 Sanyo HIP - 205NHE1 Güneş panelinin aydınlanmaya bağlı Akım-Voltaj Değişimi



Şekil 5.5 Sanyo HIP - 205NHE1 Güneş panelinin sıcaklığa bağlı Akım-Voltaj Değişimi



Şekil 5.6 Sanyo HIP - 205NHE1 Güneş panelinin ölçüleri ve ağırlığı



6. GÜNEŞ ARABALARININ AERODİNAMİĞİ

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) sürüklenme katsayısının düşük olması ve nesnenin hızı, ivmelenmesi ve hareketi üzerinde büyük bir etki yapmaması gereklidir. Aerodinamik bir araç oluşturmaya çabalanırken takip edilmesi gereken çeşitli kurallar vardır .

Kural 1: Tasarımcı, arabanın tüm korumasız yüzeyleri üzerinde bağlı bir akış olduğuna emin olmalıdır.

Kural 2: 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.

Kural 3: Laminer sınır tabakası akışı maksimumda olmalı ve ayrıca aracın mümkün olan en fazla alanında bu akış sağlanmalıdır. Laminer akış türbülanslı akışa göre daha az bir yüzey sürtünmesine neden olur. Bu kuralın uygulanabilmesi için arabanın ön kısmı, üzerinden geçen hava akımını aşamalı şekilde hızlandırmalıdır.

Kural 4: Yüzeyin bitiş kısmı kusursuz olmalıdır. Buradaki amaç ihtiyaç duyulan düzgün akışa ulaşmaktır.

Kural 5: Güneş arabasında aerodinamik kaldırma (lift) olmamalıdır. Aerodinamik kaldırma (lift) esas itibarı ile sürüklenme (drag) demektir.



Kural 6: Kanat uçlarındaki sürüklenme minimuma indirgenmelidir. Bunun için de araba gövdesinin yan kenarları inceltilmeli ve yuvarlanmalıdır. 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.

Kural 7: Arabanın ön yüz alanı yukarıdaki kurallara uyularak, minimumda tutulmalıdır.

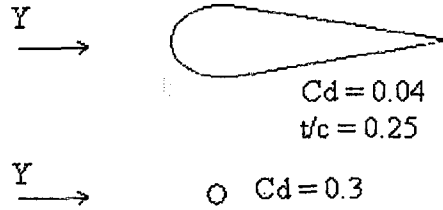
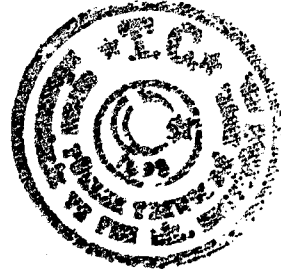
Kural 8: Arabanın toplam sürüklenmesi minimumda tutulmalıdır, örneğin kubbe şeklindeki sürücü penceresinin yada çamurlukların oluşturduğu sürüklenmeler vs. Örneğin çamurluklar ve ana gövde farklı sınır tabakalarına sahiptir. Ancak iki eleman bir araya geldiğinde, bunların sınır tabakaları da bir araya gelmiş olur. Sonuç olarak bir basınç sürüklenmesi meydana gelir ki, tasarımcının burada dikkatli olması gerekmektedir.

Kural 9: Havalandırma 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 yerler, gövdeye eklenmiş parçaların olduğu yerler, pencereler veya havalandırma deliklerinin olduğu yerler. [10]

6.1. Bağlı Akışa Genel Bakış

Yukarıda bahsedilen ilk kuralda olduğu gibi arabanın tüm korumasız yüzeyleri üzerinde bağlı bir akış olduğuna emin olmalıdır.

Akışın gerçekleşeceği şekil sürüklenmenin azalmasında etkili bir rol oynar. Şekil 6.1 de gözüktüğü gibi akışa maruz kalan cismin şekli büyüklüğünden bağımsız olarak etkin bir rol oynamaktadır. Sürüklenme oranı 1/50 ila 1/10 arasında değişim gösterir.



Şekil 6.1 Akışa karşı hareket eden kanat şekli ve dairesel silindirin aerodinamik sürüklenme katsayısının değişimi

Kanat şeklinde uzunlukla kalınlık arasındaki orantı aerodinamik sürüklenme si bakımından önemli bir rol oynar. Kalınlığının boyuna göre çok fazla olduğu durumlarda düzensi bir akış gözlenecektir. Böyle şekillerde akış direk olarak yüzeye çarpacak ve ayrık bir akış sergileneceğinden dolayı ön yüzeyle arka yüzey arasında basınç farklılığı yaratacaktır ve burada basınçlı sürüklenme gerçekleşecektir. Bu da aerodinamik sürüklenme etkisini arttıracak ve yüzey sürtünmesinin önemli bir rol almasını sağlayacaktır. Boy-kalınlık oranının 4:1 olduğu kanat modellerinde düzgün bağlı bir akış gerçekleşecektir ve bu da aerodinamik sürüklenmenin oldukça büyük bir oranda düşmesiyle beraber yüzey sürtünmesinin de azalmasını sağlayacaktır. Bağlı sürüklenme basınçlı sürüklenmeye oranla %20 daha az bir yüzey sürtünmesine neden olur.

6.2. Yüzey Alanı

Yüzey alanının boy-kalınlık oranını iyi bir kanat şeklini bulana kadar arttırmamız gerekir. Güneş arabası tasarımı yapılırken buna çok dikkat edilmesi gerekir iyi bir şekil yüzey alanını ve bununla beraber yüzey sürtünmesinin azalmasını sağlayacaktır. Fakat eninde sonunda toplam sürüklenme oranı yavaş yavaş artacaktır. Eğer akış tamamen bağlı bir akış ise, sürüklenme sadece ön yüzey alanına değil tüm yüzey alanına bağlı olarak düşmeye başlayacaktır.

Basit bir yaklaşımla tek koltuklu bir güneş arabasının da tüm yüzey 8 m^2 civarında olacaktır. Toplam yüzey alanında 8 m^2 yukarıda ve 8 m^2 aşağıda olmak üzere 16 m^2 olacaktır. Tekerlekler, sürücü kabini gibi uzantılar bu yüzeyin fazlalaşmasına yol açacaktır.

Güneş arabaları binek tipi otomobillerin aerodinamiği ön yüzey alanının maruz kaldığı aerodinamik sürüklenmeyle benzerlik gösterir. Güneş arabaları için ön yüzey alanı, tüm yüzey alanı ve yan yüzey alanı için sürüklenme uygulamaları yapmak gerekir. Bu tip uygulamalar daha çok hava taşıtı endüstrisinde kullanılır. Özellikle kanat dizaynında bağlı akım oluşması konusunda oldukça dikkat edilmesi güneş arabalarının yapılarıyla benzerlik göstermesi bakımından önemlidir. Güneş arabalarında tüm yüzey alanı güneş paneli alanıyla benzerlik gösterir. Aşağıdaki tabloda daha önce yarışlarda kullanılmış olan güneş arabalarının sürüklenme katsayıları verilmiştir. [9]

Tablo 6.1 Birçok yarışta kullanılmış araçların sürüklenme katsayısı oranları

Güneş Arabası	Sürüklenme alanı (m^2)	Ön alan C_d	Ön yüzey alanı (m^2)	Tüm alan C_d	Tahmini tüm yüzey alanı (m^2)
Sunracer	0,135	0,125	1,08	0,0064	22,8
Spirit of Biel II	0,143	0,130	1,10	0,0067	21,5
Spirit of Biel III	0,105	0,100	1,05	0,0049	21,5
Dream (1993)	0,114	0,100	1,14	0,0052	22,0
Dream (1996)	0,110	0,110	1,00	0,0049	22,5
Aurora 101	0,090	0,120	0,75	0,0045	20,0

6.3. Kanat Aerodinamiği

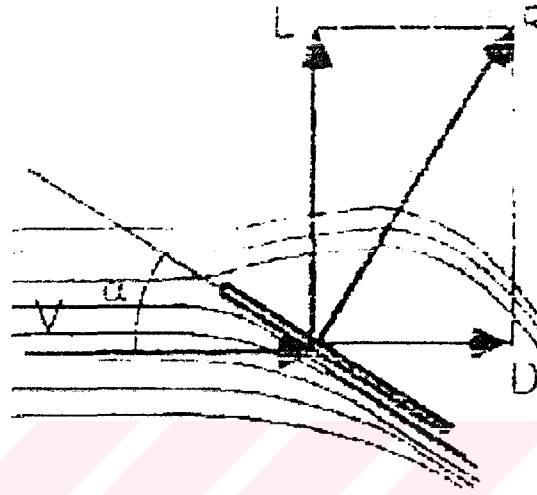
Gerek kuşların kanatlarını taklit ederek yapılan deneyler, gerek teorik çalışmalar, havadan ağır bir cismin uçabilmesi için ona çarpan hava akımının en az ağırlığa eşit bir taşıma kuvveti sağlaması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu gerçek pek çok örnekle anlatılabilirse de, hava akımına eğik olarak tutulan düz bir levhaya gelen kuvvet ve tepkiyi incelemek yeterlidir.

6.3.1. Düz bir Levha Üzerindeki Aerodinamik Kuvvetler

Şekil 6.2’de kesiti görülen düz levhaya α açısı ve V hızı ile çarpan hava levhadan geçemediği için yön değiştirmektedir. Hava kütlesinin bir doğru üzerindeki sabit hızlı hareketini değiştirmek için bir kuvvet uygulanması gerekir (Newton’ un Birinci Kanunu). Bu durumda, levha hava kütlesine bir kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvet ise kendine eşit ve aksi yönde bir tepki kuvveti doğurur (Newton’ un Üçüncü Kanunu).

Tecrübeler, bu tepki kuvvetinin; levhanın alanı (S), hava yoğunluğu ρ ve hava hızının (V) karesi ile orantılı olduğunu göstermiştir

$$R = C V^2 S (\rho / 2) \quad (6.1)$$



Şekil 6.2 Düz levha üzerindeki aerodinamik kuvvetler

Levha üzerinde meydana gelen tepki kuvvetinin, hava hızı doğrultusuna dik bileşenine taşıma kuvveti adı verilir. Bu kuvvetin, hava hızına paralel olan bileşenine ise sürüklenme kuvveti denir. O halde yukarıdaki bağıntı ile ifade edilen tepki kuvvetinin, bu bileşenleri:

$$L = C_L V^2 S (\rho / 2) \quad (6.2)$$

$$D = C_D V^2 S (\rho / 2) \quad (6.3)$$

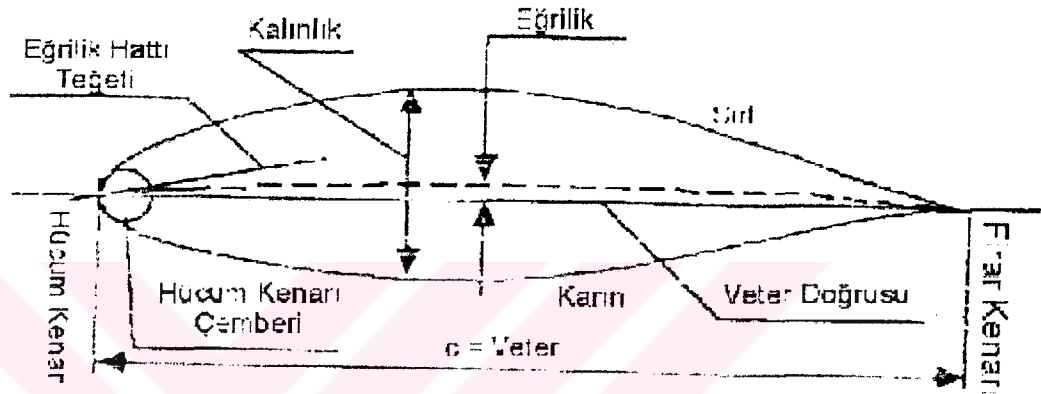
bağıntılarıyla gösterilebilir. Burada C_L taşıma katsayısı, C_D sürüklenme katsayısı olarak adlandırılır.

Levha üzerindeki hava direnci adı verilen tepki kuvvetinin iki bileşeninden biri faydalı kuvvettir. Bu kuvvet levhanın ağırlığını karşılayarak, havada tutulmasını sağlayan taşıma kuvvetidir. Sürüklenme kuvveti ise bazen yararlı, bazen de zararlıdır. Levhanın hava içindeki hareketini engelleyen bir olması halinde zararlıdır. Ancak, hareket halindeki levhanın durdurulması istendiğinde ise gerekli bir kuvvettir.

Sürüklenmenin oluşmasına engel olunamadığına göre en küçük mertebede tutmak gerekir. [7]

6.3.2. Düz bir Levha Üzerindeki Aerodinamik Kuvvetler

Düz levhaya nazaran daha büyük taşıma kuvveti değerinin elde edilebilmesi için geliştirilmiş olan belirli kalınlığa sahip kanat kesitlerine profil adı verilir. Profillerin geometrisini belirtmek için aşağıdaki terimler kullanılır.



Şekil 6.3 Profil geometrisi

Hücum kenarı : Profilin hava akımını karşılayan dairesel kenarı.

Fırlar kenarı : hava akımının profili terk ettiği sivri kenarı.

Veter : Profilin hücum ve fırlar kenarını birleştiren doğru.

Sırt : Profilin üst kenarı.

Karin : Profilin alt kenarı.

Eğrilik hattı : Vetere dil olarak çizilen doğruların sırt ve karın arasında kalan kısımlarının orta noktalarının geometrik yeridir.

Maksimum kalınlık : Profilin sırt ve karın noktaları arasında, vetere dik olarak ölçülen maksimum mesafedir.

Eğrilik : Eğrilik hattının veter doğrultusuna olan maksimum mesafesidir.

Hücum kenarı yarıçapı : Profilin sırtına ve karnına hücum kenarı civarında teğet olan çemberin yarıçapıdır. Bu çemberin merkezi, hücum kenarından eğrilik hattına çizilen teğet üzerinde bulunur. [7]

6.3.3. Profil Şekilleri ve Aileleri

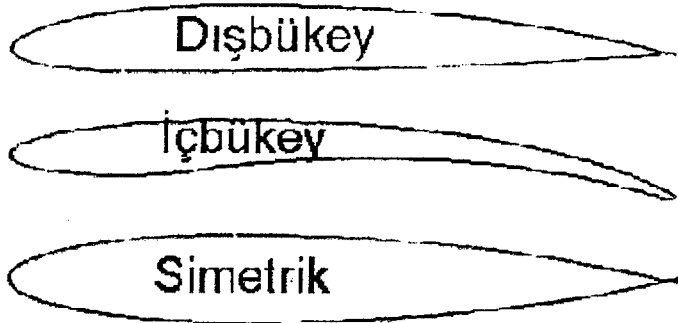
Profiller kendilerinden beklenen aerodinamik özelliklere göre çok çeşitli şekillerde olabilirler. Bunun nedeni de; eğrilik, kalınlık, maksimum kalınlığın yeri, hücum kenarı yarıçapı, ve firar kenarı açısı gibi geometrik faktörlerin profilin aerodinamik özelliklerini etkilemesidir. Ancak profiller şekil bakımından genellikle iki ana gruba ayrılırlar.

1) Eğri Profilleri

- Dışbükey profilleri
- İçbükey profiller

2) Simetrik profiller

Çeşitli profil aileleri teşkil etmek ve bunları istenilen pratik sonuçları verecek şekilde sınıflandırmak ve sistemleştirmek için ilk çabalar Almanya' da Göttingen' de harcanmıştır. Aşağı yukarı II. Dünya Savaşı'na kadar olan devrede inşa edilen uçakların hepsinde Göttingen profilleri kullanılmıştır. Sonraları ABD' de, Amerikan Milli Merkezi Aero ve Hidrodinamik Enstitüsü (TSAGI); İngiltere' de, Kraliyet Havacılık Kuruluşu (RAE); ve Fransa' da, Milli Havacılık Etüt ve Araştırma Bürosu (ONERA) tarafından yapılan çalışmalarla bugünün modern profil ailelerine erişilmiştir.



Şekil 6.4 Profil şekilleri

6.3.4. Profillerin Aerodinamik Özellikleri

Deneyssel olarak bilinmektedir ki, hava içinde hareket eden bir cisim üzerinde meydana gelen kuvvetler, aşağıda sıralanan faktörlerin bir fonksiyonudur:

- a) Havanın hızının karesi
- b) Havanın yoğunluğu
- c) Cismin alanı
- d) Cismin geometrisi
- e) Havanın hızı
- f) Cismin yüzey pürüzlüğü
- g) Havanın viskozitesi
- h) Hücüm açısı

Bir kanat profilinin aerodinamik karakteristikleri de bu değişkenlerden etkilenir. Profil üzerindeki hava hızı, hava yoğunluğu ve alan etkisi, daha önce düz levha için açıklandığı gibidir. Ancak, profil kanadın sadece bir tek kesitini meydana getiren bir eleman olduğundan, alanı:

$$S = l c \quad (6.4)$$

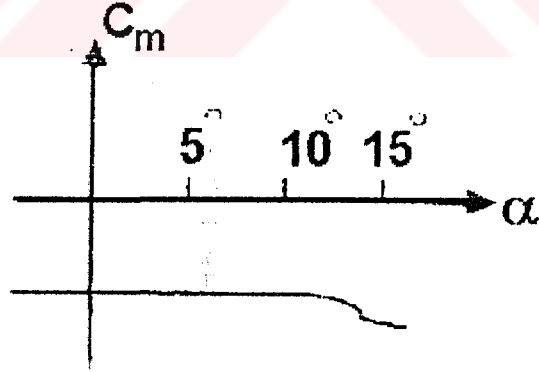
ile ifade edilir. Ayrıca aynı nedenle taşıma ve sürüklenme katsayıları C_l ve C_d şeklinde gösterilir. Hız, yoğunluk ve alan dışındaki diğer faktörler taşıma ve sürüklenme katsayıları içinde dahil edilir. [7]

Deneyler göstermiştir ki, taşıma katsayısı, küçük hücum açılarında, hücum açısı ile doğru orantılı olarak değişir. Simetrik profillerde, sıfır derecelik hücum açısına karşılık gelen taşıma katsayısının değeri de sıfır olurken; eğriliği olan profiller, sıfır derecelik hücum açısında dahi belirli bir pozitif taşıma katsayısı meydana getirmektedir. Her iki tür profilde de yüksek hücum açılarında doğru çıkıldığında taşıma katsayısı ve hücum açısı arasındaki orantının bozulduğu, ve hücum açısının belirli bir değerinden sonra taşıma katsayısında büyük bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Viskozitenin neden olduğu bu olaya tutunma kaybı (perdövites, stoll) adı verilir.

Profillerin sürüklenme katsayıları ise hücum açısına göre sanki parabolik bir değişim gösterir. Taşıma katsayısının, hücum açısı ile doğru orantılı değiştiği bölgedeki sürüklenme katsayıları küçük değerler alırken; tutunma kaybının oluşturduğu hücum açılarına yaklaşıldığında, sürüklenme katsayısı büyük bir eğimle artış gösterir.

Hava içinde hareket eden bir profile etkiyen hava direnci, aslında profil üzerinde meydana gelen basınç kuvvetlerinin bileşkesidir. Bu basınç kuvvetlerinin profil üzerindeki dağılımı, hücum açısına göre değişim gösterir.

Bunun sonucunda hava direncinin şiddeti ve profil üzerindeki etki noktası da değişir. Taşıma ve sürüklemenin, hücum açısına göre değişimi de, bu şiddet değişiminden kaynaklanmaktadır. Hava direncinin profil üzerindeki etki noktasına basınç merkezi denir. Hava direnci veya bunu meydana getiren basınç kuvvetleri, profil üzerindeki bir referans noktası etrafındaki moment oluşumuna neden olur. Hava direnci hücum açısı ile değiştiğine göre, bu momentte hücum açısına bağlı olarak değişir. Ancak, profil üzerindeki aerodinamik merkez adı verilen bir nokta vardır ki, bu moment tutunma kaybının olduğu hücum açılarına kadar bir değişim göstermez. Profillerin aerodinamik merkezleri çoğunlukla hücum kenarının yaklaşık %25c kadar gerisinde bulunur.



Şekil 6.5 Moment katsayısının hücum açısı ile değişimi

Aerodinamik moment, hava direncine bağılı bir büyüklük olduğundan; hava direnci gibi, hava hızının karesi, havanın yoğunluğu ve alan ile değişir. Bu nedenle bir profilin aerodinamik momenti:

$$M = C_m V^2 c^2 (\rho / 2) \quad (6.5)$$

Olur. Aerodinamik moment profile burun aşağı bir hareket yaptırmaya çalışır.

Hava içinde hareket eden bir profile etkiyen hava direnci, aslında profil üzerinde meydana gelen basınç kuvvetlerinin bir bileşkesidir. Bu basınç kuvvetlerinin profil üzerindeki dağılımı, hücum açısına göre değişim gösterir. Bunun sonucunda, hava direncinin şiddeti ve profil üzerindeki etki noktası da değişir. Taşıma ve sürüklemenin, hücum açısına göre değişimi de, bu şiddet değişiminden kaynaklanmaktadır. Hava direncinin profil üzerindeki etki noktasına basınç merkezi denir. Hava direnci veya bunu meydana getiren basınç kuvvetleri, profil üzerindeki bir referans nokta etrafında moment oluşumuna neden olur. Hava direnci hücum açısı ile değiştiğine göre, bu momentte hücum açısına bağılı olarak değişir. Ancak, profil üzerindeki aerodinamik merkez adı verilen bir nokta vardır ki, bu nokta etrafında, bir moment olmakla beraber; bu moment tutunma kaybının oluştuğu hücum açılarına kadar bir değişim göstermez. Aerodinamik moment, hava direncine bağılı bir büyüklük olduğundan; hava direnci gibi, hava hızının karesi, havanın yoğunluğu ve alan ile değişir.

6.4. Güneş Arabalasının Gövde Şekli

Güneş arabaları için kanat şekli serbest akım içerisinde ilerlerken en az sürüklenmeye uğradıkları biçimdir. Bu sebepten dolayı modifiye edilmiş dışbükey kanat şekli uygulamaları güneş arabaları için vazgeçilmezdir. Ancak bu yapı zemin üzerinde ilerlerken “yer etkisi”ne maruz kalacaktır. Bu sebepten dolayı gövdenin maruz kaldığı sürüklenmeyi %5-10 azaltmak için simetrik dışbükey bir şekil kullanılır.

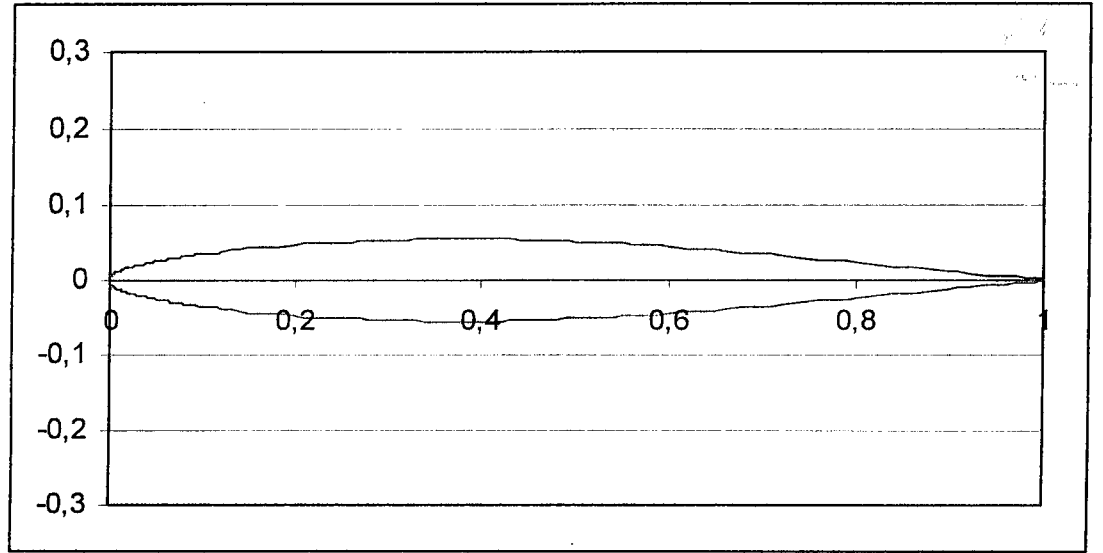
Simetrik kanat şekli serbest akım karşısında daha az bir sürüklenmeye uğrarken, dışbükey yapı yer etkisinden kaynaklanan sürüklenmenin da az olduğu bir yapıdır. Bu

bakımdan düşünöldüğünde arabanın dizaynının hem simetrik hem de dışbükey yapılmasına dikkat edilmelidir.

National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) 6 kanat şekilleri düzgün akış karşısında en düşük sürüklenme etkisine sahip olan bir kanat yağısı geliştirmiştir. Oldukça düşük bir kaldırma etkisine sahip olan bu kanat tipleri güneş arabası gövdeleri için oldukça uygundur. NACA 6 serisinin sürüklenmeyi en aza indirgendiğı düşünöldüğü zaman gövde tasarımı sırasında bu modeli esas olmak iyi bir tercih olacaktır. NACA 6 simetrik kesitinin en kalın alanı uzunluğun %10'u kadardır.

NACA 6'nın datalarından yola çıkarak amaca uygun bir dışbükey yapı geliştirmek sürüklenmeyi biraz daha azaltacaktır. Tasarımcı aynı zamanda sürücünün aracın neresinde yer alacağına karar vermelidir. Bu sayede güneş arabasının en kalın bölgesinin ne kadar olması gerektiğı konusunda bir karara varacaktır.

Tasarımcı kendisi için uygun kanat profilini seçtikten sonra yer etkisini azaltmak için profile dışbükeylik kazandırmalıdır. Güneş arabaları genellikle yerden 25 cm yükseklikte hareket ederler, bu sebepten dolayı yaklaşık olarak %2-5 arası bir dışbükeylik bu sürüklenme etkisini minimize edecektir. Eğer güneş arabasının alt kısmı düz şekilde imal edilecekse şasinin alt kısmı ile tekerleklerin kaplandığı bölgenin arasında bir ara yüz oluşturarak bu dışbükeyliğı sağlamak oldukça kolay olacaktır. Bu sebepten dolayı güneş arabalarında alt yüzeyin düz olması genellikle tercih edilir.

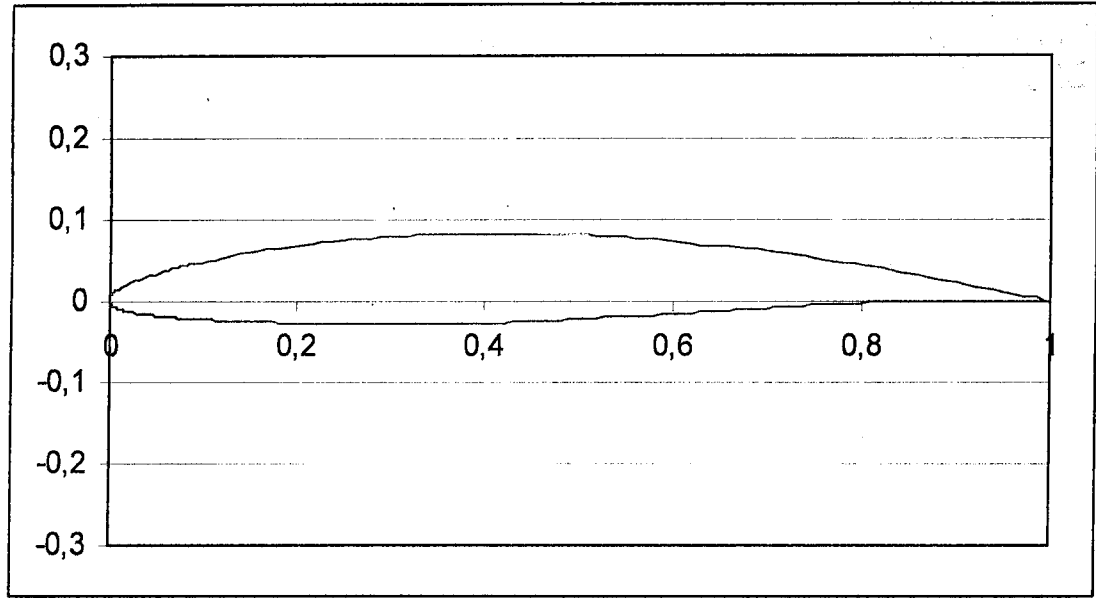


Şekil 6.6 NACA 64A Simetrik Kanat Şekli

Kanat şekline kavis kazandırmak için, öncelikle kanat şeklinin en kalın noktasının neresi olduğu ($X_{\max}$, $Y_{\max}$) işaretlenmelidir. Daha sonra aşağıdaki denklemi kullanarak:

$$Y_{adj} = \frac{C\%L(LX - X^2)}{100X_{\max}(L - X_{\max})} \quad (6.6)$$

Y eksenine ait olan değerler hesaplanarak kavis sağlanabilir. Burada C% verilecek olan kavisin oranını, L güneş arabasının boyunu göstermektedir.



Şekil 6.7 NACA 64A kavisli kanat şekli

Güneş arabasının alt kısmındaki bölüm ön tekerleğin şasi ile bağlandığı kısma kadar düz gelmelidir. Bu kısım yaklaşık olarak arabanın tüm uzunluğunun %70'lik kısmını oluşturacaktır. İmalat aşamasında bu oranı sağlamak gövdeyle şasi arasındaki ara yüzü oluşturmak açısından kolaylık sağlar. Ön tekerleğin Daha ucunda kalan burundaki kavis düzgün akışın orta kısımlara doğru hareket edebilmesi ve böylece güneş arabasının sürüklenmesini azaltmak açısından önemlidir. Arabanın arka kısmı Yukarıdan gelen hava akışıyla aşağıdan gelen hava akışının düzgün bir şekilde birleşmesi için bıçak kenarı gibi dizayn edilmelidir.

Aşağıdaki Tablo 5.3'te temel kanat şekli, 5 metre uzunluğunda ve 49 cm kalınlığında seçilmiş simetrik kanat şekli ve kavis verilmiş kanat şekillerine ait datalar yer almaktadır. Tablonun 0 ila 100 arasındaki ilk bölüm güneş arabasının üst kısmına ve 100 ila 0 arasında yer alan ikinci bölüm ise alt kısmına ait olan değerleri göstermektedir.

Tablo 6.2. NACA 64A Kanat Profilinin Gelişimi

Temel Kanat Şekli		Simetrik Kanat Şekli		Kavisli Kanat Şekli	
X	Y	X	Y	X	Y
0	0	0	0	0	0
0	0,3748	0	0,003748	0,00075	0,003583
0,0453	0,5341	0,000453	0,005341	0,0015	0,005001
0,0976	0,6593	0,000976	0,006593	0,00225	0,006089
0,1538	0,7652	0,001538	0,007652	0,003	0,006988
0,2125	0,8586	0,002125	0,008586	0,00375	0,007767
0,273	0,9429	0,00273	0,009429	0,0045	0,008459
0,3365	1,0211	0,003365	0,010211	0,00525	0,009091
0,4043	1,094	0,004043	0,01094	0,006	0,009665
0,4959	1,1845	0,004959	0,011845	0,007	0,010369
0,5886	1,2692	0,005886	0,012692	0,008	0,011102
0,682	1,3493	0,00682	0,013493	0,009	0,011629
0,7761	1,4252	0,007761	0,014252	0,01	0,0122
0,8707	1,4977	0,008707	0,014977	0,011	0,012741
0,9658	1,5674	0,009658	0,015674	0,012	0,013258
1,2531	1,7619	0,012531	0,017619	0,015	0,014678
1,7366	2,0516	0,017366	0,020516	0,02	0,016751
2,224	2,3108	0,02224	0,023108	0,025	0,018568
2,714	2,5478	0,02714	0,025478	0,03	0,020202
3,206	2,7677	0,03206	0,027677	0,035	0,021699
3,6994	2,9737	0,036994	0,029737	0,04	0,023086
4,194	3,168	0,04194	0,03168	0,045	0,024381
4,6895	3,3526	0,046895	0,033526	0,05	0,025602
5,1859	3,5282	0,051859	0,035282	0,055	0,026753
5,6829	3,6966	0,056829	0,036966	0,06	0,02785
6,1805	3,8579	0,061805	0,038579	0,065	0,028895
6,6786	4,0135	0,066786	0,040135	0,07	0,029899
7,1771	4,1636	0,071771	0,041636	0,075	0,030863
7,676	4,3089	0,07676	0,043089	0,08	0,031793
8,1752	4,4497	0,081752	0,044497	0,085	0,032691
8,6748	4,586	0,086748	0,04586	0,09	0,033558
9,1746	4,7183	0,091746	0,047183	0,095	0,034396
9,6747	4,8466	0,096747	0,048466	0,1	0,035206
10,6759	5,0911	0,106759	0,050911	0,11	0,036737
11,6779	5,322	0,116779	0,05322	0,12	0,038173
13,6842	5,7467	0,136842	0,057467	0,14	0,040785
15,6929	6,1295	0,156929	0,061295	0,16	0,04311
17,7036	6,4753	0,177036	0,064753	0,18	0,045185
19,7158	6,787	0,197158	0,06787	0,2	0,047028
21,7295	7,0666	0,217295	0,070666	0,22	0,048652
23,7444	7,3163	0,237444	0,073163	0,24	0,050071
25,7602	7,5382	0,257602	0,075382	0,26	0,051302
27,7769	7,7334	0,277769	0,077334	0,28	0,052352
29,7943	7,9031	0,297943	0,079031	0,3	0,053228

31,8123	8,0476	0,318123	0,080476	0,32	0,053931
33,8308	8,1673	0,338308	0,081673	0,34	0,054463
35,8497	8,2621	0,358497	0,082621	0,36	0,054821
37,869	8,3309	0,37869	0,083309	0,38	0,054991
39,8886	8,3705	0,398886	0,083705	0,4	0,054942
41,9084	8,3782	0,419084	0,083782	0,42	0,054645
43,9282	8,356	0,439282	0,08356	0,44	0,054119
45,9478	8,3071	0,459478	0,083071	0,46	0,053397
47,9671	8,2335	0,479671	0,082335	0,48	0,0525
49,9859	8,137	0,499859	0,08137	0,5	0,051444
52,0042	8,0177	0,520042	0,080177	0,52	0,050232
54,0218	7,877	0,540218	0,07877	0,54	0,048878
56,0387	7,7167	0,560387	0,077167	0,56	0,047403
58,0549	7,5374	0,580549	0,075374	0,58	0,045813
60,0702	7,3392	0,600702	0,073392	0,6	0,044112
62,0846	7,1229	0,620846	0,071229	0,62	0,042311
64,098	6,8885	0,64098	0,068885	0,64	0,040412
66,1105	6,6364	0,661105	0,066364	0,66	0,038426
68,122	6,3672	0,68122	0,063672	0,68	0,036361
70,1325	6,081	0,701325	0,06081	0,7	0,034226
72,1421	5,7787	0,721421	0,057787	0,72	0,03204
74,1511	5,4606	0,741511	0,054606	0,74	0,029816
76,1598	5,1257	0,761598	0,051257	0,76	0,027562
78,1693	4,7726	0,781693	0,047726	0,78	0,025288
80,1861	4,3963	0,801861	0,043963	0,8	0,023008
82,1955	3,9885	0,821955	0,039885	0,82	0,020727
84,1882	3,5626	0,841882	0,035626	0,839999	0,018451
86,1734	3,126	0,861734	0,03126	0,859999	0,016188
88,1527	2,7081	0,881527	0,027081	0,879999	0,013924
90,1274	2,2588	0,901274	0,022588	0,899999	0,011624
92,1016	1,8045	0,921016	0,018045	0,919999	0,009273
94,0765	1,3563	0,940765	0,013563	0,939999	0,006984
96,0526	0,8923	0,960526	0,008923	0,959999	0,004915
98,031	0,4989	0,98031	0,004989	0,979999	0,003069
99,02	0,301	0,9902	0,00301	0,989999	0,002079
1	0,1048	1	0,001048	1	0,001089
1	-0,1141	1	-0,001141	0	0
98,9798	-0,1129	0,989798	-0,001129	0,00075	-0,003583
97,9689	-0,1117	0,979689	-0,001117	0,0015	-0,005001
95,9473	-0,0851	0,959473	-0,000851	0,00225	-0,006089
93,9233	-0,0321	0,939233	-0,000321	0,003	-0,006988
91,8982	-0,0389	0,918982	-0,000389	0,00375	-0,007767
89,8725	-0,0519	0,898725	-0,000519	0,0045	-0,008459
87,8472	-0,0599	0,878472	-0,000599	0,00525	-0,009091
85,8265	-0,093	0,858265	-0,00093	0,006	-0,009665
83,8117	-0,1083	0,838117	-0,001083	0,007	-0,010369
81,8044	-0,1384	0,818044	-0,001384	0,008	-0,01102
79,8138	-0,1903	0,798138	-0,001903	0,009	-0,011629
77,8306	-0,2738	0,778306	-0,002738	0,01	-0,0122

75,8401	-0,3773	0,758401	-0,003773	0,011	-0,012741
73,8488	-0,4949	0,738488	-0,004949	0,012	-0,013258
71,8578	-0,623	0,718578	-0,00623	0,015	-0,014678
69,8675	-0,7591	0,698675	-0,007591	0,02	-0,016751
67,878	-0,9009	0,67878	-0,009009	0,025	-0,018568
65,8895	-1,0456	0,658895	-0,010456	0,03	-0,020202
63,9019	-1,1916	0,639019	-0,011916	0,035	-0,021699
61,9154	-1,3375	0,619154	-0,013375	0,04	-0,023086
59,9298	-1,4821	0,599298	-0,014821	0,045	-0,024381
57,9451	-1,6245	0,579451	-0,016245	0,05	-0,025602
55,9612	-1,7635	0,559612	-0,017635	0,055	-0,026753
53,9781	-1,8985	0,539781	-0,018985	0,06	-0,02785
51,9958	-2,0287	0,519958	-0,020287	0,065	-0,028895
50,014	-2,1518	0,50014	-0,021518	0,07	-0,029899
48,0329	-2,2663	0,480329	-0,022663	0,075	-0,030863
46,0522	-2,3719	0,460522	-0,023719	0,08	-0,031793
44,0718	-2,4669	0,440718	-0,024669	0,085	-0,032691
42,0916	-2,5492	0,420916	-0,025492	0,09	-0,033558
40,1114	-2,6156	0,401114	-0,026156	0,095	-0,034396
38,131	-2,6642	0,38131	-0,026642	0,1	-0,035206
36,1503	-2,6979	0,361503	-0,026979	0,11	-0,036737
34,1692	-2,72	0,341692	-0,0272	0,12	-0,038173
32,1877	-2,7321	0,321877	-0,027321	0,14	-0,040785
30,2057	-2,7345	0,302057	-0,027345	0,16	-0,04311
28,2231	-2,7275	0,282231	-0,027275	0,18	-0,045185
26,2398	-2,7111	0,262398	-0,027111	0,2	-0,047028
24,2556	-2,6849	0,242556	-0,026849	0,22	-0,048652
22,2705	-2,6487	0,222705	-0,026487	0,24	-0,050071
20,2842	-2,6015	0,202842	-0,026015	0,26	-0,051302
18,2964	-2,5422	0,182964	-0,025422	0,28	-0,052352
16,3071	-2,4705	0,163071	-0,024705	0,3	-0,053228
14,3158	-2,3857	0,143158	-0,023857	0,32	-0,053931
12,3221	-2,2854	0,123221	-0,022854	0,34	-0,054463
11,3241	-2,2277	0,113241	-0,022277	0,36	-0,05482
10,3252	-2,1644	0,103252	-0,021644	0,38	-0,054991
9,8254	-2,13	0,098254	-0,0213	0,4	-0,054942
9,3252	-2,094	0,093252	-0,02094	0,42	-0,054645
8,8248	-2,0562	0,088248	-0,020562	0,44	-0,054119
8,324	-2,0166	0,08324	-0,020166	0,46	-0,053397
7,8229	-1,9751	0,078229	-0,019751	0,48	-0,0525
7,3214	-1,9316	0,073214	-0,019316	0,5	-0,051444
6,8195	-1,8857	0,068195	-0,018857	0,52	-0,050232
6,3171	-1,8373	0,063171	-0,018373	0,54	-0,048878
5,8141	-1,7853	0,058141	-0,017853	0,56	-0,047402
5,3105	-1,7299	0,053105	-0,017299	0,58	-0,045813
4,806	-1,6696	0,04806	-0,016696	0,6	-0,044112
4,3006	-1,6041	0,043006	-0,016041	0,62	-0,04231
3,794	-1,5321	0,03794	-0,015321	0,64	-0,040412
3,286	-1,452	0,03286	-0,01452	0,66	-0,038426

2,776	-1,3616	0,02776	-0,013616	0,68	-0,036361
2,2634	-1,257	0,022634	-0,01257	0,7	-0,034226
1,7469	-1,132	0,017469	-0,01132	0,72	-0,03204
1,4342	-1,0424	0,014342	-0,010424	0,74	-0,029816
1,3293	-1,0089	0,013293	-0,010089	0,76	-0,027562
1,2239	-0,9734	0,012239	-0,009734	0,78	-0,025288
1,118	-0,9353	0,01118	-0,009353	0,8	-0,023008
1,0114	-0,8938	0,010114	-0,008938	0,82	-0,020727
0,9041	-0,8487	0,009041	-0,008487	0,839999	-0,018451
0,7957	-0,799	0,007957	-0,00799	0,859999	-0,016188
0,7135	-0,7575	0,007135	-0,007575	0,879999	-0,013924
0,627	-0,7115	0,00627	-0,007115	0,899999	-0,011624
0,5375	-0,6604	0,005375	-0,006604	0,919999	-0,009273
0,4462	-0,6014	0,004462	-0,006014	0,939999	-0,006984
0,3524	-0,5314	0,003524	-0,005314	0,959999	-0,004915
0,2547	-0,4441	0,002547	-0,004441	0,979999	-0,003069
0,15	-0,3258	0,0015	-0,003258	0,989999	-0,002079
0	0	0	0	1	-0,001089

Kavisli kanat şekli oldukça düşük bir aerodinamik sürüklenmeye mağruz kalacaktır. Örneğin 5 metre uzunluğunda ve 49 cm genişliğinde olan bir araca bunu uygulayarak en az sürüklenmeyi sağlamak mümkündür. Örnek olarak NACA 6 serisi kanat tiplerinde maksimum kalınlık oranı boylarının %45'i kadardır. Bu tip kanat profili kullanmak isteyen güneş arabalarında sürücü kabini için genellikle orta kısım kullanılır. Ancak Sürücü kabini ön tarafa daha yakın yapılırsa maksimum kalınlık %30 civarına düşürülecektir ve buda daha iyi bir dizayn olacaktır.

Kavisli şekil arabanın yan tarafından bakıldığı zaman fark edilecektir. Tasarımcı için bir sonraki adım arabanın üstten görüntüsü için olmalıdır. Bu metot sayesinde en düşük sürüklenme sağlanacaktır. Ancak profilin arka kısmı kesilerek elde edilen bu şekil güneş paneli konusunda bir kısıtlama yaratacaktır. Bu sebepten dolayı bir çok güneş arabası tasarımcısı bu şekli kullanmayı uygun görmez. Standart bir kanat profili seçilirken maksimum kalınlığın ön tarafa daha yakın olmasına dikkat edilir.

Güneş arabalarının maksimum genişliği kanat profilinin maksimum genişliğine uyarlanır. Buna uygun olarak ta uzunluğunun yaklaşık olarak %60'lık bir bölümden sonrası çıkartılır. En büyük problem bu profili kullanarak ve güneş paneli alanında çok az bir kayıp sağlamaya çalışmaktır. Bu sebepten dolayı tasarım sürüklenme kuvvetini ve güneş paneli alanı kaybının en az olacağı şeklinde yapılmalıdır.

Çoğu tasarımcı güneş arabasının ön kısmını yuvarlak bir şekilde dizayn eder. Bu güneş paneli alanının artmasını sağlar. Arabanın burun kısmı aerodinamik sürüklenmeyi minimize etmek için büyük önem taşır. Bu sebepten dolayı arabanın burun kısmı dizayn edilirken hesaplamalı akışkanlar dinamiğinden yararlanmak gerekecektir. Gövde kısmı genellikle kuyruk kısmına kadar kavis olmaksızın düz bir şekilde yapılır. Tasarımı bu şekilde yapmak dörtgen bir alan sağlayacağından dolayı üretim aşamasında güneş panelini yerleştirmekte kolaylık sağlar. Kuyruk kısmında koniklik yaratmak üretim aşamasında zorluk çıkarmayacağı gibi sürüklenmenin azalmasına neden olacaktır ancak güneş paneli kaybı göz ardı edilmemesi gereken bir durumdur.

İmalat aşamasında güneş arabasının ön yüzeyinden bakıldığı zaman en düşük sürüklenmeyi sağlayacak olan şekil elipstir. Bunlara uygun olarak gövdenin genişliği ve yüksekliğine dikkat edilmelidir. Güneş arabalarının tekerlek kaplamaları tekerlekle birlikte dönecek şekilde oluşturulmalıdır. Bu sebepten dolayı şasinin ön tekerleğe kadar olan kısmı düz bir yapı göstermelidir aksi takdirde kavisli bir yüzeyde bu döngüyü sağlamak oldukça güç olacaktır.

6.5. Reynolds Sayısı

Reynolds sayısı (Re) düzgün, geçişli ya da düzensiz akışlara uygun olarak boyutsuz bir şekilde ölçülendirilmiştir.

$$100 < Re < 3 \times 10^5 \quad \text{Düzgün Akış}$$

$$3 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^5 \quad \text{Geçişli Akış}$$

$$Re > 5 \times 10^5 \quad \text{Düzensiz Akış}$$

Reynolds sayısı aşağıdaki denklemde olduğu gibi hesaplanır.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (6.7)$$

Burada ρ akışkanın yoğunluğu, V akışın hızı (arabanın hızı), D karakteristik uzunluk (arabanın uzunluğu), μ akışkanın vizkozitesi, ν akışkanın kinematik vizkozitesi



(hava için $1.46 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) olarak tanımlanmıştır. Örneğin 5 metre uzunluğunda ve 90 km/saat hızla hareket eden bir araba için Reynolds sayısı 8400000 olacaktır. Bu da bize aracın düzensiz bir akış içerisinde gösterir. Arabanın sınır katmanı akışı için düzensiz sınır katmanı hakim olacaktır. Genellikle düşük hızlardaki arabalar için $Re > 5 \times 10^5$ olacaktır. Arabanın burun kısmının üstünde düzgün akış bölgesi oluşacaktır. Buradaki akış düz plaka üzerinde gerçekleşen akım gibi hesaplanır.

$$5 \times 10^5 = \frac{25D}{1,46 \times 10^{-5}} \Rightarrow D = 29,2 \text{ cm}$$

Eğer gövde düz ise ve akışa paralel olarak hareket ediyorsa 90 km/saat hızda giden bir araba için ilk 29.2 cm.'lik bölümünden sonra düzgün akış gerçekleştiği söylenebilir. Eğer arabanın burun kısma kavisli ise burundan arka kısma doğru yavaş yavaş kalınlaşma olacaktır ve arabanın 29.2 cm.'lik bölümünden sonra düzgün bir akış gerçekleşecektir. 1987 GM Sunraycer adlı arabada burun kısmından sonra 2 m boyunca düzgün akış gerçekleşecek şekilde dizayn yapılmıştır. Ancak bu akış 90 km/saat ten daha az hızlarda gerçekleşmiştir. Arabanın sürüklenmesinin azaltılmasını için düzgün akış tercih edilecektir ancak 2 m boyunca düzgün bir akış elde etmek gerçekten iyi bir dizayn sayesinde sağlanabilir. Çoğu güneş arabası tasarımcısı için 0.5 – 1 m arası sağlanan düzenli bir akış iyi sayılabilir. Ancak ayrıntılarda dikkatli davranıldığı sürece bu bölümü uzatmak mümkün olacaktır. Akışın gerçekleştiği yüzey üzerindeki ufak bir kabarcık ya da herhangi düzeni bozacak bir bölüm akışın düzensiz bir akışa dönüşmesine yol açacaktır. Arabaların üst kısmında bulunan sürücü kubbesi arabanın üst yüzeyinde bu akışın bozulmasına en çok sebep olan etkidir. Arabanın alt yüzeyinde ise tekerlek kaplamaları bu düzgün akışın bozulmasına neden olur. [9]

6.6. Sürüklenme Alanı Hesaplanması

Güneş arabası yarışlarının ilk zamanlarında takımlar arabanın karakteristik alanı konusunda farklı tanımlamalarda bulunuyorlardı. Bu da sürüklenme katsayısı hakkında oldukça farklı sonuçlar elde edilmesini sağlıyordu ve arabaları karşılaştırmak mümkün olmuyordu. Bazı takımlar tüm yüzey alanı için 0.01'den daha ufak sürüklenme katsayısı belirlerken, bazı takımlar ön yüzey alanı için 0.1'den daha fazla bir katsayı



belirliyorlardı. Artık her iki dizayn tipi içinde uygun bir sonuç veren sürüklenme alanı (AC_d) kullanılmaya başlanmıştır. Bu alan genellikle m^2 cinsinden ölçülendirilir.

Arabanın çeşitli bölümlerinden dolayı (gövde, sürücü kubbesi, tekerlek kaplamaları, vs.) sürüklenme değişkenlik gösterecektir. Bu bölümlerin yarattığı sürüklenmeler toplam sürüklenme alanına eklenir. Her bir bileşenin kendisine air bir sürüklenme katsayısı vardır. Tasarımı en iyi olan güneş arabalarının 90 km/saat hızda ilerlerken toplam sürüklenme alanları 0.1-0.15 m^2 arasında değişir. [12]

6.7. Gövde Sürüklenmesi

Güneş Arabalarının gödelerinin burun kısmı kanat profillerinde olduğu gibi yuvarlak yapıda olmalıdır. Bu sayede ilk 30 cm. lik bölümden sonra gövde üzerinde düzgün bir akış elde etmek mümkün olacaktır. Tasarımcı gövde üzerindeki akımın düzensiz akımdan düzenli akıma geçişi uyugun bir şekilde sağlamalıdır. Her durumda 1 metrenin üzerinde düzgün bir akış sağlayabilmek oldukça güç olacaktır. Gövde üzerşne kaplanan paneli oluştururken kaynak hataları yapılmamalı ve prüssüz bir yüzey elde edilmeye çalışılmalıdır. Aksi taktide yüzey üzerinde olacak bir pürüz düzgün akışın düzensiz akışa geçmesine neden olacaktır.

Akış yüzey üzerinde hareket ederken birden bire düzeli akıştan düzensiz akışa geçiş olacaktır. Normalde bu geçiş için bir geçiş bölgesi oluşacaktır. Ancak güneş arabası modellemesi sırasında keskin bir geçiş kabul edildiği zaman doğru sonuçlar elde edilebilir. Düzgün akış içindeki sürüklenme her zaman daha az olması nedeniyle yüzey üzerinde mümkün olduğunca çok bu akış gerçekleştirilmelidir. Yukarıdaki bilgilerden yola çıkarak ilk 30 cm. üzerinde düzgün bir akış gerçekleştiremeyeceği düşünüldüğü zaman en yüksek sürüklenmenin burun kısmında olduğunu ve arabanın arka kısmına gidildikçe sürüklenmenin azalacağını söyleyebilir. Bütün bu yüzeylerde oluşan sürüklenmenin toplamı aracın toplam sürüklenmesini gösterir. Güneş arabalarında boyu kısa olanın uzun olana oranla, düzgün akışın eşit bölümde ilerlediği düşülürse, daha az bir sürüklenmeye uğrayacağı söylenebilir. Ancak yüzey üzerinde daha fazla bir düzgün akış gerçekleştirilebilirse uzun araçlarda daha az sürüklenme kuvveti sağlanacaktır.



Analizler arabanın boyunu uzatmayı ve burun üzerindeki düzgün akışı gerçekleştirmenin daha uygun bir seçim olduğunu göstermektedir.

Güneş arabalarından burun kısmından geriye doğru kademeli olarak bir genişleme sağlanırsa arabanın üzerinden geçen akışın önemli bir ölçüde düzgün akış olması sağlanır. Güneş arabalarının en kalın kısmından sonra düzgün akış gerçekleştirmek mümkün olmayacaktır. Bu geçiş noktası mutemelen arabanın ½ veya 2/3 lük oranındaki bölümünde olacaktır. Bu sebepten dolayı bu bölüme kadar hiç bir pürüz yada çıkıntı olmamalıdır.

6.7.1. Gövde Sürüklenmesi Katsayısı

Sürüklenme katsayısı bölgesel Reynolds sayısı (Rex) sebebiyle arabanın uzunluğu boyunca değişim gösterecektir. Bölgesel Reynolds sayısı (Rex) aşağıdaki denklemle bulunabilir.

$$Re_x = \frac{Vx}{\nu} \quad (6.8)$$

Bu denklemde, x arabanın burnundan itibaren olan uzunluğu, V arabanın hızı ve ν kinematik viskozite olarak belirlenmiştir. Buna göre düzgün akışa göre bölgesel sürüklenme katsayısı da;

$$C_{dLaminar} = \frac{0.664}{\sqrt{Re_x}} \quad (6.9)$$

olacaktır.

Düzensiz akış bölgesindeki sürüklenme katsayısı arabanın yüzeyinin pürüzsüzlüğü ile bağlantılıdır. Eğer yüzey yeterince pürüzsüz ise;

$$C_{dturbulant} = \frac{0.0576}{(\sqrt{Re_x})^{0.2}} \quad (6.10)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Eğer yüzey içerisinde düzgünlüğü bozacak bir çıkıntı varsa, sürüklenme katsayısı hesabı yapılırken bu çıkıntıya uygun bir karakteristik sürüklenme katsayısı belirlenir. Bu çıkıntının yüksekliği arabanın uzunluğuna bölünerek (ε / L) işleme katılması gerekir.

$$C_{d_{turbulantrough}} = \left[1.89 - 1.62 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{L} \right) \right] \quad (6.11)$$

Ortalama bir sürüklenme katsayısı bütün araba yüzeyinde olan bu sürüklenme katsayılarının bütünleştirilmesiyle bulunur. İki hesaplamada sonsuz düzgün yüzey ve sonsuz pürüzsüz yüzey için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Tasarımcı bu hesaplamayı yaparken en yüksek sürüklenme katsayısını alması akılcı bir seçim olacaktır.

Arabanın bütün uzunluğunu L olarak ve sınır katmanı geçişi üst bölüm için L_T ve alt bölüm için L_B olarak tanımlarsak ortalama sürüklenme katsayısını bu parametreleri birleştirerek elde edebiliriz. Tamamen pürüzsüz bir yüzey için sürüklenme katsayısı aşağıdaki denlemler gibi hesaplanır.

$$C_{d_{üst}} = \frac{1.328}{\sqrt{Re}} \sqrt{\frac{L_T}{L}} + \frac{0.072}{(Re)^{0.2}} \left[1 - \left(\frac{L_T}{L} \right)^{0.8} \right] \quad (6.12)$$

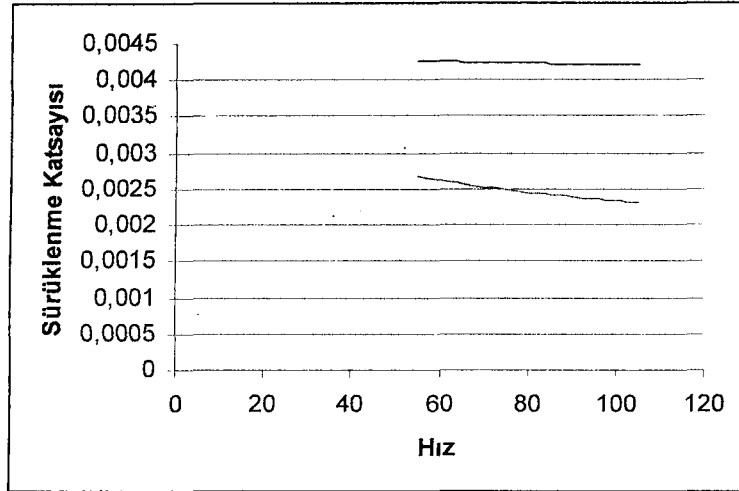
$$C_{d_{alt}} = \frac{1.328}{\sqrt{Re}} \sqrt{\frac{L_B}{L}} + \frac{0.072}{(Re)^{0.2}} \left[1 - \left(\frac{L_B}{L} \right)^{0.8} \right] \quad (6.13)$$

Yukarıdaki denklemdeki Re evrensel Reynolds sayısıdır. Yukarıdaki denklemleri prüzlü bir yüzeye uygularsak sürüklenme katsayısının hesaplanması için aşağıdaki denklemleri kullanmak gerekecektir.

$$C_{d_{üst}} = \frac{1.328}{\sqrt{Re}} \sqrt{\frac{L_T}{L}} + \frac{L - L_T}{L} \left[1.89 - 1.62 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{L} \right)^{-2.5} \right] \quad (6.14)$$

$$C_{d_{alt}} = \frac{1.328}{\sqrt{Re}} \sqrt{\frac{L_B}{L}} + \frac{L - L_B}{L} \left[1.89 - 1.62 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{L} \right)^{-2.5} \right] \quad (6.15)$$

Tamamen pürüzsüz yüzeyler için sürüklenme katsayısı arabanın hızının bir fonksiyonudur ancak



Şekil 6.8 Sürüklenme katsayısının hıza göre değişimi (pembe çizgi pürüzlü yüzey, mavi çizgi düzgün yüzey için)

Şekil 6.8'de de görüldüğü gibi düzgün yüzeyler için sürüklenme katsayısı hızın bir fonksiyonu olarak düşünülebilir. Çünkü Reynolds sayısı hızın bir fonksiyonudur. Pürüzlü yüzeyler içinde Re hızın bir fonksiyonu olmasına karşılık sürüklenme katsayısı hıza oranla çok az bir değişim göstermektedir. Grafikte de görüldüğü gibi yüksek hızlara çıkıldıkça sürüklenme katsayısında bir düşüş olacaktır. [9,10,12]

6.7.2. Gövde Yüzey Alanı

Sürüklenme alanını bulmak için arabanın alt ve üst kısmında hesaplanan sürüklenme katsayıları yüzey alanları ile çarpılmalıdır. Arabanın kavisli olması nedeniyle tüm yüzey alanının hesaplanması güç olacaktır. Bu sebepten dolayı arabaya tepeden bakarak orda bulunan alanın ortalama bir değeri alınması gerekir. Tasarımcı arabaya yukarıdan baktıktan sonra küçük gridlere ayırma yöntemi ile her bir parçayı birleştirdikten sonra bir alan hesaplayabilir. Bu metrekare cinsinden hesaplanan alana yukarıdan görünüş (PA) alanı denir.

Yüzey sürtünmesi güneş arabasının yüzey oranı ile orantılı olacaktır. Yüzey alanı seçilecek olan profilin kalınlık oranı ile azaltılabilir. Eğer t 'yi gövdenin en kalın bölümü olarak alırsak toplam yukarıdan görünüş alanı yaklaşık olarak;

$$A = 2PA \left[1 + \left(\frac{t}{L} \right) + 60 \left(\frac{t}{L} \right)^4 \right] \quad (6.16)$$

şeklinde hesaplanabilir. Bu formülde prüssüz bir yüzey alanı ve iyi dizayn edilmiş bir gövde için kullanılabilir. Gövdenin geçiş bölümleri ön taraftan bakıldığı zaman eliptik bir yapıda olmalıdır. Eğer burun kusu çok yuvarlak ya da araç çok ince olursa üzerine güneş paneli döşemek güçlük yaratacaktır. Bazı takımlar eliptik yapıdan ziyade dörtgen bir yapı seçip köşe noktalarını yuvarlaştırma yöntemiyle panel kullanacak alanı arttırmışlardır. [12]

6.7.3. Sınır Katmanı Basınç Kaybı

Kalın yapılmış gövdelerde sınır katmanındaki basınç kaybı daha çok olacaktır. Gövdenin ertafından oluşan hava akımı sırasında, sınır katmanı kalınlığı artacaktır. Her zaman arka tarafta oluşan durgun basınç ön taraftaki durgun basınca oranla daha az olacaktır. Bu basınç kaybı arabanın arka tarafına doğru yapılan inceltimle sayesinde azaltılabilir. Arabanın maksimum genişliğini W ve kuyruk kısmına doğru yavaşça inceltildiği düşünülürse aracın en arka sımındaki genişliği WT olarak tanımlarsak sınır katmanı basınç kaybını (BLPL) aşağıdaki denklemi kullanarak doğru bir şekilde hesaplayabiliriz.

$$BLPL = \left[1 + 1,5 \left(\frac{WT}{W} \right) \left(\frac{t}{L} \right)^{1,5} + 19 \left(\frac{WT}{W} \right) \left(\frac{t}{L} \right)^6 \right] \quad (6.17)$$

Bu formül sadece kavisin $0.75W < WT < E$ olduğu durumlar için geçerlidir. Arabanın sürüklenme alanı hesaplanırken aşağıdaki denklemin kullanılması gerekir.

$$AC_{dBody} = A \left[\frac{C_{d\dot{C}st} + C_{dalt}}{2} \right] BLPL \quad (6.18)$$

Sürüklenme katsayısı, Arabanın üst kısmı ile alt tarafı arasındaki bağlantıya, akışın hangi bölümde düzgün akıştan düzensiz akışa geçeceğine ve yüzeyin pürüzsüzlüğüne bağlı olarak değişir. Örneğin panelin arabanın burun kısmından 1 m ileride başladığını, rabanın kalan bütün yüzeyde kaplandığını, arabanın alt kısmının yapısının da tekerlek kaplamalarının 0.75 m uzakta olduğunu ve yüzeydeki pürüzlülük omiktarının da 0.1 mm olduğunu varsayalım. Böylece arabanın üst kısmında akış geçişi 1 m ve alt kısmında da 0.75 m sonra başlayacaktır. Reynolds sayısını hesaplamak için arabanın gidiş hızına ihtiyacı vardır. Bu hızında 88.5 km/saat olduğunu düşünelim. Reynolds sayısı;

$$Re = \frac{(24.6)(5)}{1,46 \times 10^{-5}} = 8,432 \times 10^6$$

şeklinde hesaplanacaktır. Buna göre sürüklenme prüssüz bir yüzey için sürüklenme katsayısı bulunması gerekirse;

$$C_{üst} = \frac{1.328}{\sqrt{Re}} \sqrt{\frac{1}{5}} + \frac{0.072}{(Re)^{0.2}} \left[1 - \left(\frac{1}{5} \right)^{0.8} \right] = 0,00235$$

$$C_{alt} = \frac{1.328}{\sqrt{Re}} \sqrt{\frac{0,75}{5}} + \frac{0.072}{(Re)^{0.2}} \left[1 - \left(\frac{0,75}{5} \right)^{0.8} \right] = 0,00249$$

bu hesaplama prüzlü yüzey için hesaplanması gerekirse de ;

$$C_{üst} = \frac{1.328}{\sqrt{Re}} \sqrt{\frac{1}{5}} + \frac{5-1}{5} \left[1,89 - 1,62 \log_{10} \left(\frac{0,0001}{5} \right)^{-2,5} \right]$$

$$C_{alt} = \frac{1.328}{\sqrt{Re}} \sqrt{\frac{0,75}{5}} + \frac{5-0,75}{5} \left[1,89 - 1,62 \log_{10} \left(\frac{0,0001}{5} \right)^{-2,5} \right]$$

Yukarı kısımda biraz daha fazla düzgün akış gerçekleşecektir, bu sebepten dolayı arabanın üst kısmında alt kısmına oranla biraz daha az miktarda sürüklenme katsayısı olacaktır. Arabanın sürüklenme alanı yaklaşık olarak;

$$AC_{dgövde} = (23,18) \left(\frac{0,00308 + 0,00323}{2} \right) 1,046 = 0,0765 m^2$$

Bu güneş arabaları için oldukça iyi bir dizayn olacaktır. Geriye kalan sürüklenme tekerleklerden, tekerlek kaplamalarından ve bunlara oranla daha az bir miktarda da olsa sürücü kubbesinden kaynaklanacaktır. [9]

6.7.4. Gövde Yüzeri Üzerindeki Açısal Değişimler

Gövde üzerindeki açısal değişiklikler aerodinamği açısından istenmeyen bir olaydır, ancak güneş arabasının dizaynı sırasında başka açılardan bu gerekebilir. Yüzey üzerinde yapılacak olan açısal değişiklikler sürüklenme alanının artmasını sağlayacaktır.

Eğer açısal değişim 5° den az olursa aerodinamik sürüklenme oranında çok fazla değişiklik olmaz. Daha yüksek orandaki açısal değişiklikler sürüklenme alanının artmasına neden olacaktır. Eğer arabanın üzerinde yapılan açısal değişikliğin olduğu bölgenin genişliği b olarak tanımlarsa sürüklenme alanı üstündeki artış aşağıdaki denklemde olduğu gibi hesaplanır.

$$AC_d = (0,3m) \sin(\theta) b (\Delta C_D) \quad (6.19)$$

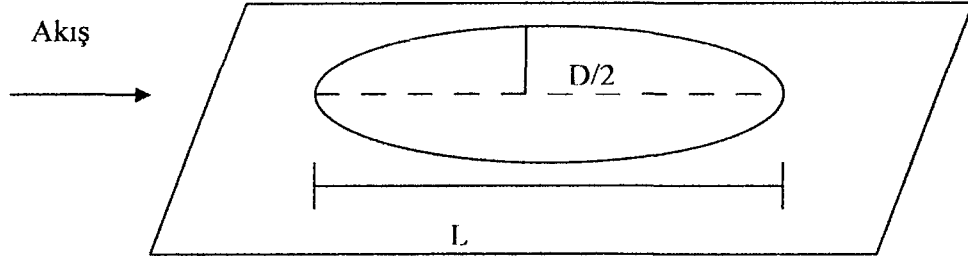
Tablo 6.3. Yüzey üzerindeki açısal değişim

$\theta < 5^\circ$	$\Delta C_D = 0,00$
$\theta = 10^\circ$	$\Delta C_D = 0,10$
$\theta = 15^\circ$	$\Delta C_D = 0,20$
$\theta = 20^\circ$	$\Delta C_D = 0,25$
$\theta = 30^\circ$	$\Delta C_D = 0,35$
$\theta = 45^\circ$	$\Delta C_D = 0,50$
$\theta > 60^\circ$	$\Delta C_D = 0,75$

6.8. Sürücü Kubbesi Sürüklenmesi

Sürücü kubbesi üzerindeki sürüklenmeyi hesaplayabilmek için, öncelikle kubbe için kullanılacak şekil belirlenmeli ve o şekle benzer olan şekiller hakkında bilgi toplanmalıdır. Çoğu kubbe eliptik olata dizayn edilmiştir. Yarı eliptik modelleme üzerinde olan sürüklenme en iyi yaklaşım olacaktır. Analizler sırasında kubbenin

genişliğinin yüksekliği ile aynı olduğu varsayılır. Analiz yapılırken genişliği yüksekliğin yarı ile iki katı arasında tutmak uygun olabilir. Çoğu kubbe tasarımı bu şekilde yapılır.



Şekil 6.9 Sürücü kubbesi kesiti

Yukarıdaki Şekil 6.9'da görüldüğü gibi D eliptik şeklin çapını, L ise boyunu vermektedir. Aşağıdaki tabloda kubbe boyunun çapına oranla sürüklenme alanı değişimi bulunmaktadır.

Tablo 6.4. Eliptik sürücü Kubbeleri

L/D	AC_D
1.0	$(7.85 \times 10^{-2}) LD$
2.0	$(2.36 \times 10^{-2}) LD$
3.0	$(1.02 \times 10^{-2}) LD$
4.0	$(5.89 \times 10^{-2}) LD$
5.0	$(3.93 \times 10^{-2}) LD$
7.0 ve fazlası	$(0.0157)D^2$

Kubbe sürüklenmesine ek olarak, akışın kubbe etrafından dolaşmasının yarattığı karşı sürüklenme kuvveti de doğacaktır. Bununun için kubbe içerisinde düzensiz akıştan oluşan sürüklenmeyi arabanın sürüklenme etkisine katmak gerekir. Kubbe altında kalan gövde alanının sürüklenmeye etkisi yoktur. Bu bölüm sürüklenme alanına kubbenin maruz kaldığı düzensiz akış altındaki sürüklenme etkisi olarak katılır. Karşı sürüklenmenin etkisinin kubbenin ölçüleriyle orantılamak kabul edilebilir bir yaklaşımdır.

Sürüklenme alanı hesaplanırken öncelikle gövdenin sürüklenme hesabı yapılmalı daha sonra ek parçaların sürüklenme kuvvetleri buna eklenerek toplam sürüklenme alanı hesaplanmalıdır. Her bir parça konuluşunda sürüklenme alanı biraz daha artacaktır.

Daha önceki takımlarda denenmiş ve tasarımcılar tarafından karar verilmiş ideal sürücü kubbesi şekli için boy çap oranısı 5-1 olmalıdır. Güneş arabasının ön tarafından bakıldığı zaman küçük çaplı bir eliptik görüntü olmalıdır. Yan tarafından bakıldığında ise geniş kaplı bir eliptik görünmelidir. İdeal bir kubbe şekli eliptik bir şekil ile karşılaştırıldığında oldukça düşük bir sürüklenme etkisine maruz kalmalıdır. Ancak unutulmamalıdır ki kubbenin büyüklüğü gövde alanından birçok yer alacağından panel alanı küçülecektir. Çoğu güneş takımı şekli daha eliptik yapıda tutabilmek için idealden uzaklaşarak biraz daha kaba bir kubbe yapısı tercih ederler. Tablo 5.6 da ideal şekiller için verilmiş düzeltme faktörleri bulunmaktadır. Sürüklenme alanı hesaplanırken eliptik için kullanılan formüllerin yanı sıra sonuç kubbe için oluşturulmuş düzeltme faktörüyle çarpılmalıdır.

Tablo 6.5. Kubbeleri idealleştirmek için kullanılan düzeltme faktörleri

Kaba Ön-Kaba Arka	1.0
İdeal Ön-Kaba Arka	0.667
Kaba Ön İdeal Arka	0.357
İdeal Ön-ideal Arka	0.256

Tasarımcı kubbe şeklini ideal mi ? yoksa kaba mı? Yapacağına kendisi karar vermelidir. Diğer bir düzeltme faktörü kubbenin genişliği için kullanılabilir. Eğer genişlik w ve yükseklik $D/2$ ise kubbenin genişliği için kullanılması gereken düzeltme faktörü;

$$DüzeltilmeFaktörü = \sqrt{\frac{w}{D}} \quad (6.20)$$

şeklinde olmalıdır. [9]

6.9. Tekerlek Sürüklenmesi

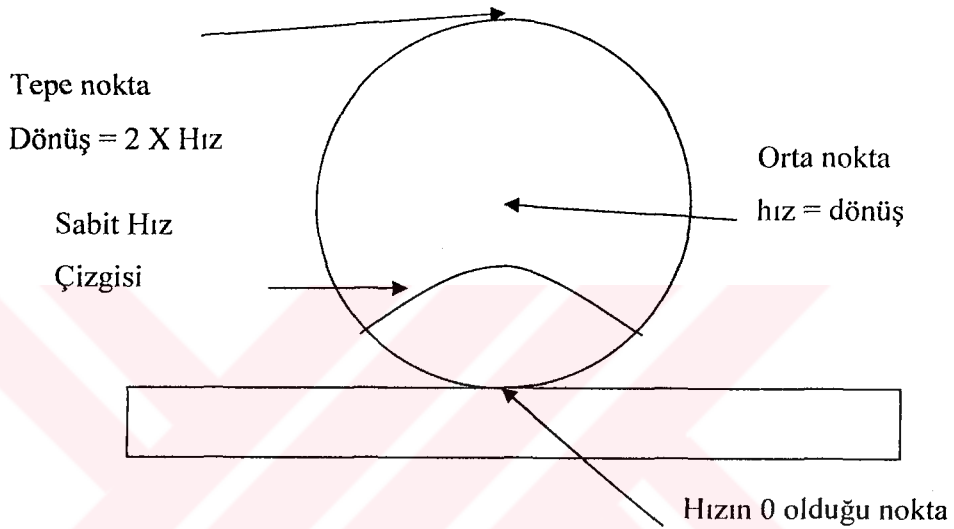
Eğer tekerlek ve muhafazalarının dizaynı iyi yapılmazsa bunlar üzerinde gerçekleşecek olan akış aracın sürüklenmesini %20 artmasına neden olacaktır. Kötü bir dizayn sayesinde gövde üzerinde akışın daha fazla olmasına rağmen burada oluşacak olan sürüklenme araba için en önemli sürüklenme olacaktır. Bu sebepten dolayı bu parçaların arabaya yerleştirilmesi çok büyük önem kazanır. Tasarımcının tüm odaklanmasını kubbe ve gövde üzerine gerçekleştirmesi çok büyük olacaktır. Unutulmamalıdır ki sadece bir kubbe olmasına karşın arabada 3 veya 4 tane tekerlek bulunacaktır.

Genellikle tekerlek mümkün olduğuna gövde içine sokulur ve muhafazaların küçük bir alan kaplaması sağlanır. Bu kaplama üzerinde oluşacak olan sürüklenmenin azalmasını sağlar. Bu sebepten dolayı, örneğin arabanın zemininden olan yüksekliği 25 cm ise (arabanın alt bölümünün düz olduğu düşünülürse) kaplamalar 15 cm civarında olmalıdır. Tekerlek kaplamaları aerodinamiği uygun ve arabanın ön yüzey alanını arttırmamak için mümkün olduğunca küçük olmalıdır. İdeal bir tekerlek muhafazası yan taraftan da bakıldığı zaman sürücü kubbesini andırmalıdır. Muhafazaların arabayla olan bağlantısını sağlayan ara yüz mümkün olduğunca geniş çapta olmalıdır. Çünkü bu muhafazaların tekerlekle birlikte döneceği düşünülmelidir.

Tekerlek muhafazaları tekerleğin etrafına neredeyse değecek kadar sıkıca kaplanmalıdır. Bunun sebebi ise bu bölümden arabanın içine hava akışını önlemektir. Tekerlek aralıklarından arabanın içerisine doğru oluşacak akım havalandırma sürüklenmesinin ana kaynağı olacaktır. Sıkı kaplanmış muhafazalar ve kapatılmış tekerlek aralıkları sayesinde havalandırma sürüklenmesini minimize etmek mümkündür.

6.9.1. Tekerleğin Muhafazasız Alanı

Tekerleğin muhafasız olduğu tüm bölümlerde akış ayrılığı olacaktır. Tekerlekle cant arasında bulunan bu korumasız alanı pürüzsüz bir yüzey yardımıyla kapatmak mümkün olacaktır. Muhafazalar yardımıyla oldukça büyük bir alanı kapatmak mümkün olsa da bütün hava akışı için sızdırmazlık mümkün olmayacaktır.

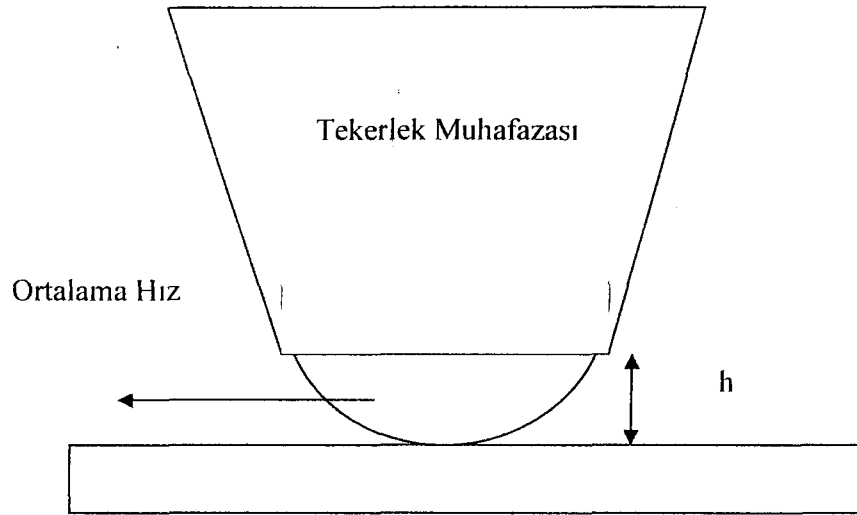


Şekil 6.10 Muhafazasız teker için sürüklenme

Şekil 6.10 da görüldüğü gibi tekerleğin zemine değdiği noktada hız 0 dır. Sürüklenme katsayısı korumasız tekerlek ve lastikler için muhafazalı tekerleklere oranla daha yüksek olacaktır. Tekerlek muhafazaları arabanın hızıyla aynı şekilde hareket eder, fakat tekerleğin yola yakın olan bölümlerinde hız çok düşüktür. Aerodinamik sürüklenme hızın karesi ile doğru orantılıdır bu yüzden tekerleklerin optimum bir bölümünü muhafazasız bırakmak gerekir. Eğer lastik çapının R , arabanın gidiş hızının V_{araba} , lastiğin ortalama hızını V_{lastik} ve bulmak istediğimiz noktanın zeminden olan yüksekliğini h olarak alırsak;

$$V_{lastik} = V_{araba} \left(\frac{h}{2R} \right) \quad (6.21)$$

olarak hesaplanabilir.



Şekil 6.11 Tekerlek Hızı

Şekil 6.11 de görüldüğü gibi tekerleğin muhafazaya kadar olan kısmı h ve tekerleğin genişliği b olarak alınırsa tekerleğin ön yüzey alanı hb kadar olacaktır. Tekerlek üzerinde ortalama hızla giderken sürüklenme alanı ise $AC_d = 2hb$ kadar olacaktır. Arabanın hızına bağlı olarak oluşan sürüklenme kuvveti ise aşağıdaki denklemde görüldüğü gibidir.

$$SürüklenmeKuvveti = \frac{1}{2} \rho V_{araba}^2 \left(\frac{h^2}{4R^2} \right) (2hb) = \frac{1}{2} \rho V_{araba}^2 \left(\frac{h^3 b}{2R^2} \right) \quad (6.22)$$

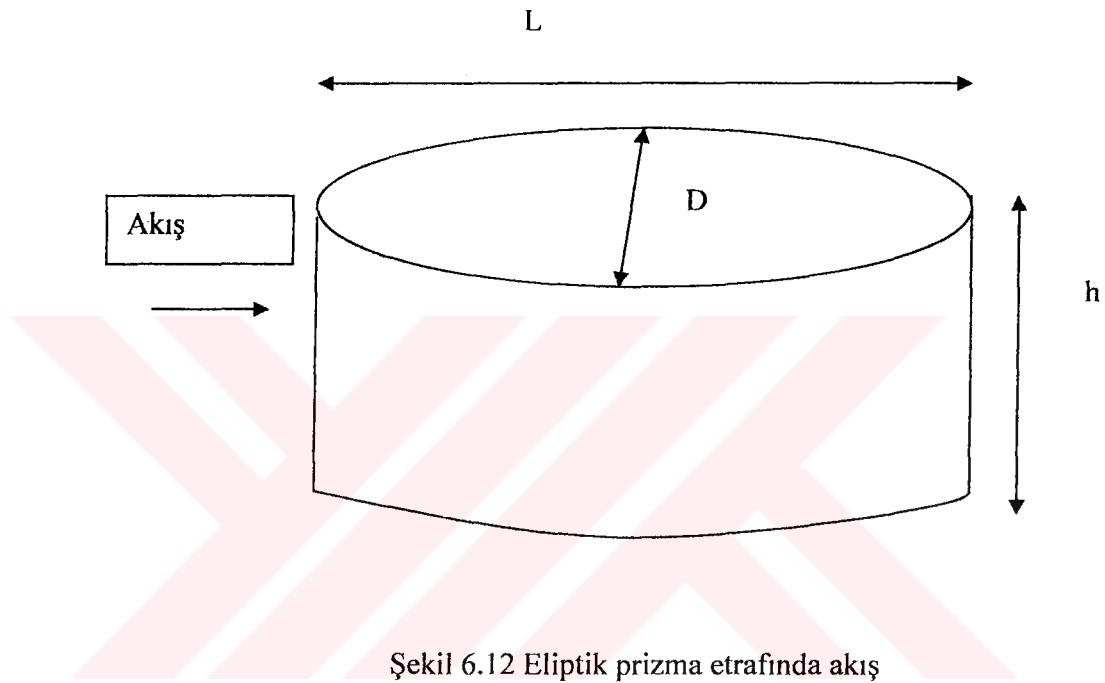
Korumasız alan olan hb 'yi küçültmek ya da tekerleğin R yani tekerleğin çapını büyütmek açıkta kalan tekerleğin ortalama hızını düşüreceğinden dolayı direk olarak sürüklenme alanının azalmasını sağlayacaktır. Tekerleğin korumasız alanı için sürüklenme alanı;

$$AC_d = \left(\frac{h^3 b}{2R^2} \right) \quad (6.23)$$

şeklinde olacaktır. [9,10]

6.9.2. Muhafazalı Alan

Tekerlek muhafazaları üzerindeki sürüklenme hesaplanırken kubbe üzerindeki hesaplama benzer bir yöntem kullanılır. Ancak muhafazaların şekli elipsoidden ziyade eliptik prizmaya benzer. Eliptik prizma için uzunluğun L , genişliğin D yüksekliğin h olduğu düşünülürse sürüklenme alanı şekil 5.12 ve tablo 5.7 deki gibi hesaplanır.



Şekil 6.12 Eliptik prizma etrafında akış

Tablo 6.6. Eliptik tekerlek muhafazaları

L/D	AC_d
1.0	$0.5 hL$
2.0	$0.15 hL$
3.0	$0.067 hL$
4.0	$0.040 hL$
5.0	$0.025 hL$
7.0 ve fazlası	$0.1 hD$

Eliptik tekerlek muhafazaları için en iyi şekil olduğu söylenemez. En uygun olarak kanat profili kullanmak gerekir ancak kanat profilini gövde ve şasiye monte etmek çok daha zordur. [9]

6.10. Havalandırma

Sürücü, aküler, motor ve diğer elektronik ekipmanlar ısınmadan korunmak için havalandırmaya ihtiyaç duyacaklardır. Havalandırma her zaman arabanın sürüklenmesini arttıracaktır. Kontrolsüz olarak yerleştirilmiş havalandırmalar arabanın sürüklenmesinde büyük yer tutacaklardır. Bu sebepten dolayı havalandırma sadece gerçekten gerekli olan kısımlara konulmalıdır.

Arabanın içerisine en çok hava akışı tekerlek muhafazalarının arasından gelecektir. Bu bölümde sürücünün temiz hava alması için ufak delikler bırakılacaktır. Gövde içerisine giren havanın hızı 0 dan arabanın hızına ulaşana kadar artacaktır. Arabanın içerisine giren havanın yarattığı kütle kinetik enerjinin artmasına neden olacaktır ve bu enerji arabanın güç sisteminden karşılanacaktır. Arabanın içerisindeki kütle akışı oranı m olursa güç gereksinimi aşağıdaki denklemde olduğu gibi hesaplanır.

$$Güç = \frac{1}{2} m V^2 \quad (6.24)$$

Arabanın 90 km/saat hızla gittiği düşünülürse içeriye giren hava akışının saniyede 1 m³ fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü 1 m³ lük hava 1 kg kütlede daha fazla olacaktır. Kötü tasarlanmış bir arabada kütle akışı oranı 1 kg/saniye olur ve bu 300 W lık bir gücü denk gelir. Bu sebepten dolayı içeriye girecek olan hava kontrolünü sağlamak çok önemlidir.

Güneş arabalarında havalandırma sistemleri sürücünün yüzünü ve ensesini soğutacak kadar açılıp kapanabilir delikler oluşturarak yapılmalıdır. Akü soğutması ise tekerlek aralıklarından gelecek olan hava ile sağlanmalıdır.

Arabanın içerisine girecek olan hava miktarını azaltmak için tekerlek muhafazalarını tekerleğin dönebilmesi için yeterli olacak kadar ufak yapmak gerekir. Genellikle muhafazaların gövdeye bağlanan kısımları kum saati şeklinde dizayn edilerek içeri giren hava akımını minimuma indirmek mümkün olabilir.

Tablo 6.7. Havanlandırma etkisi

	Kapalı Alan	Açık Alan
Akışa Dik Delik	$AC_d = (0.26)A$	$AC_d = (0.52)A$
Akışa Paralel delik	$AC_d = (0.065)A$	$AC_d = (0.13)A$

6.11. Kanat Ucu Sürüklenmesi

Gövdenin köşe kısımları orada bir girdap oluşmasını sağlar. Bu da sürüklenme kuvvetinin artmasına neden olur. Bu tip olaylar uçak kanatlarının ucunda da meydana geldiği için güneş arabalarındaki bu sürüklenme kuvvetine de kanat ucu sürüklenmesi denir. Bu sürüklenmeyi en aza indirmek için, gövdeyi yükselmeyi engeleyecek şekilde konumlandırmak gerekir. Yerden yükselmesini engellemek kanat ucu sürüklenmesinde en önemli faktördür. Güneş arabalarının gövdesini bu şekilde konumlandırmak için bir çok deneme yapılması gerekir.

Arabanın köşe kısımlarını yuvarlatmak için uzun çaplı eğimler verilmelidir. Arabanın uzunluğunu L olarak ve maksimum kalınlığın t olduğunu ve yuvarlatılmış köşeler arasında kalan kısmın uzunluğunu t_{eff} (en düşün $t_{eff} = t/2$) olarak kabul edersek. Burada oluşacak olan kanat ucu sürüklenmesi aşağıdaki denklemde olduğu gibi hesaplanabilir. [12]

$$AC_d = \left(\frac{\pi}{4} t_{eff} L \right) (0.15) \left(\frac{t_{eff}}{L} \right)^2 \quad (6.25)$$

7. “ENERJİ – 1” GÜNEŞ ARABASININ AERODİNAMİĞİ

“Enerji – 1” güneş arabasının aerodinamik hesaplamalarını yaparken Bölüm 6’te anlatılan denklemler kullanılmıştır.

7.1. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Gövde Şekli

7.1.1. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Gövde Sürüklenme Katsayısı

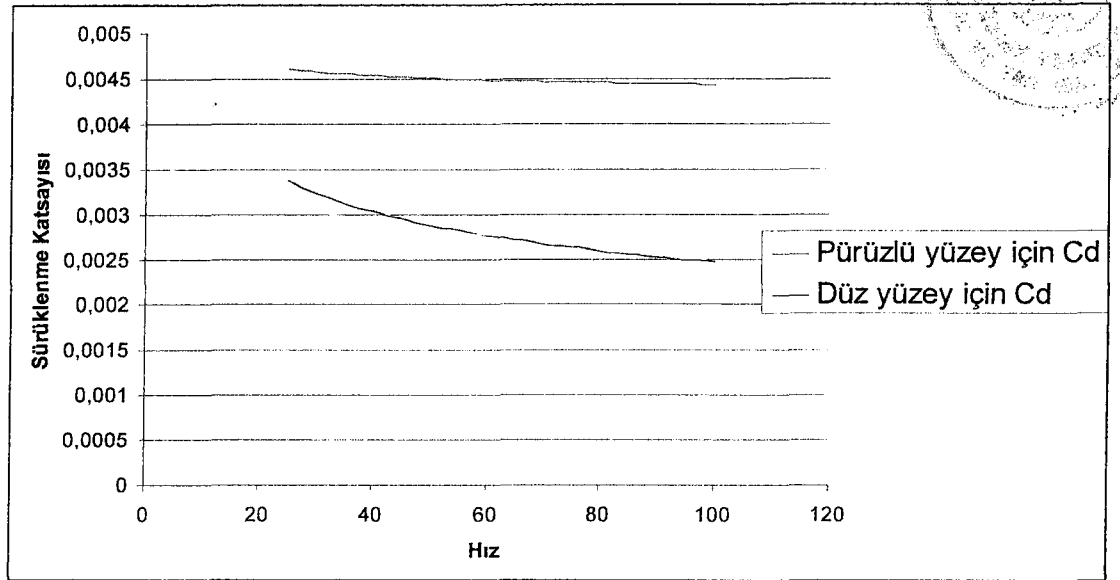
Tablo 7.1 “Enerji – 1” güneş arabası Sürüklenme Katsayısı Tablosu

Değişkenler		Birim		Birim
Arabanın Uzunluğu	4,5	m		
Arabanın Hızı	75	km/saat	20,833333	metre/saniye
Kinematik Vizkozite	1,46E-05			
Prüz yüksekliği	5,00E-04		0,5	mm
Üst bölümdeki Sınır Katmanı Geçiş	9,00E-01	m		
Alt Bölümdeki Sınır Katmanı Geçiş	5,00E-01	m		
Bölgesel Rex	6421232,9			
Bölgesel Sürüklenme Katsayısı				
Düzgün Akış ($C_{ddüzgün}$)	0,000262			
Düzensiz Akış ($C_{ddüzensiz}$)	0,0120133			
Düzensiz Prüzlü Bölgedeki Akış ($C_{ddüzensizprüzlü}$)	0,0050448			
Güneş Arabasının Sürüklenme Katsayıları				
Prüzlü Üst Bölümdeki Sürüklenme Katsayısı ($C_{düstprüz}$)	0,0042702			
Prüzlü Alt Bölümdeki Sürüklenme Katsayısı ($C_{daltprüz}$)	0,004659			
Üst Bölümdeki Sürüklenme Katsayısı ($C_{düst}$)	0,002502			
Alt Bölümdeki Sürüklenme Katsayısı (C_{dalt})	0,0027666			

Yukarıdaki Tablo 7.1’de “Enerji – 1” arabasının 75 km/saat sabit hızda giderken gövdesi üzerindeki sürüklenme katsayıları tabloları verilmiştir. Sürüklenme katsayısı arabanın hızı (V), uzunluğu (L) bunlara bağlı olarak Reynolds sayısı ile değişime uğrar.

Tablo 7.2 “Enerji – 1” arabasının hızına göre sürtünme katsayısı değişimi

Arabanın Hızı (km/saat)	Arabanın Hızı(m/saniye)	$C_{dpürüzlü}$	$C_{dpürüzsüz}$
25	6,944444444	0,004614	0,0033811
27,5	7,638888889	0,004598	0,00330747
30	8,333333333	0,004583	0,00324185
32,5	9,027777778	0,004571	0,00318282
35	9,722222222	0,004559	0,00312926
37,5	10,41666667	0,004549	0,00308033
40	11,11111111	0,00454	0,00303535
42,5	11,80555556	0,004532	0,00299378
45	12,5	0,004524	0,00295518
47,5	13,19444444	0,004517	0,0029192
50	13,88888889	0,004511	0,00288552
52,5	14,58333333	0,004505	0,0028539
55	15,27777778	0,004499	0,00282411
57,5	15,97222222	0,004494	0,00279598
60	16,66666667	0,004489	0,00276934
62,5	17,36111111	0,004484	0,00274406
65	18,05555556	0,00448	0,00272002
67,5	18,75	0,004476	0,00269711
70	19,44444444	0,004472	0,00267524
72,5	20,13888889	0,004468	0,00265433
75	20,83333333	0,004465	0,00263431
77,5	21,52777778	0,004461	0,0026151
80	22,22222222	0,004458	0,00259665
82,5	22,91666667	0,004455	0,00257891
85	23,61111111	0,004452	0,00256183
87,5	24,30555556	0,004449	0,00254537
90	25	0,004447	0,00252948
92,5	25,69444444	0,004444	0,00251414
95	26,38888889	0,004442	0,0024993
97,5	27,08333333	0,004439	0,00248495
100	27,77777778	0,004437	0,00247105

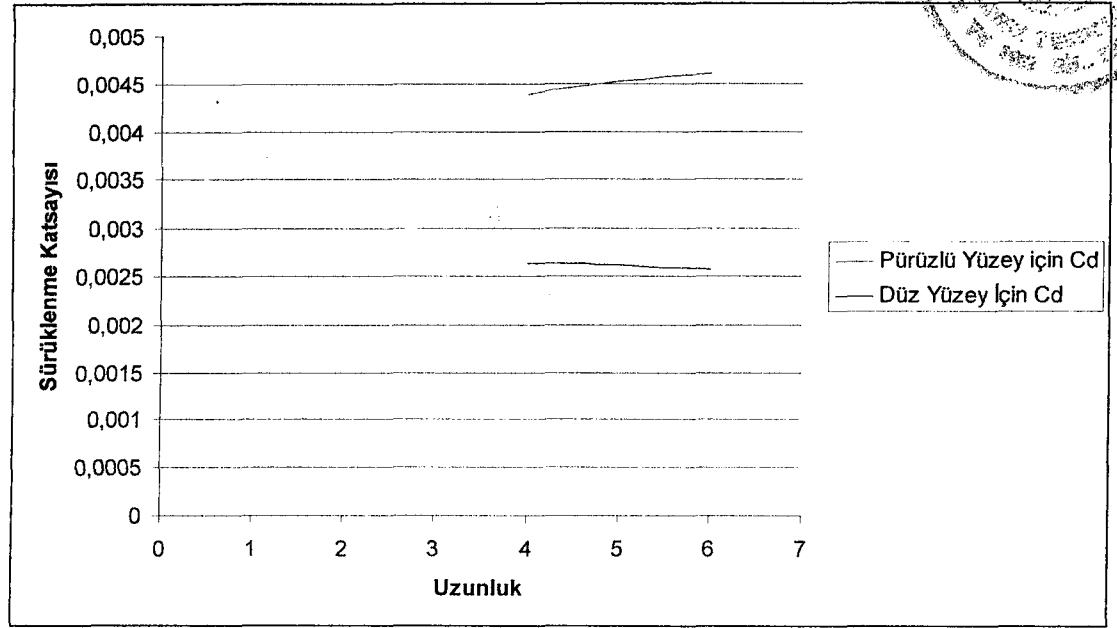


Şekil 7.1 Arabanın hızına göre sürüklenme katsayısı değişimi grafiği

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü ve Bölüm 6.7.1 'de de anlatıldığı gibi sürüklenme katsayısı pürüzlü yüzeyde hızla değişime çok az uğrarken, düzgün yüzeyde hız değişimi ciddi oranda farklılık göstermektedir. Yukarıdaki grafikte arabanın uzunluğu 4.5 m olarak alınmıştır. Arabanın boyu uzatıldığı, yüzeyin pürüzsüzlüğü sağlandığı sürece sürüklenme katsayısında düşüş sağlanabilir.

Tablo 7.3 "Enerji – 1" güneş arabasının 75 km/saat sabit hızda boy – sürüklenme katsayısı tablosu.

Arabanın Boyu	$C_{dprüzlü}$	$C_{ddüz}$
4	0,004392065	0,002647
4,25	0,004430461	0,002641
4,5	0,004464592	0,002634
4,75	0,00449513	0,002627
5	0,004522614	0,002619
5,25	0,00454748	0,00261
5,5	0,004570086	0,002602
5,75	0,004590726	0,002593
6	0,004609646	0,002584

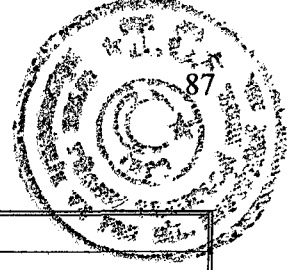


Şekil 7.2 “Enerji – 1” Arabasının Uzunluk – Sürüklenme Katsayısı Grafiği

Şekil 7.2’de de görüldüğü gibi düzgün akış içerisinde hareket eden arabanın uzunluğu arttıkça süzgülü bir yüzey sağlandığı ölçüde sürüklenme katsayısı buna bağlı olarak az bir miktarda olsa azalma sağlayacaktır. Pürüzlü yüzeyler için ise tam tersi geçerli olup arabanın uzunluğu ve buna bağlantılı olarak pürüz yüzeyi genişledikçe aracın maruz kaldığı sürüklenme katsayısı artacaktır.

7.1.2. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Gövde Yüzey Alanı

“Enerji – 1” güneş arabasının yukarıdan bakıldığı zaman oluşan şeklini karelere ayırma yöntemi kullanarak yüzey alanını hesaplayabiliriz. Uzunluğunun 4.5 m ve toplam genişliğinin 2 m olduğunu düşündüğümüz zaman, 36 parçalık karelere bölersek her bir kare 0.25 m^2 olacaktır. İlk uzunluğunun 0.5 m lik bölümde bu kareler tam bir kare olmayacaktır. Sıfır referans noktasından genişliğin -0,5 m ve +0.5 m arasında bulunan kareler yaklaşık olarak tam karenin %90’ı büyüklüğünde, genişliğin -0.5 m ile -1 m ve 0.5 ile 1 metre arasında olan bölümler ise yaklaşık olarak %40 tam kare büyüklüğünde olduğunu kabul ederek ortalama bir yukarıdan bakış alanı hesaplayabiliriz.



Tablo7.4 “Enerji – 1” güneş arabasının ölçüleri

Değişkenler		Birim
Arabanın Uzunluğu	4,5	m
Arabanın Kalınlığı	0,45	m
Sürücü Kubbesi Uzaklığı	0,9	m
Ön Tekerlek Uzaklığı	0,5	m

$$YukarıYüzeyAlanı = 0.25(32 + 2(0,9) + 2(0,4)) = 8,65m^2$$

olarak hesaplanır. “Enerji – 1” güneş arabası için seçilen NACA64A410 kanat profilinin maksimum kalınlık oranı %10 olduğu düşünüldüğü zaman “Enerji – 1” arabasının maksimum kalınlığı 45 cm olacaktır. Buna göre denklem (28)’de verildiği gibi “Enerji – 1” güneş arabasının toplam yüzey alanını hesaplırsak;

$$YüzeyAlanı = 2(8,65) \left[1 + 2 \left(\frac{0,45}{4,5} \right) + 60 \left(\frac{0,45}{4,5} \right)^4 \right] = 20,8638$$

olur.

7.1.3. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Sınır Katmanı Basınç Kaybı

“Enerji – 1” güneş arabasının gövde yapısı ilk 0.5 m den sonra düz bir şekilde devam etmektedir. Buna göre sınır katmanındaki basınç kaybı hemen hemen gövdenin tamamında aynı olarak kalacaktır. Denklem (29) da verildiği gibi “Enerji – 1” güneş arabasında oluşacak olan sınır katmanı basınç kaybını hesaplırsak;

$$BLPL = \left[1 + 1,5 \left(\frac{2}{2} \right) \left(\frac{0,45}{4,5} \right)^{1,5} + 19 \left(\frac{2}{2} \right) \left(\frac{0,45}{4,5} \right)^6 \right] = 1,047453$$

olacaktır.



7.1.4. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Gövde Sürüklenme Alanı

Bölüm 7.1.1, 7.1.2 ve 7.1.3 te elde edilen sonuçlardan yararlanarak ve denklem (30)’u kullanarak “Enerji – 1” güneş arabasının gövdesine ait toplam sürüklenme alanını hesaplamamız mümkün olabilir. Buna göre 75 km/saat hızda ilerlerken düzgün bir yüzeye sahip “Enerji -1” güneş arabasının toplam sürüklenme alanı;

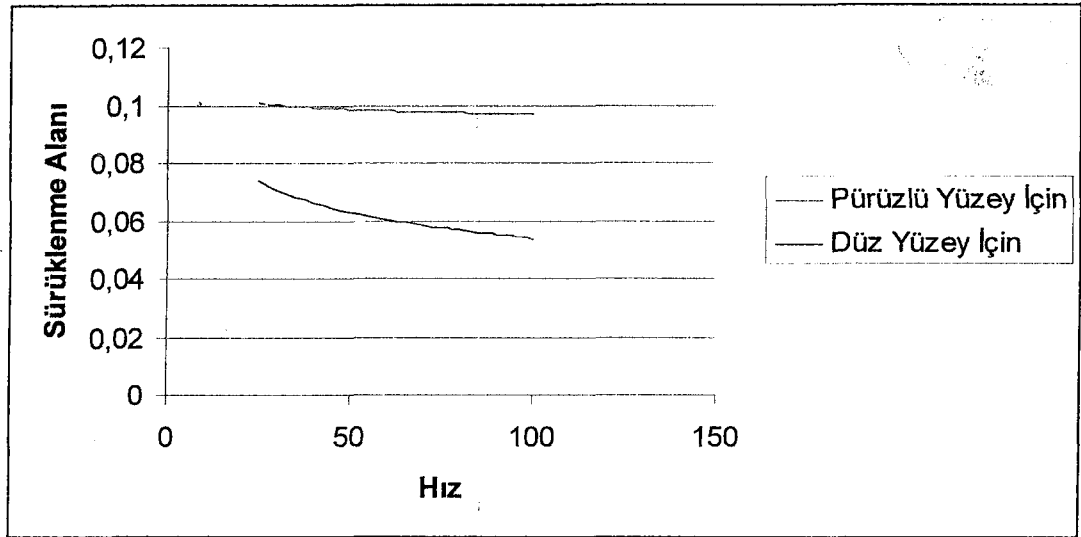
$$AC_{dBody} = 20,8638 \left[\frac{0,002502 + 0,002767}{2} \right] 1,047453 = 0,05757 \text{m}^2$$

olacaktır. Eğer arabanın yüzeyinde prüz olduğu düşünülürse toplam gövde sürüklenme alanı 0,097569 m² olacaktır.



Tablo 7.5 “Enerji – I” güneş arabasının hız – AC_d tablosu

Arabanın Hızı (km/saat)	Arabanın Hızı(m/saniye)	ACdpürüzlü	ACdpürüzsüz
25	6,944444444	0,10084064	0,073890132
27,5	7,638888889	0,100480353	0,072280866
30	8,333333333	0,100166097	0,070846986
32,5	9,027777778	0,099888838	0,069556836
35	9,722222222	0,099641842	0,068386398
37,5	10,41666667	0,099419978	0,067317045
40	11,11111111	0,099219253	0,066334063
42,5	11,80555556	0,09903651	0,065425644
45	12,5	0,098869216	0,064582175
47,5	13,19444444	0,098715309	0,063795737
50	13,88888889	0,098573095	0,063059733
55	15,27777778	0,098318334	0,061717673
57,5	15,97222222	0,098203604	0,061102881
60	16,66666667	0,098096121	0,060520771
62,5	17,36111111	0,097995154	0,059968334
65	18,05555556	0,097900069	0,059442947
67,5	18,75	0,097810317	0,058942309
70	19,44444444	0,097725417	0,058464391
72,5	20,13888889	0,097644948	0,058007397
75	20,83333333	0,097568536	0,057569727
77,5	21,52777778	0,097495851	0,057149955
80	22,22222222	0,097426602	0,056746799
82,5	22,91666667	0,097360524	0,056359108
87,5	24,30555556	0,097236968	0,055626059
90	25	0,097179088	0,055278903
92,5	25,69444444	0,097123571	0,054943596
95	26,38888889	0,09707026	0,054619425
97,5	27,08333333	0,097019012	0,054305739
100	27,77777778	0,096969699	0,05400194



Şekil 7.3 “Enerji – 1” Arabasının Hız – Sürüklenme Alanı Grafiği

Şekil 6.3’te de görüldüğü gibi Hız-Sürüklenme Alanı grafiği sürüklenme katsayısı ile aynı şekilde değişiklik göstermektedir. Düzgün yüzeyler için yüksek hız sürüklenme alanının düşmesinde büyük önem taşımaktadır.

7.2. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Sürücü Kubbesi Sürüklenmesi

“Enerji – 1” güneş arabasının sürücü kubbesi dizaynında eliptik yapı esas alınmıştır. Kubbenin uzunluğu eliptik çapının 2.5 katı alınarak oluşturulan bu kubbeye ait özellikler aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Kubbenin önden görüntüsü kaba bırakılarak ve yan görüntüsü idealize ederek aerodinamik sürüklenme katsayısı düşürülmüştür.

Tablo 7.6 “Enerji – 1” güneş arabasının sürücü kubbesi özellikleri

Değişken		Birim		Birim
Kubbe Uzunluğu	1,5	m	150	cm
Kubbe Genişliği	0,4	m	40	cm
Kubbe Kalınlığı	0,3	m	30	cm

Tablo 6.5’te verilen ve Tablo 6.6’da verilen bilgileri kullanarak “Enerji – 1” güneş arabasının sürücü kubbesi sürüklenme alanını hesaplırsak;

$$AC_d = (1,69 \times 10^{-2})(1,5)(0,6)(0,357) \sqrt{\frac{40}{60}} = 0,00443 m^2$$

olarak bulunur.

7.3. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Tekerlek Sürüklenmesi

“Enerji – 1” güneş arabasının tekerlek sürüklenmesi Bölüm 5.9 ‘da anlatılanlara uygun olarak tasarlanmıştır. Üç tekerlekten oluşacak olan “Enerji – 1” in tekerlek muhafazaları eliptik prizma şeklinde dizayn edilerek hava akışını önlemek amacıyla mümkün olduğu kadar sıkı yapılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde tekerlek yapısına ve tekerlek muhafazası ölçülerine dair ayrıntılı bilgiler ve bunlara ait sürüklenme alanı hesapları yer almaktadır.

7.3.1. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Açık Tekerlek Sürüklenmesi

Tablo 7.7 “Enerji – 1” güneş arabasının Tekerlek özellikleri

Değişkenler		Birim		Birim
Tekerlek Yarıçapı (R)	9	inc	0,2286	m
Tekerlek Muhafaza Açıklığı (h)	10	cm	0,1	m
Tekerlek Genişliği (b)	8	cm	0,08	m

Tablo 7.7 de verilen değerler ve Bölüm 6.9.1 de yer alan açık tekerlek sürüklenme hesabı için kullanılan Denklem (35)’i kullanarak “Enerji – 1” güneş arabasına ait olan açık tekerlek sürüklenme hesabını yapmak mümkündür. Buna göre;

$$AC_{dlastik} = \left(\frac{(0,1)^3 0,08}{2(0,2286)^2} \right) = 0,000765 m^2$$

olarak bulunur.

7.3.2. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Tekerlek Muhafazası Sürüklenmesi

Tablo 7.8 “Enerji – 1” güneş arabasının tekerlek muhafazası özellikleri

Değişkenler		Birim		Birim
Muhafaza Üst Uzunluğu (Lüst)	280	cm	1,2	m
Muhafaza Üst Çapı (Düst)	30	cm	0,3	m
Muhafaza Alt Uzunluğu (Lalt)	48	cm	0,48	m
Muhafaza Alt Çapı (Dalt)	15	cm	0,15	m
Muhafaza Yüksekliği (h)	15	cm	0,15	m
Muhafaza Ortalama Uzunluk (Lort)	84	cm	0,84	m
Muhafaza Ortalama Genişlik (Dort)	22,5	cm	0,225	m
L/D oranı	7,28888888			

“Enerji – 1” güneş arabasına ait yukarıda verilen bilgiler ve Tablo 5.7 de verilen formüllere uygun olarak arabanın tekerlek koruması sürüklenme alanını hesaplırsak;

$$AC_{dmuhafaza} = (0,1) \times (0,225) \times (0,15) = 0,003375 \text{ m}^2$$

olarak hesaplanır. Buna göre “Enerji – 1” güneş arabasının toplam tekerlek sürüklenme alanını da;

$$AC_{dlastik} + AC_{dmuhafaza} = 0,000765434 + 0,003375 = 0,004140434 \text{ m}^2$$

olur. “Enerji – 1” güneş arabasının toplam 3 tekerleği olacağından dolayı bu sürüklenme alanının 3 katı kadar bir sürüklenme alanına sahip olacaktır. Bu de “Enerji -1” in toplam tekerlek sürüklenme alanının $0,0124213 \text{ m}^2$ olduğunu gösterir.

7.4. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Havalandırması

“Enerji – 1” güneş arabasında sürücünün sıcağıdan korunması için boynuna ve ensesi yönlerinde iki tane havalandırma deliğı konulmuştur. Bu deliklerin ölçüleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Ayrıca arabanın aküsü ve motoru için gerekli olan soğutma tekerlek aralıklarından gelen hava ile sağlanmaktadır. Buradaki yaklaşık olarak açıklık $0,03 \text{ m}^2$ civarında olacaktır.

Tablo 7.9 “Enerji – 1” güneş arabasının havalandırma özellikleri

Değişken		Birim		Birim
Sürücü Havalandırma Deliği Genişliği	3	cm	0,03	m
Sürücü Havalandırma Deliği Uzunluğu	10	cm	0,1	m
Tekerlek Açıklıkları Toplam Alanı	300	cm ²	0,03	m ²

Sürücü için açılmış olan havalandırma delikleri akış yönüne dik olarak bulunurken tekerlek açıklığından arabanın içerisine giren hava akışa paralel olarak hareket eder. “Enerji -1” in maruz kaldığı havalandırmadan kaynaklanan sürüklenme alanını hesaplarken Tablo 6.8 deki değerleri kullanmamız gerekir. Buna göre, sürücü için açılmış olan deliklerdeki sürüklenme alanı;

$$AC_d = 2x(0,03)x(0,1)x(0,52) = 0,0031m^2$$

ve tekerleklerin oradan gelen hava için sürüklenme alanı;

$$AC_d = (0,065)x(0,03) = 0,00195 m^2$$

olacaktır. Buna göre de havalandırmadan meydana gelen toplam sürüklenme alanı

$$AC_{dhavalandırma} = 3x(0,00195) + 0,0031 = 0,00895m^2$$

şeklinde bulunur.

7.5. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Kanat Ucu Sürüklenmesi

“Enerji – 1” güneş arabasının köşeleri aerodinamiğe uygunluğu açısından geniş çaplı olarak yuvarlaklaştırılmıştır. Bu yuvarlaklaştırılmış köşeler yaklaşık 3 cm yarıçaplı daireler yardımıyla aerodinamik yapısı uygun hale getirilmiştir. Bu sebepten dolayı arabanın ön ve arka kısımlarının kalınlığı 39 cm olur. Bu yuvarlatılmış bölümlerin yarattığı kanat ucu sürüklenmesi Denklem (37)’de olduğu gibi hesaplanabilir.

$$AC_d = \left(\frac{\pi}{4} (0,39)(4,5) \right) (0,15) \left(\frac{0,39}{4,5} \right)^2 = 0,003105m^2$$

olarak bulunur.

7.6. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Toplam Aerodinamik Sürüklenme Alanı

“Enerji – 1” güneş arabasının toplam aerodinamik sürüklenme alanının hesabı Bölüm 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 ve 7.5 te elde edilen sonuçların toplanmasıyla hesaplanır. Buna göre 75 km/saat hızla ilerlerken toplam sürüklenme alanı;

1) Gövde sürüklenmesi Alanı	= 0,05757 m ²
2) Sürücü Kubbesi Sürüklenme Alanı	= 0,00443 m ²
3) Tekerlek ve Tekerlek Muhafazası Sürüklenme Alanı (3 Tekerlek)	= 0,00414 m ²
4) Havalandırma Sürüklenme Alanı	= 0,00895 m ²
5) Kanat Ucu Sürüklenme Alanı	= 0,00310 m ²
6) Toplam	= 0,07819 m ²

olarak bulunur.

8. LASİTKLER ve YUVARLANMA DİRENCİ

Yuvarlanma direnç kuvveti taşıt tekerleğinin yuvarlanma sırasında yol ve lastiklerdeki şekil değiştirmelerden kaynaklanır. Yuvarlanma direnci yol ile tekerleğin değişik durumları için ayrı ayrı incelenir. Bu durumlar;

- Demiryolu taşımacılığında olduğu gibi; rijit tekerlek- rijit yol,
- Şu anda pek karşılaşılmamakla birlikte toprak zemin üzerinde hareket eden at arabasında olduğu gibi; rijit tekerlek- şekil değiştirebilen yol,
- Günümüzde kullandığımız binek otoların en çok karşılaştığı gibi; elastik tekerlek- rijit yol,
- Daha çok yol dışı (off- road) taşıtları için geçerli; elastik tekerlek- şekil değiştirebilen yol.

Sert zeminlerdeki yuvarlanma direncinin ana kaynağı yuvarlanma sırasında lastiğin karkas yapısındaki şekil değiştirmeden dolayı ortaya çıkan histerisislerdir. Diğer bir deyişle lastiğe döndürmek için verdiğimiz enerjinin tamamı dönme olayı için kullanılmamakta, bir kısmı kaybolmaktadır. Bunun yanı sıra kaymadan dolayı lastik ile yol arasındaki sürtünme, lastiğin içindeki havanın sirkülasyona (devinime) olan direnci ve lastik ile çevresindeki hava arasında oluşan fan etkisi yuvarlanma direncinin ikincil kaynaklarıdır. Yapılan deneysel çalışmalar 125~150 km/sa hızları arasında yuvarlanma direncinin %90~95'i lastiğin yapısal histerisislerinden, %2~10'u lastik ile yer arasındaki sürtünmeden ve %1.5~3.5'inin de hava direncinden kaynaklandığını göstermektedir. Radyal lastikteki yapısal histerisisler üzerine yapılan diğer bir deneysel çalışma ise bu histerisisleri %73'ünün dış kısmından, %13'ünün yan duvarlardan, %12'sinin omuz kısmından ve %2'sinin de topuk bölgesinden kaynaklandığını göstermektedir.

Lastik sert zemin üzerinde yuvarlanmaya başladığı zaman lastiğin karkas yapısı yer ile temas ettiği alanda şekil değiştirir. Bu şekil değiştirmenin sonucu lastiğin hareket yönündeki normal basınç diğer taraftaki basınçtan yüksek olur. Yani normal basınç merkezi lastik ekseninden hareket yönüne doğru bir miktar kayar. Bu kayma lastik

eksenine göre bir moment oluşturur ve bu momente yuvarlanma direnç momenti adı verilir. Serbest yuvarlanan bir lastik düşündüğümüzde tekerlek torku sıfıra eşittir ve tekerleğin denge şartının sağlanması için yer ile temas ettiği noktadan bir kuvvet etki etmek zorundadır. İşte bu yatay kuvvete yuvarlanma direnç kuvveti denir. Bu kuvvetin normal yüke oranının da yuvarlanma direnç katsayısı adı verilir. [14]

8.1. Yuvarlanma Direncine Etki Eden Faktörler

Otomobillerde kullanılan şişirmeli (pnömatik) lastiklerin yuvarlanma direncine birçok faktörün etkisi vardır. Bu faktörler lastiğin yapısı ve lastiğin çalışma koşulları olarak iki ana başlık altında incelenebilir. Buna rağmen bu faktörleri birbirinden ayrı düşünmek imkansızdır. Çünkü bir faktörün değişimi diğer bir faktörün değişimini de beraberinde getirir. Örneğin taşıtın hızının artması, lastiğin sıcaklığını artırır ve bu sıcaklık artışı da lastiğin şişirme basıncını değiştirir.

8.1.1. Lastiğin Yapısının Yuvarlanma Direncine Etkisi

Lastik üretimi radyal ve çapraz- katlı olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Lastiğin bu üretim şekli onun yuvarlanma direnç karakteristiğini veren en önemli etkindir. Yapılan ölçümler radyal lastiklerin yuvarlanma direnç katsayılarının çapraz- katlılara göre oldukça iyi olduğunu göstermiştir.

Radyal lastiğin yuvarlanma direncinin çapraz- katlıdan düşük olmasının ana sebebi çapraz- katlı lastiklerde belirli bir açı ile döşenmiş lif tabakalarının lastiği şekil değiştirmeleri sırasında birbirleri arasında bir kayma hareketi yaparak enerji kaybına sebep olmalarıdır. Çapraz- katlı lastiklerin yuvarlanma dirençleri daha yüksek olmasına karşılık yük taşıyan araçlarda halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü bu lastiklerin yük kapasiteleri radyal lastiğe göre daha yüksektir.

Lastiğin üretim tipinin yanı sıra lastiğin diş kalınlığı, diş şekli, yanak kalınlığı, yanak genişliği ve çapraz- katlı lastikte katmanların sayısı da yuvarlanma direncini etkiler. Lastiğin dişlerinin ve yanağının kalınlığı şekil değiştirmeyi zorlaştırdığından yuvarlanma direncinin artırır. Lastiğin yanak yüksekliğinin azaltılması yuvarlanma

direncini düşürür, çünkü şekil değiştiren malzeme miktarı (alan) azalır, yani daha az enerji kaybı olur. Fakat lastiğin yanak genişliğinin fazla düşürülmesi, lastiğin temel işlevlerinden olan darbeleri engelleme görevinin yapamaması ile sonuçlanır. Lastiğin lif katmanlarının sayısının artırılması da bu katanlar arasındaki kaymaların artmasına sebep olacağından yuvarlanma direncini artırır. Lastiğin dış şeklinin belirli bir kriteri yoktur. Genellikle büyük bloklar halinde dış yapılmış lastiklerin yuvarlanma direnci daha büyüktür, fakat bu küçük dişli yapılmış lastiklerin kesinlikle düşük yuvarlanma direncine sahip oldukları anlamına gelmez.

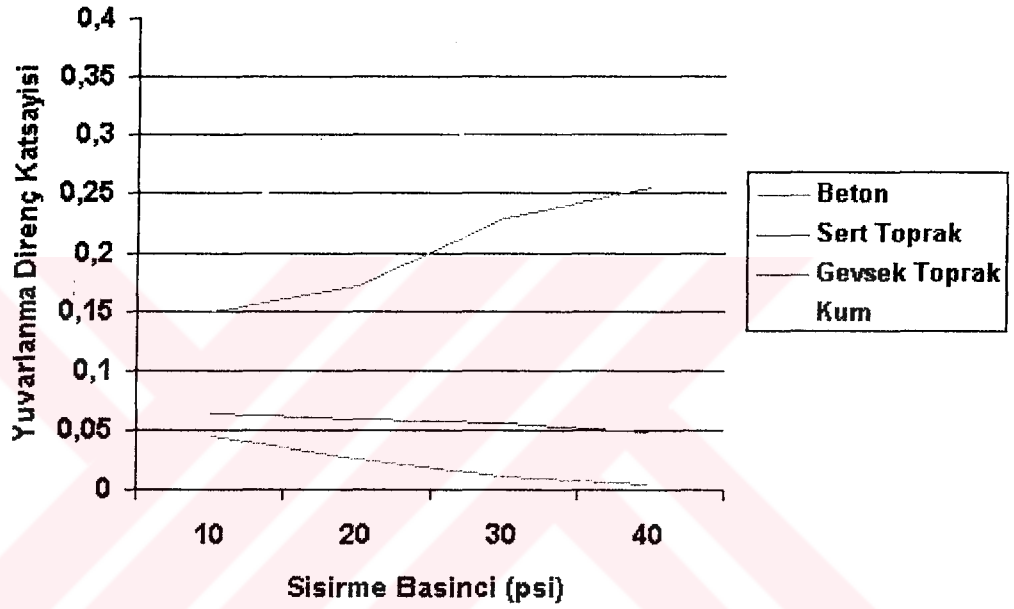
Yuvarlanma direncini etkileyen diğer bir yapısal nitelikte lastiğin yapı malzemesidir. Şu anda lastik malzemesi olarak en çok kullanılan madde sentetik kauçuktur. Sentetik kauçuğun yuvarlanma direnci doğal kauçuktan daha yüksektir, fakat doğal kauçuğun aşınma dayanımının düşüklüğü lastik malzemesi olarak kullanımını azaltmıştır. Diğer bir lastik malzemesi olan bütül kauçuk yol tutuşu ve kontrol kolaylığı bakımından sentetik kauçuktan daha iyidir, fakat yuvarlanma direnci çok daha yüksektir.

8.1.2. Lastiğin Çalışma Şartlarının Yuvarlanma Şartlarına Etkisi

Sert ve düzgün yüzeylerdeki yuvarlanma direnci bozuk yol şartlarına göre oldukça düşüktür. Yumuşak yüzeylerde yuvarlanma direncinin artmasının sebebi lastik temas alanındaki normal basıncın daha da öne kaymasıdır, yani lastik zemine batma miktarına göre küçük bir basamağı geçiyormuş gibi davranır. Bundan dolayı yumuşak zeminlerde çalışacak taşıtların lastiklerinin zemine batma miktarı, yani normal basınç şiddeti, azaltılmalıdır. Bunu sağlayabilmek için daha geniş lastikler kullanılabileceği gibi daha sonra da bahsedileceği gibi lastiğin şişirme basıncı azaltılarak temas alanı artırılabilir. Lastiğin ıslak veya karlı yollardaki davranışı da yumuşak zemindekine benzemektedir, yani bu şartlar altında da yuvarlanma direnci artmaktadır.

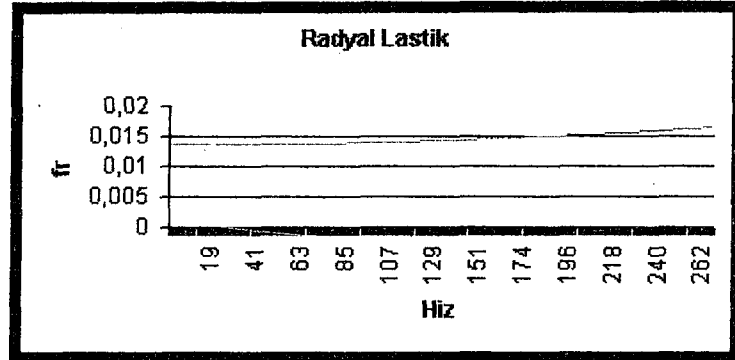
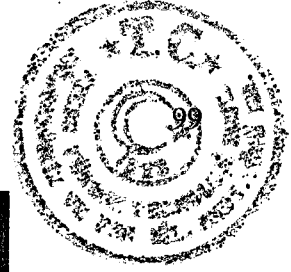
Lastik şişirme basıncı direk olarak lastiğin esnekliği ile ilgilidir. yolun yumuşaklığına göre şişirme basıncının yuvarlanma direncine olan etkisi farklı farklıdır. Sert zeminlerde şişirme basıncının yüksek olması yuvarlanma direncini düşürür. Bunun sebebi yüksek basınçta lastiğin şekil değiştirmesinin azalması yani yapısal histerisislerinin azalmasıdır. Örneğin radyal lastiğin şişirme basıncını yarıya

indirdiğimizde yuvarlanma direnci 1.27 katına çıkmasına karşın çapraz- katlıda bu oran 1.92 dir. Kum gibi yumuşak zeminlerde lastik şişirme basıncının artırılması zemine batma miktarını arttıracığı için yuvarlanma direncini Şekil 7.1’de görüldüğü gibi arttırır. Buna karşın lastik şişirme basıncının azaltılması yapısal histerisisleri arttıracığı için yumuşak zeminlerde lastik şişirme basıncının optimum bir değeri vardır ve bu değer batmaya karşı yapılan iş ile içi yapısal histerisislerden dolayı kaybolan işlerin toplamının en az olduğu noktadır.

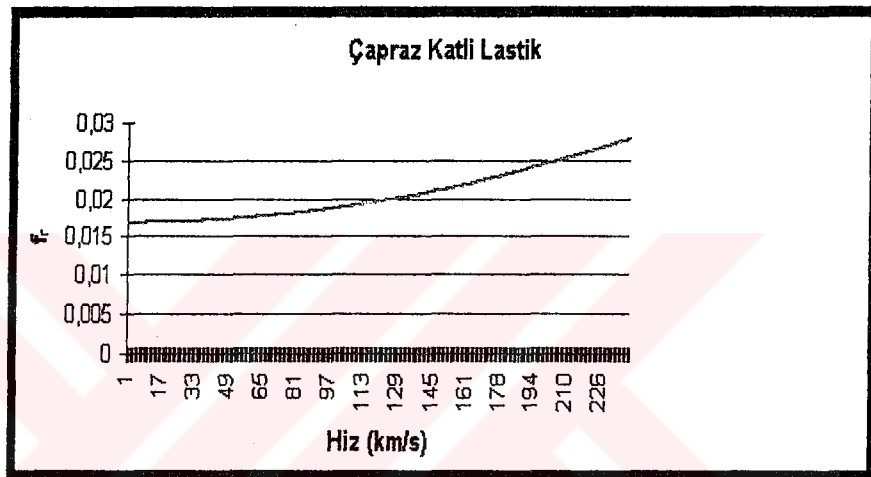


Şekil 8.1 Yuvarlanma direnç katsayısının şişirme basıncıyla değişimi

Hızın artışı ile lastiğin şekil değiştirmesi için gerekli iş ve lastiğin yapısındaki titreşimler arttığı için lastiğin yuvarlanma direncide artar. Radyal lastiğin yuvarlanma direncinin hız ile değişimi Şekil 8.2’de, çapraz- katlı lastiğinki ise Şekil 8.3’de verilmiştir.



Şekil 8.2 Radyal lastiğin yuvarlanma direnç katsayısının hız değişimi



Şekil 8.3 Çapraz- katlı lastiğin yuvarlanma direnç katsayısının hız ile değişimi.

Hız belirli bir limiti aştıktan sonra yuvarlanma direnci iyice artar. Eşik hızı da denen bu hızdan sonra lastik temas alanında oluşan şekil değiştirmeler geri normal hali olan dairesel şekline dönemez ve üstel sönümlü dalgalar oluşur. Bu dalgaların genliği lastiğin yerden ayrıldığı anda en büyüktür ve lastik çevresi boyunca üstel olarak sönümlenir. Bu dalgaların oluşumu enerji kaybını iyice artırarak ısı oluşumunu artırır ve dolayısıyla lastik yuvarlanma direncini de artırır. Bu dalga oluşumunun devam ettirilmesi yani eşik hızının üstünde seyir edilmesi sonunda lastiğin patlaması kaçınılmazdır.



8.2. Lastik Seçimi

Güneş arabalarında ortalama 90 km/saat hızda giderken toplam enerjinin %35'lik kısmı yuvarlanma direncini yenmek için harcanır. Bu değer düşük hızlarda daha da artacaktır. Örneğin bulutlu bir günde araba 45 km/saat hızlarda giderken toplam enerjinin %70'lik bir bölümü bu direncin aşılması için kullanılır.

Lastik seçimi yuvarlanma direnci için birincil faktördür. İyi lastik seçimi sayesinde yuvarlanma direnci katsayısı da düşecektir. Bu sebepten dolayı güneş arabaları için en iyi seçim güneş arabaları için yapılmış olan özel lastikler olacaktır. GM Sunraycer takımı yuvarlanma direncini anlaşılır bir hale getirmek ve uygun tekerlek seçimini sağlamak amacıyla deneyimlere dayanan bir formül geliştirmişlerdir.

$$C_{rr} = K \left(\frac{W_o}{W} \right) \left(\frac{P}{P_o} \right)^{0,3072} \left[D_w - \sqrt{D_w^2 - \frac{\left(\frac{4W}{\pi} \right) (2,456 + (0,251) D_w)}{19,58 + 597P}} \right] \quad (8.1)$$

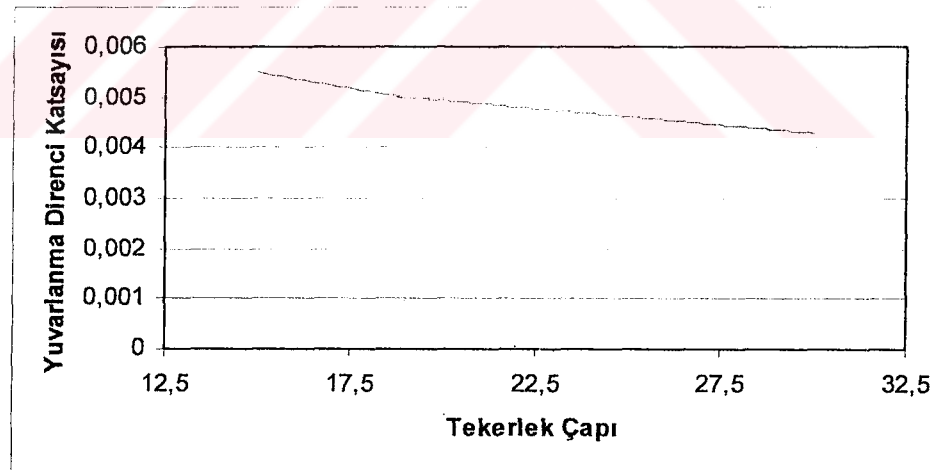
Yukarıdaki denklemde D_w lastik çapını, P lastik basıncını, W ise lastiğin üzerindeki ağırlığını göstermektedir. K sayısı ise test koşullarındaki W_o ağırlığında ve P_o basıncında yapılmış deneyler sonucu elde edilmiş bir parametredir. Bu denklem, lastik çapı (D_w) inch, lastiğin üzerindeki ağırlığı (W ve W_o) pound, lastik basıncı ise (P ve P_o) pound inch², şeklinde hesaplamaya uygun oluşturulmuştur. Yuvarlanma direnci katsayısı testler sırasında ölçülür. Tekerlek çapı D_w , testler sırasında tekerleğin basıncı P_o ve üzerindeki ağırlığı W_o ve yuvarlanma direnci kuvveti F ise K parametresi aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$K = \frac{\frac{F}{W_o}}{\left(\frac{W_o}{W} \right) \left(\frac{P}{P_o} \right)^{0,3072} \left[D_w - \sqrt{D_w^2 - \frac{\left(\frac{4W_o}{\pi} \right) (2,456 + (0,251) D_w)}{19,58 + 597P_o}} \right]} \quad (8.2)$$

K parametresinin bulunmasıyla beraber tekerlek üzerindeki ağırlığın etkisi, tekerleğin çapı, tekerleğin basıncı ve yuvarlanma direnci katsayısı değişimlerinin nasıl sonuçlar doğurduğunu izlemek mümkün olacaktır. Daha önceki yapılan çalışmalar sonucunda yuvarlanma direnci kuvvetin $F = 0.5669875$ kg, tekerlek üzerine binen ağırlığın $W_0 = 114$ kg tekerleğin basıncının $P_0 = 80$ psi ve tekerleğin çapının $D_w = 48$ cm olduğu bir güneş arabasının uygun bir yuvarlanma direncine sahip olduğu gözlenmiştir. Bu aracın yuvarlanma direnci kat sayısı da;

$$C_{rr} = \frac{F}{W_0} = \frac{1,25lb}{250lb} = 0,005$$

olarak bulunur. Tekerleğin çapını büyüterek yuvarlanma direncinin azalmasını sağlayabiliriz. Ancak tekerlek çapının büyütülmesi arabanın yüksekliğinin artması, tekerlek koruması alanlarının artması, ve tekerlek açık alınının artmasına ve bunların sonucu olarak aerodinamik sürüklenmenin artacağı hesaba katılarak en uygun olan lastik boyutu seçilmelidir.



Şekil 8.4 Tekerlek Çapı – Yuvarlanma Direnci Katsayısı

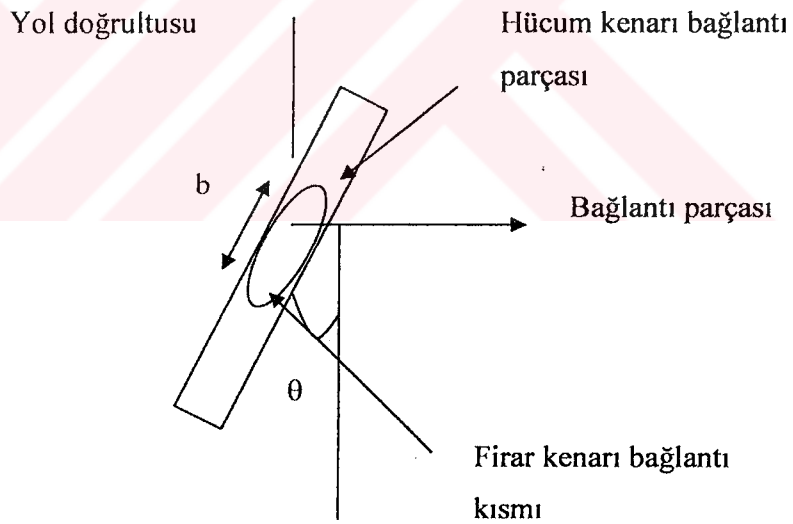
Yuvarlanma direnci katsayısı aynı zamanda tekerleğin üzerine binen ağırlıklarda ilişkilidir. Tekerleğin üzerine binen ağırlık arttıkça yuvarlanma direncide artacaktır. Ancak bu artış çok ufak olacaktır. Bütün tekerleklerin taşıyabileceği bir limit vardır ve

bu limit aşılmadığı sürece tekerleklerin yuvarlanma direnci katsayıları hemen hemen sabit oranda kalacaktır. Taşıma limiti aşılmadığı sürece yuvarlanma direncinin tekerleğin üzerine düşen ağırlıkla değişmeyeceğini söylemek yanlış olmayacaktır. [9]

Yuvarlanma direnci tekerleğin basıncı arttıkça azalacaktır. Bu sebepten dolayı yüksek basınçlı lastikler her zaman tercih edilir. Ancak her lastiğin belli bir basınç limiti bulunmaktadır. Ayrıca çok yüksek basınçlı tekerleklerin bir diğer dezavantajı yol şartlarından çokça etkilenmesidir. Sonuç olarak lastiklerin basınçları ayarlanırken üretici firmaların verdiği maksimum basıncın üzerine çıkılmaması en doğru karar olacaktır.

8.3.Tekerlek Sapmasından Kaynaklanan Enerji Kaybı

Lastikler yolla temas ettiği sürece yuvarlanma direncinden kaynaklı olarak bir enerji harcamasında bulunacaklardır. Lastiklerin yolla olan temasında açısal sapmalar olduğu sürece kaybedilen enerji miktarı da artacaktır.



Şekil 8.5 Tekerlek sapmasından kaynaklanan enerji kaybı

Tekerlekler dönerken, hücum kenarı ile firar kenarı arasında bağlantı parçasına bağlı olarak düz bir çizgi boyunca yol alır. Eğer tekerleklerin bükülmezliği çok fazla ise, tekerlek asfalta üzerinde yatay olarak sürüklenir. Lastiğin yan yüzeyi tekerleğin saya ve

sola doğru biraz olsun esnemesini sağlayacaktır. Tabii ki bu jantların büyüklüğüne bağlı olarak değişecektir.

Sapma açısı θ (kayma açısı olarak ta anılabilir) olarak bilinir. Çok küçük sapma açılarında lastikler yol üzerinde yatay sürüklenme yapmazlar. Küçük sapmalar için sadece tekerlekler deforme olur. Büyük sapmalar olduğu zaman tekerlekle yor arasında önemli bir kayma meydana gelir. Eğer lastikler yeterli miktarda esnek yapıda olurlarsa bu sapma sırasında sadece bir esneme gözlenecektir. Güneş arabalarında kullanılan tekerlekler normal yolcu araçlarında kullanılan lastiklere oranla daha çok basınç almaları nedeniyle daha sert yapıda olacaktırlar. Bunun için güneş arabalarında bu sapma daha önemli hale gelmiştir.

Sert yapıda olan bir lastik için gerekli olan enerji soğurumu aşağıdaki denklemde olduğu gibi hesaplanabilir;

$$EnerjiSogurumu = WC_r b \cos(\theta) + \mu Wb \sin(\theta) \quad (8.3)$$

Bu denklemde W lastikler üzerine binen ağırlık, C_r yuvarlanma direnci katsayısı, b bağlantı parçası uzunluğu, μ yolla tekerlek arasındaki sürtünme katsayısı ve θ sapma açısını göstermektedir. Toplam yuvarlanma direncini yenmek için gerekli olan kuvvet ise;

$$Kuvvet = WC_r + \mu \tan(\theta) \quad (8.4)$$

şeklinde hesaplanabilir. [14]

9. AKÜ SİSTEMLERİ

İdeal bir akü paketi ne kadar elektrik enerjisi ihtiyacı varsa onu depolayabilen ve aynı zamanda ne kadar ihtiyaç duyulursa depolanan bu enerjiyi motora aktarabilen yapıdadır. İdeal bir akü paketinin bu dolum ve boşaltım sayesinde %100 verimle çalışması beklenir. Ayrıca mümkün olan en hafif akü pakete en ideal olandır. Ancak akü paketleri tahmin edildiği kadar hafif olmaması ve %100 etkinliğe sahip olmaması nedeniyle akü seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken kuralları vardır. Bu kuralları maddeler halinde incelersek;

- 1) Enerji Yoğunluğu : Akülerin ağırlığı başına depoladıkları enerji miktarını ifade eder (watt-saat/kg). Akülerin yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları tercih edilir.
- 2) Amper-Saat Kapasitesi : Akülerin toplam şarj olma miktarını gösterir (1 amp hour = 3600 coulomb). Amper-Saat kapasitesi akünün dolma ve boşalma eğrilerinin bir fonksiyonudur. İyi bir akü paketinde bu oran %90 verimlilikten daha az olmamalıdır.
- 3) Watt-Saat Kapasitesi : Akülerin toplam enerji miktarını gösteren parametredir (1 W-h = 3600 J). Bütün akü sistemlerinde dolma boşalma oranı akü içerisindeki kullanılabilir enerji miktarıyla bağıntılıdır. Akü sistemlerinde dolma boşalma sırasındaki yüksek akım akülerin watt-saat kapasitesini akülerin ısınmasından dolayı düşmesine neden olacaktır.
- 4) Şarj Verimliliği : Akülerin kaç kez dolup boşalacağını gösteren parametredir. Şarj verimliliğinin %100' e yakın olması çok önemlidir.
- 5) Enerji Verimliliği : Akülerin dolum sırasında stabil voltaj eğrisiyle ve boşalırken bundan daha düşük ve stabil bir voltaj eğrisiyle şarj olmalarını gösteren parametredir. Akülerin şarj etkinliği %100 ise enerji etkinliği aşağıdaki denklemde olduğu gibi hesaplanabilir;

$$EnerjiEtkinligi = \frac{V_{Boşalma}}{V_{Dolma}} x \text{şarjEtkiligi} \quad (9.1)$$

9.1. Akü Tipleri

9.1.1. Gümüş – Çinko

Günümüzde gümüş-çinko aküler şarj edilebilir aküler arasında 125 Wh/kg değerleriyle en yüksek enerji yoğunluğu değerine sahip akülerden biridir. Dolayısıyla bu alanda faaliyet gösterenlerin dörtte birinden fazlası bu tip aküyü kullanır. Maalesef gümüş-çinko aküler oldukça pahalıdır ve çok kısıtlı yaşam süreleri vardır.

Yüksek maliyetleri ve kısa ömürleri sebebiyle güneş arabası takımları son ana kadar bu aküleri aktive etmeyi ertelerler. Bu da tabii ki hücrelerle deneyim kazanmayı ve bunları doğru şekilde karakterize etmeyi oldukça zorlaştırır. Örneğin, yarışlar sırasında gümüş-çinko aküler, hücrelerinden birinde oluşan çatlak sonucu meydana gelen elektrolitik kaçağı sebebiyle kaplama ve contalarında paslanmaya maruz kalabilir.

Gümüş-çinko aküler farklı güç yoğunluklarında olabilirler. Ancak genelde yüksek güç yoğunluğu olan gümüş-çinko aküler bile, iyi bir enerji etkinliği sağlanmak istendiğinde yüksek akımlarda şarj edilemezler.

Nominal Voltaj : 1.5 V

Enerji Yoğunluğu : 440 Wh/kg

Enerji Boşalımı Sırasında Bütün Reaksiyon : $\text{AgO} + \text{Zn} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Zn(OH)}_2 + \text{Ag}$

9.1.2. Nikel – Çinko Aküler

Gümüş-çinko akülere göre daha az pahalı ve daha uzun ömürlü hatta önemli ölçüde daha iyi enerji yoğunluğuna sahip olan nikel-çinko akülerde ilginç bir seçim olabilir.

Nikel-çinko aküleri şarj ederken dikkat edilmesi gerekir. Çünkü %100 kapasiteye ulaşıldığında terminal voltajdaki sıradan ani yükseliş olmaz. Nikel-çinko pillerin gümüş-çinko akülere göre daha iyi şarj döngüsü ömrü vardır ve bu özellik sayesinde kısıtlı bütçeye sahip takımların tercihidir.

Nominal Voltaj : 1.7 V

Enerji Yoğunluğu : 321 Wh/kg

Enerji Boşalımı Sırasında Bütün Reaksiyon : $2 \text{NiOOH} + \text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow$

$2 \text{Ni(OH)}_2 + \text{Zn(OH)}_2$

9.1.3. Kurşun – Asit Aküler

Kurşun-asit akülerin birçok avantajı vardır. İyi bir enerji etkinliğine sahiptirler ve görece daha rahat kavranabilirler ve pahalı değildirler. Dolayısıyla bu aküler oldukça popülerdir. Güneş arabalarında kullanılmak için bir akü en azından bir kaç kere sonuna kadar şarj dolumu ve boşaltımı kapasitesine sahip olmalıdır. Bu nedenle ideal bir akü sonuna kadar dolma-boşalma kapasitesine sahip ya da diğer adıyla çekme aküler(birkaç yüz kere şarj edilebilir) ile daha yaygın (ve daha ucuz) normal motorlu araçlardaki aküler arasında bir yer almalıdır.

Contalı kurşun-asit (Seald Lead Acid) aküler bu alandaki en yeni ve önemli gelişmelerden biridir ve su kaybını en aza indirgeyecek tekniklerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu değişiklik, hücrelerin geleneksel tasarımda yapılan iki değişiklikle mümkün olmuştur. Birincisi şarj sırasında sülfirik asit elektroliti içinde suyun elektrolizinin oluşma haddi azaltılmıştır. İkinci olarak herhangi bir oksijenin hücreye geri döndürülmesiyle oksijenin yeniden oluşum döngüsü başlatılır. Kurşun

tabakalar antimon dan ziyade kalsiyumla alaşımlanırsa suyun elektrolitik parçalanması büyük oranda azaltılır. Bu da şarj voltajının 2.3 V un altında tutulmasına olanak sağlar ki bu nokta suyun parçalanma oranının en düşük seviyesidir.

Contalı kurşun-asit aküler blok şekilli ya da prizma şeklinde olabildikleri gibi tek silindirik hücreleri şeklinde de bulunabilir.

Nominal Voltaj : 2.0 V

Enerji Yoğunluğu : 171 Wh/kg

Enerji Boşalımı Sırasında Bütün Reaksiyon : $\text{PbO}_2 + \text{Pb} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

9.1.4. Nikel – Kadmiyum Aküler

Nikel-kadmiyum akülerin avantajları, yüksek güç yoğunluğu ve makul uzun ömürleri iken dezavantajları ise yüksek toksik özellikleri ve doğru şekilde geri dönüşüm sağlanmadığında kadmiyumun yaratacağı çevresel sorunlardır. Nikel-kadmiyum aküler yüksek şarj oranlarına ulaşırlarken, şarjda fazla bırakılırlarsa aşırı ısınacaklarından düzgün şarj edilmeleri son derece önemlidir.

Nominal Voltaj : 1.35 V

Enerji Yoğunluğu : 217 Wh/kg

Enerji Boşalımı Sırasında Bütün Reaksiyon : $2\text{NiO(OH)} + \text{Cd} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Ni(OH)}_2 + \text{Cd(OH)}_2$

9.1.5. Lityum – İyon Aküler

Lityum-iyon aküler günlük yaşamda kullanıma dahil olması yeni bir gelişmedir. Her ne kadar piyasada sadece ufak lityum-iyon piller bulunsa da daha büyük pillerin geliştirilmesi kullanım alanlarını genişletmektedir. Bunların enerji yoğunlukları, yakın zamanda gümüş-çinko pillerinkini bile aşacak seviyeye gelecektir. Temel lityum akülerin önceki kuşakların aksine lityum-iyon piller hiç serbest metalik lityum barındırmaz. Bunun yerine lityum-iyonlar bir karbon anodu ile lityum taşıyan metaloksit katot arasında bir organik elektrolit aracılığıyla ileri geri iletilir. İyonların dolma-boşalım süreci esnasında ki bu ileri geri hareketleri “sallanan koltuk” (“rocking chair”) olarak anılır. Hiç serbest metalik lityum ya da lityum alaşımları taşımayan lityum-iyon piller geleneksel lityum akülerden daha güvenlidirler. [10]

Nominal Voltaj : 3.6 V

Enerji yoğunluğu : 1000 Wh/kg

Enerji Boşalım Sırasında Bütün Reaksiyon : $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + \text{Li}_x\text{C} \rightarrow \text{Li}_{1-x+dx}\text{CoO}_2 + \text{Li}_{x-dx}\text{C}$

9.2. Süper Kapasitörler

Tüm araçların fazla enerjiyi akülerde depolamasına gerek yoktur. Aslında, bütün araçlar enerjiyi değişik şekillerde saklarlar : Araba hareket eder etmez hem kinetik enerji hem de rotasyonel enerji (tekerleklerde veya diğer dönen parçalarda oluşan) depolar ayrıca yüksek bir yeri terk eder etmez çeşitli miktarlarda potansiyel yerçekimi enerjisini de deniz seviyesine ulaştığında depolamış olur. İhtiyari enerji depolaması için olası elektrokimyasal akü alternatifleri olarak volan ile kapasitör gösterilebilir.

Enerji depolamak için aküler yerine kapasitörlerin kullanılması bir dizi avantaj sağlar. İşin içerisine hiçbir elektro kimyasal süreç dahil olmadığı için enerji etkinliği çok yüksek olabilir ve yüksek dolma-boşalma oranlarında kullanmak yoluyla ne şarj etkinliğinden ne de kullanım ömründen ödün verilir. Kullanım ömrü teorik olarak sonsuzdur. Çünkü yine dolma-boşalma sürecinde hiçbir elektrokimyasallık karışmaz.

Enerji (joule) $1/2CV^2$ ile verilen kapasitörde saklanır. Burada C kapasitansı (farad), V şarj edilecek voltaj değerini ifade eder. Depolanan enerjinin voltaja yönelik ikinci dereceden bağımlılığı sebebiyle enerjinin çoğunu elde edecek kapasitörü tümüyle boşaltmaya gerek yoktur. Yarı yarıya boşaltım yapılarak enerjinin %75'i serbest bırakılır. Yine de eğer kapasitörlerin avantajlarından yararlanılmak isteniyorsa iyi bir uyum aralığına sahip yüksek etkinlikli bir DC-DC çeviricisi gerekmektedir.

Birkaç farad kapasiteye sahip süperkapasitörler birkaç yıldır piyasada bulunmaktadır. Bu kapasitörler video gibi elektronik aletlerin kapatıldığında yarı iletken hafızalarının işlemesine yarayan enerjiyi sağlamakta kullanılıyorlar. Son gelişmelerle bunların depolama kapasiteleri büyük bir artış göstermiştir. Bugünün teknolojiyle bir 800F, 3 V kapasitörü iki 'D' pilinin ölçüsündedir ve 1 Wh kadar enerji saklayabilir.

Elde edilebilir enerji yoğunluğu 5 Wh/kg kadardır. Bu miktar kurşun-asit akülerden oldukça aşağıdadır. Ancak güç yoğunluğu 3 kW/kg'a kadar yüksek olabilir ki bu miktarla bataryalarla elde edilebilen miktardan kat be kat fazladır. İleride kullanılabilecek teknolojiler arasında yer almaktadır. [10]

9.3. Akü Yönetimi

Akülerde ne kadar enerji kaldığını bilmek ve belirli bir zamanda ne kadarını doldurmak ya da boşaltmak gerektiğine karar vermek güneş arabası yarışlarının en temel stratejisidir. Birleşik bir amper-saat metre ile yarışma sırasında aküden çıkan veya aküye giren şarjın miktarını önemli bir kesinlikle gözlemlemek mümkündür. Akünün Coulomb etkinliği iyi sağlanmak şartıyla yarışın başlangıcından itibaren aküdeki değişim tam olarak bilinecektir. Ne yazık ki bu bilgi bile kalan şarjın kesin kez belirlenmesine imkan verecek kadar yeterli değildir. Bunun sebebi tek tek hücreler arasında büyük oranda değişiklik gösterebilen akü kapasitesinin her zaman iyi belirlenmemiş olmasıdır.

Akünün şarj durumuna dair ek bir ipucu ise çıkış voltajından elde edilir. Her ne kadar bu teknik kurşun-asit gibi bazı akü tipleri için kullanışlı olsa da diğer birçok akü tipinde terminal voltajı şarjla birlikte çok az değişiklik gösterir; ancak %100 şarja ulaşıldığında birden yükselir ve akü bütünüyle boşaldığında birden bire düşer.

Gümüş-çinko akülerinde ise şarj esnasında iki voltaj eğrisi vardır. Bunun sebebi gümüş elektrotunda meydana gelen iki ayrı reaksiyondur. Birincisi Ag'nin Ag_2O ya okside olması ve sonrasında Ag_2O dan AgO ya tekrar okside olmasıdır. Şarj etme sırasında %20 kapasiteye ulaşana dek pil voltajı 1.6 V'tur. Voltajın tekrar birden bire yükseldiği nokta olan tam dolum noktasına ulaşana kadar pil voltajı 1.95 V civarına kadar yükselir. Boşalım sırasındaki davranış boşalım oranına bağlıdır. Düşük akımlarda yendiden iki ayrı çizgi görülürken, yüksek akımlarda pil voltajı bütün boşalım süreci için düşük çizgide takılır. Dolayısıyla bir gümüş-çinko aküsünün coulomb etkinliği çok yüksek (~%97) olsa da enerji etkinliği dolma boşalma koşullarına oldukça bağlıdır ve bu etkinliğin oranı tipik olarak yaklaşık %70 civarındadır.

Takımların tamamıyla şarj edilmiş akülerle yarışa başlamalarına izin verilir. Ancak depolanacak enerjinin miktarı sadece bir yarım günün gün ışığı miktarına denk gelir. Yarışma başlangıçtan bitişe kadar açık gün ışığında yapıyor olsa bile bir arabanın yarışa başlarkenki depolanmış enerjisi önemli bir katkı sağlar.

Artık biliyoruz ki en iyi strateji çok daha yüksek akü kapasitesi kullanmaya dayanmaktadır. Düşünebileceğimiz minimum akü kapasitesi her bir gecelik duruşta bir araya getirilmiş akşam ve sabah şarjını kabul edecek kadar yeterli bir kapasite olacaktır. Güneş panelinin etkinliğine ve hava durumuna bağlı olarak bu kapasite 1-2 kWh olacaktır. Ancak yarış sırasında öncelikle tam şarj edilmiş akü paketi yavaş yavaş boşalacaktır ve akü paketi istenilen noktaya ulaşılacak şekilde tasarlanmalıdır.

Tablo 9.1 1996 World Solar Challenge yarışındaki arabaların akü özellikleri

Takım	Üretici Firma	Pil Tipi	Hücre Sayısı	Voltaj (V)	Ağırlık (Kg)	Kapasite (kWh)	Enerji Yoğunluğu
Honda	Yuasa	Ag/Zn	72	108,0	38,52	3,240	84,1
SCHooler	Eagle-Picher	Ag/Zn	82	123,0	39,03	4,920	126,1
Aisin Seiki	Eagle-Picher	Ag/Zn	52	78,0	39,42	3,900	98,9
Mitsubishi Mat.	Eagle-Picher	Ag/Zn	67	100,5	39,87	4,824	121,0
Uni. Queensland	Panasonic	Pb/acid	60	120,0	81,50	2,880	35,3
Waseda	Eagle-Picher	Ag/Zn	56	84,0	39,20	4,200	107,1
NTU	Eagle-Picher	Ag/Zn	33	49,5	38,87	4,950	127,3
Simon	Yuasa	Ni/Zn	204	115,6	70,89	4,162	58,7
UNSW	Gates	Pb/acid	58	116,0	96,86	3,016	31,1
Tokyo Salesian Poly.	Sony	Li-Ion	896	100,8	35,84	3,806	106,2
Queens University	Yardney	Ag/Zn	62	93,0	39,68	4,650	117,2
Uwo SUNStang	Eagle-Picher	Ag/Zn	56	84,0	39,20	4,200	107,1
Tokai THS	Yuasa	Ni/Zn	336	95,2	65,10	4,056	62,3
Mino Family	Panasonic	Pb/acid	48	96,0	64,00	2,765	43,2
Tokai University	Eagle-Picher	Ag/Zn	74	111,0	35,22	4,440	126,1
Lake Tuggeranong	Gates	Pb/acid	60	120,0	48,00	1,500	31,3
Japanese Crested Ibis	Eagle-Picher	Ag/Zn	80	60,0	38,08	4,800	126,1
SunB A	Yuasa	Pb/acid	60	120,0	87,00	2,880	33,1
Team Kataro	Furkawa	Pb/acid	72	144,0	68,40	2,448	35,8
Association Helios	SAFT	Ni/Zn	1590	127,2	50,88	2,671	52,5
France for WSC	Steco	Pb/acid	72	144,0	70,88	2,488	34,6
Hokkaido	Eagle-Picher	Ag/Zn	84	126,0	39,98	5,040	126,1
Team of Kirenjaku	Yuasa	Pb/acid	48	96,0	68,00	3,168	46,6

Nippon Elec. College	Yuasa	Ni/Zn	216	122,4	41,85	2,607	62,3
Team California	Furkawa	Ag/Zn	57	85,5	39,90	4,275	107,1
Soenderborg Tek.	Optima	Pb/acid	24	24,0	71,80	2,688	37,4
McGill Uni TNS	Power	Pb/acid	60	120,0	121,00	4,200	34,7
Team Jona Sun	Furkawa	Pb/acid	180	120,0	72,00	2,592	36,0
Yokohama Nat. Uni.	Furkawa	Pb/acid	54	108,0	72,00	2,592	36,0
TNE	JCI	Pb/acid	30	60,0	115,20	5,100	44,3
Annesley College	Yuasa	Pb/acid	192	96,0	84,80	2,688	31,7
South Bank Uni.	Oldham-Crompton	Pb/acid	36	72,0	88,80	3,744	42,2
Los Altos HS	GNB	Pb/acid	48	96,0	123,60	3,360	27,2
Hama Zero	Yuasa	Ni/Zn	36	61,2	12,51	0,734	58,7
Kormilda College	Century	Pb/acid	132	132,0	79,20	3,168	40,0
Dripstone HS	Century	Pb/acid	36	72,0	45,00	1,728	38,4
Mexico	Trojan	Pb/acid	42	84,0	113,40	4,368	38,5
Team Holy Cheat II	Hawker	Pb/acid	15	30,0	25,05	0,780	31,1
HelioDet	GNB	Pb/acid	24	24,0	114,00	4,080	35,8
Firm Crisante	SAFT	Ni/cd	280	144,5	63,84	2,352	36,8
Uni. Tek. Malaysia	Power-Sonic	Pb/acid	42	84,0	61,60	2,352	38,2
Panda San 96	Yuasa	Ni/Zn	10	108,8	15,50	0,966	62,3
Winston School	Gates	Pb/acid	48	96,0	124,80	2,496	20,0
Shalom Catholic Col.	Yuasa	Pb/acid	60	120,0	40,00	1,440	36,0
Aurora Vehicle Ass.	Eagle-Picher	Ag/Zn	100	150,0	40,00	4,950	123,8
Uni São Paul	Yuasa	Pb/acid	120	240,0	80,00	2,880	36,0

9.4. “Enerji – 1” Güneş Arabasında Kullanılan Kurşun Asit Akü Grubu

Conta Yapı: BB akülerinin özel yapısı ve conta tekniği sayesinde kutup başlarından (terminals) veya kasasından meydana gelebilecek elektrolit kaçakları yoktur. Bu özellik BB aküsünün herhangi bir konumda daha güvenli ve verimli kullanılmasını sağlar.

Elektrolit süspansiyon sistemi: Tüm BB aküleri cam elyaf ayırıcı bir malzemeden oluşan elektrolit süspansiyon sistemi ile donatılmıştır. Bu süspansiyon sistem azami kullanım ömrü sağlamaına yardımcı olur, ve ayırıcı malzemeden ayrılması tamamen engellenmiştir. Herhangi bir silikon jel veya diğer bulaşıcı malzeme kullanılmamaktadır.

Gaz üretimi: BB akülerinin özel yapısı sayesinde üretilen gazın %99’u verimli bir şekilde birleştirilir.

Farklı konumlarda çalışabilme: Conta yapı ve elektrolit süspansiyon sistemi herhangi bir konumda çalışmasına olanak tanır ancak ters durumda şarjdan kaçınılmalıdır. Herhangi bir konumda kullanıldığı için batarya kapasitesini, elektrolitini ve kullanım ömrünü kaybetmeyecektir.

Alçak basınç çıkış sistemi: BB aküleri güvenli bir alçak basınç çıkış sistemi ile donatılmıştır. Bu sistem içeride ki fazla gazın kabul edilebilir düzeye inene kadar dışarı çıkmasına izin verir ve daha sonra tekrar kapatır.

Ağır iş ızgaraları: BB aküleri içindeki ağır iş kurşun kalsiyum alaşım ızgaralar fazladan performans ve kullanım ömrü sınırı kazandırır.

Dolma boşalma kullanım ömrü: BB aküleri 1000 in üzerinde dolma ve boşalma imkanı sağlar.

Uzun kullanım ömrü: Sürekli kullanılan uygulamalarda genel olarak BB aküleri 5 yıl kesin kullanım ömrü vardır.



Düşük boşalma hızı – uzun ömürlü koruma kılıfı: 20 ve 25 C aralığında BB akülerinin boşalma miktarı akü kapasitesinin %3 ü kadardır.

Kullanım sıcaklık aralığı: BB aküleri geniş sıcaklık aralığında kullanılabilir.

Yüksek kurtarma kapasitesi: Çok fazla boşalan bir aküde bile mükemmel bir kurtarma ve dolma yeteneği vardır.

Kalite teminatı: Çin'deki üretim tesisleri ISO 9001 kalite belgesine sahiptir.

Kullanım Alanları:

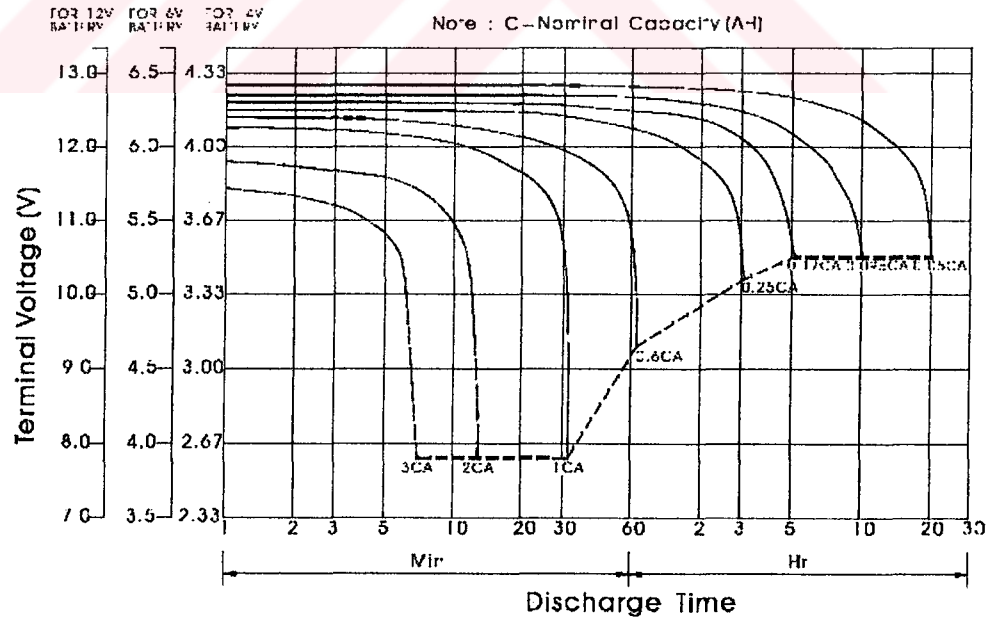
- Alarm sistemleri
- Kablolu televizyon
- Haberleşme sistemleri
- Bilgisayarlar
- Kontrol cihazları
- Elektronik test cihazları
- Acil durum aydınlatma sistemleri
- Yangın ve güvenlik sistemleri
- Yat ve tekneler
- Tıbbi cihazlar
- Mikroişlemci tabanlı ofis makineleri
- Portatif sinema ve video ışıkları
- Güç sistemleri



- Güneş enerji sistemleri
- Telekomünikasyon cihazları
- Televizyon ve video kaydediciler
- Oyuncaklar
- Güç kaynakları [19]

Tablo 9.2 BPL3.3-12 Kurşun-Asit Akülerin Teknik Özellikleri

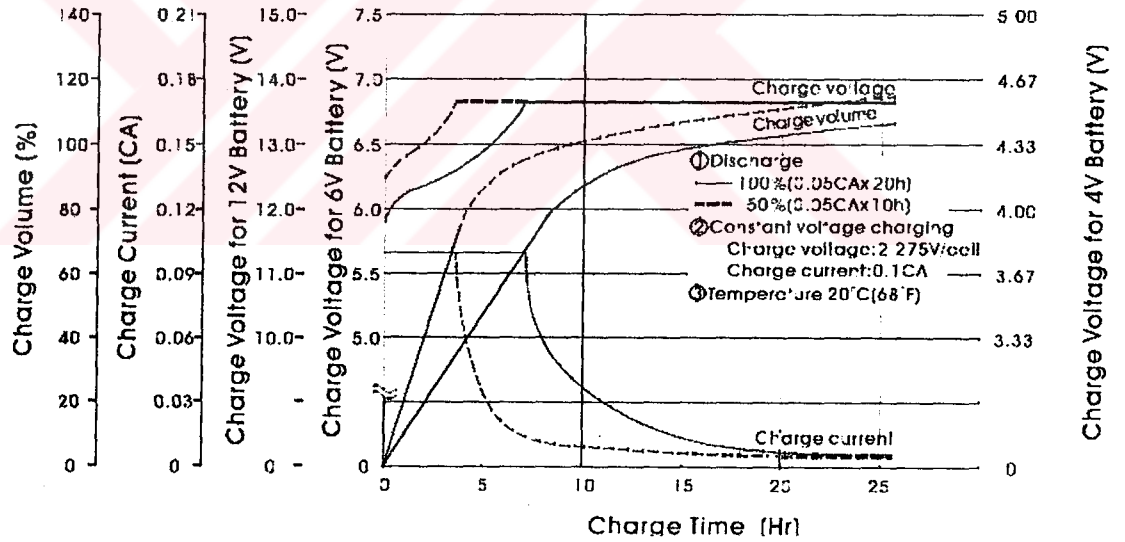
Model	Nomina Voltage (V)	Nomina Capacity(Ah)			Dry Weight Approx		Terminals				
		20hr Rate	5hr Rate	30Min Rate	kg	lbs	Standard		Optional		
							Type	Post	Type	Post	
BPL3.3-12	12	3.3	2.8	1.65	1.35	2.98	T1	4	T2		
Dimensions							MAX Discharge Current For 5 sec (A)		MAX Charge Current (A)		
INCH				MM							
L	W	H	IF	L	W	IF	III				
5.28	2.64	2.35	2.00	134	67	80	66	49.5		0.99	



Şekil 9.1 BP kurşun asit akülerin boşalma karakteristikleri

Tablo 9.3 Bp akülerin Değişik oranlarda boşalma kapasiteleri

Nominal capacity (20 hr rate)	Discharge Capacity (Ah)				
	20Hr Rate	10Hr Rate	5Hr Rate	3Hr Rate	1Hr Rate
	0.05CA to 1.75V/cell	0.095CA to 1.75V/cell	0.17CA to 1.75V/cell	0.25CA to 1.7V/cell	0.6CA to 1.55V/cell
1.0AH	1.0	0.95	0.85	0.75	0.60
1.2AH	1.2	1.14	1.02	0.90	0.72
2.3AH	2.3	2.19	1.96	1.73	1.38
3AH	3.0	2.85	2.55	2.25	1.80
4AH	4.0	3.80	3.40	3.00	2.40
4.5AH	4.5	4.28	3.83	3.38	2.70
5AH	5.0	4.75	4.25	3.75	3.00
7AH	7.0	6.65	5.95	5.25	4.20
7.5AH	7.5	7.13	6.38	5.63	4.50
8AH	8.0	7.60	6.80	6.00	4.80
10AH	10.0	9.50	8.50	7.50	6.00
12AH	12.0	11.40	10.20	9.00	7.20
13AH	13.0	12.35	11.05	9.75	7.80
17AH	17.0	16.15	14.45	12.75	10.20
26AH	26.0	24.70	22.10	19.50	15.60
33AH	33.0	31.35	28.05	24.75	19.80
40AH	40.0	38.00	34.00	30.00	24.00
65AH	65.0	61.75	55.25	48.75	39.00
90AH	90.0	85.50	76.50	67.50	54.00
120AH	120.0	114.00	102.00	90.00	72.00



Şekil 9.2 Bp Akülerin şarj olma karakteristikleri



10. MOTORLAR

Güneş arabalarında kullanılan motorlar, aracın yol direncini aşıp hareket edebilmesini için gereken gücü tekerleklerle iletir. Bunun için yapılan motorlara baktığımızda fırçalı motorlar ve fırçasız tekerlek motorlarını görmekteyiz. Fırçalı motorlarda hareketin aktarılmasını sağlayan ilave tertibatların yanı sıra motor kontrolörler de önemli yer tutmaktadır.

10.1. Fırçalı Sürekli Manyetik DC Motorlar

Güneş arabalarında genellikle fırçalı sürekli manyetik DC motorlar kullanılmaktadır. Bu tip motorlar kolay montaj edilebilmesi ve özellikle ucuz oluşları nedeniyle pek çok takım tarafından tercih edilmiştir. Fırçalı motorlarda genellikle verim %85-94 arasında seyir etmektedir. Maliyet olarak daha yüksek olan fırçasız motorlarda ise verim %94-99 arasında değişiklik gösterir. Motor ve kontrolör düzenekleri, yokuş inişleri sırasında elde edilen enerjinin motora değil de bataryaya gönderilip, orada depo edilmesini temin etmektedirler. Güneş arabaları yarışlarında genellikle 5 kW güç sınırlanması getirilmektedir. Güneş arabası için, öncelikli olarak motor seçimi önemlidir. Genellikle üretici firmalar bu motorlara uygun olarak motor kontrolörlerini de beraber satmaktadır. Güneş arabalarında devre akışı şu şekilde gerçekleşir; panellerden gelen enerji motora motor kontrolöründen geçerek gelir. Motorda üretilen güç, bir güç aktarma organından geçerek (kayış, zincir, vb.) tekerleklerle iletilir.

10.2. Tekerlek Motorları

Fırçasız motorlar fırçalı motorlara göre daha hafif (8.3 kg karşın 12-16 kg) ve verimleri daha yüksektir. Direkt sürüş tertibatlı motorlar ilk kez 1993 yılında Avustralya güneş enerjili otomobil yarışlarında Honda, Engineering college of Biel, Northern Territory University takımları tarafından kullanılmıştır. Bu sistemler normal bir araca göre çok verimlidir. Örneğin : iyi dizayn edilmiş bir güneş arabası 100 km/saat hızla hareket edebilmektedir. Güneş arabaları yarışlarında konulan güç sınırlaması nedeniyle arabalarda 1.5 kW/1.8kW'lık enerjili, maksimum ise 5 kW'lık motorlar kullanılabilir.

Aynı hızda giden içten yanmalı bir araç, yakıttan elde ettiği 140 kW enerji ile motor çalıştırılmakta ve motor çıkışında ise yaklaşık 35 kW'lık bir enerji kullanılmaktadır.

Fırçalı tip motorlarda esas ana dizayn avantajı fırçalı tip motorlarda olduğu gibi bakıma ihtiyacın olmamasıdır. Motorun özelliklerine bakıldığında motorların arka iki tekerlek üstüne ya da içine monte edildiği görülmektedir. Böyle başka bir organa ihtiyaç kalmadan güç aktarımı sağlanır ve direkt sürüş temin edilir. Direkt sürüş sayesinde aktarma elemanları kayıpları ortadan kalkmış olur. Tekerlek içi motor dizaynı ile aerodinamik açıdan herhangi bir pürüz kalmamış olur. Böylece maksimum verime ulaşılmış olur.

Motor yapısı hakla şeklindedir. Kayıpları düşürebilmek için manyetiklerle birlikte geometrik yapıya karar verilmiştir. Fırçasız tip motorlarda sürekli manyetik seramik rotor kullanılmaktadır. Manyetik alan elektronik olarak sağlanır. Her kutup için 4 manyetik düşünülmüştür. Manyetiklik açısı değişmektedir. Eksenel doğrultuya göre genelde 30-60°'lik açılar seçilmektedir. Manyetiklerde kullanılan arajmanlara göre, manyetik verim 10W(%20) değerinde daha az kayıp sağlarlar.

Strator sargıları merkezi bir şekilde aks üzerinde monte edilmiştir. Sürekli manyetikler ve özel manyetik aranjmanlarda daha yüksek değerlerde alan elde edilmiştir. Tekerleğin duvar kısmı üzerine monte edilmiş olan manyetik rotorlar üzerine eksenel akım verilir. Sargılar ve manyetik diskler yassı bir şekilde imal edilmiştir. Sargılar için hava boşluğu verilmiştir çünkü dişli mekanizmalarında diş tertibatı yüzünden verim %96'ların altına düşmektedir. Bırakılan boşluk bizi bakır için daha düşük değerde kayıplara götürür. İndüksiyon akımı kayıplarını da Litz bağlantı şekliyle kontrol altına almak mümkündür. Verim bu şekilde %97'nin üzerine çıkmaktadır. Camsı metal nüve taşıyan demirsiz strator istenen verimi sağlamaktadır. Ancak montajı ve tavlanması zordur. Ağırlık ise verilen hava boşluğu ile minimize edilmektedir. Montajda strator üzerinde yük yoktur. Termal performanslar bu haliyle istenileni vermektedir.

Güneş arabasının daha hızlı gidebilmesi için ihtiyaç duyduğu şey; taşınan güneş enerjisi miktarının, maksimum düzeye ulaşmasıdır. Bu da öncelikli olarak güneş pili

verimine bağlıdır. Bunun yanı sıra aerodinamik sürüklenme, yuvarlanma direnci, motor kontrolörü ve motor kayıpları en aza indirilmesi ile mümkün olacaktır.

Bazı dizaynlarda soğutma en yüksek tork ihtiyacı için ihmal edilmiştir. Bununla birlikte kutup sayısı değişimi de kayıplara etki etmektedir. Kutup sayısı 40-60 arasında değiştiğinde indüksiyon akımı kayıpları düşmekte fakat redüksiyon toplam kayıplarının yükselmesine neden olmaktadır. 40 kutuplu dizaynın en uygun dizayn olduğu görülmüştür. Motor ağırlığı seçimi 40 kutuplu dizaynlarda 5 – 6 kg arasında en ideal durumunu almaktadır. Ancak kesin bir değer vermek mümkün değildir. Yine de aracı daha stabil kılan 6 kg ağırlık tercih edilebilir.

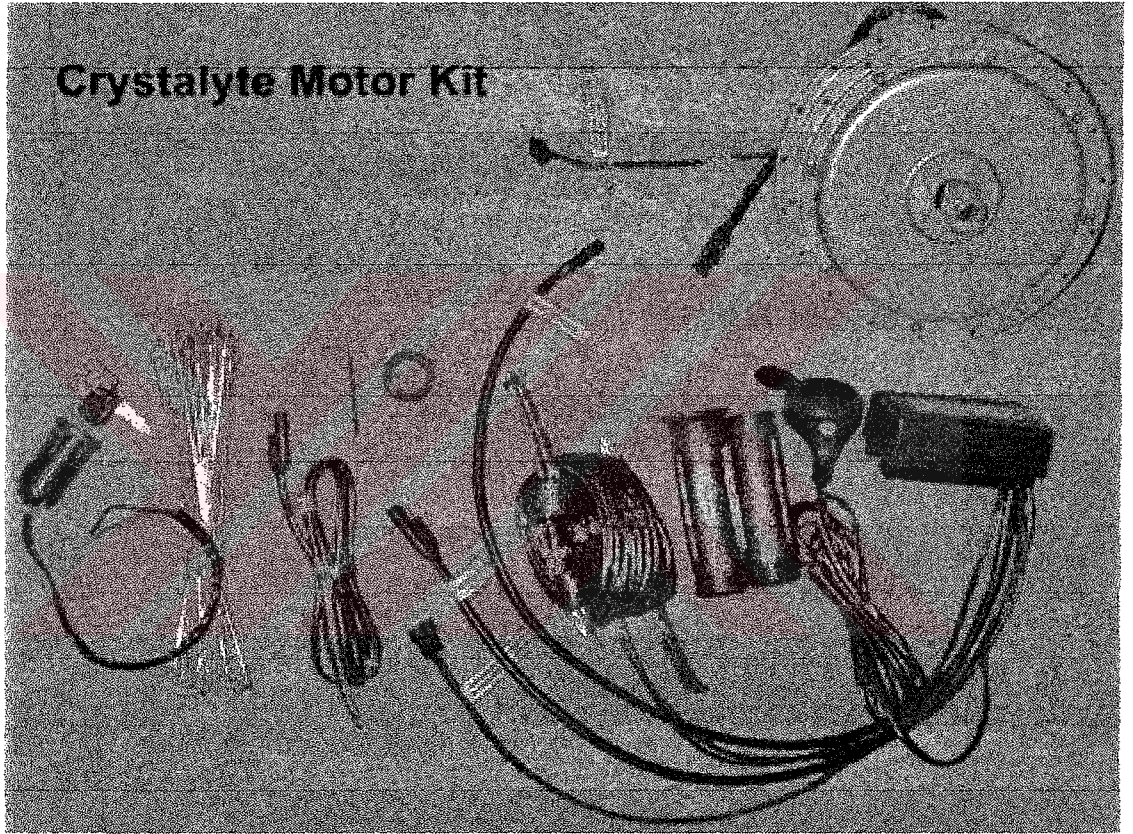
Yüksüz testlerde, manyetik ve strator değiştirilmiş, yapay manyetik ve stratorlar takılmış ve daha sonra ölçümler yapılmıştır. Bundan sonra gerçek manyetik takılı haliyle ölçüm yapılmış edüksiyon kayıpları da eklenerek gerçek kayıplar hesap edilebilir.

Genelde yarışmalarda senkronize AC motorları kullanılmaktadır. İnverterler motor gücüyle çalışmaktadırlar. Motor gücü çok iyi olan araçlarda %90-95 verimlere ulaşılmıştır. Yarışmalarda genelde 1.5 kW'lık motorlar kullanılmaktadır. Ancak bu motorlar 4.5 – 5 kW gücüne ulaşmaktadır. Motor ağırlığı 4 – 7 kg arasındadır. Aşırı ısınmada bir üfleyici soğutma sağlamaktadır.

Bunların dışında bazı araçlar hibrit bir sistem kullanarak, serbest pistonlu stirling motorları kullanmışlardır. Motor vasıtasıyla, 80 watt'lık normal güneş pil alanından gelen güce ilaveten 80 watt'lık elektrik gücü sağlanmaktadır. Sürücünün arkasında konumlandırılan parabolik ayna bir güneş kollektörü gibi görev yaparak stirling motorunda çalışma akışkanını (helyum) ısıtmaktadır. Temelde bir çok yakıtı enerji kaynağı olarak kullanan strling motorları, güneş enerjisini de bu iş için kullanabilmektedirler.

10.3. Crystalyte 408 Motor

“Enerji – 1” güneş arabası için seçtiğimiz motor ise Crystalite firmasının ürettiği 408 kodlu tekerlek içi fırçasız doğru akım motorudur. Çünkü bu motor 10 kg ağırlığında, 500 Watt gücünde ve %99’a varan verimliliğe sahiptir. Crystalyte 408 motor tipi 48 Volt’ta satte 48 km hızla seyit halinde iken 386 rpm üretmektedir. [18]



Şekil 10.1 Crystalyte Motor Kiti

Tablo 10.1 Crystalyte 408 motorun'nin teknik özellikleri

408 Motor 48 Volt Karakteristikleri			
A	N.m	r/min	W
4	2.93	439.6	134.882
5	3.86	429.7	173.693
6	4.64	422.1	205.099
7	5.66	412.3	244.376
8	6.65	401.9	279.878
9	7.5	394.1	309.526
10	8.59	382.9	344.436
11	9.65	373.3	377.238
12	10.69	364.3	407.818
13	11.65	352.5	430.046
14	12.25	346.8	444.882
15	13.51	334.9	473.806
Remark:			
Test Voltage : 48 Voltage			
Unload r/min : 471.5 r/min			

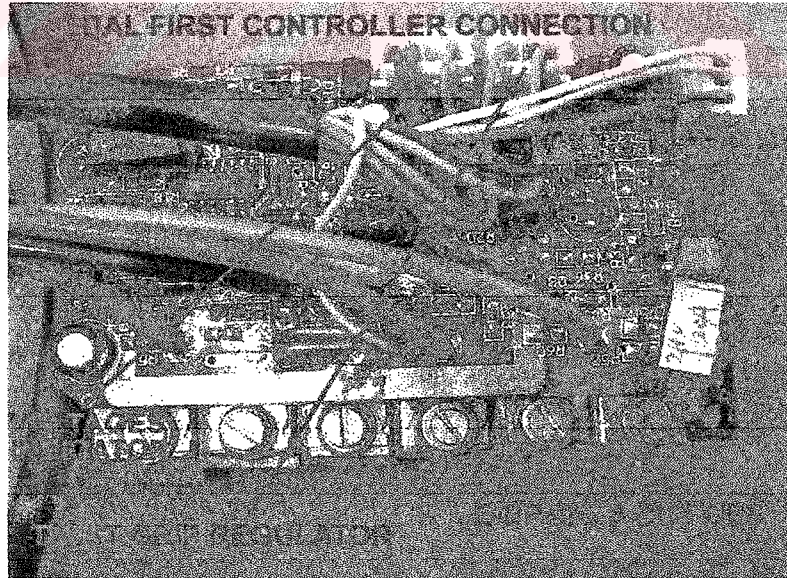
Motorun sahip olduğu standart özellikler:

- Sabit mıknatıslı rotor sayesinde yüksek güce sahiptir.
- Değişken hava boşluğu tork sabitinin hareketle değişmesini sağlamaktadır.
- Çok yüksek verimliliğe sahiptir.
- Geliştirilmiş ısı performansı ve azaltılmış ağırlık için açık motor tasarımı kullanılmıştır. [18]

- 1) Bataryaya aşırı yükleme yapmaz devre bir sigortaya bağlıdır eğer tepe akımı düşük başlarsa sigorta yanmayacak şekilde bağlanmıştır.
- 2) Güvenli bir sonucu alabilmek için herhangi bir ani duruş gerektiği durumlarda kontrolörü 0 km/saat durumuna getirmek gerekmektedir.
- 3) Kontrolör yüksek akım ve torkta motorun 0 km/saat sistemine oranla daha verimli çalışmasını sağlamak için dizayn edilmiştir. [18]

0 Km Kontrolörü

- 1) Başlangıç anında motorun daha verimli çalışmasını sağlamak için kullanılır.
- 2) Durma hallerinde motorun tüm gücünü kullanabilmek için bu sistemi içinde barındırmaktadır.
- 3) Motor ilk çalıştırıldığında pedala sonuna kadar yüklenilmemesi gerekmektedir. Aksi takdirde kontrolörde sorunlar yaşanabilir.
- 4) Motor bu sistem sayesinde ilk atalet anında bataryalardan çok fazla akım çekecektir.[18]



Şekil 10.3 Crystalyte kontrolörünün devre elemanları

11. “Enerji – 1” Güneş Arabasının İmalatı

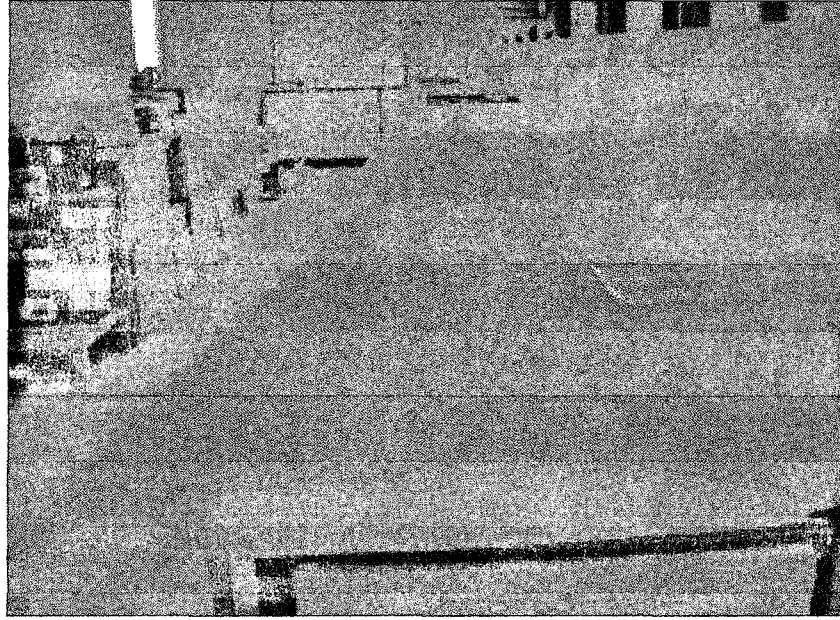
Enerji – 1 güneş arabasının areodinamik ve enerji modellemesinin yapılmasının ardından şasi ve gövdenin yapımına başlanmıştır. Bu çalışma “GYTE-SA Solar Car” ekibin çalışmaları sonucu gerçekleşmiştir. “Enerji – 1” güneş arabasının gövde imalatı GYTE Muallim Köy kampüsü laboratuvarlarında, şasi ve elektrik düzeneği Sabancı Üniversitesi kampüsünde gerçekleştirilmiştir.

11.1. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Yan Kanatlarının Modellenmesi ve İmalatı

“Enerji – 1” güneş arabasının yan kanat profilleri yapımında ürün çıkartılmadan önce model uygulaması yapılmıştır. Model uygulaması yapılırken öncelikli olarak modelin oluşturulması için sınırlar oluşturulmuştur. Bu sınırlar 4.7 cm genişliğinde olup 360 cm uzunluğunda olan tüm kanada 8°'lik bir açı oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu hesaplama excel tablolarında yapılmış ve daha sonra tecplot programı kullanılarak elde edilen bu dataların çizimleri oluşturulmuştur. Bu parçalar tahtadan imal edilerek düz bir yüz üzerine yerleştirilmiş ve daha sonra araları ahşap parçalardan doldurularak model şekillendirilmiştir.



Şekil 11. 1 Yan kanat profillerinin düz bir yüz üzerine dizilmesi

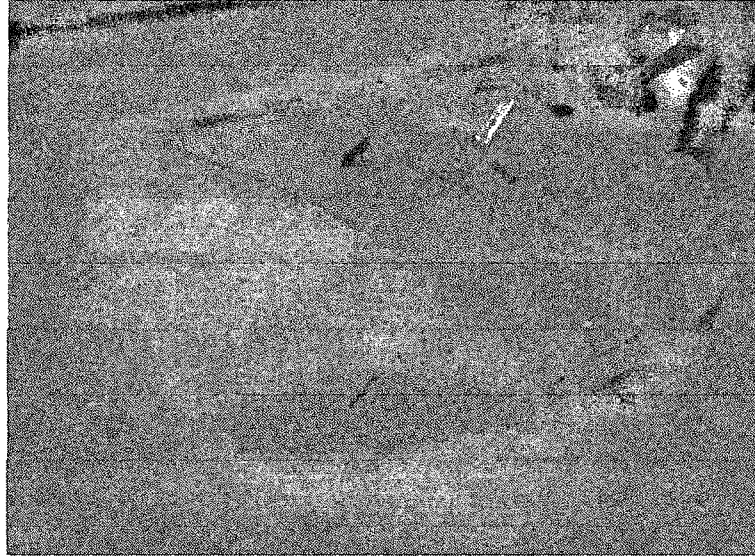


Şekil 11.2 Yan kanat profil modeli

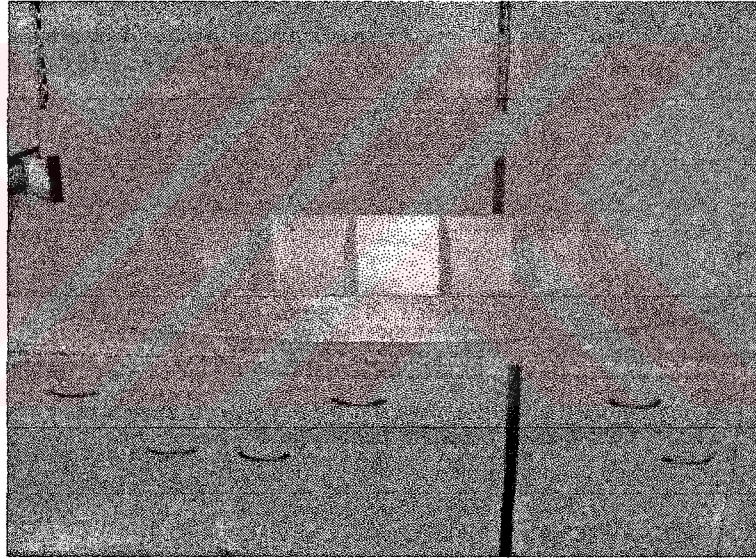
Oluşturulan yan kanat profillerinin modellenmesi bittikten sonra ters kalıbının alınması için yüzeyi pürüzsüz hale getirilmiştir. Pürüzsüz hale getirilebilmesi için yüzey önce macun ile kaplanmış daha sonra su zımparası ile tamamıyla pürüzsüz bir yüzey elde edilene kadar zımparalanma işine devam edilmiştir. Pürüzsüz yüzey elde edildikten sonra poliyester uygulaması yapılarak ters kalıbı alınmış ve daha sonra arabanın hafif olması amaçlanarak çift kat poliyester kullanılarak ürünün gerçeği elde edilmiştir.

11.2. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Burun Kısım ve Tamponun Modellenmesi ve İmalatı

“Enerji – 1” güneş arabasının burun kısmı montaj kolaylığı ve imalatı açısından iki parçadan oluşturulmuştur. Bu bölümler öncelikli olarak aerodinamik yapıda olması amaçlanarak NACA64 A sersine uygun olarak yapılması tasarlanmış ancak kanat profilinin güneş arabasına uygun yapıda oluşturulması amacıyla dataları üzerinde modifiyeler yapılmıştır. Daha sonra bu datalar ışığında hareket edilerek “Enerji – 1” güneş arabasına en uygun iskelet tahta kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 11.3 “Enerji – 1” Güneş Arabasının burun iskeleti



Şekil 11.4 “Eneji – 1” Güneş Arabasının tampon iskeleti

Elde edilen burun ve tampon iskeleti içerisine talaşlı alçı kullanılarak doldurulmuştur. Doldurulan bu iskeletin üzerine ince bir alçı tabakası uygulanarak yüzey işlenebilir hale getirilmiştir. Birkaç gün alçının kuruması beklenildikten sonra yüzey zımpara kullanılarak düzeltilmiştir. Üzerine aynı yan kanat profillerinde olduğu gibi macun çekilip zımparalanarak tamamıyla pürüssüz yüzey elde edilerek ters kalıp işlemine hazır hale getirilmiştir. Burun ve tamponun ters kalıbı alındıktan sonra yine

arabanın hafifliği ve yeterli dayanıklılığı göz önünde bulundurularak çift kat poliyester uygulaması ile ürün elde edilmiştir.

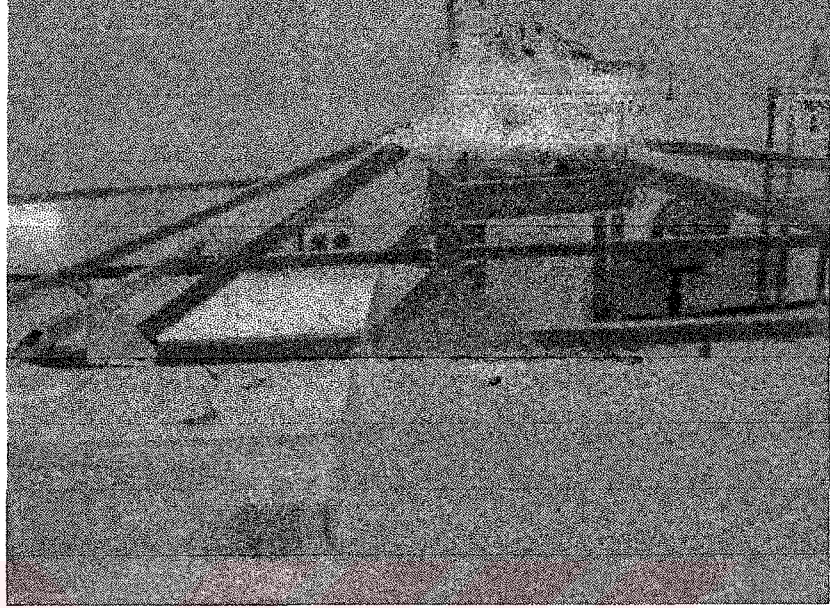


Şekil 11.5 “Enerji – 1” güneş arabasının burun modeli

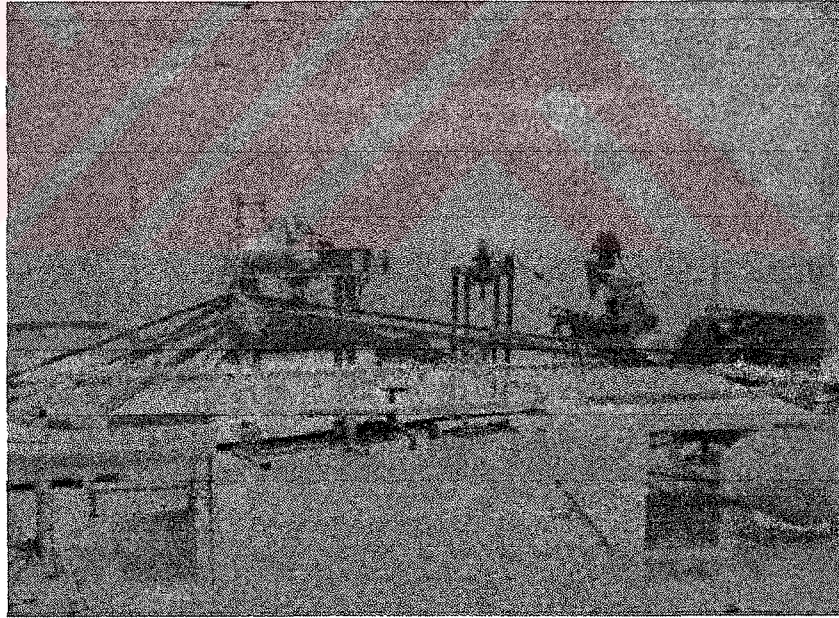
11.3. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Şasi Modellenmesi ve İmalatı

“Enerji – 1” güneş arabasının şasisi kompozit malzemelerden yapılmıştır. Kompozit malzemelerin ağırlık, dayanıklılık oranları diğer kullanılacak malzemelere oranla (alüminyum, çelik, vs.) çok daha iyi olması göz önünde bulundurulmuştur. Şasi yapımında ağırlık taşıyacak bölümler kare profil kullanılarak, bağlantı parçaları ise L profil kullanılarak imal edilmiştir. Kare profillerin ve L profillerin bağlantı noktaları ise sac levha ve vida kullanılarak yapılmıştır. Kompozit malzemeler kompakt halde iken çok dayanıklı olmalarına karşı üzerinde oluşacak çatlaklar sayesinde kolayca kırılabilir parçalar haline dönüşmeleri nedeniyle bağlantı noktaları tahta ile sağlamlaştırılmıştır.

Şasi imalatı öncesinde stres analizleri uygulanarak takviye yerlerinin bulunması ve ağırlık merkezinin oluşturulması aşamaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 11.6 “Enerji – 1” güneş arabasının şasisinin burun kısmı ve bağlantı noktaları

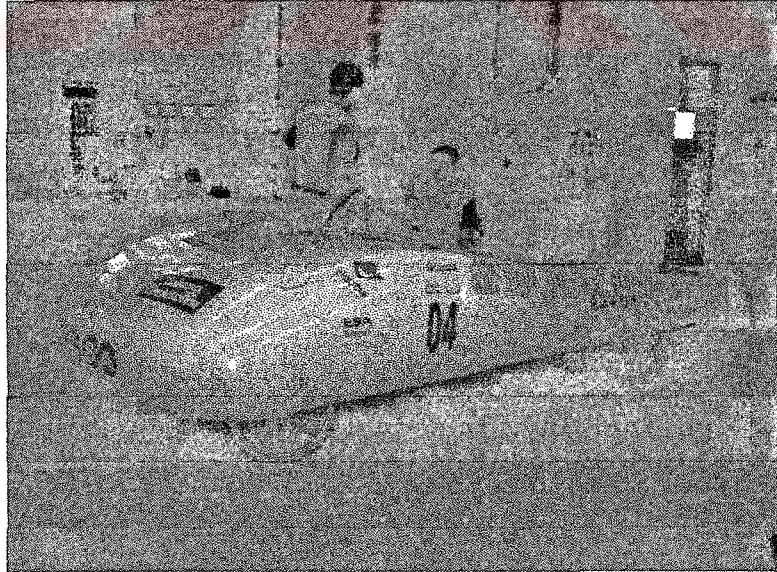


Şekil 11.7 “Enerji – 1” güneş arabasının şasisi

11.4. “Enerji – 1” Güneş Arabasının Montajı

Güneş arabalarının montajına başlanırken öncelikli olarak şasi üzerindeki ağırlık merkezine göre konumlandırma yapılması gerekir. Montaj stratejisi belirlenirken sabit parçaların yerleştirilmesi hedef alınmalıdır. Sürücü koltuğu şasi üzerinde çok geniş alan kaplayacak olması ve ağırlık merkezinin bu alanda oluşacak olması nedeniyle bataryalar ve kontrolörler buna bağlı olarak sürücü koltuğunun yakınlara yerleştirilmesi. Montaj sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli konu, araç tamamlandıktan sonra ortaya çıkabilecek sorunlar (elektrik bağlantı sorunları, tekerlek üzerinde oluşabilecek mekanin sorunlar, vs.) nedeniyle, aracın olabildiğince demonte yapıda olmasıdır.

“Enerji – 1” güneş arabasının montajı yapılırken yukarıda belirtilen kurallar dikkate alınmıştır. Buna bağlı olarak hareket arabanın hareket parçalarının (tekerlekler, direksiyon sistemi, fren sistemi) şasi üzerine bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Akü sistemi ve kontrolörler sürücü koltuğunun arka kısmına şasi üzerine kompozit L profiller kullanarak konumlandırılmıştır. “Enerji – 1” güneş arabasının daha önceden oluşturulmuş parçalarının şasi üzerine montajı gerçekleştirildikten sonra alt kısmı ve tekerlek aralıkları dakota kullanılarak kapatılmış hava akışını düzenli hale getirecek bir yapı oluşturulmuştur.



Şekil 11.8 “Enerji – 1” güneş arabası

12. SONUÇ

Bu çalışmada, güneş arabaları tasarımı yapılırken hangi amaçla arabanın tasarlanacağı ve imal edileceği konusunda dikkat edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Güneş arabaları, katılacağı yarışmanın kuralları doğrultusunda dizayn edilmesi gerektiği, ayrıca yarışın cinsinin ve yarışın yapılacağı pist doğrultusunda senaryo kurulması gerektiği ve en uygun dizaynın ancak o şekilde oluşabileceği sonucuna varılmıştır.

Güneş arabası dizayn edebilmek için daha önceki yarışlarda kullanılan arabaların bütün parametreleri detaylı olarak incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda İstanbul Formula -1 pisti ve TÜBİTAK'ın düzenlediği "Solarcar" yarışması kuralları çerçevesinde "Enerji - 1" güneş arabasının gövde yapımı için en uygun kanat profilinin NACA64A serisi olduğu görülmüştür. Bu kanat profili sayesinde aerodinamik sürüklenme etkisi minimuma indirilmiştir.

"Enerji - 1" güneş arabasının akü, motor, güneş paneli özellikleri TÜBİTAK'ın koyduğu kuralların dışarısına taşmadan, daha önceki yarışlarda başarıya ulaşmış olan ürünler tecih edilerek güç sistemi oluşturulmuştur. Motor olarak verimliliğin en yüksek olduğu ve en az ağırlığa sahip olan tekerlek motoru olduğu belirlenerek, "Enerji - 1" güneş arabasında Crystlalyte Firmasının 408 tipi motor en uygun olacağına karar verilmiştir. Akü sistemi olarak dolma boşalma eğrilerinin ve gene güneş arabaları için en önemli parametre olan ağırlık düşünüldüğü için pist ve off-road yarışlarının hepsinde en ideal seçimin Lityum-iyon tipi piller olduğu anlaşılmıştır. Ancak "Enerji -1" güneş arabası için İstanbul Park'ta yapılan yarışta yarış tipinin özelliği nedeniyle kurşun-asit batarya tipini kullanmanın yeterli olacağı sonucuna varılmıştır. Güneş panelleri ise fiyat performans parametreleri en uygun olan model araştırılarak silikon tipi hücrelerin kullanılmasına karar verilmiştir. İstanbul Park'ta yapılan yarışta "Enerji -1" güneş arabası 10.'luk derecesi almıştır.

Ayrıca bu çalışma Türkiye'de bundan sonra yapılacak olan güneş arabası tasarımları için temel oluşturmuştur.



KAYNAKLAR

- [1] Url 1: Purdue Solar Racing Team, "Solar Car Basic. Purdue University", <http://www.wiged.ecn.purde.edu> Eriřim Tarihi [16.09.2004]
- [2] Url 2 : University of Naval , "Solar Car Technolgy", <http://www.nu.ac.za/solarcar/> Eriřim Tarihi [10.11.2004]
- [3] Url 3 : University of Michigan, "Solar Car Engineering", <http://www.engin.umich.edu/solarcar> Eriřim Tarihi [23.05.2004]
- [4] Url 4 : University of Missouri, "Solar Car Lecture", <http://www.sunrayce.northwestern.edu> Eriřim Tarihi [03.03.2004]
- [5] Url 5 : MIT, "Solar Car Team", <http://web.mit.edu/solar-cars/www/generalinfo/generalinfo.html> Eriřim Tarihi [25.09.2004]
- [6] Url 6 : Elektrik İşleri Etit İdaresi Genel Müdürlüğü, "Türkiyede Güneş Enerjisi", <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html> Eriřim Tarihi [10.05.2005]
- [7] Url 7 : Anadolu Üniversitesi Uçak Bakım Onarım Mezunları,"Kanat Yapısı",<http://www24.brinkster.com/shyo/html/kntaero.html> Eriřim Tarihi [07.03.2005]
- [8] Url 8 : NAGS Airfoil Data Base, "Kanat Profilleri", <http://www.nasg.com/afdb/search-airfoil-e.phtml> Eriřim Tarihi [24.02.2005]
- [9] Douglas R. Carrol, "The Winning Solar Car", SAE International, ABD, 2003
- [10] Roche D.M., Schinckel A.E.T., Storey J.W.V, Humphiris C.P., Guelden M.R., "Speed og Light", Photovoltaics Special Research Center, Avustralya, 1997
- [11] Chester R. Kyle, "Racing with the Sun", Society of Automobile Engineers, ABD, 1991
- [12] Tamai Goro, "The Leading Edge", Kanada, 1997



- [13] Çetinkaya S., “Taşıt Mekaniği”, Nobel Yayınevi, Ankara, 1999
- [14] Karaçay T., “Taşıt Performans Hesapları”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi
- [15] Benli M., “Karma Elektrikli Araçlar”, Yüksek Lisans Tezi, GYTE
- [16] King Richard & Melisa, “Sunracing”, Human Resource Development Pres., Massachusetts, 1993
- [17] Tuckey Bill, “Sunraycer”, Chevron Publishing Group, Australia, 1989
- [18] Url 9: Crystalyte Firması, “ Motor Kits”,
<http://www.crystalyte.com/index.html>, [09.09.2005]
- [19] Url 10: BB-Battrry Firması, “Akü Tipleri”, <http://www.bb-battery.com/>
[08.09.2005]



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 17.11.1979
Doğum Yeri : İzmit / KOCAELİ
Lise : 1993-1997 Gebze Neşet Yalçın Süper Lisesi
Lisans : 1998-2003 İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve
Uzay Bilimleri Bölümü
Yüksek Lisans: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri
Enstitüsü Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

