

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERİN YOL AYDINLATMASI AMAÇLI
KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa BÜYÜKKILIÇ**

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERİN YOL AYDINLATMASI AMAÇLI
KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa BÜYÜKKILIÇ
(301041020)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 05 Haziran 2009**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sermin ONAYGİL (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Adnan KAYPMUZ (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Önder GÜLER (İTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Öncelikle bu çalışmanın hazırlanmasında bana yol gösteren ve benimle değerli bilgilerini paylaşan hocam Sayın Prof. Dr. Sermin ONAYGİL'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Araştırmamı tamamlarken gösterdikleri anlayışları sebebiyle eşim Leyla'ya ve katkılarından dolayı sevgili arkadaşım Berker Bilgin'e teşekkür ederim.

Haziran 2009

Mustafa BÜYÜKKILIÇ

Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE ENERJİNİN DURUMU	5
2.1 Dünyada Enerji	5
2.2 Türkiye’de Enerji	6
3. GÜNEŞ ENERJİSİNE GENEL BİR BAKIŞ	11
3.1 Güneş Enerjisinde Yakın Dönem Gelişmeleri ve Geleceği	11
3.1.1 Geçmiş yıllardaki bazı gelişmeler	12
3.1.2 21. Yüzyılda güneş enerjisinin önemi	12
3.2 Güneş Radyasyonu	13
3.3 Güneş Enerjisinin Üstünlükleri ve Karşılaşılan Sorunlar	14
3.3.1 Güneş enerjisinin üstünlükleri	14
3.3.2 Güneş enerjisinden elektrik üretiminde karşılaşılan sorunlar	15
3.4 Türkiye’de Güneş Enerjisi	16
3.4.1 Güneş enerjisi potansiyeli	16
3.4.2 Türkiye için güncel güneş enerjisi potansiyel değerleri.....	17
3.4.2.1 Akdeniz bölgesinden seçilen konum için değerler.....	18
3.4.2.2 Ege bölgesinden seçilen konum için değerler.....	19
3.4.2.3 Marmara bölgesinden seçilen konum için değerler	20
3.4.2.4 Güneydoğu anadolu bölgesinden seçilen konum için değerler.....	21
3.4.2.5 Doğu anadolu bölgesinden seçilen konum için değerler.....	22
3.4.2.6 Karadeniz bölgesinden seçilen konum için değerler.....	23
3.4.2.7 İç anadolu bölgesinden seçilen konum için değerler	24
4. GÜNEŞ PANEL TEKNOLOJİLERİ VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLER...	29
4.1 Fotovoltaik Pil Yapı ve Çalışma Prensipleri	29
4.2 Fotovoltaik Pil Eşdeğer Devresi ve Güç	30
4.3 Fotovoltaik Pildeki Enerji Dönüşüm Kapasitesi	32
4.4 Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler	32
4.4.1 Kristal silisyum	33
4.4.2 İnce film	33
4.4.2.1 Galyum arsenit (GaAs)	33
4.4.2.2 Amorf silisyum	33
4.4.2.3 Kadmiyum tellürid (CdTe).....	33
4.4.2.4 Bakır indiyum diselenid (CuInSe2)	34

4.4.2.5 Optik yoğunlaştırıcı hücreler	34
4.5 Güneş Enerjili (Fotovoltaik) Sistemler	35
4.5.1 Güneş panelleri.....	37
4.5.2 Şarj kontrol cihazları ve maksimum güç noktası izleyicileri	38
4.5.3 Eviriciler.....	39
4.5.4 Aküler.....	39
4.5.5 Diğer sistem elemanları.....	39
5. YOL AYDINLATMASI HAKKINDA GENEL BİLGİLER	41
5.1 Yol Aydınlatmasında Kalite Kriterlerinin Elde Edilmesi	41
5.2 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Işık Kaynakları	41
5.2.1 Yüksek basınçlı civa buharlı lambalar	42
5.2.2 Metal halojen lambalar	43
5.2.3 Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar	43
5.2.4 Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar	44
5.2.5 LED teknolojisi ve aydınlatma.....	47
5.3 Yol Sınıfları ve Özellikleri.....	48
5.4 Yol Aydınlatma Armatürleri	51
6. GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERİN YOL AYDINLATMASI AMAÇLI KULLANIMINDA SİSTEM OPTİMİZASYONU	53
6.1 Lamba ve Armatür Seçimi	53
6.2 Sistem Modeli	58
6.3 Sistem Elemanlarının Seçimi	60
6.3.1 İstanbul Kartal’da 65 W güneş panel gücü ile elektrik üretimi.....	65
6.3.2 İstanbul Kartal’da 85 W güneş panel gücü ile elektrik üretimi.....	66
6.3.3 İstanbul Kartal’da 105 W güneş panel gücü ile elektrik üretimi.....	67
6.4 Sistemin Basit Maliyet Analizi	69
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR.....	77
EKLER.....	79

KISALTMALAR

OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
AB	: Avrupa Birliği
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
W	: Watt
GW	: Gigawatt
GWh	: Gigawatt saat
kWh	: Kilowatt saat
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer petrol
MW	: Megawatt
DEKTMK	: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
kW	: Kilowatt
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
Vad	: Açık devre gerilimi
Ikd	: Kısa devre akımı
Vmg	: Maksimum güçte gerilim
Img	: Maksimum güçte akım
Vm	: Maksimum gerilim
Im	: Maksimum akım
Pm	: Maksimum güç
PWM	: Darbe genişlik modülasyonu
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleyicisi
Lm	: Lümen
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
CIE	: Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
LED	: Işık Yayan Diyot
Uo	: Ortalama Düzgünlük
UI	: Boyuna Düzgünlük
TI	: Bağlı Eşik Artışı
IP	: Uluslararası Koruma

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : OECD ve AB Ülkelerinde Elektrik Kurulu Gücü (2007 Yılı).....	6
Çizelge 2.2 : Türkiye Brüt Elektrik Enerjisi Üretiminde Birincil Enerji Kaynak Payları (2007).....	7
Çizelge 2.3 : Türkiye birincil enerji kaynakları rezervi ve potansiyeli-2004 (DEKTMK).....	8
Çizelge 2.4 : Türkiye’de birincil enerji kaynakları üretim ve tüketiminin kaynaklara göre dağılımı – 2006.....	9
Çizelge 2.5 : Türkiye ve AB’ de genel enerji tüketiminin kaynaklara dağılımı (%) 2006.....	9
Çizelge 3.1 : Türkiye’nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	16
Çizelge 3.2 : Türkiye’nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	17
Çizelge 3.3 : Birinci konuma ait hesap değerleri.....	19
Çizelge 3.4 : İkinci konuma ait hesap değerleri.....	20
Çizelge 3.5 : Üçüncü konuma ait hesap değerleri.....	21
Çizelge 3.6 : Dördüncü konuma ait hesap değerleri.....	22
Çizelge 3.7 : Beşinci konuma ait hesap değerleri.....	23
Çizelge 3.8 : Altıncı konuma ait hesap değerleri.....	24
Çizelge 3.9 : Yedinci konuma ait hesap değerleri.....	25
Çizelge 3.10 : Güncel değerler neticesinde Türkiye’nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	26
Çizelge 4.1 : Güneş pillerinin laboratuvar ortamındaki verimleri.....	34
Çizelge 4.2 : Güneş hücrelerinin performans karşılaştırması.....	34
Çizelge 4.3 : Kyocera marka güneş panellerinin teknik özellikleri.....	38
Çizelge 5.1 : Yol Aydınlatmasında Kullanılan Lambaların Özellikleri.....	46
Çizelge 5.2 : Yol Aydınlatmasında Kullanılan Deşarj Lambaların Zamana Göre Işık Verimlilikleri.....	46
Çizelge 5.3 : Farklı yol tipleri için aydınlatma sınıfları.....	49
Çizelge 5.4 : Değişik aydınlatma sınıfları için uygulanacak yol aydınlatması Kriterleri.....	50
Çizelge 5.5 : Yaya alanlarındaki değişik yol tipleri için ortalama aydınlık düzeyi değerleri.....	51
Çizelge 6.1 : Tasarımda kullanılan lamba tiplerine göre yol özellikleri.....	54
Çizelge 6.2 : M4 aydınlatma sınıflı yol için alternatif tesisatlar.....	55
Çizelge 6.3 : Alternatif çözümlerin elektrik enerjisi tüketimleri (1 km.lik yol için). 56	56
Çizelge 6.4 : M5 aydınlatma sınıflı yol için alternatif tesisatlar ve elektrik enerjisi tüketimleri (1km.lik yol için).....	57
Çizelge 6.5 : Aylık olarak ihtiyaç duyulan sistem elemanları.....	63
Çizelge 6.6 : İstanbul ilinde yol aydınlatma tesisatlarının çalışacağı toplam karanlık süreler (saat).....	64

Çizelge 6.7 : Kartal'da 65 W panel kullanılan sistemin verileri.....	65
Çizelge 6.8 : Kartal'da 85 W panel kullanılan sistemin verileri.....	66
Çizelge 6.9 : Kartal'da 105 W panel kullanılan sistemin verileri.....	68
Çizelge 6.10 : Seçilen farklı güçlerdeki üç panelin teknik özellikleri.....	69
Çizelge 6.11 : Seçilen farklı güçlerdeki üç panelin teknik özellikleri.....	70
Çizelge 6.12 : Seçilen farklı güçlerdeki üç panelin teknik özellikleri.....	71
Çizelge A.1 : Bazı illere ait güneşlenme değerleri	79
Çizelge A.2 : Devlet Meteoroloji İşleri'nin İstanbul iline ait güneşlenme değerleri.	79
Çizelge C.1 : Kyocera Marka Güneş Panelleri Fiyat Listesi.....	97
Çizelge C.2 : BP Marka Güneş Panelleri Fiyat Listesi.....	97
Çizelge D.1 : Akü Fiyat Listesi	98
Çizelge D.1 : Alternatif Akü Fiyat Listesi.....	98

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Türkiye enerji ihtiyacının karşılanması.....	10
Şekil 3.1 : Yıllık toplam güneş enerjisi (KWh/m ² – yıl)	17
Şekil 3.2 : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası	26
Şekil 4.1 : Güneş Pili yapısı	30
Şekil 4.2 : Güneş pilinde elektrik akımının oluşumu	31
Şekil 4.3 : Bir güneş pilinin akım gerilim karakteristiği	31
Şekil 4.4 : Örnek bir güneş pilli enerji sistemi	36
Şekil 5.1 : Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lamba	43
Şekil 5.2 : Metal Halojen Lamba	43
Şekil 5.3 : Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba	44
Şekil 5.4 : Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba Örnekleri	45
Şekil 5.5 : Yüksek Işık Yayan Ledler	47
Şekil 5.6 : Ledli fotovolttaik yol aydınlatma örneği	48
Şekil 5.7 : Yol Aydınlatmasında Kullanılan Armatür Örneği	51
Şekil 6.1 : Oluşturulan modelin blok diyagramı	59
Şekil 6.2 : Sistemin gündüz çalışma durumu	59
Şekil 6.3 : Sistemin gece çalışma durumu	60
Şekil 6.4 : Panel gücünün hesaplanışını gösteren akış diyagramı	61
Şekil 6.5 : Akü kapasitesinin hesaplanışını gösteren akış diyagramı	61
Şekil 6.6 : EİE İstanbul Kartal için günlük ortalama güneşlenme süreleri	62
Şekil 6.7 : Kartal'da 65 W panele ait aylık elektrik üretim verileri	66
Şekil 6.8 : Kartal'da 85 W panele ait aylık elektrik üretim verileri	67
Şekil 6.9 : Kartal'da 105 W panele ait aylık elektrik üretim verileri	68
Şekil B.1 : 50W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	80
Şekil B.2 : 70W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	81
Şekil B.3 : 100W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	82
Şekil B.4 : 36W Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	83
Şekil B.5 : 55W Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	84
Şekil B.6 : 91W Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	85
Şekil B.7 : 70W Metal Halojen Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	86
Şekil B.8 : LED'li Lambalarda M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu ..	87
Şekil B.9 : 50W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M5 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	88

Şekil B.10 : 70W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M5 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	89
Şekil B.11 : 36W Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M5 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	90
Şekil B.12 : 70W Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	91
Şekil B.13 : LED’li Lambalarda M5 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu	92
Şekil B.14 : 50W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri	93
Şekil B.15 : 70W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri	93
Şekil B.16 : 100W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri ..	94
Şekil B.17 : 36W Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri	94
Şekil B.18 : 55W Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri	95
Şekil B.19 : 91W Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri	95
Şekil B.20 : Metal Halojen Lamba ve Armatür Verileri	96
Şekil B.21 : LED Lamba ve Armatür Verileri	96

GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERİN YOL AYDINLATMASI AMAÇLI KULLANIMI

ÖZET

Elektrik enerjisi günümüzde çok yüksek bir oranda fosil kaynaklar kullanılarak üretilmektedir. Bu kaynakların yüksek oranda kullanılması ülkeleri ekonomik açıdan, bütün dünyayı ise çevre kirliliği bakımından etkilemektedir. Bu etkilerin zararlı sonuçlarını en aza indirmekse kullanılan bu kaynakların en fazla oranda çeşitlendirilmelerine ve alternatif enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmasına bağlıdır. Güneş enerjisi bu alternatif kaynaklar içerisinde önemli bir yer tutmaktadır ve kullanımı günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak güneş enerjisinin ülkemizde alternatif bir elektrik enerjisi kaynağı olarak kullanımı çok azdır ve yaygınlaştırılması konusunda çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Bu amaca bağlı olarak güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerin yolların aydınlatılması için kullanılabilirliği bu çalışmada irdelenmeye çalışılmıştır. Çalışmanın ilk bölümlerinde dünyada ve Türkiye’de enerjinin durumundan bahsedilmiş ve Türkiye’deki elektrik enerjisi üretimi ile ilgili genel bilgiler verilerek Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılmış olan güneş enerjisi potansiyeli çalışmaları tablolarla verilmiştir. Bu veriler Avrupa Birliği destekli bir program olan PVGIS’de çıkan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucu artan potansiyelden bahsedilmiştir. Daha sonra 7 değişik tipte ve güçte lambalar için yol aydınlatma düzenekleri oluşturulup karşılaştırılmıştır. Bu düzenekler için güneş enerjili sistem modelleri oluşturulup bu modeller için gerekli sistem ekipmanları belirlenmiş ve optimize edilmiştir. Ayrıca bu sistemler için ilk yatırım maliyetleri yaklaşık olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Ortaya çıkan tablolar incelendiğinde bu tür sistemlerin şebeke bağlantısı olan bölgelerde yol aydınlatmasında kullanımının optimum bir çözüm olamayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

USING SOLAR ENERGY SYSTEMS IN ROAD LIGHTING

SUMMARY

Electrical energy at the present day is being produced mostly from fossil fuels. Consuming these fuels with such big amounts effects the countries economically and the world in environmental pollution. In order to reduce the damage of these effects to minimum levels, these resources should be varied and the use of alternative energy sources should be increased. Solar energy has an important role in these alternative energy sources and its usage is increasing gradually nowadays. However in our country solar energy is used very less as an alternative electrical energy source and it needs to be worked on very much in order to increase its usage.

In accordance with this purpose the possibility of using systems converting solar energy into electrical power in road lighting has been analysed with this study. At the first stages of the study, the status of energy in the world and Turkey is mentioned and general information about electrical energy in Turkey and the tables of studies about solar energy potential of Turkey by EIE are given. These datas have been compared with the results of a program named PVGIS supported by European Union. According to the results of comparing these datas, the increasing potential is discussed. Then road lighting models for 7 lamps with different types and powers have been developed and compared. Solar energy systems for these lighting models have been formed and system components have been specified and optimized. Then the approximate first investment costs of these systems have been tried to defined. Finally by analysing these tables it is seen that in areas which have utility connection, using solar energy systems for road lighting is not an optimum solution.

1. GİRİŞ

Enerji iş yapma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır ve ısı enerjisi, ışık (radyant enerji), mekanik enerji, elektrik enerjisi, kimyasal enerji ve nükleer enerji gibi değişik formlarda karşımıza çıkmaktadır. Enerji kaynakları genelde yenilenebilir ve tükenbilir kaynaklar olarak iki grup altında toplanırlar. Yenilenebilir enerji, pratik olarak sınırsız varsayılan, sürekli ve tekrar tekrar kullanılabilen enerjidir. Örneğin güneş enerjisi gibi, güneşten gelir ve elektriğe veya ısı enerjisine dönüştürülebilir. Rüzgar enerjisi, yerküreden gelen jeotermal enerji, bitkilerden üretilen biyokütle ve sudan elde edilen hidrojen de yenilenebilir enerji grubunda değerlendirilmektedir. Yenilenebilir enerji, kısa sürede yerine konulan enerjidir. Tükenbilir enerji ise, kullanılan ancak insan ömrü kadar kısa zaman aralığında yeniden oluşmayan enerji olarak tanımlanabilir. Bunlar genelde, petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklardır. Bu tür enerjiler, yaşamları milyonlarca yıl önce sona ermiş bitki ve hayvan gibi organik kalıntıların yerkürenin içinden gelen ısı ve bu kalıntıların üzerinde bulunan kayaçlardan kaynaklanan basınç altında oluşmuş fosillerinden kaynaklanmaktadır [1].

Endüstriyel anlamda insanlığın huzuru ve refahı için hizmet veren her enerji türü mühendislik ilgi alanına girer. Günümüzde, endüstrinin en temel enerji tüketimi elektrik enerjisi olup, onu ısınma veya ısıtma amaçlı fosil yakıtlar (petrol, kömür, doğal gaz gibi) takip etmektedir. Geçmişten günümüze elektrik enerjisi genelde hidrolik santraller vasıtasıyla üretilmektedir. Arazi yapısı ve nehir potansiyeli uygun olmayan ülkeler ise termik santraller ile elektrik ihtiyacını karşılamışlardır. Diğer taraftan enerji ve yakıt talebi sürekli olarak artmaktadır. Dolayısıyla hidrolik santraller veya termik santraller ile elektrik enerjisi, kömür veya petrol vasıtasıyla da yakıt talebinin karşılanması güçleşmektedir. Özellikle kömür ve petrol rezervlerinin sınırlı olması ve bir gün mutlaka bitecek olması gelecek enerji talebini planlayan enerji projeksiyonlarında çok önemle değerlendirilmektedir. Bugün, petrol savaşları olarak tanımlanabilecek Körfez veya Afganistan krizleri göstermektedir ki, enerjinin endüstri ihtiyacı yanında çok büyük bir uluslar arası bağımsızlık yönü de vardır. Ülke

politikalarında enerji konusu genelde başrolü oynamaktadır. Bir noktada bir ülkenin bağımsızlığı “artık kendi enerjisini karşılayabilme potansiyeli” ile belirlenmektedir. Enerji olmadan endüstri, endüstri olmadan refah ve mutlu toplum veya bağımsızlığını koruyabilme yeteneği olmayacağı için, enerjisiz bir ülke siyaseti düşünülemez. Sözü edilen krizler ve 1974 yılında meydana gelen ve petrol fiyatlarının aşırı yükselmesi ile sonuçlanan petrol krizi enerjinin önemini ortaya koymaktadır. Petrol fiyatlarındaki artış, petrol bağımlısı ülkelerde ekonomik krizlere, ekonomik krizler de halk ayaklanmasına, sonuçta da dış ülkelerin müdahalesine ortam hazırlamıştır. Bu ülkeler hayatlarını idame ettirmek için IMF (International Monetary Fund) gibi kuruluşların politikalarına mahkum olarak bağımsızlıklarından belirli ölçüde fedakarlık etmişlerdir. Bununla birlikte, 1974 petrol krizinde sanayileşmiş ülkeler teknolojileri ve sanayi ürünleri ihracatları ile, geniş ölçüde petrol kaynaklarına sahip olmadıkları halde, hafif bir sıkıntı ile bağımsızlıklarından ödün vermeden krizi atlattıklarıdır. Hatta benzer bir duruma tekrar düşmemek için enerji bağımsız hale gelmenin yöntemlerini aramışlardır. Petrol, kömür ve hidrolik potansiyele dayanmayan, bilimsel terminolojide alternatif enerji kaynakları olarak isimlendirilen, yeni enerji kaynakları geliştirmişlerdir. Bu kaynakların her ülkede bulunabileceğine de özellikle dikkat çekilmiştir.

Yukarıda bahsedilenlerden de anlaşılacağı gibi enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişimlerinin sürükleyici unsuru ve en temel gereksinimlerinden biridir. Bu nedenle de ülke yönetimlerini üstlenenler, enerjiyi kesintisiz, güvenilir, temiz ve ucuz yollardan bulmak ve bu kaynakları da mutlaka çeşitlendirmek durumundadırlar. Kimi geleneksel enerji kaynakları ile geri kalmış teknoloji kullanımının, doğal çevrede geri dönülmez tahribatlara yol açmaması için, “sürdürülebilir kalkınma” kavramı gündeme gelmiştir. Buna paralel olarak da, yalnız enerji kaynağı teminini ve enerji üretimini temel alan planlamanın yerini, gelişmiş toplumlarda enerji-ekonomi-ekoloji dengesini özenle gözetilen planlama anlayışı ile, kaynak çeşitliliğini ve jeopolitik gerçekleri dikkate alan enerji güvenliği modelleri almaya başlamıştır. Birincil enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin depo edilememesi nedeniyle uygulanması gereken ve kaynakların optimum yararla kullanılabilmesi için vazgeçilmez olan bir diğer temel unsur ise, planlamadır [2,3].

Ancak son dönem enerji üretim ve tüketim yöntemleri ile yerine yenisi konulamayacak enerji kaynaklarımız tüketilmekte, bunun sonucunda da tabiat

üzerinde geri dönüşsüz bir tahribata sebep olunmakta ve çevre kirliliği meydana getirilmektedir. Hem fosil kaynakların kısıtlılığı hem de üretimde meydana getirilen çevre kirliliği ile enerji üretiminde hem yenilenebilir ve sınırsız, hem de çevreyle uyumlu kaynakların araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Aralarında güneş enerjisinin de bulunduğu yenilenebilir enerji kaynakları bu fırsatları içlerinde barındırmakta ve geliştirilmeyi bekleyen yegâne enerji kaynaklarıdır. Güneş enerjisi, sahip olduğu potansiyel ve kullanım kolaylığı ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla daha kolay bir şekilde yaygınlaşabilecek fırsata sahiptir. Türkiye ise hâlihazırda güneş kuşağında olmasına rağmen sahip olduğu potansiyeli yeterli derecede etkin ve yaygın bir şekilde kullanamamaktadır [4].

Bu çalışmada ise Türkiye'nin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyelinin günümüz teknolojileri kullanılarak yol ve sokak aydınlatma amaçlı olarak kullanımının hem teknik olarak hem de ticari yönleri ile uygunluğu araştırılmıştır. Öncelikle Calculux programı aracılığı ile Philips veritabanından değişik tipte lamba ve armatürler kullanılarak sağlanan aydınlatma kriterleri değerleri optimize edilmiştir. Çıkan sonuçlar çizelgelerde karşılaştırılmış olup belirlenen lamba tip ve güçleri için gerekli elektrik tüketimini karşılayacak güneş enerjisi ile çalışan sistem modelleri oluşturulmaya çalışılmıştır. Matlab'de yazılan bir program ile gerekli sistem elemanları seçilmeye çalışılmıştır. İstanbul'da örnek bir bölge için yıl içinde olası güneşlenme miktarları ve depolanabilme olasılıkları da irdelenmeye çalışılmıştır. Daha sonra bu örnek modellerin maliyet analizleri yapılarak ticari yönleri incelenmiş ve bu maliyetlerin uygun sürelerde geri kazanılıp kazanılamadığı ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

2. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ENERJİNİN DURUMU

Bu bölümde dünyada ve Türkiye'de enerji kaynakları ile ilgili genel bilgiler, özellikle Türkiye'deki elektrik üretim ve tüketim değerleri ve elektrik üretiminde kullanılan kaynak çeşitleri ve bunların üretimdeki payları ele alınmıştır.

2.1 Dünyada Enerji

Enerji ve tercih edilen enerji kaynağı değerlendirilirken kaynağın fiyatı, kaynağın elde edilme kolaylığı, başka ülkelere bağımlı olma durumu ve ayrıca çevre ve sağlık etkileri göz önüne alınır. Yaklaşık 6.5 milyarlık dünya nüfusunun 4.5 milyarının dünya ortalamasından daha düşük enerji tükettiği; 2.4 milyarının hala ticari olmayan enerji kaynaklarına (odun, bitki-hayvan artıkları) bağlı olduğu; 1.6 milyara elektriğin ulaşmamış olduğu ve gelişmiş ülkelerde kişi başına enerji tüketiminin gelişmekte olan ülkelere göre 7 kat yüksek olduğu bilinmektedir [1].

Dünyada en hızlı gelişme gösteren enerji formu, elektriktir. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde toplumların gelişmeleri ve hayat standartları elektrik sistemlerinin gelişmesiyle, kişi başına elektrik tüketimleriyle, enerji yoğunluklarıyla ölçülmektedir. 2007 yılı itibariyle bazı OECD ve Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde elektrik kurulu gücü Çizelge 2.1' de verilmektedir. 2006 yılı itibariyle kişi başına yıllık elektrik tüketimi OECD ülkeleri için 8381 kWh iken dünya ortalaması ise 2659 kWh'dir. ABD'de 13515 kWh olan kişi başına yıllık elektrik tüketimi, AB için 6080 kWh ve Türkiye için ise 2053 kWh'dir [5].

Çizelge 2.1 : OECD ve AB Ülkelerinde Elektrik Kurulu Gücü (2007 Yılı), GW [6]

Ülke	Termik	Nükleer	Hidrolik	Diğer	Toplam
ABD	769	100,6	77,8	29,6	977
Almanya	77	20,2	4,14	25,3	126,7
İtalya	64,4	0	13,5	3,67	81,6
Fransa	25,7	63,2	20,8	2,12	111,9
İspanya	43,6	7,44	12,96	12,8	76,8
Portekiz	7,6	0	4,5	1,8	13,9
Japonya	174,2	49,5	22,2	7,67	253,62
Kanada	37,1	13,3	72,5	2,67	125,64
Türkiye	27,4	---	13	0,123	40,6

Elektrik genelde pahalı bir enerji türüdür. Hem yenilenebilir, hem de tükenebilir kaynaklardan elde edilebilir. Düşük enerji fiyatının ekonomik gelişmeyi tetiklediği ve hidro elektrik dışındaki yenilenebilir kaynakların fosil kaynaklara göre tüketici için genelde daha yüksek maliyetli olduğu bilinen gerçeklerdir. Diğer taraftan, enerji kaynakları tüm ülkelere eşit olarak dağılmış durumda değildir. Dünyada bazı ülkeler rezervlere sahip olup üretici konumundayken, diğerleri bu enerji kaynaklarını elde etmeye çalışan tüketici konumundadırlar [1].

2.2 Türkiye’de Enerji

Ülkemiz çok çeşitli birincil enerji kaynaklarına sahip bir ülkedir. Ülkemizde taşkömürü, linyit, bitümlüsisit, ham petrol, doğal gaz, uranyum ve toryum gibi fosil kaynak rezervleri ile hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, dalga enerjisi, biyokütle enerjisi gibi tükenmez kaynak potansiyelleri bulunmaktadır. Ülkemizin, dünyada halen yoğun olarak kullanılan fosil kaynakların, özellikle akışkan fosil yakıtların görünür rezervleri yeterli düzeyde değildir. Kömür, jeotermal ve hidrolik enerji rezerv ve potansiyeli ise dünya kaynak varlığının %1’i civarındadır.

Ülkemizdeki enerji tüketimi 2007 yılı sonu itibariyle yıllık ortalama 101,7 milyon ton eşdeğer petrol'e (MTEP)[7], 2007 yılı sonu toplam elektrik enerjisi üretimi de 191,5 milyar kWh'e ulaşmıştır. Bu dönemde yurtiçi toplam elektrik enerjisi talebi (brüt talep) ise 190 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2007 yılında elektrik enerjisi üretiminin % 49,6'sı doğal gazdan; % 18,72'si hidrolikten; % 19,99'u linyitten; % 7,9'u taşkömürü ve ithal kömürden; ve % 3,38'i fuel-oil'den elde edilmiştir. 2007 yılında % 59,5'lük kısmı ithal kaynaklardan sağlanan ülkemiz elektrik enerjisi üretiminin % 81'lik kısmı termik santrallerde gerçekleştirilmiştir [8].

Çizelge 2.2 : Türkiye Brüt Elektrik Enerjisi Üretiminde Birincil Enerji Kaynak Payları (2007) [8]

	Üretim (GWh)	Üretimdeki Payı (%)
Fuel-Oil	6,474	3,38
Motorin	19	İhmal edilebilir (0,01)
Taş Kömürü +İthal Kömür	15133	7,9
Linyit	38292	19,99
Doğal gaz	95012	49,6
LPG		İhmal edilebilir
Nafta	38	İhmal edilebilir (0,02)
Yenilenebilir +Atık	210	0,11
Hidrolik	35859	18,72
Rüzgâr +Jeotermal	517	0,27
GENEL TOPLAM	191558	100,0

Bu çizelgeden de görüldüğü gibi ülkemizde tüketilen enerjide ağırlıklı olarak petrol ve doğal gaza bağımlılık sözkonusudur. Ülkemiz ithalatının yaklaşık üçte birini ihtiyaç duyduğu enerjiye ödemektedir. Ülkemiz sürdürülebilir kalkınma hedefini gerçekleştirebilmesi için bu çizelgenin değişmesi gerekmektedir. Yerli ve yenilenebilir kaynakların tamamı hızlı bir şekilde devreye sokularak enerjide dışarıya bağımlılığın azaltılması (özellikle doğal gaz miktarının azaltılması), çözümlenmesi gereken en önemli sorunlardan birisidir.

Ülkemizin hidroelektrik enerji potansiyeli, dünya toplam potansiyelinin % 1'i, Avrupa toplam potansiyelinin ise % 16'sı civarındadır. Hidroelektrik potansiyelimizin % 65'e yakın kısmı henüz değerlendirilememektedir. Rüzgar enerjimizin halen % 2'sini kullanabiliyoruz, artık bu potansiyelimizin gerçeğe dönüştürülmesi gerekmektedir. Jeotermal enerjinin yaygınlaştırılması, güneş,

biyokütle, dalga ve hidrojen enerjisi gibi, henüz kullanamadığımız enerji kaynaklarının enerji arzında boy göstermeye başlaması, enerjide dışa bağımlılığımızı azaltacak adımlardır [9].

Kömür ve yenilenebilir birincil kaynaklarımızın rezerv ve potansiyelleri, girmeyi hedeflediğimiz Avrupa Birliği ülkelerine kıyasla iyi düzeyde olmasına rağmen, toplam enerji tüketimimizin % 60'ını oluşturan petrolde ve doğalgazda “görünür” rezervlerimiz yok denecek düzeydedir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 : Türkiye birincil enerji kaynakları rezervi-2004 (DEKTMK) [1]

Kaynak	Birim	Rezerv	Rez./Tüketim
Taş K.	Milyon ton	1344	71 yıl
Linyit	Milyon ton	8375	187 yıl
Asfaltit	Milyon ton	79	110 yıl
Bitümler	Milyon ton	1641	
Hidrolik	GWh/yıl	129907	
	MW	36652	
Ham petrol	Milyon ton	43	17 ay
D.Gaz	Milyar m ³	8	4 ay
Doğal	Ton	9129	
Uranyum			
Toryum	Ton	380000	
Jeotermal- elektr.	MWe	510	
Jeotermal-ısı	MWt	31500	
Güneş- elektrik	Milyon TEP	25	
Güneş-ısı	Milyon TEP	87	
Rüzgar	MW	10000	

Çizelge 2.4 : Türkiye’de birincil enerji kaynakları üretim ve tüketiminin kaynaklara göre dağılımı – 2006 [10]

Kaynak	Birim	Üretim	Tüketim
Taş K.	(Bin ton)	2319	22798
Linyit	(Bin ton)	61484	60184
Asfaltit	(Bin ton)	452	602
Petrol	(Bin ton)	2176	31395
D. Gaz	(10 ⁶ m ³)	907	31313
Hidrolik	(GWh)	44338*	44338*
Jeo. Elek.	(GWh)	*	*
Jeo. Isı	(Bin TEP)	1081	1081
Rüzgar	(GWh)	127	127
Güneş	(Bin TEP)	403	403
Odun	(Bin ton)	13293	13293
Hayvan ve Bitki artıkları	(Bin ton)	4984	4984
Elektrik ithalat	(GWh)	--	-1663
İkincil Kömür İthalı	(Bin ton)	--	2343
TOPLAM	(Bin TEP)	26802	99590

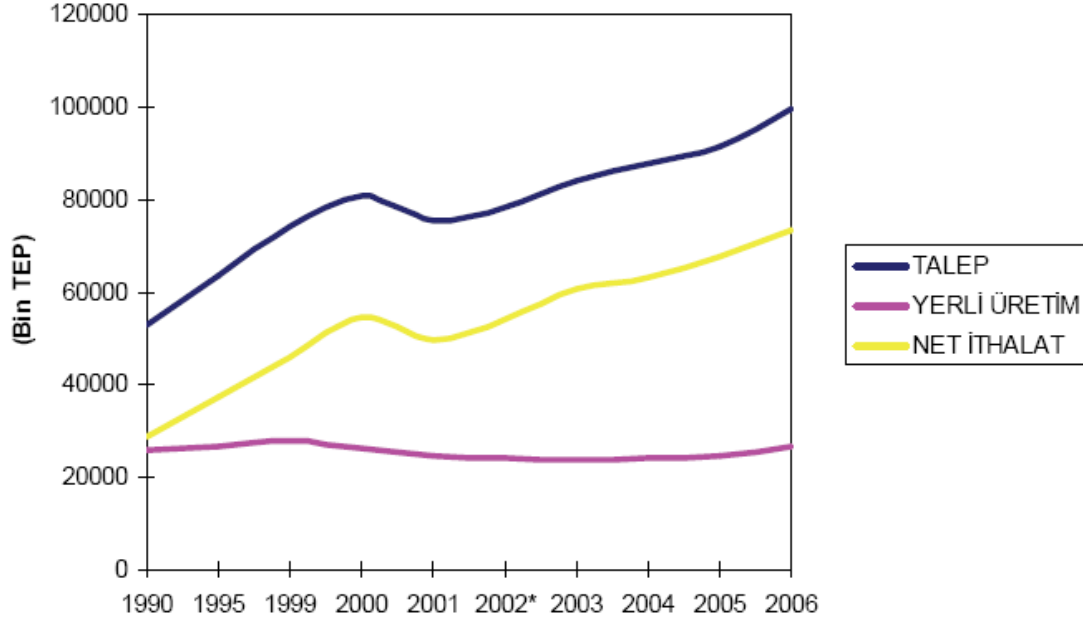
*2006 yılı Hidrolik (GWh) ve Jeotermal Elek. (GWh) verileri birlikte verilmiştir.

2006 yılı Türkiye genel enerji üretim ve tüketim miktarları, kaynak bazında Çizelge 2.4’te sunulmuştur. Genel enerji tüketiminde kaynakların payı incelendiğinde, Türkiye ve AB ülkelerindeki petrol ve doğal gaz tüketim oranlarının aynı olduğu, Türkiye’nin kömür ve yenilenebilir kaynaklar payındaki fazlalığının AB’de nükleer enerji ile sağlandığı görülmektedir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 : Türkiye ve AB’de genel enerji tüketiminin kaynaklara dağılımı (%) 2006 [5]

	Doğal		Kömür	Nükleer	Yenilenebilir	Yenilenebilir	
	Petrol	Gaz				(Hidro.)	(Bio.)
Türkiye	38	22	27	0	13	4,5	6,3
AB	37	24	18	15	6	1,5	4,0
Dünya	34,4	20,5	26	6,2	12,9	2,2	10,1

2006 yılında genel enerji tüketimimizin % 87’si fosil yakıtlardan, % 13’ü yenilenebilir kaynaklardan sağlanmıştır (Çizelge 2.5).



Şekil 2.1 : Türkiye enerji ihtiyacının karşılanması [10]

Şekil 2.1'den de görüldüğü gibi son 15-20 yıldır enerji talebimizin büyük bir kısmını yurtdışından ithal ettiğimiz kaynaklarla sağlamaktayız. Özellikle doğalgaz bu ithal kaynakların büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Kaynakların bu şekilde ülke dışından alınması hem ekonomimize ağır bir yük getirmekte hem de alım yapılan ülkelerin politikalarına bağlı olmamıza neden olmaktadır. Bu nedenle, önümüzdeki dönemde güneş enerjisi gibi yerli ve yenilenebilir kaynakların verimli kullanılabilmesi için gerekli girişim ve yatırımların yapılması zorunlu olarak görülmektedir.

3. GÜNEŞ ENERJİSİNE GENEL BİR BAKIŞ

Güneş 1,4 milyon km çapıyla dünyanın 110 katı büyüklüğünde ve dünyadan $1,5 \times 10^{11}$ m uzaklıkta yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı bir yıldızdır. Yüzey sıcaklığı yaklaşık $6000 \text{ }^\circ\text{K}$ olup iç bölgelerindeki sıcaklığın $8 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ ile $40 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Doğal ve sürekli bir füzyon reaktörü olan güneşin enerji kaynağı 4 Hidrojen atomunun 1 Helyum atomuna dönüşmesinde gizlidir [4].

Güneşin 1 saniyede ürettiği enerji miktarı, insanlığın şimdiye kadar kullandığı enerji miktarından fazladır. Uzaya yayılan güneş ışınları yakıcı ve öldürücüdür. Işınlardan zararlı olanları dünyaya ulaşmadan 22 km yukarıda ozon tabakası tarafından yutulur. Ozon gazı güneşin mor ötesi ışınlarını yutmakta ve tüm canlıların zararlı ışınlardan korunmasını sağlamaktadır. Ozon şimdiki miktarından daha fazla olsaydı, canlı organizmalar için gerekli olan miktarı da tutacak ve bunun sonucunda canlıların gelişimi sağlıklı olmayacaktı.

Güneş enerjisinin bir çok üstünlüğü olmasına rağmen, aşağıda sıralanan bazı nedenlerden günümüzde kullanım uygulamaları oldukça azdır.

- Birim düzleme gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç olmaktadır.
- Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir ve depolama olanakları sınırlıdır.
- Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış günlerinde güneş ışınımı az ve geceleri de hiç yoktur.

Sistemlerin güneş ışınımını sürekli alabilmesi için çevresinin açık olması ve gölgelenmemesi gerekmektedir.

3.1 Güneş Enerjisinde Yakın Dönem Gelişmeleri ve Geleceği

Güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar geçmişten günümüze sürekli gelişmeler göstermekte ve ilerlemeler kaydetmektedir. Bu kaynağın önümüzdeki yıllardaki önemi de giderek artmaktadır.

3.1.1 Geçmiş yıllardaki bazı gelişmeler

Dünyada son yıllarda sözü çok edilen enerji krizi, güneş enerjisinin teknolojik gelişimini ve geleceğini büyük ölçüde etkileyerek, pekçok ülkede yaygınlaşmaya başlamasına neden olmuştur. En yaygın uygulamalar yapıların aktif ve pasif biçimde güneşle ısıtılması ve soğutulması (iklimlendirilmesi), güneş pilli (fotovoltaik) yada ısı (termal) olarak güneşten elektrik üretilmesi ve geleceğin yakıtı olarak düşünülen hidrojen gazının sudan üretilmesinde güneş enerjisi kullanılması (güneş-hidrojen sistemi) dir.

Güneş-elektrik santralleri güneş pilli ve ısı-elektrik sistemli olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Şebekeye bağlı güneş pilli santrallerin güçleri 100 kW ile onlarca MW arasında değişmektedir. Yine şebekeye bağlı ancak dağıtılmış durumda olan bina çatı ve yüzeylerine yerleştirilen sistemlerin güçleri ise 1kW ile 50kW arasında değişmektedir. Güneş pilli santralleri olarak, ilk olarak 1982'de California'da 1MW'lık Edison Lugo PV Santrali kurulmuş, bunu Los Angeles-San Francisco arasında kurulan 6,5 MW'lık Carissa Plains Santrali izlemiştir. Fotovoltaik santral olarak adlandırılan yüksek güçteki fotovoltaik jeneratörlere yeni bir örnek olarak, halen Girit adasında yapımı sürmekte olan 5 MW'lık santral verilebilmektedir. Güneş santrallerinin yaygınlaştırılmasını etkileyen sebeplerin en başında ekonomik etkenler gelmektedir. Ayrıca fotovoltaik santralin çok geniş bir alana kurulması gerekmektedir. Bu santrallerin gece üretim yapmayacağı göz önüne alınarak gündüz enerjinin uygun bir şekilde depolanmasını sağlayacak sistemler geliştirilmelidir. Büyük güçlerdeki santrallerin kuruluş maliyeti bugünkü koşullarda diğer santrallere göre daha yüksek olmasına rağmen, gelişen teknolojiye bağlı olarak maliyetin azalması beklenmektedir [11].

3.1.2 21. Yüzyılda güneş enerjisinin önemi

Yerel, tükenmez ve çevre dostu kaynak olduğu için güneş enerjisinin bilinçli kullanımı son yıllarda büyük önem kazanmaktadır. Güneş enerjisinin üstünlükleri arasında ısısal ve ışıksal özyapıda olması, taşıma, iletim ve dağıtım sorununun olmayışı yer almaktadır. Zaman zaman güneş enerjisi bedava kaynak olarak tanıtılmasına karşın, gerçekte durum hiç de böyle değildir. Çünkü, denetimli kullanım amacıyla toplanması için değişik sistemler gerekmekte, bu sistemlerin de doğal olarak bir kurulum maliyeti bulunmaktadır. Ancak, fosil yakıtların

oluşturdukları çevresel zararların maliyeti düşünülduğünde, güneş enerjisinin toplanması ve kullanılması için gerekli yatırım masrafları kabul edilebilir boyutlara ulaşmakta ve daha çekici olabilmektedir. Ayrıca fosil kaynakların var olan rezervlerinin kullanılabilme süreleri de sınırlıdır ve endüstriyel bir hammadde olduklarının unutulmaması ve başıboş tüketmeden gelecek kuşaklara da bırakmak gerektiği akıldan çıkarılmamalıdır.

Güneş enerjisinin depolanması, bir dönüşüm ya da çevrimle elde edilen ikincil enerjinin depolanması biçiminde gerçekleşmektedir. Depolama işlemleri ısı, mekaniksel, kimyasal, elektriksel yöntemlerle yapılır. Isıl depolamada özgül ısı kapasitesi yüksek ve kolay bulunur ucuz malzemeler kullanılır. Su, yağ, çakıl taşı yatakları bunlara örnektir. Mekaniksel depolamada güneşle çalıştırılan bir pompa ya da kompresör ile basılan yüksek basınçlı akışkan, uygun bir ortamda toplanır. Kimyasal depolamada hidrat tuzlardan yararlanır. Elektriksel depolama ise bataryalarla yapılır. Bu amaçla kurşun-asitli akümülatörler, nikel-kadmiyum tipi kuru bataryalar ve sodyum-sülfür bataryalar kullanılır.

Atmosferdeki karbondioksitin neden olduğu sera etkisi, son yüzyıl içinde dünya ortalama sıcaklığını 0.7 °K yükseltmiştir. Bu sıcaklığın 1 °K yükselmesi dünya iklim kuşaklarında görünür kaymalara, 3 °K düzeyine varacak artışlar ise kutuplardaki buzulların erimesine, denizlerin yükselmesine, göllerde kurumalara ve tarımsal kuraklığa neden olabilecektir. Enerji vazgeçilemez girdi olduğuna göre, insanlık bu gidişe alışılmış kaynaklar yerine güneş gibi doğal alternatif enerjileri kullanarak dur diyebilecektir.

Özellikle, 45⁰ kuzey ve güney enlemleri arasında kalan ve güneş kuşağı denilen dünya kuşağında, güneş enerjisi kullanımının geliştirilmesi, 21. yüzyılın temel amaçlarından biri olacaktır.

3.2 Güneş Radyasyonu

Güneşte nükleer patlamalarla açığa çıkan enerji, yaklaşık 150 000 000 km kat ederek kesintisiz olarak dünyaya ulaşmaktadır. Uydulardan yapılan ölçümlere göre atmosferin dış yüzeyine gelen güneş enerjisinin yaklaşık 1400 Watt/m² olduğu bilinmektedir [12]. Bu enerji, atmosferden geçerken bir miktar zayıflar ve yeryüzüne ulaşır. Atmosfere giriş açısına bağlı olarak zayıflama miktarları da değişik

olmaktadır. Örneğin en az zayıflama, ışığın atmosfere dik olarak girdiği durumda meydana gelir.

Diğer enerji kaynaklarına oranla güneş enerjisinin ekonomikliğini belirleyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerin bir bölümünü doğal koşullar oluşturur. Bir başka deyişle, bir gün içerisinde belirli bir alana düşen güneş enerjisi miktarı bölgenin yeryüzü üzerindeki enlem değeri, yerel iklim koşulları, yılın hangi mevsiminde bulunduğu ve yerleştirilen güneş panelinin güneşle olan açısı gibi birçok faktöre bağlı olarak değişir. Örneğin yatay bir yüzeye düşen yıllık ortalama ışımaya miktarı Orta Avrupa, Orta Asya ve Kanada'da ortalama 1000 kWh/m², Akdeniz civarındaki bölgelerde 1700 kWh/m² ve Afrika'nın Ekvatora yakın bölgeleriyle, Doğu Asya ve Avustralya çöllerinde 2200 kWh/m² değerine ulaşmaktadır. Kısaca, güneş enerjisi uygulamalarında mevsimsel ve coğrafi faktörler önemli rol oynar.

Gelen bu enerji, yeryüzünde belli bir açıyla yerleştirilmiş toplayıcı bir yüzeye (örneğin güneş pilinin yüzeyi), direkt veya yansiyarak dolaylı olarak iki farklı biçimde ulaşır. Direkt radyasyon, atmosferden kırılarak gelen ve doğrudan yüzey üzerine düşen ışınlardır. Dolaylı radyasyon ise; bulutlardan, yerden, dağlardan, binalardan vs. yansiyarak yüzey üzerine düşen ışınlardır. Örneğin bir yeri gölgelediğimizde, sadece direkt güneş ışığını perdelemiş oluruz. Gölgeleyen yer yansıyan ışınlar tarafından aydınlatıldığı için tamamen karanlık olmaz.

Güneş enerjisinden yararlanmak amacı ile, bir yandan daha yüksek verimle çalışan elemanlar geliştirilmeye çalışılırken, bir yandan da var olan elemanlarla enerji üretim sistemleri kurulup denenmekte, yardımcı sistem elemanları geliştirilmekte ve bilgi birikimi oluşturulmaktadır.

3.3 Güneş Enerjisinin Üstünlükleri ve Karşılaşılan Sorunlar

Günümüzde güneş panelleri ile elektrik üretimi bir çok üstünlük getirdiği gibi bazı sorunlarla da karşılaşmaktadır. Aşağıda bu konulara değinilmiştir.

3.3.1 Güneş enerjisinin üstünlükleri

Günümüzde özellikle petrol fiyatlarında olan ani yükselişler alternatif enerjileri cazip kılmakta ve güneş enerjisinden yararlanan sistemlerin sayısı her geçen gün artmaktadır. Güneş enerjisinin bazı üstünlükleri şunlardır;

- Bol ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Duman, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon atığı içermeyen temiz enerjidir.
- Enerjiye gereksinim duyulan her yerde kullanılabilir.
- Yurtdışına bağımlı olmadığı için ekonomik ve politik krizlerden etkilenmez.
- İşletme masrafları çok azdır.
- Çeşitli uygulamalar için farklı çözümler üretmek mümkündür (sıcak su üretimi, ısıtma sistemine destek verme, enerji depolama, güneş pilleri, vb.).
- Hiçbir taşıma harcaması olmaksızın her yerde sağlanabilir.
- Güneşi az veya çok gören yerlerde biraz verim farkı olmakla birlikte, dağların tepelerinde vadiler ya da ovalarda da bu enerjiden yararlanmak mümkündür.
- Güneş enerjisi doğabilecek her türlü olumsuzluğun etkisi dışındadır. Örneğin, iletim şebekelerinde olabilecek bir değişiklik bu enerjiyi kesinlikle etkilemeyecektir.
- Karmaşık bir teknoloji gerektirmemektedir. Hemen hemen bütün ülkeler, yerel sanayi kuruluşları sayesinde bu enerjiden kolaylıkla yararlanabilirler.

3.3.2 Güneş enerjisinden elektrik üretiminde karşılaşılan sorunlar

En belirgin sorunlar ise şöyle sıralanabilir;

- Sürekli bir enerji kaynağı olmadığından depolama gerekmektedir. Depolama olanakları sınırlıdır.
- Işınım miktarına bağlı olarak kollektör yüzey gereksinimi bölgesel olarak artmaktadır. Birim düzleme gelen güneş ısı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç duyulur.
- Kollektörlerin gölgelenmemesi gerekmektedir.
- Kaliteli, otomatik kontrollü ve yüksek verimli sistemlerde ilk yatırım maliyeti yüksektir.
- Enerji gereksiniminin yoğun olduğu zamanlarda ışınım azdır veya hiç yoktur.
- Güneşten gelen enerji miktarı bizim isteğimize bağlı değildir ve kontrol edilemez.
- Bir çok kullanım alanında, enerji arzı ile talebi arasında zaman farkı vardır.

3.4 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Bu bölümde Türkiye’nin bölgelere göre güneş kaynaklı enerji potansiyeli aylık ve yıllık verilerle sunulmaya çalışılmıştır.

3.4.1 Güneş enerjisi potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Türkiye güneş kuşağı adı verilen ve güneş enerjisince zengin bir bölgede yer almasına karşın güneş enerjisinden yeteri kadar faydalanılamamaktadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük ortalama 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmaya göre, aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 3.1'de verilmektedir [4,13].

Çizelge 3.1 : Türkiye’nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [13]

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	(Saat/ay)
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640

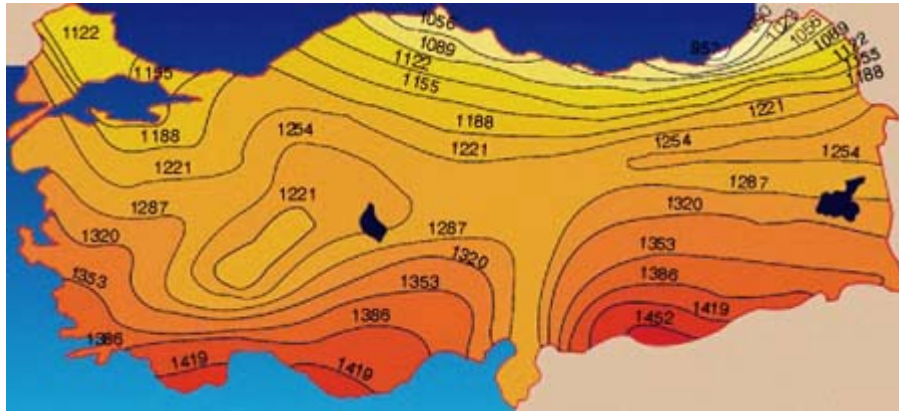
Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [13]

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ	GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(kWh/m ² -yıl)	(Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ DOĞU ANADOLU	1390	2956
İÇ ANADOLU	1365	2664
EGE	1314	2628
MARMARA	1304	2738
KARADENİZ	1168	2409
	1120	1971

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir.

Yukarıdaki çizelgedeki değerlerin harita üzerine yerleştirilmiş hali şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Yıllık toplam güneş enerjisi bölgesel dağılımları (KWh/m²-yıl) [13].

3.4.2 Türkiye için güncel güneş enerjisi potansiyel değerleri

Bu bölümde Avrupa Birliği destekli bir program olan PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) kullanılarak, Türkiye'nin 7 bölgesinden seçilen konumlar için hesaplanan değerler aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Bu program

meteorolojik veriler kullanılarak bir güneş ışı nım veritabanı oluşturulmuş bir hesaplama programıdır. Bu veritabanı oluşturulurken bazı model programlar ve interpolasyon teknikleri kullanılmıştır. Geliştirilen algoritmalarla bu program günlük ve aylık ortalama global ışı nım değerlerini ve seçilen güce ait elektrik üretim değerlerini vermektedir. Çizelgelerde verilen elektrik üretim değerleri sistemin nominal gücüne, kayıplara ve seçilen güneş panel hücre tipine göre değişebilir [14].

3.4.2.1 Akdeniz bölgesinden seçilen konum için değerler

Birinci konum olarak Akdeniz bölgesinde Antalya şehrine 10 km. mesafede, 36°59'6" kuzey enleminde, 30°41'44" doğu boylamında ve 148 m. rakımında bir yer seçilmiştir. Sistemin gücü ve kayıp değerleri şu şekildedir:

- Fotovoltaik sistemin nominal gücü: 1.0 kW (kristal silikon)
- Sıcaklıktan kaynaklanan tahmini kayıplar: %9.7 (lokal çevre sıcaklığı kullanılarak)
- Açısal yansılardan kaynaklanan tahmini kayıplar: %2.7
- Diğer kayıplar (kablo, evirici vs.): %10.0
- Toplam fotovoltaik sistem kayıpları: %22.4

Çizelge 3.3'de yukarıda belirtilen konumda kurulacak sistemin kayıpları da göz önünde bulundurularak üretebileceği elektrik miktarı ve ışı nlanma değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Birinci konuma ait hesap değerleri [14]

Sabit sistem: eğim=32°, yön=-1° (optimum)				
Aylar	E_g	E_a	H_g	H_a
Ocak	3,12	96,8	3,76	117
Şubat	3,60	101	4,38	123
Mart	4,43	137	5,46	169
Nisan	4,69	141	5,85	175
Mayıs	4,82	149	6,19	192
Haziran	4,99	150	6,53	196
Temmuz	4,92	153	6,49	201
Ağustos	4,88	151	6,42	199
Eylül	4,91	147	6,35	190
Ekim	4,25	132	5,38	167
Kasım	3,28	98,4	4,05	122
Aralık	2,74	85,1	3,32	103
Yıllık Ortalama	4,22	128	5,35	163
Yıllık Toplam		1540		1950

E_g : Verilen sistemden elde edilen günlük ortalama elektrik üretimi (kWh)

E_a : Verilen sistemden elde edilen aylık ortalama elektrik üretimi (kWh)

H_g : Verilen sistemin modülleri tarafından alınan global ışınlanmanın metre kareye düşen günlük ortalama toplamı (kWh/m²)

H_a : Verilen sistemin modülleri tarafından alınan global ışınlanmanın metre kareye düşen aylık ortalama toplamı (kWh/m²)

3.4.2.2 Ege bölgesinden seçilen konum için değerler

İkinci konum olarak, Ege bölgesinde İzmir şehrine 5 km. mesafede, 38°23'5" kuzey enleminde, 27°9'29" doğu boylamında ve 87 m. rakımında bir yer seçilmiştir.

Sistemin gücü ve kayıp değerleri şu şekildedir:

- Fotovoltaik sistemin nominal gücü: 1.0 kW (kristal silikon)
- Sıcaklıktan kaynaklanan tahmini kayıplar: %9.1 (lokal çevre sıcaklığı kullanılarak)
- Açısal yansılardan kaynaklanan tahmini kayıplar: %2.5
- Diğer kayıplar (kablo, evirici vs.): %10.0

- Toplam fotovoltaik sistem kayıpları: %21.7

Çizelge 3.4'de yukarıda belirtilen konumda kurulacak sistemin kayıplar da göz önünde bulundurularak üretebileceği elektrik miktarı ve ışınlanma değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.4 : İkinci konuma ait hesap değerleri

Sabit sistem: eğim=33°, yön=-1° (optimum)				
Aylar	E_g	E_a	H_g	H_a
Ocak	2,64	81,8	3,15	97,5
Şubat	3,14	87,9	3,78	106
Mart	3,88	120	4,72	146
Nisan	4,40	132	5,46	164
Mayıs	4,61	143	5,88	182
Haziran	4,85	145	6,31	189
Temmuz	4,84	150	6,35	197
Ağustos	4,73	146	6,17	191
Eylül	4,43	133	5,66	170
Ekim	3,89	121	4,85	150
Kasım	2,87	86,2	3,50	105
Aralık	2,31	71,5	2,76	85,7
Yıllık Ortalama	3,88	118	4,89	149
Yıllık Toplam		1420		1780

3.4.2.3 Marmara bölgesinden seçilen konum için değerler

Üçüncü konum olarak, Marmara bölgesinde İstanbul şehrine 8 km. mesafede, 41°2'16" kuzey enleminde, 28°57'35" doğu boylamında ve 50 m. rakımında bir yer seçilmiştir. Sistemin gücü ve kayıp değerleri şu şekildedir:

- Fotovoltaik sistemin nominal gücü: 1.0 kW (kristal silikon)
- Sıcaklıktan kaynaklanan tahmini kayıplar: %8.2 (lokal çevre sıcaklığı kullanılarak)
- Açısal yansımalarından kaynaklanan tahmini kayıplar: %2.9
- Diğer kayıplar (kablo, evirici vs.): %10.0
- Toplam fotovoltaik sistem kayıpları: %21.1

Çizelge 3.5’de yukarıda belirtilen konumda kurulacak sistemin kayıplar da göz önünde bulundurularak üretebileceği elektrik miktarı ve ışınlanma değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Üçüncü konuma ait hesap değerleri

Sabit sistem: eğim=31°, yön=-1° (optimum)				
Aylar	E_g	E_a	H_g	H_a
Ocak	1,73	53,8	2,06	63,9
Şubat	2,19	61,2	2,60	72,9
Mart	3,06	94,8	3,67	114
Nisan	3,73	112	4,58	137
Mayıs	4,20	130	5,28	164
Haziran	4,37	131	5,62	168
Temmuz	4,34	135	5,61	174
Ağustos	4,23	131	5,47	170
Eylül	3,89	117	4,94	148
Ekim	2,90	89,9	3,59	111
Kasım	1,96	58,7	2,37	71,1
Aralık	1,50	46,5	1,79	55,3
Yıllık Ortalama	3,18	96,7	3,97	121
Yıllık Toplam		1160		1450

3.4.2.4 Güneydoğu anadolu bölgesinden seçilen konum için değerler

Dördüncü konum olarak, Güneydoğu Anadolu bölgesinde Şanlıurfa şehrine 6 km. mesafede, 37°8'34" kuzey enleminde, 38°44'16" doğu boylamında ve 688 m. rakımında bir yer seçilmiştir. Sistemin gücü ve kayıp değerleri şu şekildedir:

- Fotovoltaik sistemin nominal gücü: 1.0 kW (kristal silikon)
- Sıcaklıktan kaynaklanan tahmini kayıplar: %9.8 (lokal çevre sıcaklığı kullanılarak)
- Açısal yansılardan kaynaklanan tahmini kayıplar: %2.8
- Diğer kayıplar (kablo, evirici vs.): %10.0
- Toplam fotovoltaik sistem kayıpları: %22.5

Çizelge 3.6'de yukarıda belirtilen konumda kurulacak sistemin kayıplar da göz önünde bulundurularak üretebileceği elektrik miktarı ve ışınlanma değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.6 : Dördüncü konuma ait hesap değerleri

Sabit sistem: eğim=31°, yön=-3° (optimum)				
Aylar	E_g	E_a	H_g	H_a
Ocak	2,53	78,4	3,01	93,2
Şubat	3,19	89,4	3,82	107
Mart	4,07	126	5,00	155
Nisan	4,32	130	5,37	161
Mayıs	4,67	145	6,01	186
Haziran	4,96	149	6,53	196
Temmuz	4,83	150	6,45	200
Ağustos	4,68	145	6,22	193
Eylül	4,69	141	6,12	184
Ekim	3,99	124	5,05	157
Kasım	2,99	89,7	3,66	110
Aralık	2,42	75,1	2,89	89,5
Yıllık Ortalama	3,95	120	5,01	153
Yıllık Toplam		1440		1830

3.4.2.5 Doğu anadolu bölgesinden seçilen konum için değerler

Beşinci konum olarak, Doğu Anadolu bölgesinde Erzurum şehrine 8 km. mesafede, 39°50'32" kuzey enleminde, 41°15'52" doğu boylamında ve 2402 m. rakımında bir yer seçilmiştir. Sistemin gücü ve kayıp değerleri şu şekildedir:

- Fotovoltaik sistemin nominal gücü: 1.0 kW (kristal silikon)
- Sıcaklıktan kaynaklanan tahmini kayıplar: %7.4 (lokal çevre sıcaklığı kullanılarak)
- Açısal yansılardan kaynaklanan tahmini kayıplar: %2.8
- Diğer kayıplar (kablo, evirici vs.): %10.0
- Toplam fotovoltaik sistem kayıpları: %20.3

Çizelge 3.7’de yukarıda belirtilen konumda kurulacak sistemin kayıplar da göz önünde bulundurularak üretebileceği elektrik miktarı ve ışınlanma değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Beşinci konuma ait hesap değerleri

Sabit sistem: eğim=30°, yön=2° (optimum)				
Aylar	E_g	E_a	H_g	H_a
Ocak	2,05	63,7	2,39	74,0
Şubat	2,88	80,6	3,35	93,7
Mart	3,85	119	4,59	142
Nisan	4,42	133	5,42	162
Mayıs	4,63	143	5,79	180
Haziran	4,96	149	6,31	189
Temmuz	4,97	154	6,42	199
Ağustos	4,94	153	6,39	198
Eylül	4,77	143	6,02	181
Ekim	3,81	118	4,68	145
Kasım	2,49	74,6	2,97	89,2
Aralık	1,94	60,2	2,27	70,3
Yıllık Ortalama	3,81	116	4,72	144
Yıllık Toplam		1390		1720

3.4.2.6 Karadeniz bölgesinden seçilen konum için değerler

Altıncı konum olarak, Karadeniz bölgesinde Samsun şehrine 5 km. mesafede, 41°14'41" kuzey enleminde, 36°20'33" doğu boylamında ve 170 m. rakımında bir yer seçilmiştir. Sistemin gücü ve kayıp değerleri şu şekildedir:

- Fotovoltaik sistemin nominal gücü: 1.0 kW (kristal silikon)
- Sıcaklıktan kaynaklanan tahmini kayıplar: %8.0 (lokal çevre sıcaklığı kullanılarak)
- Açısal yansılardan kaynaklanan tahmini kayıplar: %2.8
- Diğer kayıplar (kablo, evirici vs.): %10.0
- Toplam fotovoltaik sistem kayıpları: %20.8

Çizelge 3.8’de yukarıda belirtilen konumda kurulacak sistemin kayıplar da göz önünde bulundurularak üretebileceği elektrik miktarı ve ışınlanma değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.8 : Altıncı konuma ait hesap değerleri

Sabit sistem: eğim=32°, yön=0° (optimum)				
Aylar	E_g	E_a	H_g	H_a
Ocak	1,95	60,5	2,32	71,9
Şubat	2,44	68,2	2,89	81,0
Mart	3,09	95,8	3,73	116
Nisan	3,52	106	4,33	130
Mayıs	3,95	123	4,98	155
Haziran	4,35	131	5,55	166
Temmuz	4,31	133	5,56	172
Ağustos	4,21	131	5,43	168
Eylül	3,90	117	4,93	148
Ekim	2,92	90,4	3,60	112
Kasım	2,01	60,2	2,42	72,5
Aralık	1,77	54,7	2,11	65,5
Yıllık Ortalama	3,20	97,5	3,99	121
Yıllık Toplam		1170		1460

3.4.2.7 İç anadolu bölgesinden seçilen konum için değerler

Yedinci konum olarak, İç Anadolu bölgesinde Mucur’a 29 km. mesafede, 38°55'30" kuzey enleminde, 34°40'22" doğu boylamında ve 1190 m. rakımında bir yer seçilmiştir. Sistemin gücü ve kayıp değerleri şu şekildedir:

- Fotovoltaik sistemin nominal gücü: 1.0 kW (kristal silikon)
- Sıcaklıktan kaynaklanan tahmini kayıplar: %7.9 (lokal çevre sıcaklığı kullanılarak)
- Açısal yansılardan kaynaklanan tahmini kayıplar: %2.8
- Diğer kayıplar (kablo, evirici vs.): %10.0
- Toplam fotovoltaik sistem kayıpları: %20.7

Çizelge 3.9’de yukarıda belirtilen konumda kurulacak sistemin kayıplar da göz önünde bulundurularak üretebileceği elektrik miktarı ve ışınlama değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.9 : Yedinci konuma ait hesap değerleri [14]

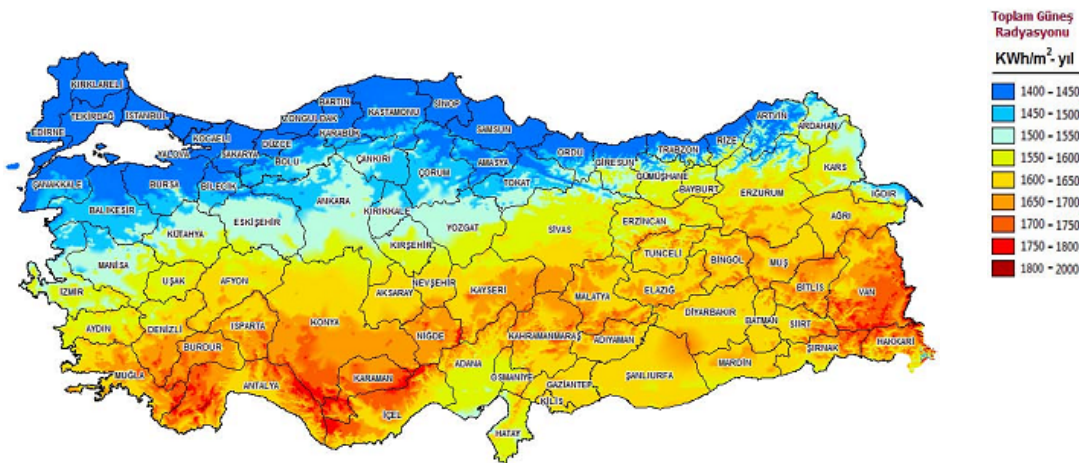
Sabit sistem: eğim=32°, yön=-3° (optimum)				
Aylar	E_g	E_a	H_g	H_a
Ocak	2,45	76,1	2,87	89,0
Şubat	3,03	84,8	3,57	100
Mart	3,97	123	4,79	149
Nisan	4,14	124	5,10	153
Mayıs	4,49	139	5,67	176
Haziran	4,72	142	6,03	181
Temmuz	4,80	149	6,23	193
Ağustos	4,73	147	6,12	190
Eylül	4,64	139	5,89	177
Ekim	3,77	117	4,66	144
Kasım	2,69	80,6	3,23	96,9
Aralık	2,20	68,3	2,60	80,5
Yıllık Ortalama	3,81	116	4,74	144
Yıllık Toplam		1390		1730

Yeni ölçümlerden de görüldüğü gibi, Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli tüm bölgelerde %24 ila %40 oranlarında artmıştır.

Çizelge 3.10 : Güncel değerlere göre Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

BÖLGE	Önceki EİE verileri (kWh/m ² -yıl)	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Önceki değere göre artış yüzdesi
Marmara	1168	1450	24
Ege	1304	1780	36,5
Akdeniz	1390	1950	40
Karadeniz	1120	1460	30
Doğu Anadolu	1365	1720	26
Güneydoğu Anadolu	1460	1830	25
İç Anadolu	1314	1730	31,6

Çizelge 3.10'a bakıldığında Türkiye genelindeki yıllık güneş enerjisi potansiyeli değerlerinde yaklaşık %30'luk bir artış olduğu görülmektedir. Bu artışın Akdeniz, Ege ve İç anadolu bölgelerinde ise biraz daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.2 : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası [15]

Şekil 3.2’de Elektrik İşleri Etüt İdaresi’nin yayınlamış olduğu güncel verilere dayanan Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelini gösteren harita bulunmaktadır. Burada oluşturulan Türkiye Güneş Modeli, Coğrafi Bilgi Sistemi’nde kullanılan “*ESRI Solar Radiation Model*“ kullanılarak hazırlanmış ve modeldeki parametrelerin hesaplanması ve model kalibrasyonunun yapılması için EİE ve DMİ istasyonlarında 1985 - 2006 yıllarına ait ölçüm yapılan 22 yıllık saatlik güneş ölçüm değerleri kullanılmıştır [15]. Bu haritanın verileri ile Çizelge 3.10’daki veriler karşılaştırıldığında birbiriyle örtüştüğü görülmektedir.

4. GÜNEŞ PANEL TEKNOLOJİLERİ VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

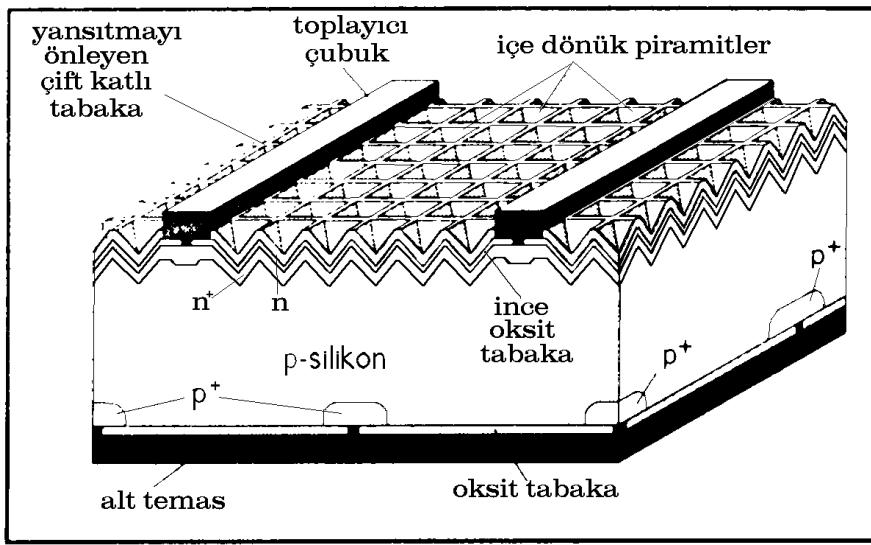
Fotovoltaik sistemlerinin en küçüğü hücredir. Bir hücreli fotovoltaik (PV) sistemler 1 ile 2 Watt enerji üretirler. Birçok hücreyi birleştirip daha fazla enerji üretebilecek modüler sistemler oluşturabiliriz. Hücreler genellikle 10 cm x 10 cm boyutundadır. Ticari olarak kullanılan değişik yapılarda ve verimlerde Kristal Silikon ve İnce Film olmak üzere iki çeşit hücre vardır. Güneş hücreleriyle çalışan arabalarda ise, farklı verimlerde ve Mono-Poli Kristal yada Amorf yapıdaki Silikon hücreler kullanılmaktadır.

Hücreler, güneş enerjisini doğru akım (DC) olarak elektrik enerjisine çevirirler. Güneş ışığındaki fotonlar, yarı iletken metal katmanlar arasındaki elektronların bir katmandan diğerine geçmesi için gerekli enerjiyi sağlarlar. Elektronların bu hareketi elektrik akımının oluşmasını sağlar.

4.1 Fotovoltaik Pil Yapı ve Çalışma Prensibi

Güneş pilleri ışınımına tabi tutulduğunda, yarı-iletken maddeye ulaşan fotonların bazıları bu madde tarafından emilir ve maddenin zayıf olan dış yörünge elektronlarının geçici atomik bağlarından kopup serbest kalmalarını sağlar. Ancak bu durumun oluşabilmesi için ‘bant aralığı’ enerjisi olarak da bilinen, fotonun getirdiği enerji oranının, atomik bağın oranından daha yüksek olması gereklidir. Enerji üretim miktarına bu bant aralığının etkisi büyüktür. Aralık maksimum verim noktasından fazla olduğunda fotonlar, elektron fazlalık ve eksiklik çiftlerini oluşturacak enerjiyi veremediklerinden elektrik üretimi düşük olur. Buna karşılık bant aralığının maksimum verim noktasından az olması halinde, fazla ısı nedeniyle bu kez fotonlardan çıkacak enerji miktarı azalır. Bu durumda yine elektrik üretimi düşük olur. Bu nedenle bant aralığının seçiminde büyük dikkat gösterilmesi gerekir. Yapılan deneylerde en verimli noktanın iki merkezde birleştiği görülür. Bu değerler 1.15 eV ile 1.38 eV’dir. Şekil 4.1’de bir güneş pilinin yapısı gösterilmektedir. Foton etkilenmesinden serbest kalan her elektron P tipi yarı iletken maddedeki delikleri doldurma konumuna geçer. Bu olay pozitif elektrik yükünün P tipi maddenin temas

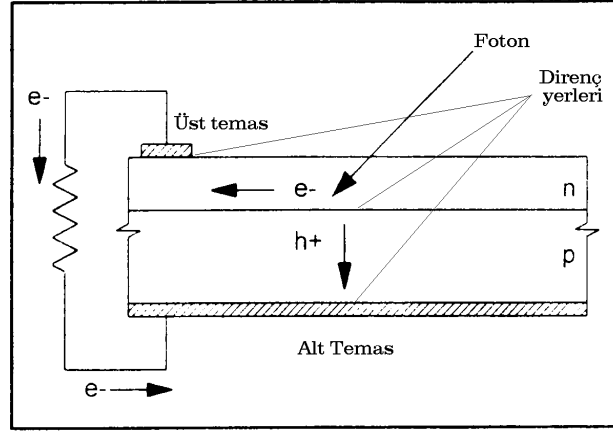
yüzeyinde, negatif elektrik yükünün de N tipi maddenin temas yüzeyinde toplanmasına neden olur ve güneş pillerinin bir üreteç gibi davranmasını sağlar. Güneş pillerinin iki kutbu bir iletkenle birleştirildiğinde, birleştirilen iletkenlerden bir elektrik akımının geçtiği görülür. Silikondan imal edilen güneş pillerinin cm^2 başına verebildiği potansiyel farkı $V_{ad}= 0.6 - 0.7 \text{ V}$ ile kısa devre akımı $I_{kd}= 0.02 - 0.04 \text{ A}$ civarındadır. Güneş pillerinin ürettikleri kısa devre elektrik akımı (I_{kd}) ışınımın yoğunluğu ile orantılı olmasına karşın, potansiyel farkı (V_{ad}) ışık yoğunluğunun logaritması ile orantılıdır. Güneş pillerinin potansiyel farkı ışığa karşı çok duyarlıdır. [16].



Şekil 4.1 : Güneş pilinin yapısı [16]

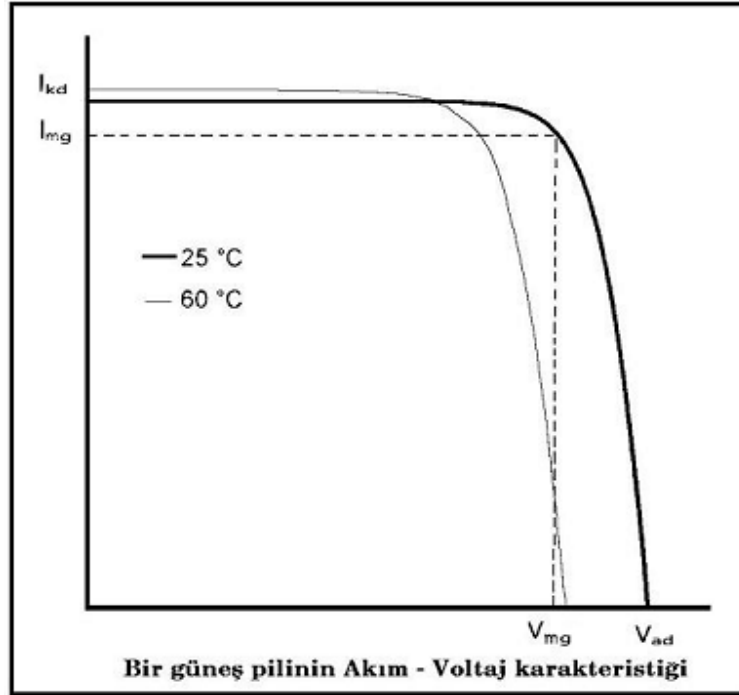
4.2 Fotovoltaik Pil Eşdeğer Devresi ve Güç

Şekil 4.2'de bir güneş piline ait yükteki eşdeğer devre bulunmaktadır. Bu devrede elektrik akımının oluşumu gösterilmektedir.



Şekil 4.2 : Güneş pilinde elektrik akımının oluşumu [16]

Şekil 4.3 ise tipik bir fotovoltaiik pilin akım-gerilim (I-V) karakteristiğini ve üretebilecekleri maksimum güç ($P=VI$) durumunu göstermektedir. Karakteristik eğriye göre, pilden akım çekildikçe V uç gerilimi doğrusal olmayan bir şekilde azalmaktadır. Bu şekillere göre elde edilebilecek enerji V_{mg} ve I_{mg} noktalarını geçememektedir.



Şekil 4.3 : Bir güneş pilinin akım-gerilim karakteristiği [16]

Pil açık devrede en yüksek gerilimi (V_{ad}), kısa devrede ise en yüksek akımı (I_{kd}) vermektedir. Şekil 4.3'deki en büyük dikdörtgen alanı pilden alınabilecek en büyük gücü (P_m) belirler. Bu dikdörtgenin akım eksenine karşılık gelen I_m en büyük güçteki

akımı, gerilim eksenine karşılık gelen V_m ise yine en büyük güçteki gerilimi göstermektedir.

Bununla birlikte pilin iç dirençleri ihmal edilse bile, eklemın elektriksel karakteristiği gereği alınabilecek en büyük güç (P_m), $V_{ad} \cdot I_{ad}$ değerinden küçüktür. Bir pilin I-V eğrisinin güç alınma bölümünden en yüksek faydalanma oranı dolgu faktörü ile tanımlanmakta ve (1.1) nolu formül ile hesaplanmaktadır.[16]

$$FF = V_m I_m / V_{ad} I_{ad} \quad (1.1)$$

Pil verimi (η) ise aşağıdaki denklemlle tanımlanabilmektedir.

$$\eta = P_m / AP_g = V_m I_m / AP_g = FF V_{ad} I_{ad} / AP_g \quad (1.2)$$

Burada A pilin yüzey alanı, P_g ise bu alana düşebilecek toplam ışınım şiddeti ($W/alan$) olarak tanımlı giriş gücüdür.

4.3 Fotovoltaik Pildeki Enerji Dönüşüm Kapasitesi

Giriş enerjisi olarak güneş ışınımı kullanan fotovoltaik pillerin enerji dönüşüm kapasiteleri, sistemin güneşten yararlanma durumlarını belirten bazı kriterlere bağlıdır.

Enerji dönüşüm açısından hidroelektrik güç üretimi ile fotovoltaik güç üretimi arasında benzerlikler vardır. Hidroelektrik dönüşümde güneşten kaynaklanan denizdeki buharlaşma su taneciklerini gök yüzüne yükselterek bunlara bir potansiyel enerji kazandırır. Fotovoltaik dönüşümde ise pildeki soğurulan ışınlar elektronları üst enerji seviyelerine yükseltir. Enerji seviyesi yükselen elektronların bu enerjilerini bir elektriksel yükten geçmek suretiyle faydalı bir şekilde kaybetmeleri amaçlanmaktadır.

4.4 Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

Güneş pilleri pek çok farklı malzemedden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan malzemeler aşağıda kısaca açıklanmaya çalışılmıştır.

4.4.1 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 verimleri daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır. Kristal silikon güneş enerjisi hücrelerinin piyasadaki pazar payı %93 civarındadır.

4.4.2 İnce film

İnce film güneş enerjisi hücrelerinin piyasadaki pazar payı %7 dolayındadır. Aşağıda ince film teknolojisiyle üretilen güneş enerjisi hücreleri ve bu hücrelerle üretilen panellerin özelliklerinden bahsedilmiştir.

4.4.2.1 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.

4.4.2.2 Amorf silisyum

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

4.4.2.3 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.

4.4.2.4 Bakır indiyum 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.

4.4.2.5 Optik yoğunlaştırıcı hücreler

Gelen ışığı 10-500 kat oranlarında yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla, modül verimi %17'nin, pil verimi ise %30'un üzerine çıkarılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemedan yapılabilmektedir. [13]

Çizelge 4.1 : Güneş pillerinin laboratuvar ortamındaki verimleri [16]

Pil Tipleri	Verimlilikleri (%)	Laboratuvarı
Silikon (kristal)	24	UNSW
Silikon (çoklu kristal)	18,6	Georgia Tech/HEM
Silikon (şekilleştirilmemiş)	12,7	Sanyo
GaAs (Billurlaştırılmış)	25,1	Kopin
Çoklu kavşak (Ga Ind P/GaAs)	30,3	Japan Energy Corp.

Hücre tipine göre modüllerin ürettiği akım ve gerilim değerleri değişiklik göstermektedir. Modüller arasında verimlilik karşılaştırması yapılırken birim yüzeyde ürettiği akım ve gerilim değerleri göz önüne alınmaktadır (Çizelge 4.2). Bu değerler, Standart Test Koşulları (güneş pili 25°C de iken, a.m. 1,5 güneş spektrumuna sahip 1000W/m² güneş ışınımı) altında elde edilmektedir.

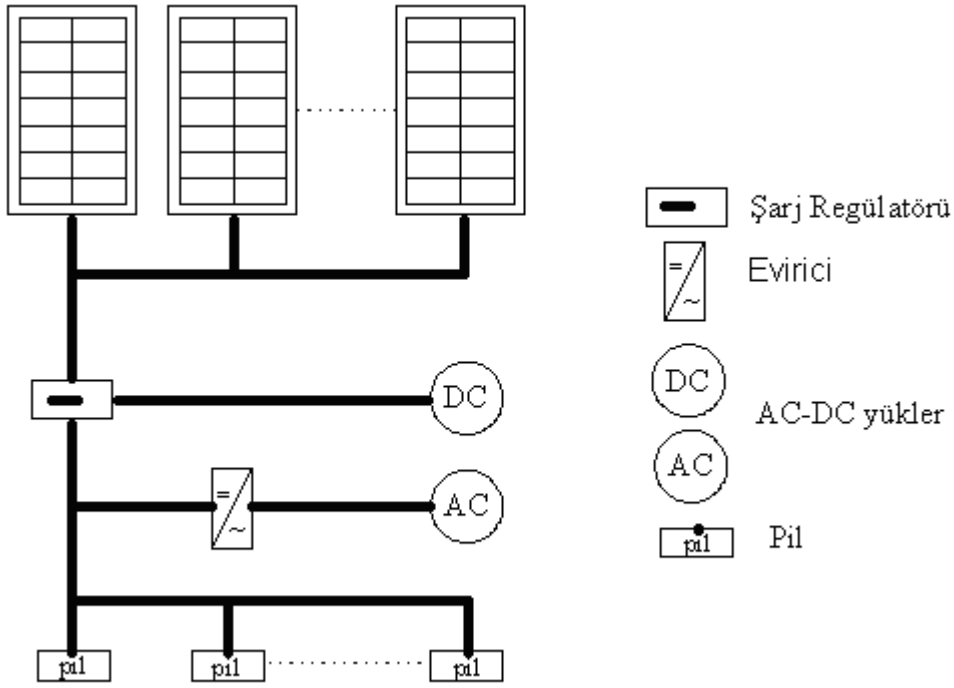
Çizelge 4.2 : Güneş hücrelerinin performans karşılaştırması [11]

Hücre Tipi	Alan (cm ²)	V _{ad} (V)	I _{kd} (mA/cm ²)	FF	Verim (%)
Kristal-Silikon	4,0	0,706	42,2	82,8	24,7
Kristal GaAs	3,9	1,022	28,2	81,1	25,1
Çok-Kristalli Silikon	1,1	0,654	38,1	79,5	19,8
Amorf-Silisyum	1,0	0,887	19,4	74,1	12,7
CuInGaSe ₂	1,0	0,669	35,7	77,0	18,4

4.5 Güneş Enerjili (Fotovoltaik) Sistemler

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

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece saatlerinde 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 (şarj kontrol cihazı) ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu veya bağımsız (stand-alone) sistemlerde alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir evirici eklenerek akümülatördeki DC(doğru akım) gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs dalgasına (AC-alternatif akım) dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme eklenebilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihaz da bulunur. Aşağıda şebekeden bağımsız alternatif akım ve doğru akım yüklerini beslemek için kullanılacak bir güneş pili enerji sistemi örneği şema olarak verilmektedir.



Şekil 4.4 : Örnek bir güneş pilli enerji sistemi

Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri yüksek güçte santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi, daha sık bir uygulama örneği de binalarda küçük güçlü kullanım şeklinde olabilmektedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik enerjisi gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji de 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.

Güneş enerjili sistemlerin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları ise aşağıda sıralanmıştır.

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan korunması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- Cephe aydınlatması
- Dış aydınlatma (yol, sokak, park, bahçe, vs. aydınlatması)
- Dağ evleri veya yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması

- Tarımsal sulama veya ev kullanımı amacıyla su pompa sistemleri
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma sistemleri

4.5.1 Güneş panelleri

Günümüzde üretilen güneş panellerinde daha çok kristal silikon ve ince film hücrelerden oluşan paneller kullanılmaktadır. Paneller 5W dan 260W'a kadar bir çok güçte üretilmektedir. İstenilen güç ve gerilim seviyelerine ulaşmak için birden fazla panel birbirine seri veya paralel bağlanabilir. 135W'a kadar olanlar genelde 12VDC sisteme uygun gerilim değerlerinde, 135W üstü güçtekiler ise daha çok 24VDC sisteme uygun gerilim değerlerinde çalışmaktadır. Örneğin anma gerilimi 17V olan bir panel akülü bir sistemde kullanılmak istendiğinde, akünün çalışma gerilimi 12-15V arasında değişeceğinden, anma gücünden daha az bir güç üretecektir. Çizelge 4.3'de seçilen bir markaya ait panellerin teknik değerleri örnek olarak gösterilmektedir. Sistem tasarımı yaparken panelin elektriksel özelliklerinin yanısıra boyut ve ağırlık ölçüleri de optimizasyonu önemli oranda etkilemektedir. Ayrıca sistemin maliyetini büyük oranda paneller oluşturmaktadır.

Çizelge 4.3 : Kyocera marka güneş panellerinin teknik özellikleri [17]

Panel Tipi	KD 205GX -LP	KD 180GX -LP	KD 135GX -LP	KC 130 TM	KC 85T	KC 65T	KC 50T	KC 40T
Anma Gücü (W)	205	180	135	130	87	65	54	43
Maksimum güçte akım (A)	7,71	7.63	7.63	7.39	5.02	3.75	3.11	2.48
Maksimum güçte gerilim (V)	26.6	23.6	17.7	17.6	17.4	17.4	17.4	17.4
Kısa devre akımı (A)	8.36	8.35	8.37	8.02	5.34	3.99	3.31	2.65
Açık devre gerilimi (V)	33.2	29.5	22.1	21.9	21.7	21.7	21.7	21.7
Uzunluk (cm)	150.1	134.1	150.1	142.2	100.5	75.1	64.0	52.5
Genişlik (cm)	99	99	66.8	65.2	65.2	65.2	65.2	65.2
Derinlik (cm)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Ağırlık (kg)	20.7	18.7	14.9	14.9	10.8	8.1	7.2	5.8

4.5.2 Şarj kontrol cihazları ve maksimum güç noktası izleyicileri

Şarj kontrol cihazlarının ana görevi, aküleri aşırı yüklenmeye izin vermeden tam olarak şarj etmektir. Ayrıca geceleri ters akım akışı da engellenmelidir. Bu cihazların daha gelişmiş olanları darbe genişlik modülasyonu (PWM) veya maksimum güç noktası izleyicileri (MPPT) olarak adlandırılan kontrol devrelerini içermektedir. Bu kontrol elemanları akülerin şarj durumunu belirlemek için gerilim değerini okuyarak akülere doğru akan akımı kontrol etmektedirler. Maksimum güç noktası izleyicileri güneş panellerinden maksimum gücü alabilmek için çalışma gerilimini ayarlamaktadır. Bu kontrol cihazları çoğunlukla 12, 24 veya 48 VDC gerilimlerde ve 1 ila 60 Amper aralığında nominal akım değerlerinde çalışmaktadır. Ancak maksimum güç noktası izleme özelliğini taşıyan kontrol elemanlarının maliyeti, darbe genişlik modülasyonu ile kontrol yapanlara göre 4-5 kat fazladır.

4.5.3 Eviriciler

Güneş enerjili sistemler çoğunlukla 12 V veya 24 V DC gerilimde çalışan sistemler olarak tasarlanmaktadır. Bu gerilimin, kullanılacak olan yüklerin çalışma gerilimine bağlı olarak uygun gerilimlere çevirilmesi gerekmektedir.

Bu amaçla kullanılan eviriciler güneş enerjili sistemlerdeki ana elemanlardan biridir. Akülerden gelen doğru akımdaki gücü alternatif akımdaki güce veya şebeke bağlantılı sistemlerde panellerden gelen gücü direkt olarak alternatif akımdaki güce çevirirler.

Büyük güçteki eviricilerin aynı zamanda şarj kontrol ve maksimum güç noktası izleme özelliklerini de sağlayan tipleri mevcuttur. Kombine bir ekipman olduğu için, toplam maliyet düşünüldüğünde büyük güçteki sistemler için daha ekonomik olabilmektedir.

4.5.4 Aküler

Aküler, panellerin gün boyunca üretmiş olduğu enerjiyi gece ya da güneş olmadığı durumlarda kullanabilmek için depolama görevi yapan birimlerdir. Güneş enerjili sistemlerin optimizasyonunda çok önemli bir elemandır. Sağlanan daha büyük miktarda depolama kapasitesi, daha düşük seviyede boşalma ve daha uzun ömürlü bir akü anlamına gelmektedir. Ancak bu durumda sistemin ilk tesis maliyeti de yükselmektedir.

Güneş enerjili sistemlerde en çok kurşun-asit ve Ni-Cd tipindeki aküler kullanılmaktadır. 3-7 yıllık kullanım süresi olan aküler sistemlerde panellerden sonra en yüksek maliyete sahip olan birimlerdir. Maliyetleri, boyutları ve ağırlık ölçüleri sistem optimizasyonu yaparken çok önemli bir kriter olarak ortaya çıkmaktadır.

4.5.5 Diğer sistem elemanları

Sistemi dengeleyici diğer unsurlar; kablolar, bağlantı elemanları, devre anahtarları (kesiciler), bağlantı kutuları (buatlar), elektrik sigortaları ve diğer küçük parçalardan oluşmaktadır. Eğer sistemin iyi çalışması isteniyorsa, bu elemanların mutlaka iyi kaliteli ve dikkatli bir şekilde yerleştirilmiş olması gerekmektedir. Çürük veya hasarlı bağlantılar sisteme verilebilecek elektrik miktarını azaltır ve sistemin bütünüyle işlemez hale gelmesine neden olabilir.

5. YOL AYDINLATMASI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2006 yılı istatistiksel verilerine göre ülkemizde tüketilen 132 000 GWh elektrik enerjisinin % 2-3'ü sokak aydınlatmasında kullanılmıştır [18]. Genel aydınlatma adı altında toplanan bu tüketimin büyük bölümü yol aydınlatmalarında harcanmaktadır. Park ve bahçe aydınlatmalarında çoğu zaman bilinçsizce tüketilen enerji miktarları da küçümsenmeyecek boyutlardadır. Değeri her geçen yıl hızla artan ve bedeli ödenmediği için tüketici tarifelerine dahil edilen bu aydınlatma uygulamalarında doğru ve verimli çözümlerle güvenli, konforlu ve az enerji tüketen tesisatlar gerçekleştirilmesi temel amaç olmalıdır.

İyi ve kaliteli bir aydınlatma tesisatından, aydınlatılması amaçlanan alanlara gereksinim duyulan miktarlarda ışık göndermesi beklenilir. Kullanılmayan alanların aydınlatılmasının yada kullanılan alanlarda gereğinden fazla aydınlatma yaratılmasının büyük enerji savurganlığı olacağı açıktır [19].

5.1 Yol Aydınlatmasında Kalite Kriterlerinin Elde Edilmesi

- Armatürlerin montaj yüksekliği arttıkça istenilen aydınlatmanın sağlanması için daha çok güce ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu durumlarda daha düzgün bir aydınlatma yaratılmaktadır.
- Direkler yolun tek bir tarafında olabileceği gibi her iki tarafında da olabilir. Direk çiftleri karşılıklı olarak veya çakışmayacak şekilde düzenlenmiş olabilir.
- Direkler arası mesafe arttıkça sağlanan aydınlık düzeyi zayıflar, ancak bu mesafelerin çok az olması tesis maliyetini arttıracığı için pratik de değildir.

5.2 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Işık Kaynakları

Günümüzde, yol aydınlatmalarında yaygın olarak dört tip lamba kullanılmaktadır. Bunlar:

- Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lambalar

- Metal Halojen Lambalar
- Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar
- Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar

Tüp veya kompakt floresan lambalar sadece park, bahçe, yürüyüş yollarının aydınlatmalarında kullanılmaktadır. Bu lambaların ekonomik ömürleri diğer deşarj lambalarına göre daha kısa ve etkinlik faktörleri de düşüktür.

LED'ler ile sağlanan aydınlatmalar ise tüp veya kompakt floresan lambalara göre daha verimli, uzun ömürlü olmaktadır. Bu tesisatların bakım maliyetleri de daha düşüktür. Ancak yol aydınlatması için gerekli aydınlatma kriterleri sağlanmak istendiğinde LED ışık kaynaklı armatürlerin boyutları büyümektedir. LED teknolojisinde yaşanan gelişmelerle günümüzde bu durum hızla düzelmektedir. Çeşitli sayılarda LEDler içeren yeni armatürler kullanıma sunulmaktadır. Bu olasılıklar gelişmekte olan ülkeler için, takip edilmesi gereken önemli çalışmalardır [20].

5.2.1 Yüksek basınçlı civa buharlı lambalar

Yüksek basınçlı civa buharlı lambalar ilk üretilen yüksek basınçlı deşarj lambalarıdır. Deşarj tüpü şeffaf olup, içerisine konulduğu vakumlu cam balon opak görünümlüdür (Şekil 5.1). Bu cam balon silindir, küre ya da armut biçiminde olabilir. Bu lambalar, sadece balastla kullanılır, içindeki direnç gereken ısıyı sağladığından ateşleyiciye gerek yoktur. Işığın tayfı mor ötesi, sarı ve yeşil renklerde kuvvetli, mavi ve menekşede zayıf, kırmızı ışık bakımından ise hemen hemen boştur. Lambanın ışığı mavimsi-beyaz renk etkisi yapar. Civa buharlı lambalar, sodyum buharlı lambalar kadar verimli değildirler. Etkinlik faktörleri kayıplar dahil 32 ile 60 lm/W, güçleri ise 50 ile 1000 W arasında değişmektedir. Renksel geriverim endeksleri (Ra) 15 ile 50 arasındadır. Yüksek basınçlı civa buharlı lambaların ekonomik ömürleri 4000 saat civarındadır. [21]

Çok daha uzun ömürlü ve etkinlik faktörü yüksek ışık kaynakları mevcut olduğundan, bu lambaların artık tüm dünyada yol aydınlatma uygulamalarından kaldırılması en önemli enerji verimliliği projeleri olarak yürütülmektedir. Günümüzde yüksek basınçlı civa buharlı lambalar, yol aydınlatması uygulamalarından kaldırılmaya çalışılan ve üretimi de çok kısıtlı olan verimsiz ışık kaynaklarıdır. 2006 yılında revize edilen TEDAŞ Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı

Lambalar Şartnamesi ile ülkemizde de yol aydınlatmalarında yüksek basınçlı civa buharlı lambaların kullanılması yasaklanmıştır. [26]



Şekil 5.1 : Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lamba

5.2.2 Metal halojen lambalar

Metal halojen lambalar, yapısı itibarı ile yüksek basınçlı civa buharlı lambalara benzerdir. Aralarındaki fark, metal halojen lambanın deşarj tüpünde, civanın yanı sıra indiyum, sodyum, talyum gibi metal halojenler bulunur (Şekil 5.2). Ateşleyici ve balasta ihtiyaç duyulmaktadır. Güçleri 35 ile 2000 W, etkinlik faktörleri 65 ile 120 lm/W arasında değişmektedir.

Renk özellikleri iyi olan metal halojen lambaların, etkinlik faktörleri ve ömürleri şeffaf tüp yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalara oranla daha düşük olduğu için, kullanımlarında renk, atmosfer gibi özelliklerin gerçekten gerekip gerekmediği iyi analiz edilmelidir. Son yıllarda, elektronik ünitelerle çalıştırılan yeni tip metal halojen lambalar ile ömür ve etkinlik faktörleri açısından çok iyi değerlere ulaşılmıştır. Lamba fiyatlarının yüksek olması nedeniyle, bu tür tesisatların ekonomik analizlerinin de iyi yapılması gerekmektedir.



Şekil 5.2 : Metal Halojen Lamba

5.2.3 Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların içinde vakumlu şeffaf, U şeklinde bükülmüş deşarj tüpü vardır. Basınç düşük olduğu için tüpün boyutu büyüktür (Şekil

5.3). Tüp içinde, oda sıcaklığında katı halde bulunan sodyum madeni ve az miktarda asal gaz (neon ya da argon) bulunmaktadır. Çalışma sıcaklığı 250°C ile 300°C arasındadır. Bu lambalarda, ateşleyici ve balasta ihtiyaç duyulmaktadır; bu amaçla kullanılan ototransformatörler iki işlevi de görür fakat güç kaybı çok fazladır. Bu yüzden lambanın etkinlik faktörü düşüktür. Eğer bu yardımcı elemanlar elektronik hale gelirse lambanın etkinlik faktörü artar. Etkinlik faktörleri kayıplar hariç 130-180 lm/W arasında değişmektedir, hatta 200 lm/W'ın üstünde olan tipleri de bulunmaktadır. Ancak balast kayıpları düşünüldüğünde, etkinlik faktörleri en fazla 140 lm/W değerlerinde kalmaktadır. Güçleri ise 18W ile 180 W arasındadır. Ekonomik ömürleri 13 500 saat olarak hesaplanabilmektedir. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, ilk başta pembemsi sonra portakal sarısı renginde tek renkli (monokromatik) ışık yayarlar, bu nedenle renksel geri verimlerinden söz edilemez. Bu lambaların renk özellikleri açısından yerleşim ve yaya trafiği olan kent içi yollarda kullanılması çok doğru değildir. Ancak ışınları tek bir filtre ile elimine edilebildiğinden, ışık kirliliğinin önlenmesi gereken doğal çevre ve astronomi gözlemevleri etrafındaki yol, sokak, meydan, alan aydınlatmalarında ve güvenlik kameralarının bulunduğu alanlarda kullanılmaları zorunlu olan tek lamba grubudur. Etkinlik faktörü yüksek olan bu lambalar, rengin önemli olmadığı tüm yol aydınlatmalarında kullanılabilir.



Şekil 5.3 : Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba

5.2.4 Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, sodyumun yanısıra ateşlemeyi kolaylaştırmak için civa ve asal gaz da içerirler. Çalışma sıcaklığı 700°C civarındadır, deşarj tüpünün bu sıcaklıklara dayanabilmesi için indiyum oksit gibi çok dayanıklı malzemelerden üretilmesi gerekmektedir. Deşarj tüpü, vakumlu şeffaf tüp ya da elips şeklinde cam balon içine konulmuştur (Şekil 5.4). Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, ateşleyici ve balastla çalışırlar. Verimleri alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar kadar yüksek değildir, ama kullanıldıkları yardımcı elemanların kayıpları da dikkate alındığında etkinlik faktörleri daha yüksektir.

Etkinlik faktörleri balast kayıpları dahil 70 ile 150 lm/W arasında değişmektedir. Ürettikleri ışığın tayfı daha geniştir. Altın sarısı renginde ışık üretirler. Renksel geriverimi alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardan daha iyidir. Renksel geriverim endeksleri 20 ile 40 arasında değişmektedir. Daha iyi renksel geriverime sahip rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar da mevcuttur. İç aydınlatma amaçlı üretilen rengi düzenlenmiş bu lambaların etkinlik faktörleri düşük olduğu için yol aydınlatmalarında kullanılmamaktadır. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların güçleri 50-1000 W arasındadır. Yüksek basınçlı civa buharlı lambaların yerine kullanılmak üzere üretilmiş olan 210-350 W arasındaki özel tipler ise, daha az enerji tüketirken daha fazla ışık akısı üretirler. Bu özel tip içten ateşlemeli yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, 1970 yıllarında civa buharlı lambalı tesisatlarda %15 az enerji tüketip daha fazla ışık akısı üretmek amaçlı gerçekleştirilmiş eski bir teknolojidir. Ömürleri de yeni teknolojik lambalara oranla kısadır [21].



Şekil 5.4 : Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba Örnekleri

Lambaların karakteristik özellikleri (Çizelge 6.2) dikkate alındığında, günümüzde kent içi yol aydınlatmalarında parlak sarı renkte ışık yayan şeffaf tüp balonlu yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların kullanılması en uygun çözüm olarak görülmektedir. 2006 yılında revize edilen TEDAŞ Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar Teknik Şartnamesi ile bu lambaların kullanılması zorunlu hale getirilmiştir.

Çizelge 5.1 : Yol Aydınlatmasında Kullanılan Lambaların Teknik Özellikleri [21,22]

Lamba Tipi	Lamba Gücü (W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik Faktörü (lm/W)*	Ekonomik Ömür (h)**	Renksel Geriverim (Ra)
Yüksek basınçlı civa buharlı	125	6200	45	4000	40-60
	250	12700	47		
	400	22000	52		
Ateşleyicisiz yüksek basınçlı sodyum buharlı	110	10400	84	9000	20-40
	220	20000	84		
	350	34000	92		
Elips(fl.kaplı) yüksek basınçlı sodyum buharlı	70	5800	72	16000	20-40
	100	9200	82		
	150	14500	87		
	250	27000	98		
Şeffaf tüp balonlu yüksek basınçlı sodyum buharlı	400	48000	112	21000	20-40
	50	4400	72		
	70	6600	80		
	100	10000	87		
Alçak basınçlı sodyum buharlı	150	17500	104	13500	-
	250	33000	120		
	400	56500	132		
	18	1800	72		
	35	4600	92		
	55	8100	117		
Metal Halojen	90	13700	130	6000-9000	70-80
	135	22500	142		
	180	32000	142		
	70	6500	74		
	150	14000	84		
	250	20500	75		
	400	35000	81		

* Etkinlik faktörü balast kaybı dikkate alınarak hesaplanmıştır.

** Işık akısının %30 değer kaybettiği ana kadar geçen süre.

Bu çizelgeye göre ekonomik ömürleri bakımından şeffaf tüp balonlu yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların kullanılması en iyi seçenek olarak görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Yol Aydınlatmasında Kullanılan Deşarj Lambaların Zamana Göre Işık Verimlilikleri [20]

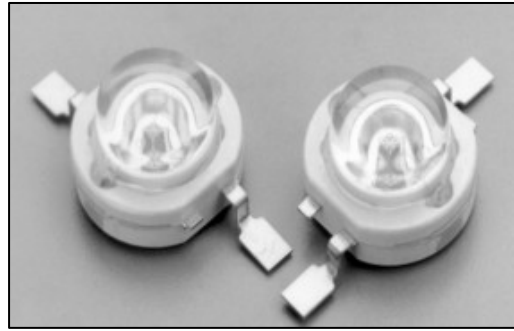
Lamba Tipi	12 ay	18 ay	24 ay	30 ay	36 ay
A. Bas. Sodyum	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
Y. Bas. Sodyum	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Y. Bas. Civa	0,87	0,83	0,80	0,78	0,76
Metal Halojen	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73

Çizelge 5.2 yıllık ortalama 4000 saat kullanılan lambaların üç yıl boyunca verdikleri toplam ışık akısı miktarlarındaki azalmayı belli zaman aralıklarında göstermektedir.

5.2.5 LED teknolojisi ve aydınlatma

LED kelimesi, İngilizce'de Light Emitting Diode (ışık yayan diyot) kelimelerinin baş harflerinden oluşmuştur. Uyarılmış elektronlar, uyarılmış durumdan normal duruma geçerken enerji açığa çıkmaktadır. Bu durum bir yarı iletkende gerçekleştiği zaman, uyarılan elektronlar bir miktar enerji açığa çıkaracaktır. Silikon'da açığa çıkan bu enerji görülebilir ışık üretmezken, farklı bileşiklerde (örn. GaAs) ışık üretimi mümkün olabilmektedir.

Her bir LED, 1.5 ila 4 V arasında gerilim kademelerinde çok az bir güç ile çalışırlar. Eski nesil LED'ler 20 mA mertebelerinde akım ile çalışıp güçleri yaklaşık 0.1 W civarında iken, daha yüksek akım mertebelerinde çalışan yeni nesil LED'lerin güçleri 4-7 W arasındadır [22].



Şekil 5.5 : Yüksek Işık Akılı Ledler

Aşağıda örneği verilen LED'li fotovoltaik sistemlerin belli başlı özellikleri ve faydaları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Ön ateşleme süresine gerek kalmadan, anında aydınlatma sağlanır.
- 50 000 saat olarak ifade edilen LED lambaların ekonomik ömürleri yüksek güçlü olanlarda bile 20 000 saatten fazladır.
- LED lambaların ömürleri boyunca ışık akıları azalmaz.
- Çok modülden oluşan LED lambalı bir armatürde modüllerden biri devre dışı kaldığında diğerleri ışık vermeye devam eder.

LED teknolojisini kullanan lambalar ve armatürlerin ticari olarak üretimi günümüzde çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Ancak bu lambalar şu an için daha çok dekoratif amaçlı kullanıma ve cephe aydınlatmasına uygun çözümler olmaktadır. Yol

aydınlatması için geliştirilenler ise yaya yolları, park ve bahçe aydınlatmalarında kullanılabilir, ancak yeterli aydınlatmayı sağlayabilmek için fazla sayıda kullanılmaları gerekebilir.



Şekil 5.6 : LED’li fotovoltaik yol aydınlatma örneği [23]

5.3 Yol Sınıfları ve Özellikleri

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu’nun 115 nolu yayınına göre yollar kullanım amaçları, kullanıcıları, trafik yoğunluğu ve kontrolüne göre Çizelge 5.3’deki gibi sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 5.3 : Farklı yol tipleri için aydınlatma sınıfları [28]

Yolun Tanımı	Aydınlatma Sınıfı
Bölünmüş yollar, ekspres yollar, otoyollar (otoyola giriş ve çıkışlar, bağlantı yolları, kavşaklar, ücret toplama alanları)	
Trafik yoğunluğu ve yolun karmaşıklık düzeyi (Not 1);	
Yüksek.....	M1
Orta.....	M2
Düşük.....	M3
Devlet yolu ve il yolları (tek yönlü veya iki yönlü; kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri ve çevre yolları dahil)	
Trafik kontrolü (Not 2) ve yol kullanıcılarının (Not3) tiplerine göre ayrımı (Not 4);	
Zayıf.....	M1
İyi.....	M2
Şehir içi ana güzergahlar (bulvarlar ve caddeler), ring yolları, dağıtıcı yollar	
Trafik kontrolü (Not 2) ve yol kullanıcılarının (Not 3) tiplerine göre ayrımı (Not 4);	
Zayıf.....	M2
İyi.....	M3
Şehir içi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları)	
Trafik kontrolü (Not 2) ve yol kullanıcılarının (Not 3) tiplerine göre ayrımı(Not 4);	
Zayıf.....	M4
İyi.....	M5
Not 1. Karmaşıklık; Yolun geometrik yapısını, trafik hareketlerini ve görsel çevreyi içerir. Göz önünde bulundurulması gereken faktörler; şerit sayısı, yolun eğimi, trafik ışık ve işaretleri.	
Not 2. Trafik kontrolü; Yatay ve düşey işaretlemeler ve sinyalizasyon ile trafik mevzuatının varlığı anlamında kullanılmıştır. Bunların olmadığı yerlerde trafik kontrolü zayıf olarak adlandırılır.	
Not 3. Kullanıcılar; Motorlu araçlar (kamyon, otobüs, otomobil vb.), bisiklet, yavaş araçlar ve yayalar.	
Not 4. Ayrım; Tahsisli yol (Herbir trafik cinsinin kullanacağı şeridin kesin olarak ayrıldığı yerler, örneğin otobüs yolu, bisiklet yolu vb.).	

Bu yol sınıflarında sağlanması gereken aydınlatma kriterlerinin değerleri de Çizelge 5.4'de verilmektedir.

Çizelge 5.4 : Değişik aydınlatma sınıfları için sağlanacak yol aydınlatması kriterleri

Aydınlatma sınıfı	$L_o(\text{cd/m}^2)$	U_o	U_1	TI (%)
M1	≥ 2.0	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10
M2	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10
M3	≥ 1.0	≥ 0.4	≥ 0.5	≤ 10
M4	≥ 0.75	≥ 0.4	-	≤ 15
M5	≥ 0.5	≥ 0.4	-	≤ 15

Burada;

U_o : Ortalama Düzgünlük : Yolun sağ kenarından yol genişliğinin $\frac{1}{4}$ mesafesinde bulunan bir gözlemciye göre kısmi alanların minimum parıltısının yolun ortalama parıltısına oranıdır ($U_o = L_{\min} / L_{\text{ort}}$).

U_1 : Boyuna Düzgünlük : Her yol şeridinin orta çizgisi üzerinde bulunan gözlemci noktasına göre, bu orta çizgi boyunca uzanan kısmi alanlardaki minimum parıltının maksimum parıltıya oranıdır ($U_1 = L_{\min} / L_{\max}$).

TI: Bağlı Eşik Artışı : Fizyolojik kamaşmanın neden olduğu görülebilirlik azalmasının ölçüsüdür. Kamaşma koşullarındaki parıltı eşiği ΔL_K ile kamaşma olmadığındaki ΔL_e eşik farkının ΔL_e 'ye oranı olarak ifade edilir ($TI = \{ \Delta L_K - \Delta L_e \} / \Delta L_e$).

Çizelgede verilen ortalama parıltı, ortalama ve boyuna düzgünlük değerleri yol yüzeyinde sağlanması gereken minimum değerlerdir. TI, bağlı eşik artışının değeri ise çizelgede verilen değerleri aşmamalıdır. Yine aynı yayına göre, değişik tiplerdeki yaya yollarında da en az Çizelge 5.5'de verilen ortalama aydınlık düzeyi değerleri sağlanmalıdır.

Çizelge 5.5 : Yaya alanlarındaki değişik yol tipleri için sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyi değerleri

Yolun Tanımı	Ortalama Aydınlık Düzeyi (lux)
Sosyo-ekonomik ve kültürel önemi yüksek olan kalabalık yaya yolları	20.0
Kalabalık yaya veya bisiklet yolları	10.0
Orta kalabalık yaya veya bisiklet yolları	7.5
Tenha yaya veya bisiklet yolları	5.0
Doğal çevrenin, tarihi ve kültürel yapının korunması gereken alanlardaki تنها yaya veya bisiklet yolları	3.0
Doğal çevrenin, tarihi ve kültürel yapının korunması gereken alanlardaki çok تنها yaya veya bisiklet yolları	1.5

5.4 Yol Aydınlatma Armatürleri

Aydınlatma armatürleri içlerindeki ışık kaynağından çıkan ışığı amaca en uygun biçimde dağıtan, yönlendiren ve aynı zamanda ışık kaynağını dış etkilerden koruyan, içindeki lamba için gerekli yardımcı elektriksel elemanları (duy, balast, ateşleyici, kondansatör vb.) koruyan, çeşitli montaj şekillerine sahip bir elemandır. Yol aydınlatmasında kullanılan armatürler içlerindeki ışık kaynağının ürettiği ışığı yola uygun şekilde dağıtacak, kamaşma meydana getirmeyecek ve düzenli bakılmak koşuluyla özelliklerini uzun süre koruyacak şekilde imal edilmelidir. [21]



Şekil 5.7 : Yol Aydınlatmasında Kullanılan Armatür Örneği

Şekil 5.7’de yol aydınlatmasında kullanılan tipik bir armatür örnek olarak gösterilmiştir.

Her türlü atmosferik ve kirlilik koşullarının geçerli olduğu dış mekanlarda gerçekleştirilen yol aydınlatmalarında kullanılan aydınlatma armatürlerinin koruma sınıfları (IP - International Protection) yüksek olmak zorundadır. Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi'nde ise, satın alınacak armatürlerin Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE)'nin 140/2000 nolu yayınında belirtilen tüm düzlem ve açılarda ölçülen ışık şiddeti değerlerinin verilmesi istenmektedir. Armatürlerin koruma sınıfları optik bölümleri için en az IP65, teçhizat bölümleri için ise en az IP43 olacak şekilde sınırlandırılmıştır.

6. GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERİN YOL AYDINLATMASI AMAÇLI KULLANIMINDA SİSTEM OPTİMİZASYONU

Yol aydınlatması amaçlı güneş enerjisi ile çalışan bir sistem oluşturulurken birçok kriter karşımıza çıkmaktadır. Öncelikle seçilen yol tipine göre en optimum aydınlatmayı sağlayacak lamba ve armatür tipi seçilmelidir. Daha sonra seçtiğimiz bu lamba gücüne bağlı olarak gerekli enerjiyi sağlayıp, güneş enerjisi ile çalışacak sistemin elemanları teknik açıdan gerekli koşulları yerine getirecek şekilde, maliyet de göz önünde bulundurularak belirlenir.

6.1 Lamba ve Armatür Seçimi

Burada sistemimiz için toplam enerji yükünü oluşturacak lamba ve armatür seçiminde bir aydınlatma tasarım programı olan Calculux kullanılmıştır. Armatür ve lambalar için Philips'in veritabanından faydalanılmıştır. İlk olarak Çizelge 5.4'den M4 sınıfı şehir içi yollar seçilmiştir. Yol yüzeyinin ülkemizde tüm şartnamelerde genel kabul olan CIE R3 tipi olduğu varsayılmıştır. M4 sınıfı yollar için Çizelge 5.4'den de görüldüğü gibi, yol yüzeyinde 0,75 cd/m² değerinde ortalama parıltı, 0,4'e eşit veya büyük ortalama düzgünlük ve %15 değerine eşit veya küçük bağıl eşik artışı sağlanması gerekmektedir. Söz konusu tasarım programı lamba seçiminde yol gösterirken, direkler arası mesafe, direk yüksekliği, konsol uzunluğu ve konsol açısı gibi tesisat parametrelerinin de belirlenmesini sağlamaktadır.

Çizelge 6.1 : Tasarımda kullanılan lamba tiplerine göre yol özellikleri

Açıklama	Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba	Metal Halojen	Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba	LED lerden Oluşan Lamba
Trafik	Tek yönlü	Tek yönlü	Tek yönlü	Tek yönlü
Yol/Ayd. Sınıfı	CIE R3, M4	CIE R3, M4	CIE R3, M4	CIE R3, M4
Yol Genişliği	7m	7m	7m	7m
Şerit Sayısı	2	2	2	2
Direklerin Konumu	tek taraflı	tek taraflı	tek taraflı	karşılıklı

Yüksek basınçlı sodyum buharlı, alçak basınçlı sodyum buharlı, metal halojen ve LED'li lambalarla farklı güçler için oluşturulan projelerin ortak yönleri Çizelge 6.1'de gösterilmiştir. LED'li lamba durumunda, gerekli aydınlatma kriterlerini sağlamak için direkler tek taraflı yerine çift taraflı karşılıklı düzende yerleştirilmek zorunda kalmıştır. Bu projelerin detaylı hesaplama sonuçları eklerde verilmektedir.(Ek B)

Değişik güçte ve tipteki bu lambalar kullanılarak M4 aydınlatma sınıfı yol için gerekli kriterleri optimum olarak sağlayan alternatif çözümler oluşturulmuştur. Bu alternatif çözümlerin tesisat parametreleri ve sağlanacak aydınlatma kalite büyüklükleri Çizelge 6.2'de özet olarak verilmektedir. Burada seçilen lambaların gücüne balast kayıplarının da eklenmesi gerekmektedir. Bu durum bir sonraki Çizelge 6.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 : M4 aydınlatma sınıflı yol için alternatif tesisatlar

	Y. Bas. Sod. 50W	Y. Bas. Sod. 70W	Y. Bas. Sod. 100W	Metal Hal. 70W	A. Bas. Sod. 36W	A. Bas. Sod. 55W	A. Bas. Sod. 91W	LEDx 18
Lamba Gücü (W)	50	70	100	70	36	55	91	72
Işık Akısı (lm)	4400	6600	10700	6300	6100	7800	17000	1800
Direk Yüksekliği (m)	8	8	8	8	8	8	10	4
Direkler Arası Mesafe (m)	21,5	32	41	27	20,5	26,5	45	10,5
Konsol Uzunluğu (m)	1	1	0.5	1	1	1	1	1
Konsol Açısı (derece)	5	10	10	10	10	10	10	30
L_{ort} (cd/m²)	0,75	0,75	0,87	0,75	0,76	0,75	0,84	0,76
U₀	0,58	0,64	0,51	0,64	0,45	0,45	0,46	0,47
TI (%)	9,1	11,5	15	12,4	11,3	13,5	15	10,1
SR	0,52	0,54	0,57	0,52	0,73	0,73	0,79	0,54

Çizelge 6.2 den de anlaşılacağı gibi düşük güçteki lambalar için, direkler arası mesafeler çok fazla açılmamaktadır. Alçak basınçlı sodyum buharlı 91W gücündeki lamba için de 8 metrelik direk yüksekliği ile gerekli ortalama parıltı değeri sağlanamadığı için, direk yüksekliği 10 metre olarak seçilmiştir. LED’li lamba tasarımında ise direk yüksekliği ancak 4 m ve konsol açısı 30 ° seçildiğinde gerekli aydınlatma kriterleri sağlanabilmiş ancak bu durumda düzgünlük koşulları nedeni ile, direkler arası mesafe de çok açılmamıştır. Bu da aynı mesafede daha fazla direk ve lamba kullanımını gerektirmektedir.

Elde ettiğimiz bu sonuçlara göre, 1000 metre uzunluğunda bir yol model olarak ele alınarak, tüm alternatif çözümler için gerekli direk sayıları, tüketilecek güçler hesaplanmış ve Çizelge 6.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 : Alternatif çözümlerin elektrik enerjisi tüketimleri (1 km.lik yol için)

	Y. Bas. Sod. 50W	Y. Bas. Sod. 70W	Y. Bas. Sod. 100W	Metal Hal. 70W	A. Bas. Sod. 36W	A. Bas. Sod. 55W	A. Bas. Sod. 91W	LEDx 18
Lamba Gücü (W)	50	70	100	70	36	55	91	72
Balast Gücü (W)*	9,5	11	14	16,2	12,5	10	15,5	Yok
Armatür Gücü (W)	59,5	81	114	86,2	48,5	65	106,5	72
Direk Sayısı	46	31	24	37	48	37	22	190
Lamba Sayısı	46	31	24	37	48	37	22	190 (3420 adet LED)
Toplam Elektriksel Güç (kW)	2,737	2,511	2,736	3,189	2,328	2,405	2,343	13,680
Oran	117,5	107,8	117,5	137	100	103,3	100,6	587,6

* LED haricindeki tüm lambalar için standart (manyetik) balast kullanılmıştır.

Bu sonuçlara göre en düşük elektrik enerjisi tüketimi alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar ile elde edilmektedir. Çözümler içinde 36W gücündeki alçak basınçlı sodyum buharlı olan en uygun lamba tipi ortaya çıkmaktadır. Ancak renksel geri verim özellikleri çok kötü olan bu tür lambaların, daha çok şehir içi yerleşim alanlarını kapsayan M4 aydınlatma sınıflı yollarda kullanılmaları tercih edilmeyen bir durumdur. Şu an için geçerli TEDAŞ şehir içi yol aydınlatması şartnamelerine göre de, bu tür yollarda yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların kullanılması istenmektedir. Alternatif çözümler içinde enerji tüketimi en düşük olan 70W gücünde yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı tesisatın en uygun olacağı görülmektedir. 1 kilometre uzunluğundaki bir yolda 70W gücündeki yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, 36W gücündeki alçak basınçlı lambalara oranla % 7,8 daha fazla elektrik enerjisi tüketmektedir.

LED'li tesisatlarda aynı aydınlatma kalite kriterlerinin sağlanması için, çok daha fazla sayıda direk ve lamba kullanılması gerekmektedir. Ekonomik ömürleri diğer

lamba türlerine göre daha uzun olarak beyan edilmesine rağmen, tüketilecek toplam enerji miktarı esas alındığında LED’li yol aydınlatması tesisatları şu an için M4 aydınlatma sınıflı yollar için uygun bir çözüm olarak gözükmemektedir. Ancak LED’li armatürlerde teknolojik gelişmeler çok hızlı gerçekleştiğinden, yeni gelişmelerin sürekli takip edilmesinde fayda vardır. Diğer bir olasılık olarak LED’li lambaların daha düşük aydınlatma kalite değerleri gerektiren CIE R3 yüzey tipli, M5 sınıfı yollarda kullanılabileceği düşünülebilir. M5 aydınlatma sınıfı yollarda Çizelge 6.4’den de görüldüğü gibi, yol yüzeyinde 0,5 cd/m² değerinde ortalama parlaklık, 0,4’e eşit veya büyük ortalama düzgünlük ve kamaşma sınırlaması için de %15 değerine eşit veya küçük bağıl eşik artışı sağlanması gerekmektedir. Yol geometrik özellikleri 3 metre genişliğinde tek şeritli olarak kabul edilip, direkler tek taraflı olarak soldan yerleştirildiğinde hesaplanan sonuçlar Çizelge 6.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.4 : M5 aydınlatma sınıflı yol için alternatif tesisatlar ve elektrik enerjisi tüketimleri (1km.lik yol için)

	Y. Bas. Sodyum	Y. Bas. Sodyum	Metal Halojen	A. Bas. Sodyum	LEDx18
Lamba Gücü (W)	50	70	70	36	72
Armatür Gücü (W)- Balast kaybı dahil	59,5	81	86,2	48,5	72
Direk Yüksekliği (m)	8	8	8	8	4
Direkler Arası Mesafe (m)	43,5	53	46	43	11,5
L ort (cd/m²)	0,50	0,54	0,50	0,50	0,53
U₀	0,59	0,40	0,44	0,58	0,44
TI (%)	12	14,6	11,8	13,1	8,5
Direk Sayısı	23	19	21	23	87
Lamba Sayısı	23	19	21	23	87(1566 adet LED)
Toplam Elektriksel Güç (kW)	1,368	1,539	1,810	1,115	6,264
Oran	122,7	138	162,3	100	561,8

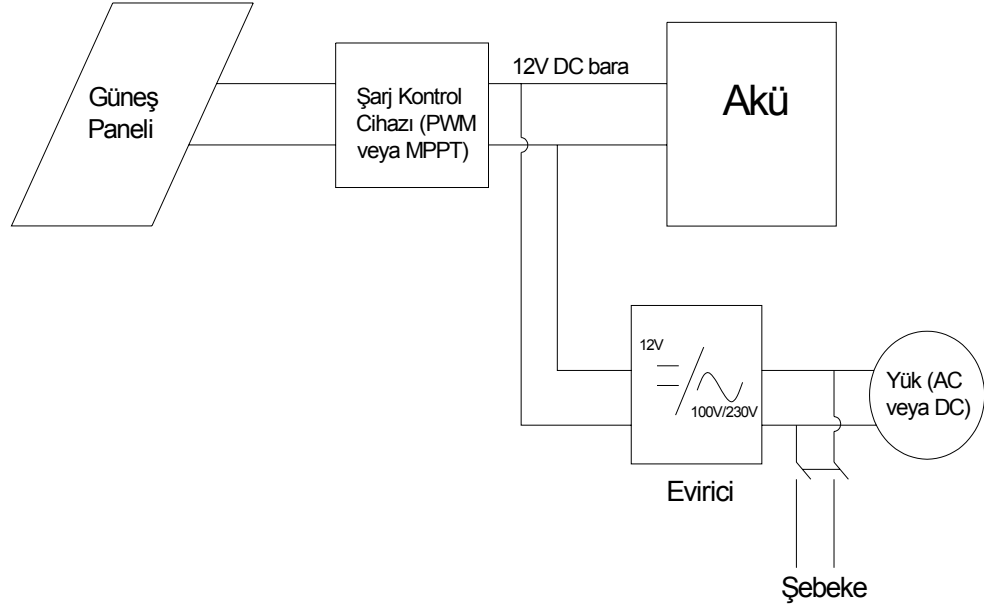
Bu çizelgede görüldüğü gibi LED’li lamba tipi elektrik tüketimi ve toplam maliyet açısından M5 sınıfı yollarda M4 sınıfına göre daha uygun olabilmektedir. Ancak diğer lamba tiplerine oranla yine elektrik tüketimi yüksektir. Bu yol sınıfında da alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar toplam elektrik enerjisi tüketimi bakımından en uygun lamba tipi olarak görülmektedir. Ancak renksel geri verim özellikleri çok

kötü olan bu tip lambaların bu yol sınıfında da kullanılması uygun değildir. Alternatif çözümler içinde yine enerji tüketimi en düşük olan 50W gücünde yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı tesisatın en uygun olacağı görülmektedir. Bu lamba M5 aydınlatma sınıfı 1 kilometre uzunluğundaki örnek bir yolda kullanıldığında alçak basınçlı sodyum buharlı 36W gücündeki lambalara oranla % 22,7 daha fazla elektrik tüketmektedir.

6.2 Sistem Modeli

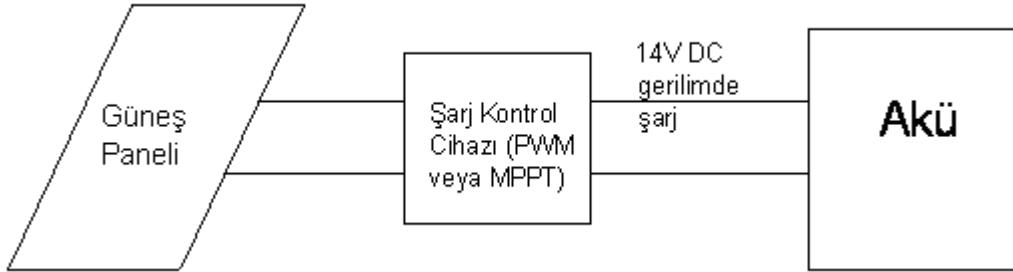
Aydınlatma için gerekli elektrik enerjisini sağlayacak sistem için öncelikle bir model oluşturulması gerekmektedir. Yol aydınlatmasında gündüz herhangi bir yük bulunmamaktadır. Yükün tamamı gece boyunca harcanacağı için sistemde akülerin mutlaka bulunması gerekmektedir. Sözkonusu model şebeke bağlantılı olabileceği gibi, şebekeden bağımsız da olabilir. Tez çalışmasında şehir içi yol aydınlatması uygulamaları esas alındığı için, şebeke bağlantılı model düşünülmüştür. Şebekenin ulaşamadığı yerlerde ise bağımsız sistemlerin uygulanması gerekmektedir. Şebekeden bağımsız uygulamalarda sürekliliği sağlamak için, sistem elemanlarının yüksek kapasiteli seçilmesi gerekebilir.

Şekil 6.1’de olası fotovoltaik sistemli yol aydınlatması uygulamaları için düşünülen sistem modeli görülmektedir. Bu modelde güneşten gelen enerji güneş panelleri aracılığı ile doğru akımda elektrik enerjisine dönüştürülerek bir şarj kontrol cihazının denetiminde aküleri beslemektedir. Daha sonra akülerde doğru akımda depolanan elektrik enerjisi bir evirici ile alternatif akımda elektrik enerjisine çevirilerek yükün ihtiyacı karşılanmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için gerekli olan elektrik enerjisi, güneşin az olduğu veya hiç olmadığı günlerde akülerde biriktirilemez. Bu durumda aküler devre dışı bırakılarak ihtiyaç şebekeden karşılanır.



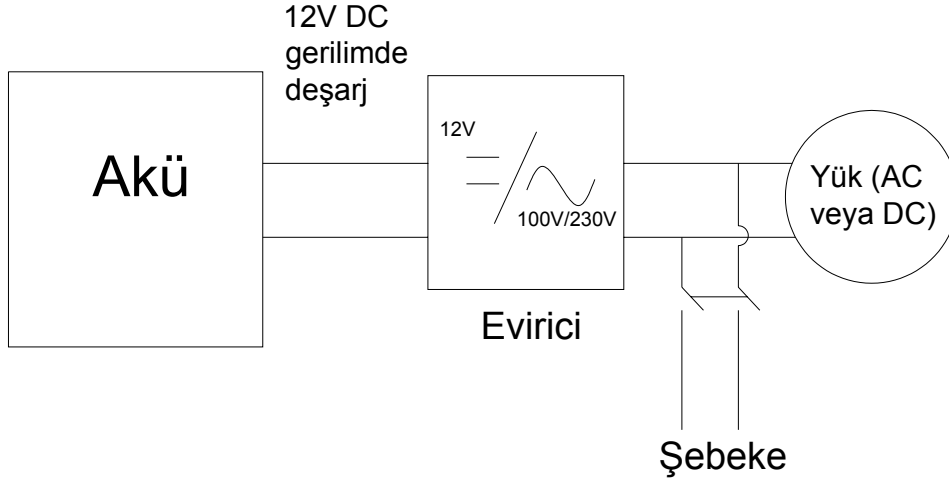
Şekil 6.1 : Oluşturulan modelin blok diyagramı

Bu modeldeki sistem gündüz paneller aracılığı ile ürettiği elektrik enerjisini şarj kontrol cihazı üzerinden akü grubuna aktarmaktadır. Şarj gerilimi 14V DC gerilimdir. Gündüz sistemde herhangi bir yük bulunmamaktadır. Gündüz çalışma durumu için sistem modeli şekil 6.2’de gösterilmektedir.



Şekil 6.2 : Sistemin gündüz çalışma durumu

Havanın kararmasıyla birlikte aydınlatma ihtiyacı ortaya çıktığından, yol aydınlatması yükleri gündüz aküde depolanan elektrik enerjisiyle beslenmektedir. Bu durum için geçerli olabilecek sistem modeli ise şekil 6.3’te verilmektedir.



Şekil 6.3 : Sistemin gece çalışma durumu

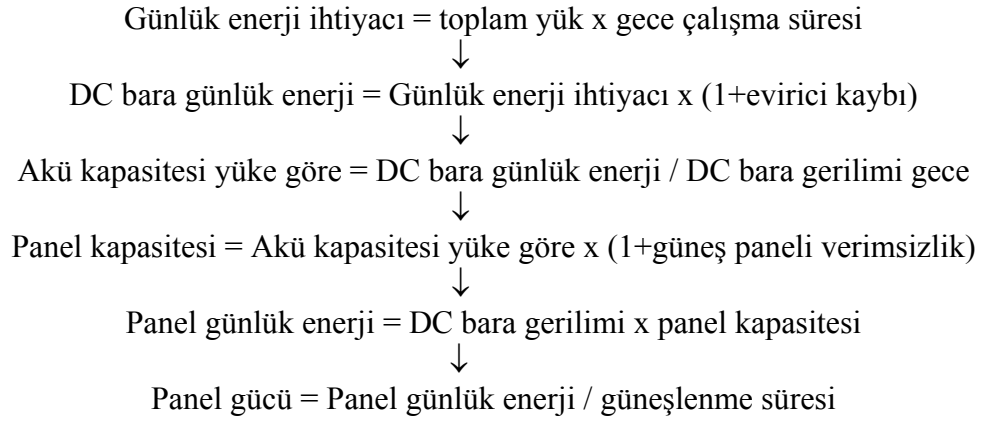
Burada aküden verilen elektrik enerjisi AC yük için evirici üzerinden beslenmektedir. Bu durumda akünün deşarj gerilimi 12V DC olmaktadır. AC yükler için düşünülen sistemlerde evirici kullanılmaktadır. Yükün DC olması durumunda, evirici ihtiyacı ortadan kalkacaktır. Aküde depolanan elektrik enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda bir anahtar ile aküler devre dışı bırakılıp şebekeden besleme yapılmaya başlanır.

6.3 Sistem Elemanlarının Seçimi

Modelimiz için gerekli sistem elemanlarının seçiminde güneş panelleri ve aküler maliyetleri ve boyutları nedeniyle en önemli parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Şarj kontrol cihazları ve eviricilerin değişik tipleri uygun maliyetlerde bulunabilmektedir.

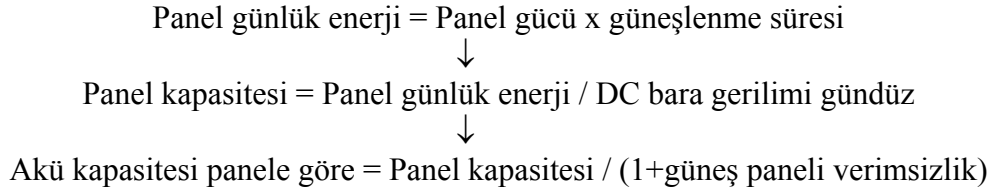
Bu tez çalışması kapsamında Matlab programı kullanılarak öncelikle yük, kayıplar, DC bara gerilimine göre güneşlenme süresinin en kötü olduğu Aralık ayı ile en iyi olduğu Temmuz ayında ve diğer aylarda oluşacak panel gücü ihtiyacını hesaplayabileceğimiz bir program oluşturulmuştur. Oluşturulan ikinci bir program ile de seçilen panel gücü, yük, kayıplar, DC bara gerilimi ve gece çalışma süresine göre akü ihtiyacı hesaplanmaya çalışılmıştır. Her iki programın da detaylı açıklamaları EkE'de verilmektedir.

Panel gücünün hesaplandığı bu programın akış diyagramı genel hatlarıyla aşağıda Şekil 6.4'de verilmiştir.



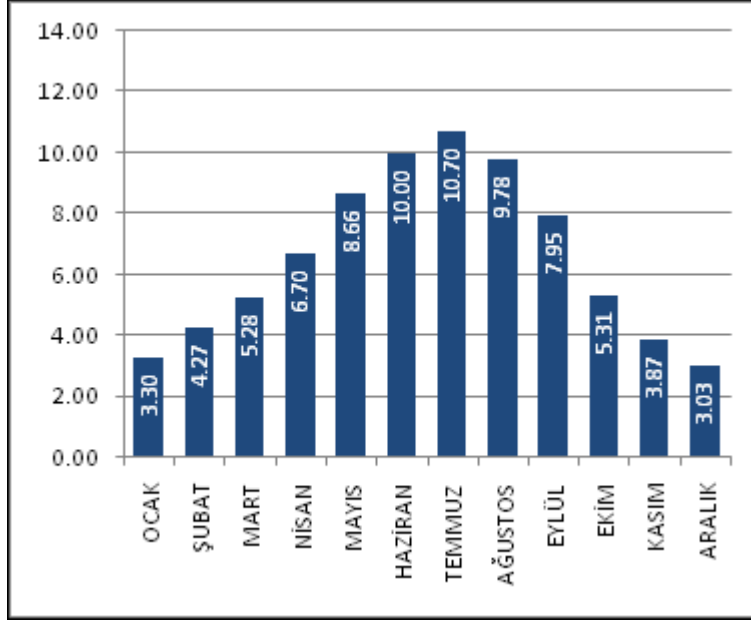
Şekil 6.4 : Panel gücünün hesaplanışını gösteren akış diyagramı

Akü kapasitesinin hesaplandığı programın akış diyagramı ise Şekil 6.5’de verildiği gibidir.



Şekil 6.5 : Akü kapasitesinin hesaplanışını gösteren akış diyagramı

Sözkonusu Matlab tabanlı bilgisayar programları yardımı ile, Çizelge 6.4’de tanımlanan ve M5 aydınlatma sınıflı yolda elektrik enerjisi bakımından en düşük tüketimi ve renksel özellikler açısından da uygun çözümü sağlayan 50W gücünde yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba tipine ait veriler girilerek sistem elemanları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada konum olarak İstanbul ili Kartal ilçesi seçilmiş ve Şekil 6.6’de verilen güneşlenme süreleri veri olarak girilmiştir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün İstanbul Kartal’daki istasyonunun 2008 yılı ölçümlerinde gün bazında çok eksikler bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmada Elektrik İşleri Etüt İdaresi’nin yine İstanbul Kartal için olan verileri kullanılmıştır. Bu verilere göre güneşlenmenin en kötü olduğu Aralık ayında ortalama güneşlenme süresi 3,03 saat’dir. Güneşlenmenin en iyi olduğu Temmuz ayında ise ortalama güneşlenme süresinin 10,7 saat olduğu görülmektedir.



Şekil 6.6 : EİE İstanbul Kartal için günlük ortalama güneşlenme süreleri [25]

Çalışma gerilimi 12V olan sistem için hesaplanan değerler ve gereken elemanlar Çizelge 6.5’de verilmektedir. Bu değerler sistemi sürekli ve sadece güneşten gelen enerjiyle beslemek için aylara göre gereken minimum güneş panel gücü ve akü değerleridir.

Çizelge 6.5 : Aylık olarak ihtiyaç duyulan sistem elemanları

	Ort. Güneşlenme süresi (h)	Gün içinde karanlık süre (h)	Gün içinde aydınlık süre (h)	Gerekli Panel gücü (W)	Panel Şarj Kapasitesi (Ah)	Yük İhtiyacı İçin Gerekli Akü (Ah)
Ocak	3,3	15	9	328	70	82
Şubat	4,27	14	10	237	66	77
Mart	5,28	12,5	11,5	171	59	69
Nisan	6,7	11,5	12,5	124	54	63
Mayıs	8,66	10	14	84	47	55
Haziran	10	9,5	14,5	69	45	52
Temmuz	10,7	10	14	68	47	55
Ağustos	9,78	11	13	81	51,5	60
Eylül	7,95	12	12	109	57	66
Ekim	5,31	13,5	10,5	184	63,3	74
Kasım	3,87	14,5	9,5	270	68,4	80
Aralık	3,03	15,5	8,5	369	73	85

Çizelge 6.5 incelendiğinde, toplam elektrik tüketimi ve renksel özellikleri nedeniyle en uygun seçenek olarak düşünülen 50W gücünde yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı tesisatta kullanılacak sistem için 12VDC çalışma geriliminde en kötü durum olan Aralık ayının enerji ihtiyacını karşılayacak panel ve akünün üç adet 130W'lık güneş paneli ve 105 Ah'lık olarak seçilmesi gerekmektedir. Çizelge 6.5'den de anlaşılacağı gibi, seçilecek bu sistem ancak her gün aküyü şarj edebileceğimiz durum için geçerlidir. Güneşlenmenin ortalama aylık değerden az veya hiç olmadığı bazı günlerde bu sistem bile yeterli olamayacaktır. Elektrik enerjisinin sürekliliğini sağlamak amacıyla, sistemin şebeke bağlantılı olması gerekmektedir. Ayrıca sistem yukadaki gibi bağımsız tasarlanmak istendiğinde Çizelge 4.3'de verilen örnek değerlerden panel uzunluğunun 4,26 m., genişliğinin 2 m. ve ağırlığının ise 44,7 kg. civarında olacağı belirlenebilmektedir. Kullanılacak akünün uzunluğu 0,35 m., ağırlığı ise Ek D.1'de verildiği gibi 35 kg. civarındadır. Bu boyut ve ağırlıktaki panel ve akülerin direk üzerine monte edilmesi mümkün

gözükmemektedir. Bu nedenle, hem panel hem de akülerin zeminde muhafaza edilmesi gerekmektedir. Yol aydınlatma sistemleri dış koşullarda olduğu için hava koşulları ve çalınma riski nedeniyle akü için ayrı bir koruma dolabı yapılması veya direk içine yerleştirilmesi için gerekli düzenekler gerekebilir. Direk içine konulması durumunda, direkler buna uygun özel olarak tasarlanmalıdır. Büyük güçlü sistemlerde birden fazla panel kullanıldığında, paneller birbirine paralel olarak bağlanmalıdır.

Çizelge 6.6 : İstanbul ilinde yol aydınlatma tesisatlarının çalışacağı toplam karanlık süreler (saat)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Günlük (h)	15	14	12,5	11,5	10	9,5	10	11	12	13,5	14,5	15,5
Aylık (h)	465	392	387,5	345	310	285	310	341	360	418,5	435	480,5

Çizelge 6.6’da görüldüğü gibi, İstanbul’un bir yıl boyunca karanlıkta kaldığı, yani yol aydınlatmasına ihtiyaç duyulan süre toplam 4529,5 saat olarak hesaplanabilmektedir. Bizim kullandığımız sistemde tek bir direk başına toplam yük lamba, balast ve evirici kayıplarıyla beraber 67W olarak gerçekleşecektir. Bu durumda sistemimizin yıllık elektrik enerjisi ihtiyacı direk başına $4529,5 \times 67 = 303,5$ kWh olmaktadır. Bu yükün tamamını güneş enerjisinden karşılamak için yaklaşık 400W gücünde güneş paneli ve 100 ila 120 Ah arasında kapasiteye sahip bir akünün gerekli olduğu daha önce de belirtilmişti.

Ancak yukarıda bahsettiğimiz boyutlarda ve ağırlıktaki panelin direk üstüne montajı çok zordur. Direk üstüne monte edilen panellerin kurulu güçleri en fazla 105W olabilmektedir. Hem bu sebeplerle hem de elektrik enerjisinin sürekliliğini sağlamak için, gerektiği zamanlarda şebeke elektriğinden de faydalanacak şekilde 65W, 85W veya 105W güçlerinde güneş panelleri ve bu panellere uygun akü ile oluşturulan sistem elemanları seçilmesi bu durum için en optimum çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. PVGIS programı ile seçilen bu üç panel için ayrı ayrı sistem kayıplarıyla beraber aylık ve yıllık olarak üretilebilecek elektrik enerjisi miktarları aşağıdaki çizelgelerde ve şekillerde verilmektedir. Verilen değerler İstanbul ili Kartal ilçesi güneşlenme verileri esas alınarak hesaplanmıştır.

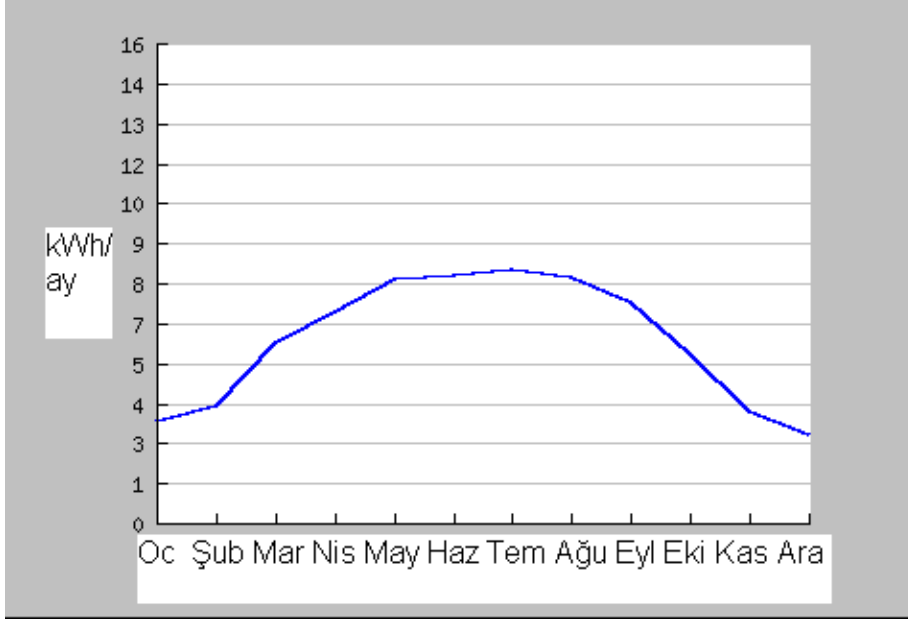
6.3.1 İstanbul Kartal'da 65 W güneş panel gücü ile elektrik üretimi

Çizelge 6.7'de görüldüğü üzere 65 W gücünde bir güneş paneli ile %24,5 olan tüm kayıplar dikkate alınarak yıllık olarak 71,2 kWh elektrik üretilebilecektir. Bu sistem 67 W olan direk yükümüzü bir yıl içinde 1063 saat karşılayacaktır. Geriye kalan 3466,5 saatte aydınlatmanın yapılabilmesi için gereken elektrik enerjisi şebekeden sağlanacaktır. Bu durumda şebekeden harcanacak yıllık elektrik enerjisi miktarı, yük evirici kaybı olmadığından $59,5W \times 3466,5 = 206,3 \text{ kWh}$ olarak gerçekleşecektir.

Çizelge 6.7 : Kartal'da 65 W panel kullanılan sistemin verileri

Sabit sistem: eğim=30°, yön=-1° (optimum)				
Aylar	E_g	E_a	H_g	H_a
Ocak	0.11	3.34	2.05	63.6
Şubat	0.14	3.79	2.58	72.3
Mart	0.19	5.84	3.66	113
Nisan	0.23	6.88	4.60	138
Mayıs	0.26	7.93	5.28	164
Haziran	0.27	8.06	5.70	171
Temmuz	0.27	8.23	5.66	175
Ağustos	0.26	8.01	5.54	172
Eylül	0.24	7.16	4.99	150
Ekim	0.18	5.52	3.59	111
Kasım	0.12	3.63	2.36	70.9
Aralık	0.09	2.86	1.75	54.4
Yıllık Ortalama (kWh)	0.195	5.94	3.99	121
Yıllık Toplam (kWh)		71.2		1460

Aşağıdaki Şekil 6.7'de ise bu panel ile üretilen elektrik enerjisinin aylık değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Grafikten de görüldüğü gibi kış aylarında güneş paneli ile elektrik üretim değerleri azalmakta, yaz aylarında ise artmaktadır. Bu durumda kış aylarında şebekeden alınan elektrik enerjisi miktarı artacaktır. Yaz aylarında ise çoğunlukla güneş paneli ile akülerde depolanan elektrik enerjisi kullanılacaktır.



Şekil 6.7 : Kartal’da 65 W panele ait aylık elektrik üretim verileri

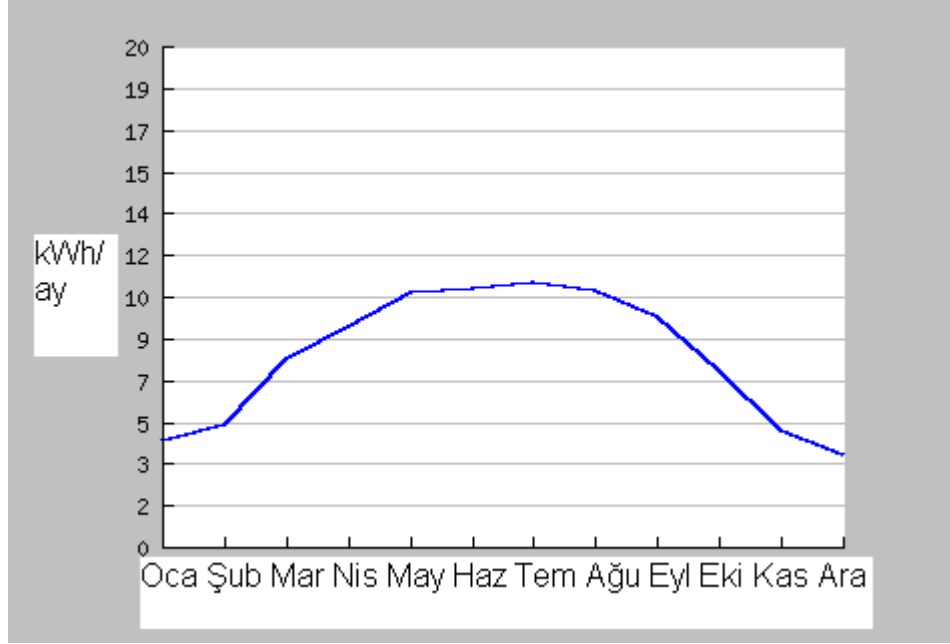
6.3.2 İstanbul Kartal’da 85 W güneş panel gücü ile elektrik üretimi

Çizelge 6.8’de görüldüğü üzere 85 W gücünde bir güneş paneli ile %24,5 olan tüm kayıplar dikkate alınarak yıllık olarak 93,2 kWh elektrik üretilebilecektir. Bu sistem 67 W olan direk yükümüzü bir yıl içinde 1391 saat karşılayacaktır. Geriye kalan 3138,5 saatte aydınlatmanın yapılabilmesi için gereken elektrik enerjisi şebekeden sağlanacaktır. Bu durumda şebekeden harcanacak yıllık elektrik enerjisi miktarı, yük evirici kaybı olmadığından $59,5W \times 3138,5 = 186,8 \text{ kWh}$ olarak gerçekleşecektir.

Çizelge 6.8 : Kartal’da 85 W panel kullanılan sistemin verileri

Sabit sistem: eğim=30°, yön=-1° (optimum)				
Aylar	E_g	E_a	H_g	H_a
Ocak	0.14	4.36	2.05	63.6
Şubat	0.18	4.96	2.58	72.3
Mart	0.25	7.63	3.66	113
Nisan	0.30	9.00	4.60	138
Mayıs	0.33	10.4	5.28	164
Haziran	0.35	10.5	5.70	171
Temmuz	0.35	10.8	5.66	175
Ağustos	0.34	10.5	5.54	172
Eylül	0.31	9.36	4.99	150
Ekim	0.23	7.21	3.59	111
Kasım	0.16	4.75	2.36	70.9
Aralık	0.12	3.74	1.75	54.4
Yıllık Ortalama	0.255	7.76	3.99	121
Yıllık Toplam		93.2		1460

Aşağıdaki Şekil 6.8’de ise bu panel ile üretilen elektrik enerjisinin aylık değerleri grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 6.8 : Kartal’da 85 W panele ait aylık elektrik üretim verileri

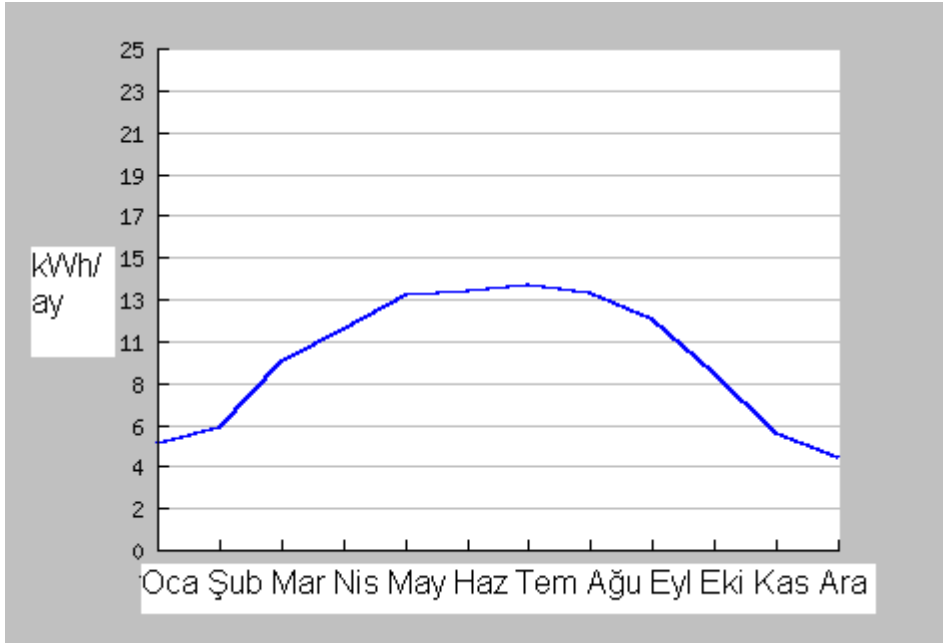
6.3.3 İstanbul Kartal’da 105 W güneş panel gücü ile elektrik üretimi

Çizelge 6.9’de görüldüğü üzere 105 W gücünde bir güneş paneli ile %24,5 olan tüm kayıplar dikkate alınarak yıllık olarak 115 kWh elektrik üretilenmektedir. Bu sistem 67 W olan direk yükümüzü bir yıl içinde 1716,5 saat karşılayacaktır. Geriye kalan 2813 saatte aydınlatmanın yapılabilmesi için gereken elektrik enerjisi şebekeden sağlanacaktır. Bu durumda şebekeden harcanacak yıllık elektrik enerjisi miktarı, yük evirici kaybı olmadığından $59,5W \times 2813 = 167,4 \text{ kWh}$ olarak gerçekleşecektir.

Çizelge 6.9 : Kartal’da 105 W panel kullanılan sistemin verileri

Sabit sistem: eğim=30°, yön=-1° (optimum)				
Aylar	E_g	E_a	H_g	H_a
Ocak	0.17	5.39	2.05	63.6
Şubat	0.22	6.12	2.58	72.3
Mart	0.30	9.43	3.66	113
Nisan	0.37	11.1	4.60	138
Mayıs	0.41	12.8	5.28	164
Haziran	0.43	13.0	5.70	171
Temmuz	0.43	13.3	5.66	175
Ağustos	0.42	12.9	5.54	172
Eylül	0.39	11.6	4.99	150
Ekim	0.29	8.91	3.59	111
Kasım	0.20	5.87	2.36	70.9
Aralık	0.15	4.62	1.75	54.4
Yıllık Ortalama	0.315	9.59	3.99	121
Yıllık Toplam		115		1460

Aşağıdaki Şekil 6.9’de ise bu panel ile üretilen elektrik enerjisinin aylık değerleri grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 6.9 : Kartal’da 105 W panele ait aylık elektrik üretim verileri

Sistem şebekeye bağlandığında, evirici devre dışı kalacağından evirici kayıpları da bu periyotlarda olmayacaktır. Bu durumda toplam elektrik ihtiyacında bir azalma gerçekleşecektir.

Çizelge 6.10’de seçilen bu üç farklı durumdaki sistem elemanlarının teknik özellikleri ve elektrik enerjisi ihtiyacını sağlama kapasiteleri verilmektedir.

Çizelge 6.10 : Seçilen farklı güçlerdeki üç panelin teknik özellikleri

Panel Boyutları (uzunluk ve ağırlık)	Optimum Akü Kapasitesi (Ah)	Evirici (W)	Panelle Üretilen Yıllık Elektrik (kWh)	Şebekeden alınan Yıllık Elk. (kWh)	Panel ile Karşılan an (%)	Şebeke den Karşılan an (%)
65W Panel 75cm ve 8kg	60	75	71,2	206,3	26	74
85W Panel 100cm ve 12kg	75	75	93,2	186,8	33	67
105W Panel 125cm ve 15kg	90	75	115	167,4	41	59

6.4 Sistemin Basit Maliyet Analizi

Bu çalışma kapsamında tasarlanmaya çalışılan M5 aydınlatma sınıfı şehir içi yol aydınlatmaları için fotovoltaik sistemli yol aydınlatması tesisat modellerinin, tesis maliyetlerindeki en etkili elemanlar paneller ve akülerdir. Oluşturulan yol aydınlatması tesisatlarında direkler, armatürler ve lambaların enerji teminindeki farklılıklara bağlı olmaksızın tüm durumlarda kullanılması gerektiği düşünülerek, bu çalışma kapsamında yapılan maliyet analizlerinde sadece farklı olarak sisteme ilave edilmeye çalışılan güneş enerjisi sistemlerinin maliyetleri dikkate alınmıştır.

M5 aydınlatma sınıfı bir yolun en optimum çözüm olan 50W gücünde yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı armatürlerle aydınlatılması halinde, Ek C ve Ek D'de yer alan eleman birim liste fiyatlarından yararlanılarak, Çizelge 6.11'de özellikleri verilen üç farklı güçteki sistem için tesis kurulum maliyetleri hesaplanmış ve Çizelge 6.12'de toplu olarak gösterilmiştir. Sistemlerin hepsi 12 V DC gerilimde çalışmaktadır.

Çizelge 6.11 : M5 aydınlatma sınıflı yol için olası fotovoltaik sistemlerin tesis kurulum maliyetleri

	Sembol	65W Panel	85W Panel	105W Panel
Lamba Gücü (W)	A	50	50	50
Tüketim Gücü (W) - Balast dahil	B	59,5	59,5	59,5
Lamba Ekonomik Ömrü (saat)	C	21000	21000	21000
Lamba Maliyeti (TL)	D	22	22	22
Lamba Birim Maliyeti (TL/saat-lamba)	E = D / C	0,0010	0,0010	0,0010
Panel Tesis Maliyeti (TL)	F	616	787	1030
Akü Tesis Maliyeti (TL)	G	268	315	365
Evirici Tesis Maliyeti (TL)	H	75	75	75
Şarj Kon. Cihazı Tesis Maliyeti (TL)	I	100	150	200
Diğer Sistem Elemanları (TL)	J	75	93	117
Toplam Sistem Elemanları Tesis Maliyeti (TL)-Bir Direk İçin	K	1134	1420	1787
Toplam Armatür Sayısı	M	46	46	46
TOPLAM TESİS MALİYETİ	N = M * K	52164	65320	82202

Çizelge 6.11’de seçilen üç farklı güçteki güneş panelinin kullanılması halinde sistemlerin direk başına ve 1 kilometrelik yol için toplam maliyetleri görülmektedir. Kullanılan panelin kapasitesi arttıkça beklendiği gibi, sistemlerin ilk yatırım maliyetleri de artmaktadır. Ancak panel kapasitesi artırıldıkça, fotovoltaik sistemler ile üretilen elektrik enerjisi miktarı da artmaktadır. Dolayısıyla şebekeden kullanılan elektrik enerjisi miktarı azalmaktadır. Bunun şebekedeki reaktif güçlerin azalması yönünde de bir faydası olacaktır.

Çizelge 6.12 : M5 aydınlatma sınıflı yol için olası fotovoltaik sistemlerin elektrik enerjisi tüketim maliyetleri

	Sembol	65W Panel	85W Panel	105W Panel
Yıllık aydınlanma gereksinimi (saat)	A	4529,5	4529,5	4529,5
Panel yıllık elektrik üretimi (kWh) / (1 armatür)	B	71,2	93,2	115
Panel elektrik enerjisi birim maliyeti Ücreti (TL/kWh)	C	0,83	0,80	0,82
Şebeke yıllık elektrik tüketimi (kWh) / (1 armatür)	D	206,3	186,8	167,4
Elektrik enerjisi birim maliyeti (TL/kWh)*	E*	0,17998	0,17998	0,17998
Sistem yıllık toplam elektrik tüketimi (kWh/yıl)	F =B + D	277,5	280	282,4

* TEDAŞ 2009 yılı 01.04.2009 tarihli fonsuz tarifeler tablosundan dağıtım şirketinden enerji alan tüketicilerde aydınlatma için olan veri kullanılmıştır.

Çizelge 6.12'den güneş panelleri ile üretilen elektrik enerjisinin birim fiyatının şebekeden kullanılan elektrik enerjisi birim fiyatından çok yüksek olduğu görülmektedir. Maliyeti yükselten önemli parametre sistemlerin ilk tesis maliyetlerinin yüksek olmasıdır.

Örneğin 85W gücündeki paneller İstanbul Kartal'da seçilen 1 km.'lik yolda kullanıldığı zaman paneller ile bir yılda elde edilen elektrik enerjisi $93,2 \text{ kWh} \times 46 = 4287 \text{ kWh}$ olmaktadır. Bu sistemdeki elemanların yaklaşık 19-20 yıl verimli bir şekilde çalıştıkları kabul edilmektedir. Bu sistemin toplam maliyeti ise Çizelge 6.8'de görüldüğü gibi 65320 TL'dir. Bu durumda güneş panelleri ile üretilen elektrik enerjisinin birim fiyatı $65320 \text{ TL} / 81453 \text{ kWh} = 0,80 \text{ TL/kWh}$ civarında olacaktır. Bu maliyete bakım maliyetlerinin de ayrıca eklenmesi gerekmektedir. Diğer yandan seçilen paneller için sistemin elektrik enerjisi birim maliyetleri birbirine yakın değerler çıktığı görülmüştür.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yol aydınlatması için harcanan elektrik enerjisi miktarı tüketilen toplam elektrik enerjisi içinde önemli bir yer tutmaktadır. Yol aydınlatması tesisatlarında kullanılan lambalar da teknolojiye bağlı olarak sürekli geliştirilmektedir. Amaç uzun ömürlü, etkinlik faktörü yüksek ışık kaynaklarına erişmektir. Günümüzde tesisatların gereksinim duydukları enerjilerinin güneş enerjili sistemlerle şebeke destekli olarak sağlanabileceği projeler, enerji verimliliği çalışmalarındaki önemli konulardan biridir.

Bu çalışmada ilk olarak ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli verileri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu verilere baktığımızda ülkemizin önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Ancak bu önemli değer ülkemizde elektrik enerjisi amaçlı olarak çok fazla kullanılamamaktadır. Bu potansiyeli elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılacak sistemler, günümüzde mevcut olup sürekli gelişme göstermektedir.

Güneş enerjili sistemlerin elektrik enerji maliyetlerinin olmaması, çevreyi kirletmemesi, yerli kaynak olup dışa bağımlılığı azaltması gibi üstünlüklerinin yanı sıra, ilk tesis maliyetlerinin yüksek olması gibi bazı sorunları da vardır.

Çalışmada M4 aydınlatma sınıfı şehir içi bir yol için CALCULUX programı ve Philips veritabanı kullanılarak farklı güçte lambalar için, Uluslar arası önerilere uygun aydınlatma kalite kriterlerini sağlayan alternatif optimum çözümler oluşturulmuştur. Optimizasyon sonuçlarına göre, bu yolda enerji tüketimi düşük ve renksel özellikleri de kabul edilebilir olan 70W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların kullanıldığı tesisatın en uygun çözüm olduğu sonucuna varılmıştır. LED'li lambalar için direkler tek taraflı yerleştirilecek şekilde aydınlatma kriterleri sağlanamadığından aynı çözümler M5 aydınlatma sınıfı yol için de oluşturulmuştur. Bu yolda ise, enerji tüketimi düşük ve renksel özellikleri de kabul edilebilir olan 50W yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların kullanıldığı tesisatın en uygun çözüm olduğu sonucuna varılmıştır.

Lamba seçimi yapıldıktan sonra, tesisatın İstanbul Kartal bölgesinde olduğu kabulü ile, armatür toplam elektriksel yükünü karşılayacak şekilde şebeke ile birlikte çalışan bir güneş enerji sistem modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu sistemlerin şehiriçinde şebekeden bağımsız olarak kullanılması halinde, panel ve akü boyut ve ağırlıkları çok büyük olmakta, bu elemanların direk üstüne montajları olanaksız hale gelmektedir. Eleman boyutları yol aydınlatması direkleri üzerine monte edilebilir ölçülerde olabilen ve çalışma gerilimi de 12V DC olarak tasarlanan sistem modeli ancak, şehiriçinde şebeke destekli olarak kullanıldığında yıl içindeki gerekli enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir.

Oluşturulan sistem modelinde maliyeti ve uygulanabilirliği belirleyen en önemli iki eleman olan paneller ve akülerin karakteristik değerlerini belirlemek için MATLAB programında bir hesaplayıcı oluşturulmuştur. Bu hesaplayıcıda önce yüke, kayıplara, DC bara gerilimi ve güneşlenme süresine bağlı olarak gerekli minimum panel gücü belirlenmiş, daha sonra da gerekli minimum panel gücüne en yakın ve üretimi olan bir panel gücü seçilmiştir. Akü değeri ise bu panel gücüne bağlı olarak belirlenmektedir. Daha düşük maliyetli olup piyasada çok farklı çeşitleri bulunan evirici ve şarj kontrol cihazları da sistemlere dahil edilmiştir.

Belirlenen sistem elemanları için firmaların liste fiyatları kullanılarak, yaklaşık tesis kurulum maliyetleri de hesaplanmaya çalışılmıştır. Gerçek uygulamalarda, projelerin büyüklüğüne göre bu fiyatlar üzerinden indirimlerin de olacağı düşünülmelidir. Elde edilen sonuçlara göre M5 aydınlatma sınıfı yol için, 50W'lık yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı yol aydınlatma tesisatının 12V DC çalışma gerilimli güneş enerjili sistemlerde kullanımında, ilk tesis maliyeti açısından 85 W güneş paneli kullanımının en optimum çözüm olabileceği anlaşılmaktadır. 85 W gücünde panel kullanılan sistem, tüketilecek elektriğin ancak %33'ünü karşılamakta, kalan %67'lik bölüm ise şebekeden alınmaktadır. Tasarlanan bu sistemin ilk yatırım maliyeti ve sözkonusu güneş enerjili sistem ile üretilen elektriğin birim fiyatı, elde edilebilecek enerji tasarruf maliyeti ve şebeke elektrik enerjisi birim maliyeti dikkate alındığında çok yüksek kalmaktadır. Kullanılan panelin gücü artırıldıkça, şebekeden karşılanması gereken elektrik enerjisi miktarı da azalmaktadır. Direk üstüne monte edilebilir maksimum güç olabilen 105 W gücündeki paneller kullanıldığında, gerekli elektrik enerjisinin %41'i güneş enerji sisteminden üretilebilmektedir. Ancak panel gücünün artırılması sistemin ilk tesis maliyetini de artırmaktadır.

Gerçekleştirilmesi gereken güneş enerji sistemli tesisat projelerinin geri ödeme süreleri de daha uzun olmaktadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında, şebeke bağlantısı olan bölgelerdeki yol aydınlatmalarında güneş enerji sistemlerinin kullanılmasının optimum bir çözüm olamayacağı sonucuna varılmıştır.

İleride güneş enerjisi sistem elemanları üretimlerinde gerçekleştirilecek teknolojik gelişmelerle elemanların boyutları küçürülüp maliyetlerinin düşürülebilmesi halinde, güneş enerjili sistemlerin yol aydınlatması tesisatlarında uygulanması kolaylaşabilecektir. Ayrıca elektrik enerjisi ulaştırılmasında sıkıntı yaşanan bölgelerde, enerji iletim maliyetleri de göz önüne alındığında güneş enerjili sistemler bugün için de uygulanabilecek çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır. Fotovoltaik sistemli yol aydınlatması tesisatlarında, yolun fonksiyonlarına göre gerekli olan aydınlatma kalite kriterlerinin mutlaka sağlanması üzerinde önemle durulmalıdır. Gereken kalite kriterlerini en düşük enerji tüketimi ile karşılayan lamba, armatür gibi tesisat elemanlarının seçimi de ilk başlangıç noktası olmalıdır.

Güneş enerjili ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sistemlerin elektrik enerjisi üretiminde kullanımının artırılması ile CO₂ gazı salınımı belli bir miktar azaltılabilecek, böylece çevrenin ve doğal hayatın korunmasına da katkıda bulunulabilecektir. Bu tür sistemlerde kullanılan enerji kaynaklarının yerli olması ve çeşitlilik yaratması da ülkemizin ekonomik olarak dışa bağımlılığının azaltılmasında önemli faydalar sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Türkiye’de Enerji ve Geleceği, İTÜ Görüşü**, Nisan 2007. İstanbul, Türkiye. Editör Satman, A.
- [2] **Pamir, N.**, Mayıs 2003. Dünyada ve Türkiye’de Enerji, Türkiyenin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları, *Metalurji Dergisi*, **134**, s. 2-9
- [3] **Pamir, N.**, Mart 2007. Enerji Arz Güvenliği ve Türkiye, *Stratejik Analiz Dergisi*, **83**, s. 14-24.
- [4] **Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T.**, 2006. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, ESOGÜ, Eskişehir, 21-23 Haziran, s. 270-275.
- [5] **Key World Energy Statistics**, 2008. International Energy Agency, Paris.
- [6] **World Electricity Installed Capacity by Type**, January 1, 2007. Energy Information Administration, Washington.
<http://www.eia.doe.gov/emeu/international/electricityconsumption.html>, alındığı tarih 10.04.2009.
- [7] **Statistical Review of World Energy**, June 2008. British Petroleum.
<http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>, alındığı tarih 10.04.2009.
- [8] **Türkiye Elektrik Üretim ve İletim İstatistikleri**, 2007. Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi, Ankara.
<http://www.teias.gov.tr/ist2007/index.htm>, alındığı tarih 05.03.2009.
- [9] **Güner, S., Albostan, A.**, 2007. Türkiye’nin Enerji Politikası, *IV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, 31 Ekim-02 Kasım, s. 47-49
- [10] **Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi**, Aralık 2007. *2005-2006 Türkiye Enerji Raporu*, Ankara, Türkiye.
- [11] **Keçel, S.**, 2007. Türkiye’nin Değişik Bölgelerinde Eysel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri İle Karşılanmasına Yönelik Model Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [12] **Altın, V.**, 2002. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, *Bilim-Teknik Dergisi*, Tübitak, **410**, s. 18.
- [13] **Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü**, 2008. Güneş Enerjisi ve Teknolojileri.
<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunes.html>, alındığı tarih 20.12.2008.

- [14] **Url-1** <re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>, alındığı tarih 20.04.2009.
- [15] **Url-2** <<http://repa.eie.gov.tr/MyCalculator>>, alındığı tarih 05.01.2009.
- [16] **Haktanır, D.**, 2002. Güneş Enerjisinin Enerji Ağırlığı Nedir?, *Emobilim*, 4, s.6-13, Lefkoşa.
- [17] **Url-3** <<http://www.kyocerasolar.com/products>>, alındığı tarih 08.02.2009.
- [18] **Kayseri Ticaret Odası**, 2007. “Edison Bilseydi”, Evlerde ve İş Yerlerinde Elektrik Tasarrufu Projesi, Kayseri.
<http://www.kayserito.org.tr/pxp/projelerimiz/ab-destekli-projeler/edison-bilseydi.php>, alındığı tarih 20.12.2008.
- [19] **Onaygil, S.**, 2001. Kent İçi Aydınlatma, *Işık Kirliliği ve Karanlık Gökyüzü Sempozyumu*, Antalya, 16 Kasım.
- [20] **CIE Pub.180: Road Transport Lighting For Developing Countries**, 2007. International Commission on Illumination, Viyana.
- [21] **Özkızılkaya, Ö.**, 2008. Yol Aydınlatmasında Enerji Maliyet Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü., Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Onaygil, S.**, 2008. İTÜ Elektrik Mühendisliği Lisans Programı Dış Aydınlatma Dersi Notları.
<http://atlas.cc.itu.edu.tr/~onaygil/>, alındığı tarih 15.02.2009.
- [23] **Url-4** <<http://www.led-uk.com>>, alındığı tarih 12.01.2009.
- [24] **Sharp**, 167W Polycrystalline Silicon Photovoltaic Module Catalog.
- [25] **EİE Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası İstanbul Kartal Verileri**, 2008.
<http://repa.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/34.aspx>, alındığı tarih 12.04.2009.
- [26] **Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Malzeme Yönetimi Dairesi Başkanlığı**, Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lambalar ve Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar Teknik Şartnamesi, Ekim 1994, Revizyon 2008.
- [27] **Onaygil, S., Güler, Ö.**, 2005. TEDAŞ Yol Aydınlatma Tesisatları Bilgisayar Programı Kullanım Kılavuzu, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [28] **CIE Pub.115: Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic**, 2007. International Commission on Illumination, Viyana.

EKLER

EK A

Çizelge A.1 Bazı illere ait güneşlenme değerleri

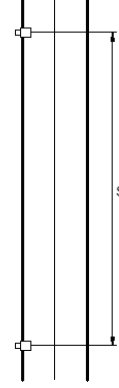
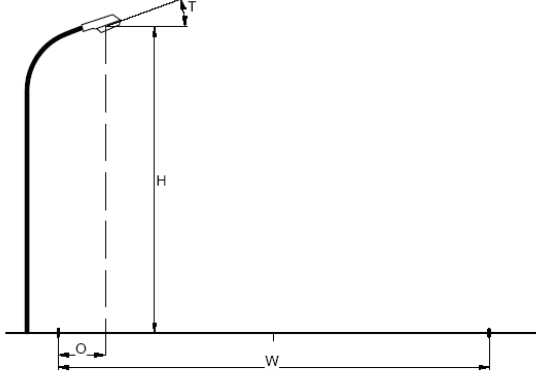
İL	Enlem Derecesi	Yıllık Ortalama Güneş En. Değeri (Mj/m 2-gün)	Yıllık Ortalama Güneş En. Değeri (kWh/m 2-gün)	Yıllık Ortalama Güneşlenme Süresi Değeri (saat/gün)
Antalya	36,53	19,2	5,330	8,5
İzmir	38,24	16,8	4,660	7,8
İstanbul	40,58	14,0	3,880	5,9
Şanlıurfa	37,08	19,7	5,470	7,9
Erzurum	39,55	15,2	4,220	6,4
Ankara	39,57	15,5	4,300	6,7
Samsun	41,17	13,3	3,690	5,4

Çizelge A.2 Devlet Meteoroloji İşleri'nin İstanbul iline ait güneşlenme değerleri

	Oca k	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık (°C)	6,1	5,9	7,7	12,1	16,7	21,5	23,8	23,5	20	15,6	11,2	8
Ort. Güneşlenme Süresi (h)	2,3	3,1	4,6	6	8	9,8	10,5	9,4	7,9	5,2	3,3	2,2

EK B

Luminaire Type	:	SGP070 ACF OR P5
Lamp Type	:	1 * SON-TPP50W
Lamp Flux	:	4400 lumen
Tilt90	(T) :	5.0 deg
Grid Method	:	CEN Luminance
Project Maintenance Factor	:	0.90



Carriageway	:	Single Carriageway
Road Width	(W) :	7.00 m
Number of Lanes	:	2
Reflection Table	:	CIE R3
Q0 of Table	:	0.070
Installation	:	Single Sided Left
Height	(H) :	8.00 m
Spacing	(S) :	21.50 m
Overhang	(O) :	1.00 m

Overall quality figures for the above road scheme.

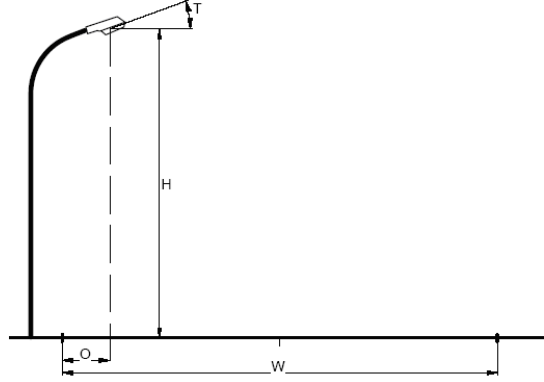
Luminance		
Average	=	0.75 cd/m ²
Minimum/Average	=	0.58

Glare		
TI	=	9.1 %

Surround Ratio		
SR	=	0.52

Şekil B.1 50W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : SGP100 ACF OR P7
 Lamp Type : 1 * SON-TPP70W
 Lamp Flux : 6600 lumen
 Tilt90 (T) : 10.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 7.00 m
 Number of Lanes : 2
 Reflection Table : CIE R3
 Q0 of Table : 0.070
 Installation : Single Sided Left
 Height (H) : 8.00 m
 Spacing (S) : 32.00 m
 Overhang (O) : 1.00 m

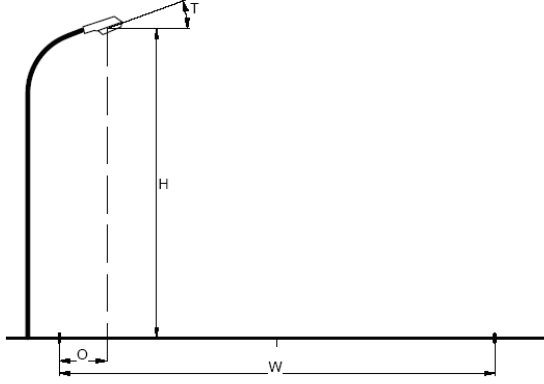
Overall quality figures for the above road scheme.

Luminance
 Average = 0.75 cd/m²
 Minimum/Average = 0.64
 UI = 0.70

Glare
 TI = 11.5 %
Surround Ratio
 SR = 0.54

Şekil B.2 70W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : SGP100 ACF OR P7
 Lamp Type : 1 * SON-TPP100W
 Lamp Flux : 10700 lumen
 Tilt90 (T) : 10.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 7.00 m
 Number of Lanes : 2
 Reflection Table : CIE R3
 Q0 of Table : 0.070
 Installation : Single Sided Left
 Height (H) : 8.00 m
 Spacing (S) : 41.00 m
 Overhang (O) : 0.50 m

Overall quality figures for the above road scheme.

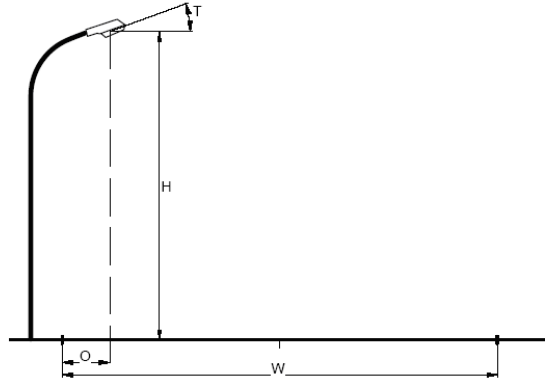
Luminance
 Average = 0.87 cd/m²
 Minimum/Average = 0.51

Glare
 TI = 15.0 %

Surround Ratio
 SR = 0.57

Şekil B.3 100W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : SRS201
 Lamp Type : 1 * SOX-E36W
 Lamp Flux : 6100 lumen
 Tilt90 (T) : 10.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 7.00 m
 Number of Lanes : 2
 Reflection Table : CIE R3
 Q0 of Table : 0.070
 Installation : Single Sided Left
 Height (H) : 8.00 m
 Spacing (S) : 20.50 m
 Overhang (O) : 1.00 m

Overall quality figures for the above road scheme.

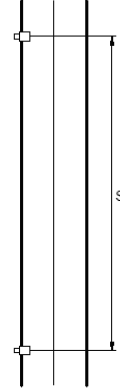
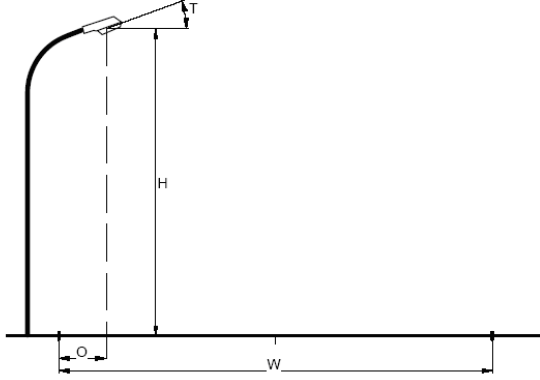
Luminance
 Average = 0.76 cd/m²
 Minimum/Average = 0.45

Glare
 TI = 11.3 %

Surround Ratio
 SR = 0.73

Şekil B.4 36W Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : SRS201
 Lamp Type : 1 * SOX55W
 Lamp Flux : 7800 lumen
 Tilt90 (T) : 10.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 7.00 m
 Number of Lanes : 2
 Reflection Table : CIE R3
 Q0 of Table : 0.070
 Installation : Single Sided Left
 Height (H) : 8.00 m
 Spacing (S) : 26.50 m
 Overhang (O) : 1.00 m

Overall quality figures for the above road scheme.

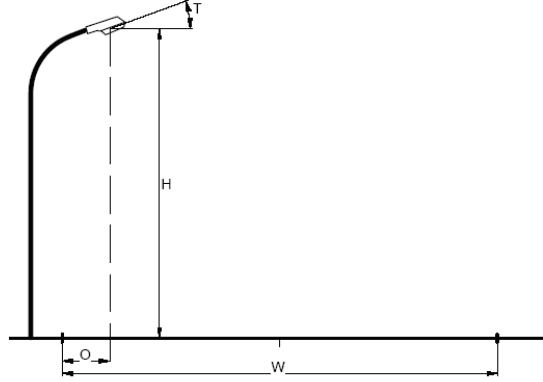
Luminance
 Average = 0.75 cd/m²
 Minimum/Average = 0.45

Glare
 TI = 13.5 %

Surround Ratio
 SR = 0.73

Şekil B.5 55W Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : SRS201
 Lamp Type : 1 * SOX-E91W
 Lamp Flux : 17000 lumen
 Tilt90 (T) : 10.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 7.00 m
 Number of Lanes : 2
 Reflection Table : CIE R3
 Q0 of Table : 0.070
 Installation : Single Sided Left
 Height (H) : 10.00 m
 Spacing (S) : 45.00 m
 Overhang (O) : 1.00 m

Overall quality figures for the above road scheme.

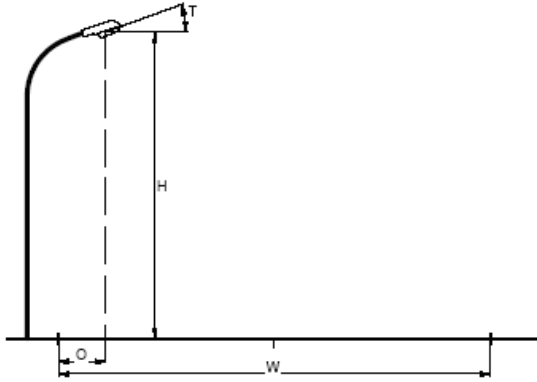
Luminance
 Average = 0.84 cd/m²
 Minimum/Average = 0.46

Glare
 TI = 15.0 %

Surround Ratio
 SR = 0.79

Şekil B.6 91W Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : SGS252 PC OR P6
 Lamp Type : 1 * CDO-TT70W
 Lamp Flux : 6300 lumen
 Tilt90 (T) : 10.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 7.00 m
 Number of Lanes : 2
 Reflection Table : CIE R3
 Q0 of Table : 0.070
 Installation : Single Sided Left
 Height (H) : 8.00 m
 Spacing (S) : 27.00 m
 Overhang (O) : 1.00 m

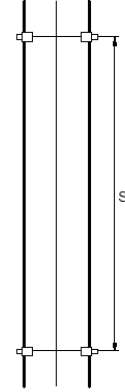
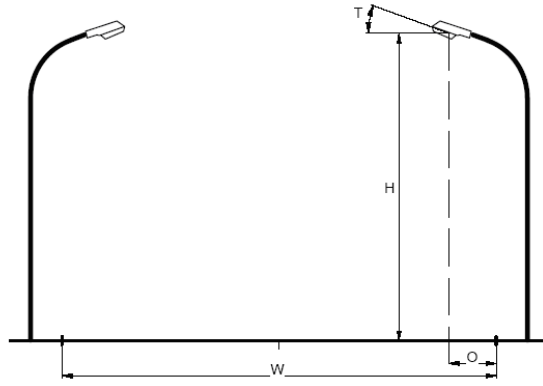
Overall quality figures for the above road scheme.

Luminance
 Average = 0.75 cd/m²
 Minimum/Average = 0.64

Glare
 TI = 12.4 %
Surround Ratio
 SR = 0.52

Şekil B.7 70W Metal Halojen Lamba ve M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : BPS741
 Lamp Type : 18 * LED-K2-U00/NW
 Lamp Flux : 100 lumen
 Tilt90 (T) : 30.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 7.00 m
 Number of Lanes : 2
 Reflection Table : CIE R3
 Q0 of Table : 0.070
 Installation : Opposite
 Height (H) : 4.00 m
 Spacing (S) : 10.50 m
 Overhang (O) : 1.00 m

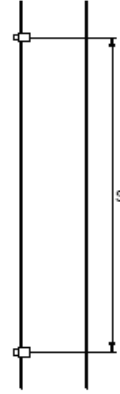
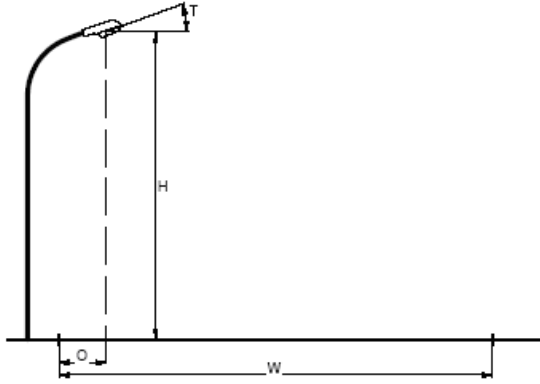
Overall quality figures for the above road scheme.

Luminance
 Average = 0.76 cd/m²
 Minimum/Average = 0.47

Glare
 TI = 10.1 %

Şekil B.8 LED'li Lambalarda M4 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : SGP070 ACF OR P5
 Lamp Type : 1 * SON-TPP50W
 Lamp Flux : 4400 lumen
 Tilt90 (T) : 0.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 3.00 m
 Number of Lanes : 1
 Reflection Table : CIE R3
 Q0 of Table : 0.070
 Installation : Single Sided Left
 Height (H) : 8.00 m
 Spacing (S) : 43.50 m
 Overhang (O) : 0.50 m

Overall quality figures for the above road scheme.

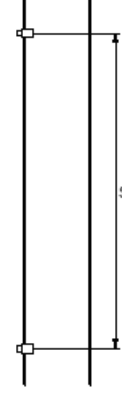
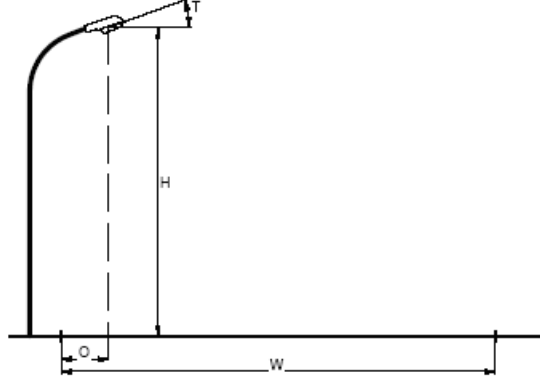
Luminance
 Average = 0.50 cd/m²
 Minimum/Average = 0.59

Glare
 TI = 12.0 %

Surround Ratio
 SR = 0.88

Şekil B.9 50W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M5 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : SGP100 ACF OR P7
 Lamp Type : 1 * SON-TPP70W
 Lamp Flux : 6600 lumen
 Tilt90 (T) : 10.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 3.00 m
 Number of Lanes : 1
 Reflection Table : CIE R3
 Q0 of Table : 0.070
 Installation : Single Sided Left
 Height (H) : 8.00 m
 Spacing (S) : 53.00 m
 Overhang (O) : 0.50 m

Overall quality figures for the above road scheme.

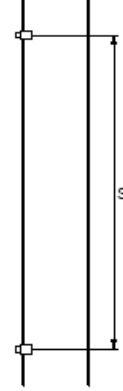
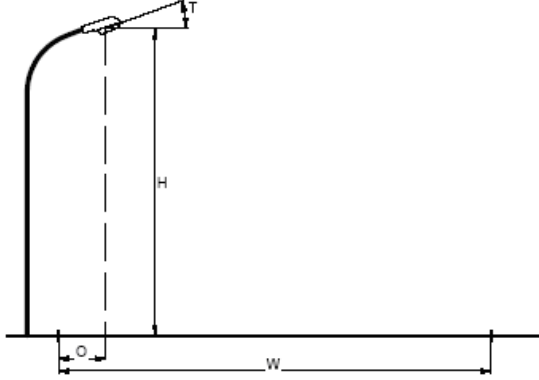
Luminance
 Average = 0.54 cd/m²
 Minimum/Average = 0.40

Glare
 TI = 14.6 %

Surround Ratio
 SR = 0.90

Şekil B.10 70W Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba ve M5 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : SRS201
 Lamp Type : 1 * SOX-E36W
 Lamp Flux : 6100 lumen
 Tilt90 (T) : 10.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 3.00 m
 Number of Lanes : 1
 Reflection Table : CIE R3
 Q0 of Table : 0.070
 Installation : Single Sided Left
 Height (H) : 8.00 m
 Spacing (S) : 43.00 m
 Overhang (O) : 1.00 m

Overall quality figures for the above road scheme.

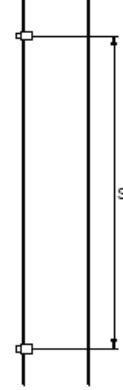
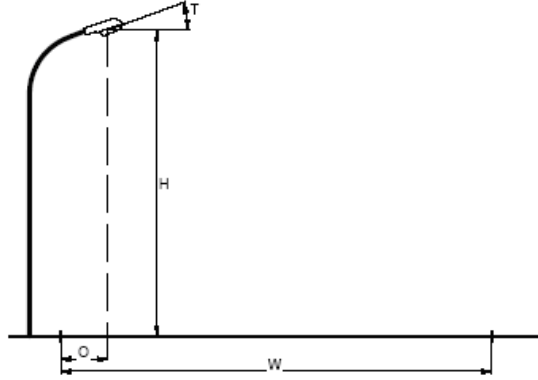
Luminance
 Average = 0.50 cd/m²
 Minimum/Average = 0.58

Glare
 TI = 13.1 %

Surround Ratio
 SR = 0.91

Şekil B.11 36W Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba ve M5 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : SGS252 PC OR P6
 Lamp Type : 1 * CDO-TT70W
 Lamp Flux : 6300 lumen
 Tilt90 (T) : 10.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 3.00 m
 Number of Lanes : 1
 Reflection Table : CIE R3
 Q0 of Table : 0.070
 Installation : Single Sided Left
 Height (H) : 8.00 m
 Spacing (S) : 46.00 m
 Overhang (O) : 1.00 m

Overall quality figures for the above road scheme.

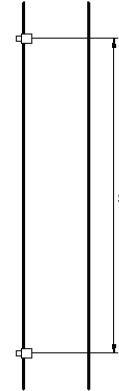
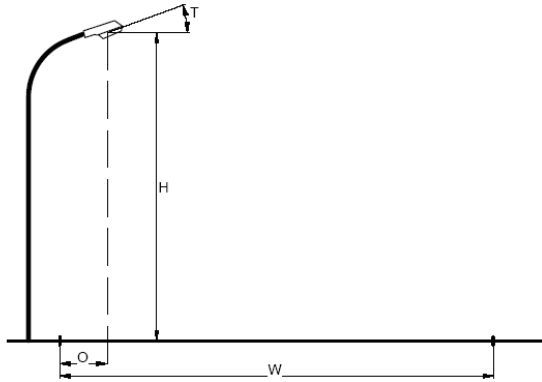
Luminance
 Average = 0.50 cd/m²
 Minimum/Average = 0.44

Glare
 TI = 11.8 %

Surround Ratio
 SR = 0.90

Şekil B.12 70W Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve M5 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Luminaire Type : BPS741
 Lamp Type : 18 * LED-K2-U00/NW
 Lamp Flux : 100 lumen
 Tilt90 (T) : 15.0 deg
 Grid Method : CEN Luminance
 Project Maintenance Factor : 0.90



Carriageway : Single Carriageway
 Road Width (W) : 3.00 m
 Number of Lanes : 1
 Reflection Table : CIE R4
 Q0 of Table : 0.080
 Installation : Single Sided Left
 Height (H) : 4.00 m
 Spacing (S) : 12.00 m
 Overhang (O) : 1.00 m

Overall quality figures for the above road scheme.

Luminance
 Average = 0.52 cd/m²
 Minimum/Average = 0.41

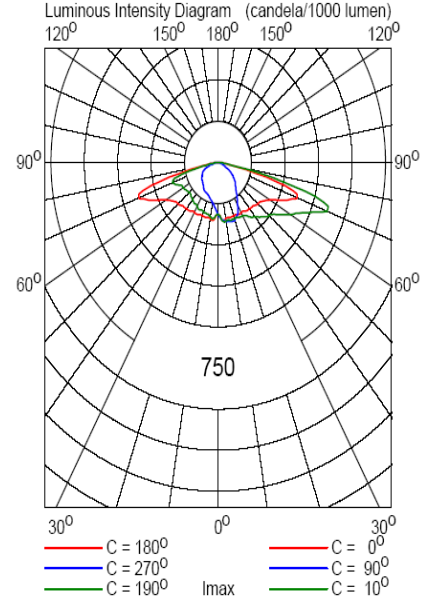
Glare
 TI = 8.4 %

Şekil B.13 LED'li Lambalarda M5 Aydınlatma Sınıflı Yol İçin Calculux Raporu

Koffer2 SGP070 ACF 1xSON-TPP50W OR P5



Light output ratios
DLOR : 0.81
ULOR : 0.01
TLOR : 0.82
Ballast : Standard
Lamp flux : 4400 lm
Luminaire wattage : 59.5 W
Measurement code : LVSV815900

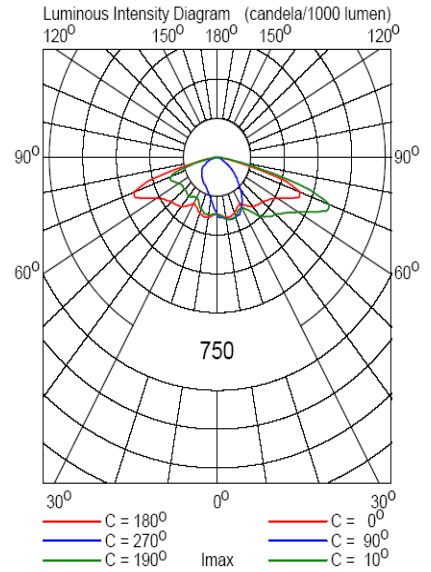


Şekil B.14 50W Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri

Koffer2 SGP100 ACF 1xSON-TPP70W OR P7



Light output ratios
DLOR : 0.82
ULOR : 0.01
TLOR : 0.83
Ballast : Standard
Lamp flux : 6600 lm
Luminaire wattage : 81.0 W
Measurement code : LVSV889000

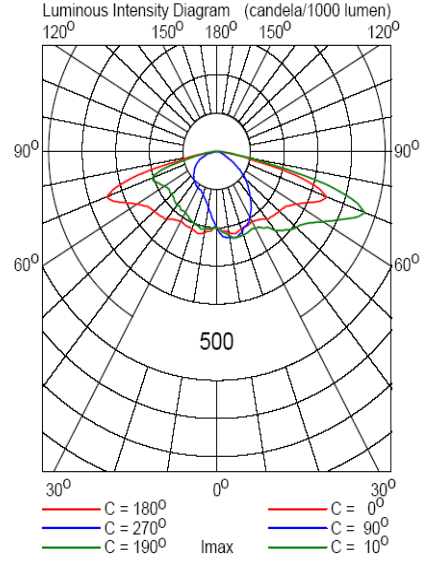


Şekil B.15 70W Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri

Koffer2 SGP100 ACF 1xSON-TPP100W OR P7



Light output ratios
DLOR : 0.82
ULOR : 0.01
TLOR : 0.83
Ballast : Standard
Lamp flux : 10700 lm
Luminaire wattage : 114.0 W
Measurement code : LVSV825300

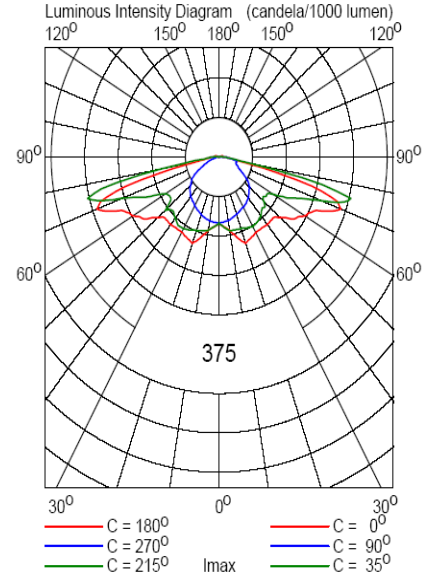


Şekil B.16 100W Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri

SRS201 1xSOX-E36W



Light output ratios
DLOR : 0.77
ULOR : 0.02
TLOR : 0.79
Ballast : Standard
Lamp flux : 6100 lm
Luminaire wattage : 48.5 W
Measurement code : LVW0387300

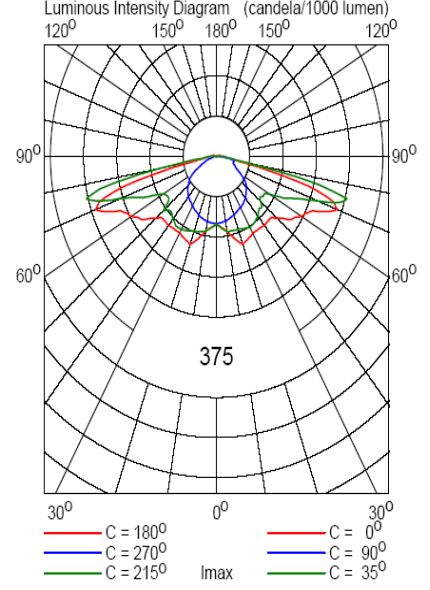


Şekil B.17 36W Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri

SRS201 1xSOX55W



Light output ratios
DLOR : 0.77
ULOR : 0.02
TLOR : 0.79
Ballast : Standard
Lamp flux : 7800 lm
Luminaire wattage : 65.0 W
Measurement code : LVW0387300

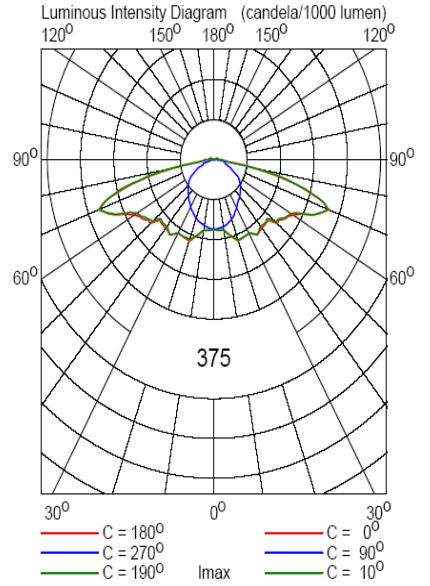


Şekil B.18 55W Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri

SRS201 1xSOX-E91W



Light output ratios
DLOR : 0.76
ULOR : 0.03
TLOR : 0.79
Ballast : Standard
Lamp flux : 17000 lm
Luminaire wattage : 106.5 W
Measurement code : LVW0400000

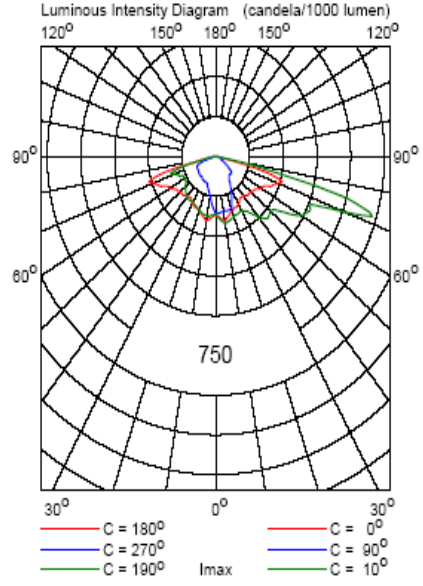


Şekil B.19 91W Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba ve Armatür Verileri

IRIDIUM SGS252 PC 1xCDO-TT70W/828 OR P6



Light output ratios	
DLOR	: 0.75
ULOR	: 0.01
TLOR	: 0.76
Ballast	: Standard
Lamp flux	: 6300 lm
Luminaire wattage	: 86.2 W
Measurement code	: LVM0149200

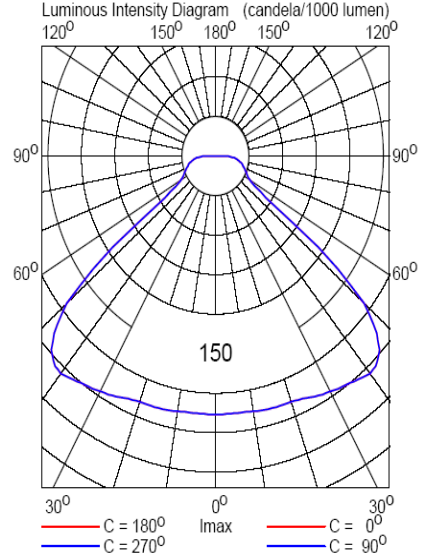


Şekil B.20 Metal Halojen Lamba ve Armatür Verileri

CityWing BPS741 18xLED-K2-U00/NW



Light output ratios	
DLOR	: 0.61
ULOR	: 0.00
TLOR	: 0.61
Ballast	: N/A
Lamp flux	: 100 lm
Luminaire wattage	: 72.0 W
Measurement code	: LVM0760100



Şekil B.21 LED Lamba ve Armatür Verileri

EK C

Çizelge C.1 Kyocera Marka Güneş Panelleri Fiyat Listesi

Model	Güç(W)	Akım(A)	Gerilim(V)	Boyutlar(mm)	Ağırlık (Kg)	Fiyat
KC200	200	7.61	26.3	1425x990x36	18.5	£714.00
KC175	175	7.42	23.6	1290x990x36	16.0	£652.00
KC170	170	7.3	23.6	1290x990x36	16.0	£650.00
KC130	130	7.39	17.6	1425x652x36	12.2	£478.00
FL130T	130	7.39	17.6	1468x695x57	10.5	£494.00
KC85	87	5.02	17.4	1007x652x58	8.3	£345.00
KC65	65	3.75	17.4	751x652x54	6.0	£270.00
KC50	54	3.11	17.4	639x652x54	5.0	£215.00
KC40	43	2.78	17.4	526x652x54	4.5	£182.00
KS20	20	1.20	16.9	520x352x22	2.5	£145.00
KS10	10	0.60	16.9	304x352x22	1.9	£99.00
KS5	5	0.29	16.9	205x352x22	1.2	£79.95

Çizelge C.2 BP Marka Güneş Panelleri Fiyat Listesi

Model	Güç(W)	Akım(A)	Gerilim(V)	Boyutlar(mm)	Ağırlık (Kg)	Fiyat
BP3125	125	8.02	17.3	1510x674x50	12.0	£575.00
BP380U	80	4.55	17.6	1209x508x50	7.7	£395.00
BP365U	65	3.69	17.6	1111x502x50	7.2	£335.00
BP350U	50	2.8	17.3	839x557x50	6.0	£289.00
BPSX40	40	2.37	16.8	767x468x50	5.4	£226.00
BPSX30	30	1.78	16.7	594x592x50	3.9	£185.00
BPSX20	20	1.19	16.8	424x273x54	3.0	£155.00
BPSX10	10	0.59	16.8	424x238x54	1.9	£89.00
BPMSX5	5					£74.00

EK D**Çizelge D.1** Akü Fiyat Listesi

AGM BATTERIES				
Model	Gerilim(V)	Amper-saat	Ağırlık	Fiyat
HGL 12-12	12	12	4.20	£22.95
HGL 20-12	12	20	6.80	£33.95
HGL 24-12A	12	24	8.50	£45.95
HGL 30-12	12	30	10.50	£52.95
HGL 35-12	12	35	11.50	£57.95
HGL 40-12	12	40	15.00	£67.95
HGL 50-12	12	50	17.00	£84.95
HGL 70-12	12	70	25.00	£99.95
HGL 100-12	12	100	34.30	£136.95
HGL 120-12	12	120	35.00	£159.95
HGLN 160-12	12	135	52.00	£204.95
HGL180-12	12	180	65.50	£239.95
HGL 200-12	12	200	69.30	£269.95

Çizelge D.2 Alternatif Akü Fiyat Listesi

GEL BATTERIES				
Model	Gerilim(V)	Amper-saat	Ağırlık	Fiyat
HL24-12B	12	24	8.70	£59.40
HL33-12	12	33	11.00	£70.95
HL40-12	12	40	14.50	£83.95
HL55-12	12	55	17.50	£109.95
HL65-12	12	65	25.00	£124.95
HL70-12	12	75	22.50	£138.36
HL100-12B	12	100	34.20	£184.95
HL135-12	12	135	47.00	£244.95
HL150-12	12	150	52.00	£269.94
HL180-12	12	180	69.30	£322.70
HL210-12	12	200	76.50	£349.95

Not: Hesaplamalarda 1£ = 2.28YTL alınmıştır.

EK E

Program E.1 Yük ve Kayıplara Göre Minimum Panel Gücünün Hesaplanması

% Gunes Enerjili Sistemlerin Yol Aydınlatması Amaçlı Kullanımı

```
clear
```

```
clc
```

% %% Giriş verileri

```
lamba_gucu=50; % W
```

```
balast_kaybi=9.5; % W
```

```
evirici_verimsizlik=0.1; % %
```

```
gunes_paneli_verimsizlik=0.1; % %
```

```
lamba_gerilimi=220; % V
```

```
gece_calisma_saati=15.5; % h
```

```
DC_bara_gerilimi=12; % V
```

```
guneslenme_suresi=3.03; % h
```

```
aku_kapasitesi_duzeltme=1;
```

% Hesaplar

```
toplam_yuk=lamba_gucu+balast_kaybi; % W
```

```
yuk_akimi=toplam_yuk/lamba_gerilimi; % A
```

```
ihtiyac_gunluk_enerji=toplam_yuk*gece_calisma_saati; % Wh
```

```
DC_bara_gunluk_enerji=ihtiyac_gunluk_enerji*(1+evirici_verimsizlik); % Wh
```

```
min_aku_kapasitesi=DC_bara_gunluk_enerji/DC_bara_gerilimi; % Ah
```

```
aku_kapasitesi=ceil(min_aku_kapasitesi*aku_kapasitesi_duzeltme); % Ah
```

```
panel_kapasitesi=min_aku_kapasitesi*(1+gunes_paneli_verimsizlik); % Ah
```

```
panel_gunluk_enerji=DC_bara_gerilimi*panel_kapasitesi; % Wh
```

```
panel_gucu=panel_gunluk_enerji/guneslenme_suresi; % W
```

% Sonuçlar

```
display(aku_kapasitesi);
```

```
display(min_aku_kapasitesi);
```

```
display(panel_gunluk_enerji);
```

```
display(panel_gucu);
```

Program E.2 Yük, Kayıplar ve Güneşlenme Süresine Göre Akü Kapasitesinin Hesaplanması

%% Program 2

```
lamba_gucu=50; % W
balast_kaybi=9.5; % W
evirici_verimsizlik=0.1; % %
gunes_paneli_verimsizlik=0.1; % %
lamba_gerilimi=220; % V
gece_calisma_saati=15.5; % h
DC_bara_gerilimi_gece=12; % V
DC_bara_gerilimi_gunduz=14; % V
guneslenme_suresi=3.03; % h
panel_gucu=105; % W
aku_kapasitesi_duzeltme=1;
```

% Yuke gore aku kapasitesi hesabi

```
toplam_yuk=lamba_gucu+balast_kaybi; % W
yuk_akimi=toplam_yuk/lamba_gerilimi; % A
yuk_gunluk_enerji=toplam_yuk*gece_calisma_saati; % Wh
DC_bara_gunluk_enerji=yuk_gunluk_enerji*(1+evirici_verimsizlik); % Wh
min_aku_kapasitesi_yuk=DC_bara_gunluk_enerji/DC_bara_gerilimi_gece; % Ah
aku_kapasitesi_yuk=min_aku_kapasitesi_yuk*aku_kapasitesi_duzeltme; % Ah
```

% Panele gore aku kapasitesi hesabi

```
panel_gunluk_enerji=panel_gucu*guneslenme_suresi; % Wh
panel_kapasitesi=panel_gunluk_enerji/DC_bara_gerilimi_gunduz; % Ah
min_aku_kapasitesi_panel=panel_kapasitesi/(1+gunes_paneli_verimsizlik); % Ah
aku_kapasitesi_panel=min_aku_kapasitesi_panel*aku_kapasitesi_duzeltme; % Ah
```

```
display(aku_kapasitesi_yuk);
display(aku_kapasitesi_panel);
```

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mustafa BÜYÜKKILIÇ

Doğum Yeri ve Tarihi: Kayseri 04/07/1982

Adres: Fulya Mah. Yeşilçam Sok. No: 19/4 Gayrettepe-Şişli / İSTANBUL

Lisans Üniversite: İ.T.Ü., Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği