

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’NİN YEDİ COĞRAFI BÖLGESİ İÇİN ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
FOTOVOLTAİK LED’Lİ YOL AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN
TEKNOEKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anıl Can DUMAN

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’NİN YEDİ COĞRAFI BÖLGESİ İÇİN ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
FOTOVOLTAİK LED’Lİ YOL AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN
TEKNOEKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Anıl Can DUMAN
301151045**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Önder GÜLER

ARALIK 2016

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301151045 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Anıl Can DUMAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TÜRKİYE'NİN YEDİ COĞRAFİ BÖLGESİ İÇİN ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK LED'Lİ YOL AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN TEKNOEKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Önder GÜLER**

Istanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sermin ONAYGİL**

Istanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ**

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **25 Kasım 2016**
Savunma Tarihi : **21 Aralık 2016**



ÖNSÖZ

Tez danışmanım Prof. Dr. Önder Güler'e teşekkür ederim.

Aralık 2016

Anıl Can Duman
Elektrik Mühendisi





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xv
SEMBOLLER.....	xvii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxv
ÖZET.....	xxvii
SUMMARY.....	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	2
1.2 Amaç ve Kapsam.....	6
2. TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	7
2.1 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası.....	8
2.2 Türkiye’de Güneş Enerjisinin Kullanımı.....	9
2.3 Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre İncelenmesi.....	10
2.3.1 Güneydoğu Anadolu Bölgesi	11
2.3.2 Akdeniz Bölgesi	12
2.3.3 Doğu Anadolu Bölgesi	13
2.3.4 İç Anadolu Bölgesi	14
2.3.5 Ege Bölgesi	15
2.3.6 Marmara Bölgesi	16
2.3.7 Karadeniz Bölgesi	17
3. ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK LED’Lİ YOL AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN YAPISI.....	19
3.1 Güneş Paneli	20
3.1.1 PV hücrenin çalışma prensibi	21
3.1.2 PV panel tipleri.....	23
3.1.3 Güneş açıları	24
3.1.3.1 Zenit açısı	24
3.1.3.2 Saat açısı.....	24
3.1.3.3 Azimut açısı.....	25
3.1.3.3 Deklinasyon açısı.....	25
3.2 Akü Grubu	26
3.2.1 Akü grubunun konumlandırılması.....	27
3.2.2 Akü grubu seçilirken dikkat edilmesi gereken hususlar	28
3.2.3 Akü ömrünü etkileyen faktörler	28
3.3 Şarj Regülatörü.....	29
3.3.1 Regülatör seçimi.....	29
3.4 LED	31
4. YOL AYDINLATMASI.....	35
4.1 Yol Aydınlatma Kriterleri.....	36

4.2 Yol Aydınlatma Düzenekleri.....	40
4.2.1 Tek taraflı aydınlatma düzeneği	40
4.2.2 Karşılıklı aydınlatma düzeneği	40
4.2.3 Kaydırılmış aydınlatma düzeneği	40
4.2.4 Refüjden çift konsollu aydınlatma düzeneği	40
4.2.5 Refüjden çift konsollu kaydırılmış aydınlatma düzeneği.....	40
4.2.6 Refüjden çift konsollu karşılıklı aydınlatma düzeneği.....	40
4.3 Yol Aydınlatma Tesisatlarında Hesaplanacak Parametreler	41
4.3.1 Ortalama aydınlık düzeyi	43
4.3.2 Ortalama aydınlık düzeyi düzgünlüğü	43
4.3.3 Boyuna aydınlık düzgünlüğü.....	43
4.3.4 Çevreleme oranı	43
4.3.5 Ortalama parıltı düzeyi.....	43
4.3.6 Ortalama parıltı düzgünlüğü	44
4.3.7 Boyuna parıltı düzeyi düzgünlüğü	44
4.3.8 Bağlı eşik artışı	44
4.4 LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi	44
4.5 Elektrik Dış Aydınlatma Yönetmeliği	46
4.6 Genel Aydınlatma Kapsamında LED Armatürlerin Kullanımına İlişkin Usul ve Esaslar.....	46
5. HOMER İLE MİKRO ENERJİ SİSTEMİ MODELLENMESİ	49
5.1 Giriş.....	49
5.2 Simülasyon	50
5.3 Optimizasyon.....	51
5.4 Hassaslık Analizi	53
5.5 Ekonomik Modelleme.....	53
6. YEDİ İL İÇİN ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK LED'Lİ YOL AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN TEKNOEKONOMİK ANALİZİ.....	55
6.1 İncelenecek İllerin Seçimi	55
6.2 Yol Aydınlatma Hesapları	55
6.3 HOMER Hesapları.....	58
6.3.1 Fotovoltaik panelin modellenmesi	59
6.3.2 Akünün modellenmesi.....	60
6.3.3 Yükün modellenmesi	61
6.3.4 CO ₂ emisyon azalımı.....	63
6.4 Antalya İli İçin Sonuçlar	64
6.4.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar.....	64
6.4.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar.....	65
6.4.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar.....	66
6.4.4 Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	68
6.4.4.1 Mevcut durum için	68
6.4.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için	69
6.4.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için	70
6.4.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için	70
6.4.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için	71
6.4.5 Antalya ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri.....	71
6.4.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	71
6.4.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	72
6.4.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	72

6.5 Gaziantep İli İçin Sonuçlar	73
6.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	74
6.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	75
6.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	76
6.5.4 Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	78
6.5.4.1 Mevcut durum için.....	78
6.5.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için.....	79
6.5.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için	79
6.5.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için	79
6.5.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için	80
6.5.5 Gaziantep ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri.....	80
6.5.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler	80
6.5.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler	81
6.5.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler	82
6.6 Van İli İçin Sonuçlar	83
6.6.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	83
6.6.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	84
6.6.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	85
6.6.4 Van ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	87
6.6.4.1 Mevcut durum için.....	87
6.6.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için.....	88
6.6.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için	89
6.6.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için	89
6.6.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için	90
6.6.5 Van ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri.....	90
6.6.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler	90
6.6.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler	91
6.6.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler	91
6.7 İzmir İli İçin Sonuçlar.....	92
6.7.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	93
6.7.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	94
6.7.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	95
6.7.4 İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	97
6.7.4.1 Mevcut durum için.....	97
6.7.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için.....	98
6.7.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için	98
6.7.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için	98
6.7.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için	99
6.7.5 İzmir ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri.....	99
6.7.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler	99
6.7.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler	100
6.7.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler	101
6.8 Ankara İli İçin Sonuçlar.....	102
6.8.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	102
6.8.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	103
6.8.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar	104
6.8.4 Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri	106

6.8.4.1 Mevcut durum için	106
6.8.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için	107
6.8.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için ...	108
6.8.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için ...	108
6.8.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için	109
6.8.5 Ankara ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri	109
6.8.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	109
6.8.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	110
6.8.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	111
6.9 Samsun İli İçin Sonuçlar	111
6.9.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar.....	112
6.9.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar.....	113
6.9.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar.....	114
6.9.4 Samsun ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	116
6.9.4.1 Mevcut durum için	116
6.9.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için	117
6.9.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için ...	117
6.9.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için ...	117
6.9.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için	118
6.9.5 Samsun ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri.....	118
6.9.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	118
6.9.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	119
6.9.5.2 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	120
6.10 İstanbul İli İçin Sonuçlar	121
6.10.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar.....	121
6.10.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar.....	122
6.10.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar.....	123
6.10.4 İstanbul ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	125
6.10.4.1 Mevcut durum için.....	125
6.10.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için	126
6.10.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için..	127
6.10.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için..	127
6.10.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için.....	128
6.10.5 İstanbul ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri	128
6.10.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	128
6.10.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	129
6.10.5.2 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler.....	129
6.11 Loşlaştırma Uygulanması Durumu İçin Hesaplamalar	130
6.11.1 Antalya ili için loşlaştırma uygulanması durumunda yatırım geri ödeme süreleri	134
6.11.1.1 Mevcut durum için.....	134
6.11.1.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için	134
6.11.1.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için..	135
6.11.1.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu içinini	135
6.11.1.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için.....	135

6.11.2 Antalya ili için loşlaştırma uygulanması durumunda kilometre başına sistem kurulum maliyetleri.....	136
7. SONUÇLAR.....	137
KAYNAKLAR.....	143
EKLER.....	147
ÖZGEÇMİŞ.....	151





KISALTMALAR

CEN	: Avrupa Birliği Standartları
CIE	: Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
CRI	: Renksel Geriverim Endeksi
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel M¼d¼rl¼đ¼
DoD	: şarj Derinliği
EİE	: Elektrik İşleri Et¼t İdaresi
GEPA	: G¼neř Enerjisi Potansiyeli Atlası
HOMER	: Yenilenebilir Hibrid Enerji Sistemleri Optimizasyon Modeli
LED	: İşik Yayan Diyot
MPPT	: Maksimum G¼ç Noktası Takipçisi
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NREL	: Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
PV	: Fotovoltaik
PWM	: Darbe Genişlik Mod¼lasyonu
SoC	: şarj Durumu
TEDAş	: T¼rkiye Elektrik Dağıtım Anonim şirketi
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
THD	: Toplam Harmonik Distorsiyonu
TNPC	: Toplam Net Bug¼nk¼ Maliyet
T¼İK	: T¼rkiye İstatistik Kurumu



SEMBOLLER

A_z	: Solar azimut açısı
C_{NPC}	: Toplam net bugünkü maliyet
$C_{ann,tot}$: Toplam yıllık maliyet
CRF	: Anaparayı geri kazanma faktörü
E_{def}	: Ertelenebilir yük miktarı
$E_{grid,sales}$: Şebekeye satılan yıl başına enerji miktarı
E_{max}	: Maksimum aydınlık düzeyi
E_{min}	: Minimum aydınlık düzeyi
E_{ort}	: Ortalama aydınlık düzeyi
E_{prim}	: Yıl başına toplam yük miktarı
f	: Yıllık enflasyon oranı
i'	: Nominal faiz oranı
L_o	: Yolum ortalama parıltısı
U_1	: Boyuna düzgünlük
U_o	: Ortalama düzgünlük
SR	: Çevreleme oranı
TI	: Bağlı eşik artışı
δ	: Deklinasyon açısı
φ	: Gözlemcinin enlem açısı
ω	: Saat açısı
α	: Yükseklik açısı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Türkiye'nin yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim potansiyeli.	8
Çizelge 2.2 : Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı. 8	
Çizelge 2.3 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.	11
Çizelge 2.4 : Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışınım değerleri.	12
Çizelge 2.5 : Akdeniz Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışınım değerleri. .13	
Çizelge 2.6 : Doğu Anadolu Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışınım değerleri.	14
Çizelge 2.7 : İç Anadolu Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışınım değerleri.	15
Çizelge 2.8 : Ege Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışınım değerleri.	16
Çizelge 2.9 : Marmara Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışınım değerleri. 16	
Çizelge 2.10 : Karadeniz Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışınım değerleri.	17
Çizelge 3.1 : Önemli yarıiletkenlerin özellikleri.....	33
Çizelge 4.1 : Elektrik enerjisi tüketiminde genel aydınlatmanın payı	35
Çizelge 4.2 : CIE 115-1995'e göre yol tanımları ve aydınlatma sınıfları	37
Çizelge 4.3 : CIE 115-1995'e göre aydınlatma sınıfları için sağlanacak yol aydınlatması kriterleri.....	38
Çizelge 4.4 : Türkiye için şehir içi yol tanımları ve yol aydınlatma sınıfları	39
Çizelge 4.5 : Aydınlatma sınıfları için sağlanacak yol aydınlatması kriterleri.....	39
Çizelge 4.6 : Armatürlerle farklı tip yollarda sağlanması gereken minimum direkler arası açıklıklar	45
Çizelge 4.7 : 10 metreden alçak direk yüksekliklerinde kamaşma sınırlaması	46
Çizelge 4.8 : LED'li aydınlatma tesislerinde loşlaştırma seviyeleri ve yöntemleri ...	47
Çizelge 6.1 : Seçilen illere ait güneşlenme süreleri ve yıllık ortalama radyasyon verileri.....	55
Çizelge 6.2 : Seçilen yol aydınlatma sınıfları için sağlanacak yol aydınlatması kriterleri	57
Çizelge 6.3 : M3, M4 ve M5 yol aydınlatma sınıfları için yol aydınlatma hesaplamaları	58
Çizelge 6.4 : Modellemede kullanılan akülere ait nominal kapasite ve fiyat bilgileri.	61
Çizelge 6.5 : Seçilen iller için aylık ortalama aydınlık süreleri.	62
Çizelge 6.7 : Armatür yüklerinin aylara göre günlük devrede kalma süreleri.....	63
Çizelge 6.8 : Armatür yüklerinin aylık toplam devrede kalma süreleri.	63

Çizelge 6.9 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).....	65
Çizelge 6.10 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek)....	66
Çizelge 6.11 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek).....	67
Çizelge 6.12 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek)	68
Çizelge 6.13 : Mevcut durumda Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri	69
Çizelge 6.14 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri	70
Çizelge 6.15 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri	70
Çizelge 6.16 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri	70
Çizelge 6.17 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri	71
Çizelge 6.18 : Antalya ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek)	71
Çizelge 6.19 : Antalya ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek)	72
Çizelge 6.20 : Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek).....	72
Çizelge 6.21 : Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek)	73
Çizelge 6.22 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek)....	74
Çizelge 6.23 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek)....	75
Çizelge 6.24 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek).....	76
Çizelge 6.25 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek)	77
Çizelge 6.26 : Mevcut durumda Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri	78
Çizelge 6.27 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri	79
Çizelge 6.28 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri	79
Çizelge 6.29 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	80
Çizelge 6.30 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri	80
Çizelge 6.31 : Gaziantep ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek)	81
Çizelge 6.32 : Gaziantep ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek)	81

Çizelge 6.33 : Gaziantep ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek)	82
Çizelge 6.34 : Gaziantep ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek)	82
Çizelge 6.35 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek)	84
Çizelge 6.36 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek)	85
Çizelge 6.37 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek)	86
Çizelge 6.38 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek)	87
Çizelge 6.39 : Mevcut durumda Van ili için yatırım geri ödeme süreleri	88
Çizelge 6.40 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda Van ili için yatırım geri ödeme süreleri	89
Çizelge 6.41 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda Van ili için yatırım geri ödeme süreleri	89
Çizelge 6.42 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Van ili için yatırım geri ödeme süreleri	89
Çizelge 6.43 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Van ili için yatırım geri ödeme süreleri	90
Çizelge 6.44 : Van ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek)	90
Çizelge 6.45 : Van ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek)	91
Çizelge 6.46 : Van ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek)	91
Çizelge 6.47 : Van ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek)	92
Çizelge 6.48 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek)	93
Çizelge 6.49 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek)	94
Çizelge 6.50 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek)	95
Çizelge 6.51 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek)	96
Çizelge 6.52 : Mevcut durumda İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri	97
Çizelge 6.53 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri	98
Çizelge 6.54 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri	98
Çizelge 6.55 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri	99
Çizelge 6.56 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri	99

Çizelge 6.57 : İzmir ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek)	100
Çizelge 6.58 : İzmir ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek)	100
Çizelge 6.59 : İzmir ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek).....	101
Çizelge 6.60 : İzmir ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek)	101
Çizelge 6.61 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek)..	103
Çizelge 6.62 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek)..	104
Çizelge 6.63 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek).....	105
Çizelge 6.64 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek)	106
Çizelge 6.65 : Mevcut durumda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	107
Çizelge 6.66 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri	108
Çizelge 6.67 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri	108
Çizelge 6.68 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri	108
Çizelge 6.69 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri	109
Çizelge 6.70 : Ankara ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek)	109
Çizelge 6.71 : Ankara ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek)	110
Çizelge 6.72 : Ankara ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek).....	110
Çizelge 6.73 : Ankara ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek)	111
Çizelge 6.74 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek)..	112
Çizelge 6.75 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek)..	113
Çizelge 6.76 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek).....	114
Çizelge 6.77 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek)	115
Çizelge 6.78 : Mevcut durumda Samsun ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	116
Çizelge 6.79 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda Samsun ili için yatırım geri ödeme süreleri	117
Çizelge 6.80 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda Samsun ili için yatırım geri ödeme süreleri	117

Çizelge 6.81 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Samsun ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	118
Çizelge 6.82 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Samsun ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	118
Çizelge 6.83 : Samsun ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).....	119
Çizelge 6.84 : Samsun ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).....	119
Çizelge 6.85 : Samsun ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek)	120
Çizelge 6.86 : Samsun ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek)	120
Çizelge 6.87 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek) ..	122
Çizelge 6.88 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek) ..	123
Çizelge 6.89 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek)	124
Çizelge 6.90 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek)	125
Çizelge 6.91 : Mevcut durumda İstanbul ili için yatırım geri ödeme süreleri	126
Çizelge 6.92 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda İstanbul ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	127
Çizelge 6.93 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda İstanbul ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	127
Çizelge 6.94 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda İstanbul ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	127
Çizelge 6.95 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda İstanbul ili için yatırım geri ödeme süreleri.....	128
Çizelge 6.96 : İstanbul ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).....	128
Çizelge 6.97 : İstanbul ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).....	129
Çizelge 6.98 : İstanbul ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek)	129
Çizelge 6.99 : İstanbul ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek)	130
Çizelge 6.100 : Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfında maksimum direk açıklığında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumunda loşlaştırma uygulanması halinde yıl içerisinde aydınlatma yapılacak zamanlar ve kW cinsinden yükün harcayacağı saatlik güç miktarları)	131
Çizelge 6.101 : Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfında maksimum direk açıklığında çift konsollu düzenek kullanılması durumu için loşlaştırma uygulanmış ve uygulanmamış hallerde yol aydınlatma hesaplamalarının karşılaştırması.....	131

Çizelge 6.102 : Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfı maksimum direk açıklığında çift konsollu düzenek kullanılması durumu için loşlaştırma uygulanmış ve uygulanmamış HOMER sonuçlarının karşılaştırması	132
Çizelge 6.103 : Loşlaştırma uygulanması halinde mevcut durum için yatırım geri ödeme sürelerinin karşılaştırması.....	134
Çizelge 6.104 : Loşlaştırma uygulanması halinde elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için yatırım geri ödeme sürelerinin karşılaştırması	134
Çizelge 6.105 : Loşlaştırma uygulanması halinde akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için yatırım geri ödeme sürelerinin karşılaştırması	135
Çizelge 6.106 : Loşlaştırma uygulanması halinde akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için yatırım geri ödeme sürelerinin karşılaştırması).....	135
Çizelge 6.107 : Loşlaştırma uygulanması halinde elektrik birim fiyatlarının %25 ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için yatırım geri ödeme sürelerinin karşılaştırması	136
Çizelge 6.108 : Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek).....	136
Çizelge 7.1 : Yedi il için armatür güçleri ve sistem enerji üretim maliyetleri (\$/kWh) arasındaki ilişki.....	138
Çizelge 7.2 : Beş gelecek senaryosu için sistem geri ödeme sürelerinin yedi ilde en düşük ve en yüksek değerleri.....	139
Çizelge 7.3 : Sistem kurulum maliyetlerinin yedi il için en düşük ve en yüksek değerleri.....	140

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Dünya genelinde güneş ışınımını en fazla alan bölgeler	7
Şekil 2.2 : Türkiye'nin güneş radyasyonu haritası	9
Şekil 2.3 : Türkiye'de 2014-2016 yılları arasında güneş enerjisi ile yıllık enerji üretimi	9
Şekil 2.4 : Türkiye'de 2014 Ekim ve 2016 Ağustos ayları arasında güneş enerjisi ile aylık enerji üretimi.	10
Şekil 2.5 : Güneydoğu Anadolu Bölgesi ışınım değerleri	12
Şekil 2.6 : Akdeniz Bölgesi ışınım değerleri.	12
Şekil 2.7 : Doğu Anadolu Bölgesi ışınım değerleri	13
Şekil 2.8 : İç Anadolu Bölgesi ışınım değerleri	14
Şekil 2.9 : Ege Bölgesi ışınım değerleri.	15
Şekil 2.10 : Marmara Bölgesi ışınım değerleri	16
Şekil 2.11 : Karadeniz Bölgesi ışınım değerleri.....	17
Şekil 3.1 : Şebekeden bağımsız PV LED'li yol aydınlatma sisteminin yapısı	20
Şekil 3.2 : Solar hücreden panel eldesi.....	20
Şekil 3.3 : Watt başına \$ cinsinden kristal silikon fotovoltaiik hücre fiyatları.	21
Şekil 3.4 : Bir yariletkende p-n jonkisyunun gösterimi.....	22
Şekil 3.5 : Üç ana güneş paneli tipi a) Monokristal, b) Polikristal, c) İnce Film.....	23
Şekil 3.6 : Yıl içerisinde dünyanın güneş etrafındaki pozisyonları ve deklinasyonu.25	
Şekil 3.7 : Direk üzerinde, yer altında ve yerde akü konumlandırması	27
Şekil 3.8 : Şarj Derinliği (DoD) ile akü ömrünün değişimi.	29
Şekil 3.9 : Mavi dikdörtgenin alanı güçle doğru orantılıdır $P_m = V_m \times I_m$	30
Şekil 3.10 : Aşırı düşük ve aşırı yüksek gerilimlerde düşük güç eldesi	30
Şekil 3.11 : Elektrolüminesanın şematik açıklaması.....	31
Şekil 3.12 : LED'in yapısı	32
Şekil 3.13 : Işık kaynağı etkinlik faktörü trendleri.....	33
Şekil 4.1 : Yol aydınlatma düzenekleri	41
Şekil 4.2 : Yol aydınlatma hesap alanı	42
Şekil 4.3 : Yol aydınlatma hesap noktaları	42
Şekil 5.1 : Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki kavramsal ilişki.	50
Şekil 5.2 : Rüzgar-Dizel sistemi.....	51
Şekil 5.3 : 140 sistem konfigürasyonu içeren arama aralığı	52
Şekil 5.4 : Toplam net bugünkü maliyetlerine göre sıralanmış sistem konfigürasyonlarını gösteren toplu optimizasyon sonuçları	52
Şekil 6.1 : Hesaplamalarda kullanılan yol aydınlatma düzenekleri	56
Şekil 6.2 : İncelenen sistemlerden birinin HOMER yazılımında örnek şematik gösterimi.....	59
Şekil 6.3 : HOMER yazılımında örnek fotovoltaiik panel modelleme ekranı.....	60
Şekil 6.4 : HOMER yazılımında örnek akü modelleme ekranı	60

Şekil 6.5 : HOMER yazılımında örnek yük profili modelleme ekranı	62
Şekil 6.6 : Antalya iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi	64
Şekil 6.7 : Mevcut durumda Antalya ili için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi	71
Şekil 6.8 : Gaziantep iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi	74
Şekil 6.9 : Mevcut durumda Gaziantep ili için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi	78
Şekil 6.10: Van iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi	83
Şekil 6.11 : Mevcut durumda Van ili için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi	88
Şekil 6.12 : İzmir iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi	92
Şekil 6.13 : Mevcut durumda İzmir ili için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi	97
Şekil 6.14 : Ankara iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi	102
Şekil 6.15 : Mevcut durumda Ankara ili için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi	107
Şekil 6.16 : Samsun iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi	111
Şekil 6.17 : Mevcut durumda Samsun ili için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi	116
Şekil 6.18 : İstanbul iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi	121
Şekil 6.19 : Mevcut durumda İstanbul ili için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi	126
Şekil 6.20 : Loşlaştırma uygulanması durumunda akünün zamana bağlı şarj durumu	132
Şekil 6.21 : Loşlaştırma uygulanması durumunda PV panelin zamana bağlı güç çıkışı	133
Şekil 6.22 : Loşlaştırma uygulanması durumunda günlük ve yıllık yük profilleri ..	133
Şekil 6.21 : Loşlaştırma uygulanması durumunda aylık ortalama elektrik üretimi.	133
Şekil A.1 : 73W'lık armatüre ait teknik veriler ve ışık dağılım eğrisi	148
Şekil A.2 : 67W'lık armatüre ait teknik veriler ve ışık dağılım eğrisi	148
Şekil A.3 : 46W'lık armatüre ait teknik veriler ve ışık dağılım eğrisi	149
Şekil A.4 : 39W'lık armatüre ait teknik veriler ve ışık dağılım eğrisi	149
Şekil A.5 : 25W'lık armatüre ait teknik veriler ve ışık dağılım eğrisi	150

TÜRKİYE’NİN YEDİ COĞRAFI BÖLGESİ İÇİN ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK LED’Lİ YOL AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN TEKNOEKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ

ÖZET

Fosil yakıtta ihtiyaç duymayan fotovoltaik teknoloji CO₂ emisyonlarının azalımını sağlayarak enerji tüketim ihtiyacına çevreci ve sürdürülebilir bir alternatif sunabilir. Enerji tüketiminin gerçekleştiği sektörlerden biri olan yol aydınlatmasında tesisatların elektrik enerjisi ihtiyacının fotovoltaik sistemlerle karşılanması son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Günümüzde yalnızca ulaşımın zor olduğu ve şebeke elektriğinin ulaşmadığı kırsal bölgelerde cazip bir şekilde kullanılabilen şebekeden bağımsız fotovoltaik LED’li yol aydınlatma sistemleri fotovoltaik panel, akü ve LED armatür maliyetlerinin düşmesiyle birlikte dünyanın geri kalan bölgelerinde de cazip bir şekilde kullanılabilir hale gelmektedir. Malzeme teknolojisindeki gelişmeler yol aydınlatmasının LED armatürlerler kullanılarak daha düşük güçlerde gerçekleştirilebilmesini mümkün kılmıştır. Armatür yüklerinin düşmesi, şebekeden bağımsız aydınlatma sistemlerinde daha küçük panel ve akü boyutlandırması yapabilmeyi sağlamış, bu sayede yol aydınlatmasının şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerle gerçekleştirilebilmesi elverişli hale gelmiştir.

Bu çalışmada Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesi için fotovoltaik LED’li yol aydınlatma sistemlerinin teknoekonomik analizi yapılmıştır. Çalışmada literatürdeki çalışmalar ve Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli incelenmiş, şebekeden bağımsız fotovoltaik LED’li yol aydınlatma sistemlerinin yapısı ve sistem bileşenleri tanıtılmış, yol aydınlatma hesaplamalarında uyulması gereken aydınlatma kriterleri, yönetmelikler ve teknik şartnameler açıklanmış ve yapılan modelleme ve simülasyonlar konusunda bilgi verildikten sonra teknoekonomik analiz kısmına geçilmiştir. Aydınlatma hesaplamalarında DIALux programı kullanılmış, enerji sistemlerinin modellenmesinde ve simülasyonlarda HOMER yazılımından yararlanılmıştır. M3, M4 ve M5 yol aydınlatma sınıfları için direk açıklıklarının maksimum ve minimum seçildiği durumlar yedi coğrafi bölge için incelenmiş ve mevcut durumun yanı sıra elektrik birim fiyatlarının artması, akü ve panel fiyatlarının düşmesi ve yol aydınlatmasında belirli saatlerde loşlaştırma uygulanması senaryoları için gelecek projeksiyonları gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda şebekeden bağımsız fotovoltaik LED’li yol aydınlatma sistem yatırımlarının mevcut şartlarda Türkiye’nin hiçbir coğrafi bölgesi için ekonomik açıdan cazip olmayacağı görülmüştür. Mevcut durumda hiçbir sistemin geri ödeme süresi sistem ömrü olan 20 yılın altına inememiş, en düşük geri ödeme süresine 27,82 yıl ile Antalya ilinde ulaşılmıştır. Gerçekleştirilen gelecek projeksiyonlarında ise elektrik birim fiyatlarının artması ve akü ve panel fiyatlarının düşmesi durumlarında sistem geri ödeme sürelerinin 12,37 yıl seviyelerine inebileceği görülmüştür. En düşük geri ödeme süresine sahip olan sistemde loşlaştırma uygulanması durumunda sistem geri ödeme süresinin mevcut durumda 27,82 yıldan 26,38 yıla, akü ve panel

fiyatlarının düşmesi durumunda 12,37 yıldan 12,03 yıla inebileceği ve enerji tüketiminde %16,5 oranında tasarruf sağlanabileceği hesaplanmıştır.

Çalışmada şebekeden bağımsız fotovoltaik LED'li yol aydınlatma tesisatlarının tasarımında direk açıklıklarının maksimum alınmasının tek bir direk için sistem maliyetlerini arttıracığı ancak yol aydınlatma tesisatının tamamı göz önüne alındığında daha az sayıda direk kullanılmasına bağlı olarak kurulum maliyetlerinin düşeceği görülmüştür.

Yapılan analizde şebekeden bağımsız fotovoltaik LED'li yol aydınlatma sistemlerinin Türkiye şartları için mevcut durumda ekonomik açıdan cazip olmadığı anlaşılmıştır. Buna rağmen şebekeden bağımsız fotovoltaik LED'li yol aydınlatma sistemlerinin CO₂ emisyonlarının azalmasına katkıda bulunmak, sürdürülebilir ve çevreci politikaların bilinirliğini arttırmak ve PV aydınlatma alanındaki çalışma ve deneyleri desteklemek gibi faydaları bulunmaktadır.



TECHNOECONOMICAL ANALYSIS OF STAND ALONE PHOTOVOLTAIC LED STREET LIGHTING SYSTEMS FOR SEVEN GEOGRAPHICAL REGIONS OF TURKEY

SUMMARY

Demand for energy increases rapidly due to population, economic growth and technological developments. While accompanied by greater prosperity, rising demand creates new challenges. Consumers require more energy resources and higher consumption of fossil fuels leads to higher greenhouse gas emissions, particularly carbon dioxide (CO₂), which contribute to global warming. Photovoltaic technology, which does not need fossil fuel, can provide a green and sustainable alternative to energy consumption needs by reducing CO₂ emissions. Structures of solar energy systems are suitable for meeting the energy consumptions of street lighting installations. Today, stand alone solar LED street lighting systems, which can only be feasibly used in rural areas where transportation is difficult and grid electricity does not reach, is becoming attractive in the rest of the world due to the decrease in photovoltaic panel, battery and LED luminaire costs. Developments in material technology have made it possible to use lower powered LED luminaires in street lighting systems which led to make smaller photovoltaic panel and battery sizings in stand alone street lighting systems.

In this study, technoeconomic analysis of stand alone solar LED street lighting systems for seven regions of Turkey have been carried out. Literature review has been made over existing studies and solar energy potential of Turkey has been investigated. Structure and components of stand alone photovoltaic LED lighting systems have been introduced. Street lighting criteria, national regulations and technical specifications have been explained and information about modelling and simulations of the systems have been given. DIALux software has been used for street lighting calculations and HOMER software has been used for modelling and simulations. Calculations for seven geographical regions, three street lighting classes (M3, M4 and M5) and maximum - minimum pole spacing scenarios have been made and in addition to current case, future projections have been carried out for cases of 1) %25 increase in electricity unit prices, 2) %25 decrease in photovoltaic panel and battery costs, 3) %50 decrease in photovoltaic panel and battery costs and 4) %25 increase in electricity unit prices and %50 decrease in photovoltaic panel and battery costs.

As a result of DIALux calculations; 46W and 25W luminaires for M5 street lighting class with one sided pole arrangement, 67W and 39W luminaires for M4 street lighting classes with one sided pole arrangement, 73W and 39W luminaires for M3 street lighting classes with two sided opposite arrangement and 2x73W and 2x46W luminaires for M3 street lighting classes with double davit median arrangement have been selected in order to compare maximum and minimum pole spacing scenarios.

As a result of HOMER simulations; battery-PV sizes and PV tilt angles have been determined due to the loads which operates at the time of street lighting. Values such as initial costs, maintenance&operation costs, the total net present costs, costs of energy, amount of energy productions and consumptions, autonomy, CO₂ mitigations etc. have been determined over the simulations.

In the study, the lowest costs of energy have been found in Antalya among the seven provinces. Antalya is followed by İzmir, Van, Gaziantep, Ankara, Samsun and Istanbul respectively. It has been seen that the usage of high powered luminaires in the systems decreases the costs of energy. However, in the cases except Antalya and İzmir, this situation reverses after certain luminaire load levels which is related with the maximum PV panel capacity that can be used in stand alone solar lighting. Considering PV capacity that can be mounted on a lighting pole is limited, maximum PV capacity is taken as 1 kW in this study. While in Antalya and İzmir systems did not need to exceed the maximum PV capacity, in other provinces the maximum PV capacity became insufficient after certain load levels for the sunshine and solar irradiation characteristics of those provinces and systems which could not increase their PV capacities anymore, increased their battery sizes instead which were more costly.

As a result of the study, it has been seen that the investment of stand alone solar LED street lighting systems will not be economically feasible for any geographical regions of Turkey in the current situation and the payback period of the systems can not reach below the system life of 20 years. Minimum payback period has been reached in the current situation is 27,82 years in Antalya among the seven provinces. In case of increase in electricity unit prices and decrease in photovoltaic panel and battery costs, payback period can be reduced to 12,37 years.

Dimming control has been applied for the system with the lowest payback period in the current situation. It has been seen that by dimming, total net present cost of the battery + PV for a single pole system decreases by %22 from 1933 \$ to 1506 \$. System installation cost for 1 km decreases by %14 from 62526 \$ to 53559 \$. For a single pole system, cost of energy production due to battery and photovoltaic panel decreases from 0,225 \$/kWh to 0,210 \$. In the case of dimming, the LED luminaires which are in operation for 3961,16 hours in a year operate 2183,91 hours with reduced power (51,5W) and 1777,26 hours with full power (73W). The annual electricity consumption per kilometer decreases by %16,5 from 12144,95 kWh to 10136,19 kWh. By dimming, the current payback period of the system reduces from 27,82 years to 26,38 years. In the case of %25 increase in electricity unit prices payback period of the system would reduce from 22,25 years to 21,10 years. In the case of %25 decrease in PV+battery prices payback period of the system would reduce from 21,61 to 20,70 years. In the case of %50 decrease in PV+battery prices payback period of the system would reduce from 15,46 to 15,04 years. In the case of %25 increase in electricity unit prices with %50 decrease in PV+battery prices payback period of the system would reduce from 12,37 to 12,03 years.

In the study, it has been seen that stand alone solar LED street lighting systems can not payback themselves in the current situation. Battery and PV sizing were made according to the lowest irradiation and sunshine durations during winter months in order to meet street lighting criteria even in the worst conditions which led to increase in the cost of the systems. Thus, most of the electricity produced is not consumed.

Nonetheless, these systems can be less costly than on-grid systems if they are installed in rural areas where the grid electricity is not reachable and new transmission lines are required to energize the street lighting systems. The systems also have benefits such as contributing to the reduction of CO₂ emissions, increasing awareness of environmental and sustainable policies and supporting studies and experimentations on solar lighting.





1. GİRİŞ

Artan nüfusa, ekonomik ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerjiye ihtiyaç artmaktadır. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmı konvansiyonel kaynaklarla karşılanmaktadır. Bu kaynakların sınırsız olmamaları ve tüketimleri sırasında çevreye olan zararlı etkileri yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi arttırmıştır. Yenilenebilir enerji sistemleri, konvansiyonel enerji sistemlerine göre daha çevre dostu ve sürdürülebilir bir çözüm olarak son yıllarda hükümetler, işletmeler ve tüketiciler tarafından artan bir şekilde desteklenmeye başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, jeotermal, dalga, hidrolik, hidrojen, biyokütle olarak sıralanabilir. Son yıllarda fotovoltaik sistemlerin, enerji tüketiminin gerçekleştiği sektörlerden biri olan yol aydınlatmasında kullanılması yaygınlaşmaya başlamıştır. Günümüzde yalnızca ulaşımın zor olduğu ve şebeke elektriğinin ulaşmadığı kırsal bölgelerde cazip bir şekilde kullanılabilen şebekeden bağımsız fotovoltaik yol aydınlatma sistemleri teknolojik gelişmelere bağlı olarak fotovoltaik panel, LED ve depolama aygıtlarının maliyetlerinin düşmesiyle birlikte dünyanın geri kalan bölgelerinde de fizibil olarak kullanılabilir hale gelmektedir. Malzeme teknolojisindeki gelişmeler sayesinde 2011 yılında birim güç başına 1,34 \$/W olan fotovoltaik modül fiyatları günümüzde 0,50 \$/W seviyelerine inmiştir. Bu fiyatların ilerleyen yıllarda daha da düşeceği tahmin edilmektedir [1]. Enerji tüketim ihtiyacının artmasıyla birlikte enerjinin verimli kullanımı konusu da ön plana çıkmıştır. Son yıllarda LED teknolojisinde yaşanan gelişmeler, önceden konvansiyonel aydınlatma elemanlarıyla daha yüksek güçlerde gerçekleştirilen yol aydınlatmasının, LED armatürlerle daha düşük güçlerde ve daha enerji verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesini mümkün kılmıştır. Armatür yüklerinin düşmesi, şebekeden bağımsız aydınlatma sistemlerinde daha küçük panel ve akü boyutlandırması yapabilmeyi de sağlamış, bu sayede yol aydınlatmasının şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerle gerçekleştirilebilmesi daha elverişli hale gelmiştir.

1.1 Literatür Araştırması

Liu, Çin'in Hunan Eyaleti'nde şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız iki fotovoltaik yol aydınlatma sistemini ekonomik açıdan karşılaştırmıştır. Monokristal ve polikristal panel tipleri için sistemlerin simülasyonu yapılmış ve sistemlerin ekonomik, teknik ve çevresel fizibilitesi incelenmiştir. Sistemlerin kapsamlı sürdürülebilirlik fizibilite hesapları maliyet, enerji üretimi, CO₂ emisyonu ve yenilenebilir enerji faktörü dikkate alınarak yapılmıştır. Sistemlerde her direkte ikişer adet 80W'lık güneş paneli kullanılmış ve simülasyonlarda HOMER yazılımından yararlanılmıştır. Sonuçlara göre eyaletteki tüm şehirler için yol aydınlatma sistemlerinde monokristal panel kullanılması durumunda daha fazla yıllık enerji üretimi, daha az CO₂ emisyonu ve daha yüksek çevresel performans sağlandığı ancak monokristal panellerin kullanılmasının polikristal panellere nazaran daha maliyetli olduğu görülmüştür. Çalışmada şebeke elektrik birim fiyatının 0,187 \$/kWh üzerine çıkması durumunda şebekeden bağımsız güneş enerjili aydınlatma sistemlerinin enerji üretim maliyetlerinin (CoE) şebekeye bağlı sistemlerden daha düşük olacağı görülmüştür [2].

Asha ve arkadaşları yaptıkları çalışmada otomatik açma kapama kontrolü, loşlaştırma kontrolü, güvenlik izleme sistemi gibi bir dizi akıllı özelliklere sahip olan bir yol aydınlatma sistemi kurmak için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada düşük maliyet ve kolay kullanılabilirlik açısından polikristal panel (12V 100Wp), çalışma bölgesinin sıcak bir bölge olmasından ve düşük güçlü şarj uygulamasından dolayı PWM şarj regülatörü, yüksek akım deşarjı, düşük maliyet, daha iyi verim ve kanıtlanmış teknoloji gibi nedenlerden dolayı sulu tip kurşun asit akü (12V 100Ah) kullanılmıştır. Aydınlatma direği boyu 6m alınmış, yük olarak LED, enkandesan lamba ve kompakt flouresan lambalar kullanılmış ve şebekeden bağımsız PV dış aydınlatma sisteminin çeşitli alternatiflerinin net bugünkü değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada 24 W'lık LED armatür kullanılan sistemin net bugünkü maliyeti 15960 Rs (rupi) bulunmuştur. Yapılan yatırım 43540 Rs maliyetli 100 W'lık enkandesan ve 21460 Rs maliyetli 36 W'lık kompakt flouresan lamba kullanılan sistemlere göre daha erken geri ödeme süresi sağlamıştır [3].

Wu ve arkadaşları 100W gücünde LED armatür kullanan bir güneş enerjili yol aydınlatma sisteminin tasarımını incelemiş ve 10 km'lik iki şeritli bir karayolunun kurulum maliyetini hesaplamışlardır. LED armatürler yolun iki tarafına kaydırılmış

düzenekte yerleştirilmiştir. Direk açıklığı 30 metre olarak alınmıştır. PV LED aydınlatma sisteminin her ünitesi 400W PV panel, 24V 100Ah akü ve 100W LED armatüre sahiptir. Çalışmada geleneksel yüksek basınçlı civa buharlı lambalar kullanan sistem, şebeke elektriği kullanan LED'li ve güneş enerjili LED'li sistemlerle karşılaştırılmıştır. Şebeke elektriği kullanan LED'li sistemin kurulum maliyeti 22 milyon \$, güneş enerjili LED'li sistemin kurulum maliyeti 26 milyon \$ olarak bulunmuştur. Konvansiyonel civa buharlı lamba kullanan sistemin kurulum maliyeti 18 milyon \$'dır. LED'li sistemlerin kurulum maliyetlerinin yüksek olması LED armatür ve panel kaynaklıdır. Ancak çalışmada LED'li sistemde %75 daha fazla enerji tasarruf edildiği için LED kullanılması halinde elektrik üretim maliyeti ve elektrik hat maliyetlerinin ciddi bir şekilde azaltılabileceği ortaya çıkmıştır. LED'li sistem daha küçük bakır kablo kullanılmasını sağlamaktadır. LED'lerin güneş enerjisiyle enerjilendiği durumda ise buna ek olarak hat kayıp ve hat kurulum maliyetleri ortadan kalkmaktadır. Şebeke elektriğiyle enerjilenen LED sistem kullanılması durumunda yıllık 549 kg ve güneş enerjili LED sistem kullanılması durumunda yıllık 770 kg daha az CO₂ emisyonu sağlanmaktadır [4].

Velaga ve Kumar, yaptıkları çalışmada LED'li bir fotovoltaik yol aydınlatma sistemini Hindistan kırsalı için incelemiştir. Çalışma bölgesi olarak Bihar eyaletinde, Madhepura bölgesine bağlı Khurhaan köyü seçilmiştir. Yapılan çalışmada, şebeke elektriğinin ulaşmadığı ve en yakın elektrik şebekesinin 11,55 km uzaklıkta bulunduğu, engebeli bir coğrafyada bulunan Khurhaan köyünde sokak aydınlatmasının güneş enerjisiyle karşılanmasının, köye yeni bir iletim hattı inşaa etmekten daha az maliyetli olduğu anlaşılmıştır. Çalışmada yüksek gerilim hattının kilometre başına kayıp gücü %0,2 ve alçak gerilim hattının kilometre başına kayıp gücü %0,4 alınmıştır. Toplam güç kaybını elde etmek için en yakın şebekeden yüksek gerilim hattının uzunluğu 11,55 km olarak ölçülmüştür. Toplam alçak gerilim hat uzunluğu tüm köyün yerel sokaklarının uzunluğu baz alınarak ölçülmüş (ibadet mekanı, yerel market ve okul yollarını bağlayan yollar da dahil edilerek) ve 2,65 km bulunmuştur. Toplam sokak uzunluğu ve iki direk arasındaki mesafe (bu çalışmada 30 metre) baz alınarak gerekli toplam aydınlatma direği sayısı 89 olarak hesap edilmiştir. Çalışmada birim güç maliyeti (1000 Watt başına) 3 rupi olarak hesaba alınmıştır. LED'li fotovoltaik sistemin bakım maliyeti akülerin yenilenmesi ve güneş panellerinin periyodik temizlenmelerinden oluşmaktadır. YBSBL (Yüksek Basınçlı

Sodyum Buharlı Lamba)'li sistem için, bakım maliyeti; işletme maliyetinin %2'si tutan düzenli bakımı ve bazı parçaların ömürlerinin bitiminde değiştirilmelerini kapsayan periyodik bakımı içerir. Armatür ve balastların periyodik bakımı, yenileme maliyetinin %50'si olarak ele alınmıştır. İki alternatifin fizibilite değerlendirmesi Eşdeğer Düzgün Yıllık Maliyet - Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) yöntemi kullanılarak yürütülmüştür. Ekonomik değerlendirme için analiz süresi LED'li fotovoltaik sistem bileşenlerinin maksimum ömrüne eşit olan 20 yıl olarak kabul edilmiştir. Faiz oranı ve enflasyon oranı sırasıyla %7 ve %3 olarak kabul edilmiştir. Bu analiz sonucunda LED'li fotovoltaik ve YBSBL'li sistemler için eşdeğer düzgün yıllık maliyetler sırasıyla 332,923 rupi ve 424,430 rupi olarak bulunmuştur. Bu sonuç YBSBL yerine LED'li fotovoltaik sistem kullanmanın paranın bugünkü değeri için yıllık 91,506 rupilik (1340,6 \$ - Kasım 2016) bir tasarruf sağlayacağını göstermiştir [5].

Kenfack ve arkadaşları 2005 yılında Kamerun'un başkenti Yaounde'de iki projeden oluşan bir çalışma yapmışlardır. İlk proje şebekeden bağımsız 10 aydınlatma sistemiyle gerçekleştirilmiştir. Sistemler 11 Watt armatür, 80 Wp eğim açısız güneş paneli, 150 Ah kurşun asit akü, 10A 12V şarj regülatörü ve bir ışık sensöründen oluşmaktadır. Kurulan sistem birkaç ay sonra çalışmaz hale gelmiş, aküler boşalmış ve bazı ışık sensörleri bozulmuştur. Güneş panelleri artan bir biçimde tozla kaplanmıştır. Bu durumun ardından yüklenici firmayı değiştirmeye karar verilmiş, dizayn modifiye edilmiş ve sisteme bir güneş paneli dizisi ve altında akü grubuyla birlikte bir mini şebeke çözümü adapte edilmeye çalışılmıştır. Bu durumda sistem daha uzun süre dayanmış ancak 6 ay sonra yine çalışmayı durdurmuştur. Üç yıl sonra bakanlığın ayırabildiği bazı fonlarla, öğrenilen derslerden yola çıkılarak ikinci bir proje için yeni bir dizayn geliştirilmiştir. Bu kez mini şebeke sistemi terk edilip eski sisteme geri dönmüştür. Sistemler 45 Watt armatür, 160 Wp eğim açısız güneş paneli, 160 Ah jel hücreli akü, 10A 12V şarj regülatörü ve bir ışık sensöründen oluşmaktadır. Sistem kurulumun üzerinden üç yıl geçtikten sonra yapılan kontrollerde 35 direktten 28'i hala çalışır vaziyette bulunmuş, proje başarılı olarak görülmüş ve hükümet projeyi sürdürme kararı almıştır. İkinci projenin başarısı ve PV sistemlerin başkentte diğer alanlarda da kullanılabilmesi göz önünde bulundurularak gelecek için projeler yapılmaya başlanmıştır. Kamerun Hükümeti Çin'le araştırma/çalışma yapılması ve Yaounde-Soa karayolunda 100 direklik bir sistemin

kurulumu için anlaşma imzalamıştır. Bu projenin aylık 70 amerikan doları olan kamusal elektrik faturasını azaltacağı öngörülmüştür. Bu iki projenin ardından Kamerun Hükümeti'nin Çin'le imzaladığı antlaşmanın sonunda Soa-Ngouso karayolu projesi hayata geçmiştir. 2012 Haziran'ında başlayan proje 6 ay sürmüş ve 2013 yılında tamamlanmıştır. Proje 1,5 milyar Kamerun Frangı'na mal olmuştur. Şebekeden bağımsız sistemlerden oluşacak tasarımda 340 direk kullanılmış ve aydınlatma bu kez enerji verimli LED aydınlatma armatürleriyle sağlanmıştır [6].

Kyocera şirketi 2015 Ağustos ayında Brezilya, Rio de Janeiro'daki beş ana otoyolu birbiriyle bağlayacak olan bir otoyol projesi olan Arco Metropolitano do Rio de Janeiro Otoyolu'nda, 145 kilometrelik otoyolun yarısından fazlasının güneş enerjili LED yol aydınlatma sistemleriyle aydınlatılacağını duyurmuştur. Aydınlatma projesinin finansmanı Rio de Janeiro Eyaleti'nce karşılanmıştır ve kullanılacak sistemler Kyocera şirketinden tedarik edilmiştir. Sistemler 150 W LED armatür, 3 solar modül (Kyocera KD250), 4 240Ah/ 12Vcc akü, 1 şarj regülatörü (TS-MPPT-45/48Vcc), bir fotosel ve bir direktten oluşmaktadır. 3,2 MW'lık proje, 4300 şebekeden bağımsız PV yol aydınlatma sisteminden oluşmaktadır ve yıllık 2,8 GWh'lık güneş enerjisi üretiminin gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu, yaklaşık olarak 1527 adet orta sınıf konutun kullandığı elektrik enerjisine ve 1583 dönüm ormanın dengeleyebileceği CO₂ emisyonuna eşdeğerdir [7].

BAE (Birleşik Arap Emirlikleri)'de, Wadi Sidr ilinin en ücra köşelerinden biri olan Fujairah'ta, dağlık ve taşlık coğrafya elektrik şebekesinin bu bölgeye gelmesini engellemiştir ve zorlu coğrafya koşullarından dolayı tehlikeli sürüş şartlarının olduğu bu bölgede yol aydınlatması uzun yıllar boyunca sağlanamamıştır. Ağustos 2011'de 11,8 km'lik yolda 404 şebekeden bağımsız PV yol aydınlatma sistemi kurulmuştur. Sistemler 245 Wp polikristal PV panel, ikişer derin döngülü (deep cycle) bakım gerektirmeyen kurşun asit akü, 160 W LED armatür, şarj regülatörü ve direktten oluşmaktadır. Yol aydınlatması sadece otoyoldaki gece görüşünü arttırmamış, yol kenarındaki 800 konutun bölge aydınlatmasına da katkıda bulunmuştur. Sistemlerin ışık akıları ve zaman ayarı uzaktan takip sistemiyle BAE içerisinde kontrol edilebilmektedir. Fujairah dağlık bölgesinde montaj sırasında çeşitli zorluklarla karşılaşmıştır. Kayalık alanı kazmak işçilik maliyetlerini artmıştır. Panellerin eğim açısını dağlık bölgede optimal şekilde ayarlamak zorluk çıkarmıştır. Aynı zamanda dağlık yolda sistem ekipmanlarının nakliyesi de problemlidir. Bu proje karbon

emisyollarının azaltılmasına katkıda bulunmak ve PV aydınlatma alanındaki çalışma ve denemeleri desteklemeye yönelik olarak gerçekleştirilmiştir [8].

1.2 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi için şebekeden bağımsız fotovoltaik LED'li yol aydınlatma sistemlerinin teknoekonomik analizi yapılmış ve sistemlerin Türkiye şartlarında fizibil olup olmadığı araştırılmıştır. Bu doğrultuda Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli yedi coğrafi bölge için incelenmiş ve çalışma yedi coğrafi bölge içerisinde seçilen yedi il için yürütülmüştür. Yol aydınlatma tesisatlarının aydınlatma hesaplamaları DIALux, enerji sistemi modellemesi ve simülasyonları HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) yazılımı kullanılarak yapılmıştır. M3 yol aydınlatma sınıfı için karşılıklı ve refülden çift konsollu, M4 ve M5 yol aydınlatma sınıfları için soldan tek taraflı aydınlatma düzenekleri kullanılması ve tüm yol aydınlatma sınıfları için direk açıklıklarının maksimum ve minimum seçilmesi durumları yedi coğrafi bölge için incelenmiş ve mevcut durumun yanı sıra elektrik birim fiyatlarının artması, akü ve panel fiyatlarının düşmesi ve yol aydınlatmasında belirli saatlerde loşlaştırma uygulanması senaryoları için gelecek projeksiyonları gerçekleştirilmiştir.

2. TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

782.562 km² yüzölçüme sahip olan Türkiye, 36° - 42° kuzey enlemleri ve 26° - 45° doğu boylamları arasında yer alır. Ülkenin güneş enerjisi potansiyeli yüksektir ve Avrupa’da İspanya’dan sonra en yüksek güneşlenme süresine sahip olan ülkedir.

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ)’nin 1966-1982 yıllarına ait güneş ışınım şiddeti ve güneşlenme süresi datalarından yola çıkılarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Türkiye’nin yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat) ve ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olarak hesaplanmıştır [9].

Türkiye güneş enerjisi ile yıllık 380 milyar kWh elektrik üretme potansiyeline sahiptir (Çizelge 2.1). Türkiye’nin bu potansiyeli 40 derece kuzey ve 40 derece güney enlemleri arasında bulunan ve güneş kuşağı olarak adlandırılan bölgenin içerisinde bulunmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Dünya genelinde güneş ışınımını en fazla alan bölgeler [10].

Bu bölge üzerinde güneşlenme süresi yılda 2000-3500 saat arasında ve ışınım şiddeti 3.5-7 kWh/m²-gün arasında değişmektedir. Türkiye ile birlikte İspanya, İtalya, Yunanistan, İsrail, Suriye, Mısır, Suudi Arabistan, Libya, Cezayir, Fas, İran, Pakistan, Çin, Japonya, Amerika Birleşik Devletleri, Meksika, Güney Afrika ve Avustralya güneş kuşağı üzerinde yer almaktadır [10].

Çizelge 2.1 : Türkiye'nin yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim potansiyeli.

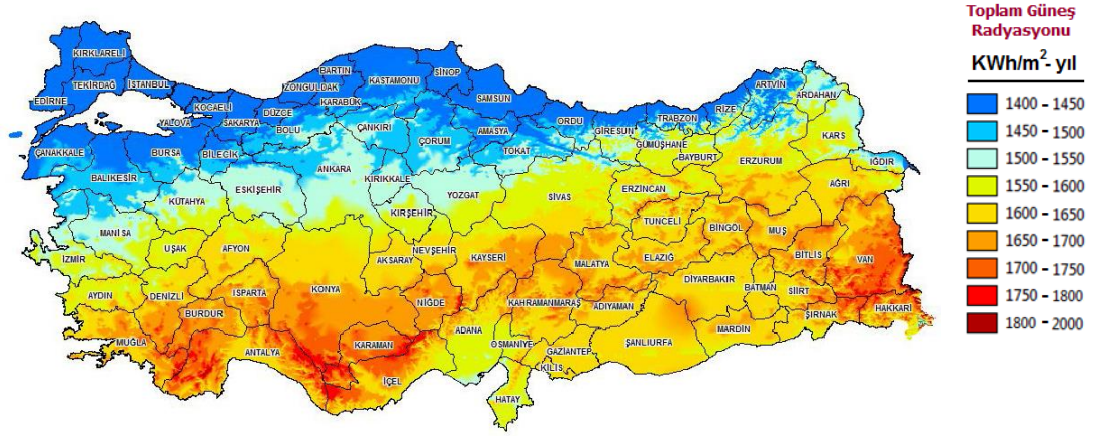
Kaynağın Türü	Mevcut kapasitesi (milyar kWh)
Hidroelektrik	80 - 100
Rüzgâr	90 - 100
Jeotermal	5 - 16
Güneş	380
Biyogaz	35
Toplam	590-631

2.1 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) Coğrafi Bilgi Sistemi yöntemlerinden biri olan ESRI Güneş Radyasyon Modeli kullanılarak 1/100.000 topoğrafik haritada 3.120.000 adet 500m x 500m grid oluşturularak 2010 yılında % ± 10 hata payı ile hazırlanmıştır ve EİE ve DMİ'ye ait 22 yıllık saatlik güneş ölçüm verileriyle karşılaştırılarak kalibre edilmiştir. GEPA'ya göre Türkiye'nin aylık toplam ışınlam şiddeti ve güneşlenme süresi değerleri Çizelge 2.2'de ve Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası Şekil 2.2'de gösterilmiştir. [11].

Çizelge 2.2 : Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı.

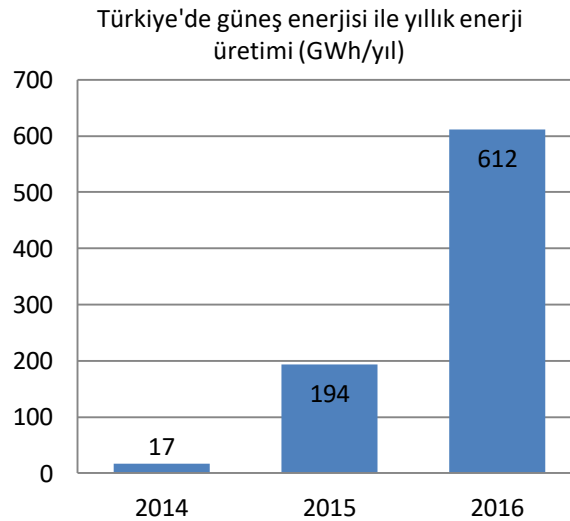
Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (Saat)
Ocak	51,75	103,0
Şubat	63,27	115,0
Mart	96,65	165,0
Nisan	122,23	197,0
Mayıs	153,86	273,0
Haziran	168,75	325,0
Temmuz	175,38	365,0
Ağustos	158,40	343,0
Eylül	123,28	280,0
Ekim	89,90	214,0
Kasım	60,82	157,0
Aralık	46,87	103,0
TOPLAM	1311	2640
ORTALAMA	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün



Şekil 2.2 : Türkiye'nin güneş radyasyonu haritası

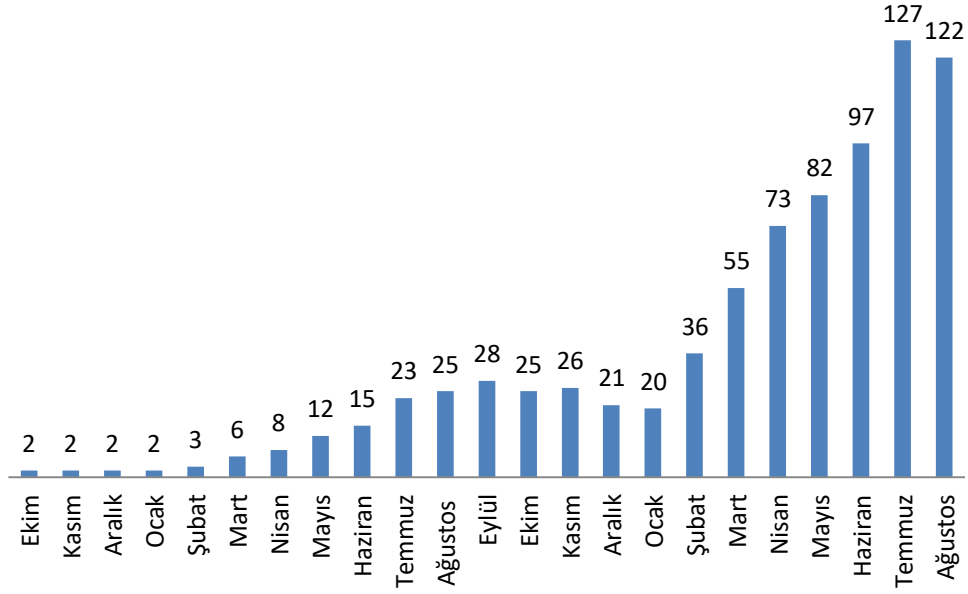
2.2 Türkiye'de Güneş Enerjisinin Kullanımı

2016 yılı Eylül ayı itibariyle Türkiye'nin kurulu elektrik gücü 78.072,2 MW'tır. Bu gücün %28,6'u Doğalgaz + LNG (sıvılaştırılmış doğalgaz), %24,5'i Hidrolik (barajlı), %22,2'si Kömür (ithal+yerli), %10'u Hidrolik (akarsu), %6,3'ü Termik (diğer), %6,7'si Rüzgar, %0,9'u Jeotermal ve %0,8'i Güneş enerjisiyle sağlanmaktadır. Güneş enerjisiyle elde edilen %0,8'lik pay 660,2 MW değerinde güce karşılık gelmektedir ve Türkiye genelinde 861 lisanslı ve lisanssız santralden elde edilmektedir [12]. Şekil 2.3'de güneş enerjisiyle elektrik üretimine ait 2014-2016 yıllarını kapsayan veriler grafikte verilmiştir.



Şekil 2.3 : Türkiye'de 2014-2016 yılları arasında güneş enerjisi ile yıllık enerji üretimi.

Şekil 2.4’de Türkiye’de 2014 Ekim ve 2016 Ağustos ayları arasında Türkiye’de güneş enerjisine bağlı elektrik üretimine ait grafik gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Türkiye’de 2014 Ekim ve 2016 Ağustos ayları arasında güneş enerjisi ile aylık enerji üretimi (GWh/ay).

2.3 Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre İncelenmesi

Türkiye’nin coğrafi bölgeleri güneş enerjisi potansiyeli bakımından yüksekte düşüğe doğru Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve Karadeniz bölgeleri olarak sıralanır. Çizelge 2.3’de Türkiye’nin güneş ışınım şiddeti ve güneşlenme süreleri verileri bölgelere göre verilmiştir. Buna göre Türkiye’de en yüksek yıllık ortalama toplam güneş ışınımı değeri 1460 kWh/m²-yıl ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndedir. Karadeniz Bölgesi’nde ise bu değer 1120 kWh/m²-yıl ile en düşük seviyededir. Türkiye’nin en çok ve en az güneş enerjisi üretebileceği aylar sırasıyla Haziran ve Aralık aylarıdır [14].

Türkiye’nin en az ışınım alan bölgesi Doğu Karadeniz Bölgesi’dir. Bu bölgede yüksek nem ışınımın engellenmesine neden olan bir faktördür. Marmara Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi’nin orta ve batı kısımları Doğu Karadeniz Bölgesi’ne nazaran daha yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ege, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin ışınım seviyeleri Marmara ve Karadeniz’den daha iyi durumdadır.

Çizelge 2.3 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.

Bölge Adı	Toplam ortalama güneş enerjisi (kWh/m ² -yıl)	En çok güneş enerjisi (Haziran) (kWh/m ² -yıl)	En Az güneş enerjisi (Aralık) (kWh/m ² -yıl)	Ortalama güneşlenme süresi (Saat/yıl)	En çok güneşlenme süresi (Haziran) (Saat)	En az güneşlenme süresi (Aralık) (Saat)
Güneydoğu Anadolu	1460	1980	729	2993	407	126
Akdeniz	1390	1869	476	2956	360	101
Doğu Anadolu	1365	1863	431	2664	371	96
İç Anadolu	1314	1855	412	2628	381	98
Ege	1304	1723	420	2738	373	165
Marmara	1168	1529	345	2409	351	87
Karadeniz	1120	1315	409	1971	273	82

Türkiye'nin en az ışıınım alan bölgesi Doğu Karadeniz Bölgesi'dir. Bu bölgede yüksek nem ışıınımın engellenmesine neden olan bir faktördür. Marmara Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi'nin orta ve batı kısımları Doğu Karadeniz Bölgesi'ne nazaran daha yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ege, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin ışıınım seviyeleri Marmara ve Karadeniz'den daha iyi durumdadır. En yüksek güneş enerjisi potansiyeli Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerine aittir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin sağ alt bölümü ise ışıınım değeri en iyi olan bölgemizdir. Sert ve soğuk iklime sahip bu yer Türkiye'nin kışın en fazla ışıınım alan bölümüdür. Rakımın yüksek olduğu ve havadaki su buharının yağmur ve kar olarak yoğunlaştığı bu bölgenin berraklık indeksi yüksek, ışıınım engellenmesi en az seviyededir [15].

2.3.1 Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait ışıınım haritası Şekil 2.5'de, bölgenin güneşlenme süreleri ve ışıınım değeri Çizelge 2.4'de gösterilmiştir.



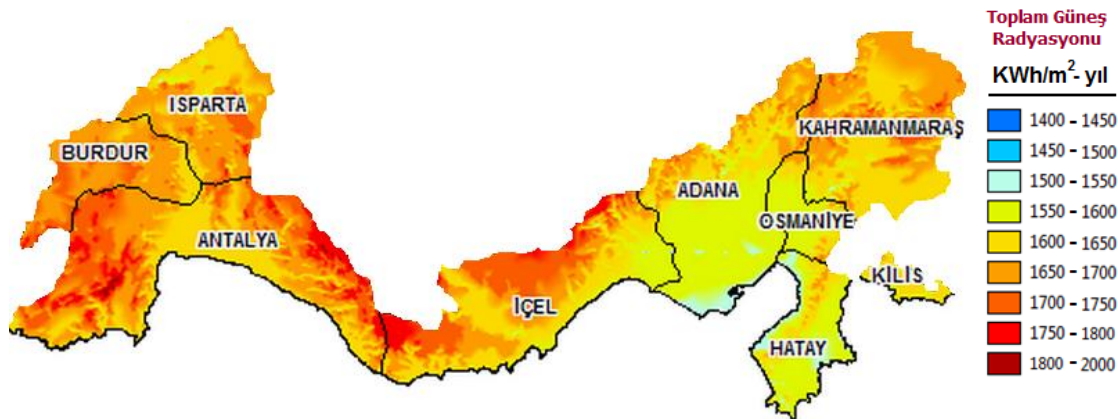
Şekil 2.5 : Güneydoğu Anadolu Bölgesi ışıınım değerleri.

Çizelge 2.4 : Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışıınım değerleri.

İl	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² - yıl)
Gaziantep	2979	1586
Adıyaman	2963	1599
Şanlıurfa	3038	1590
Diyarbakır	2616	1476
Batman	2876	1580
Siirt	2834	1595
Mardin	3040	1592

2.3.2 Akdeniz Bölgesi

Akdeniz Bölgesi'ne ait ışıınım haritası Şekil 2.6'de, bölgenin güneşlenme süreleri ve ışıınım değerleri Çizelge 2.5'de gösterilmiştir.



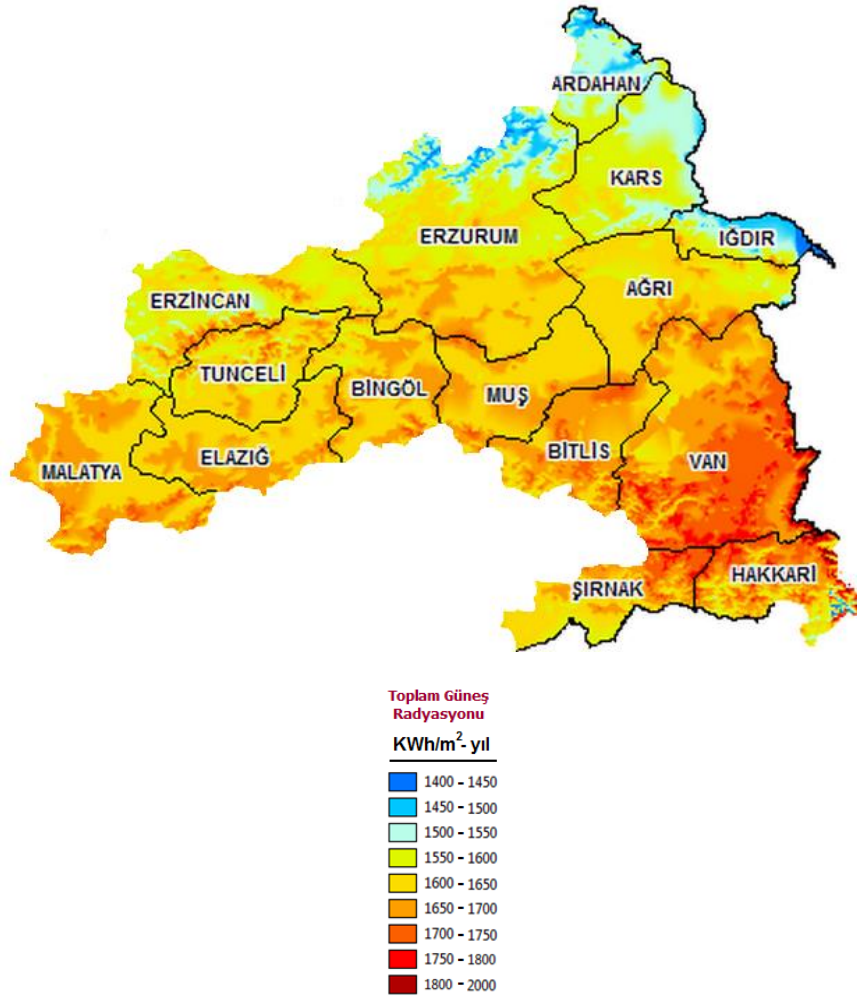
Şekil 2.6 : Akdeniz Bölgesi ışıınım değerleri.

Çizelge 2.5 : Akdeniz Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışıınım değerleri.

İl	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)
Burdur	2948	1636
Isparta	2863	1616
Antalya	3014	1650
İçel	3017	1628
Adana	2959	1568
Kahramanmaraş	2918	1608
Osmaniye	2959	1559
Hatay	3000	1541
Kilis	2980	1579

2.3.3 Doğu Anadolu Bölgesi

Doğu Anadolu Bölgesi'ne ait ışıınım haritası Şekil 2.7'da, bölgenin güneşlenme süreleri ve ışıınım değerleri Çizelge 2.6'da gösterilmiştir.



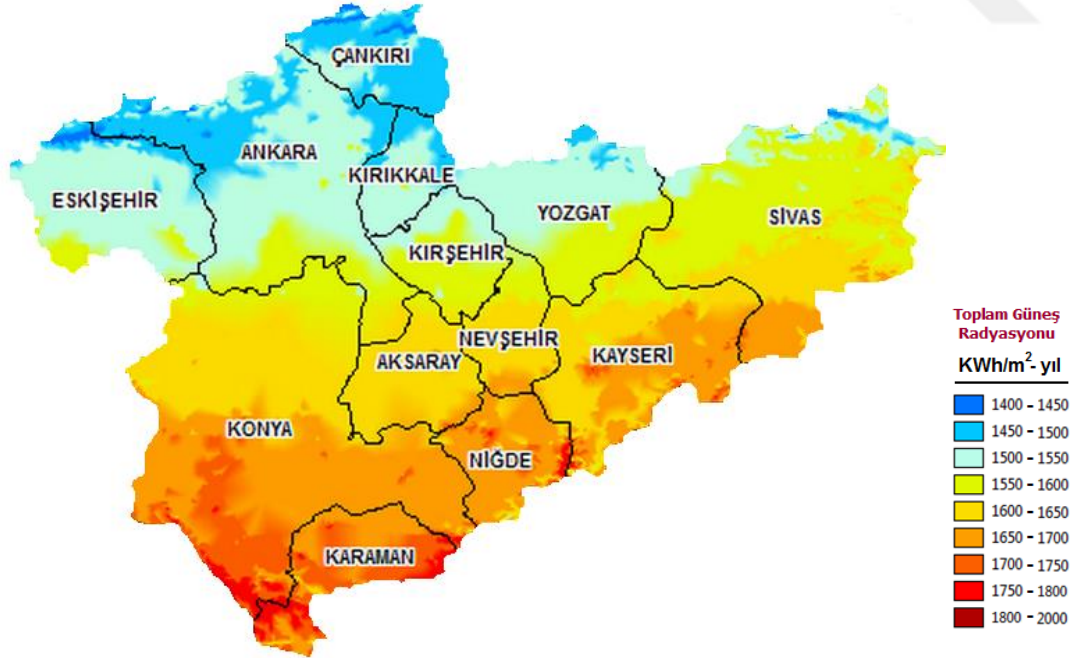
Şekil 2.7 : Doğu Anadolu Bölgesi ışıınım değerleri.

Çizelge 2.6 : Doğu Anadolu Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışınlım değerleri.

İl	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² - yıl)
Malatya	2879	1603
Erzincan	2599	1559
Tunceli	2722	1583
Elazığ	2835	1592
Bingöl	2725	1596
Erzurum	2507	1396
Muş	2692	1595
Ardahan	2315	1473
Kars	2342	1514
Iğdır	3275	1491
Ağrı	2783	1573
Bitlis	2695	1608
Van	2783	1639
Şırnak	2980	1605
Hakkari	3512	1614

2.3.4 İç Anadolu Bölgesi

İç Anadolu Bölgesi'ne ait ışınlım haritası Şekil 2.8'de, bölgenin güneşlenme süreleri ve ışınlım değerleri Çizelge 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : İç Anadolu Bölgesi ışınlım değerleri.

Çizelge 2.7 : İç Anadolu Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışıınım değerleri.

İl	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² - yıl)
Eskişehir	2483	1476
Ankara	2616	1476
Çankırı	2519	1435
Kırıkkale	2653	1464
Kırşehir	2774	1513
Yozgat	2688	1498
Sivas	2657	1542
Konya	2902	1612
Aksaray	2892	1582
Nevşehir	2840	1561
Kayseri	2847	1592
Niğde	2935	1624
Karaman	3011	1664

2.3.5 Ege Bölgesi

Ege Bölgesi'ne ait ışıınım haritası Şekil 2.9'de, bölgenin güneşlenme süreleri ve ışıınım değerleri Çizelge 2.8'de gösterilmiştir.



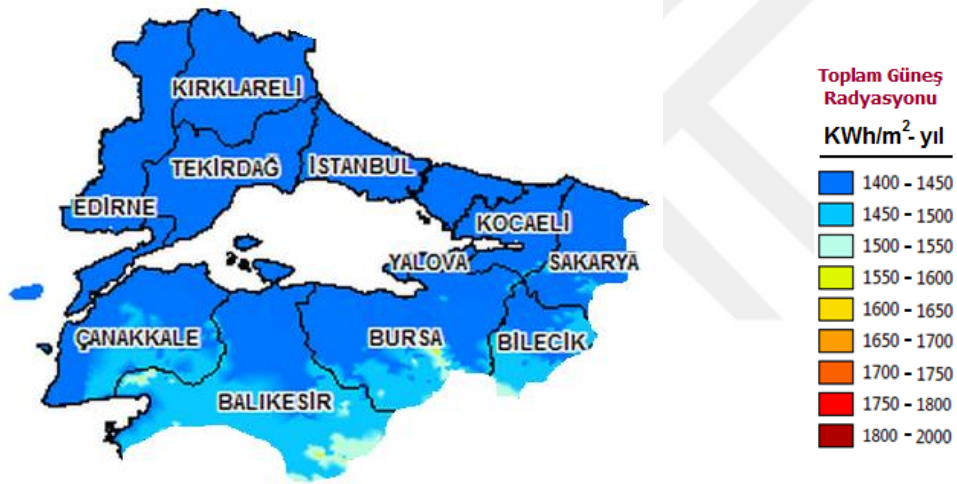
Şekil 2.9 : Ege Bölgesi ışıınım değerleri.

Çizelge 2.8 : Ege Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışınlım değerleri.

İl	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² - yıl)
İzmir	2990	1501
Manisa	2845	1491
Kütahya	2563	1393
Uşak	2793	1545
Afyon	2716	1562
Aydın	3017	1561
Denizli	2934	1592
Muğla	3043	1621

2.3.6 Marmara Bölgesi

Marmara Bölgesi'ne ait ışınlım haritası Şekil 2.10'de, bölgenin güneşlenme süreleri ve ışınlım değerleri Çizelge 2.9'de gösterilmiştir.



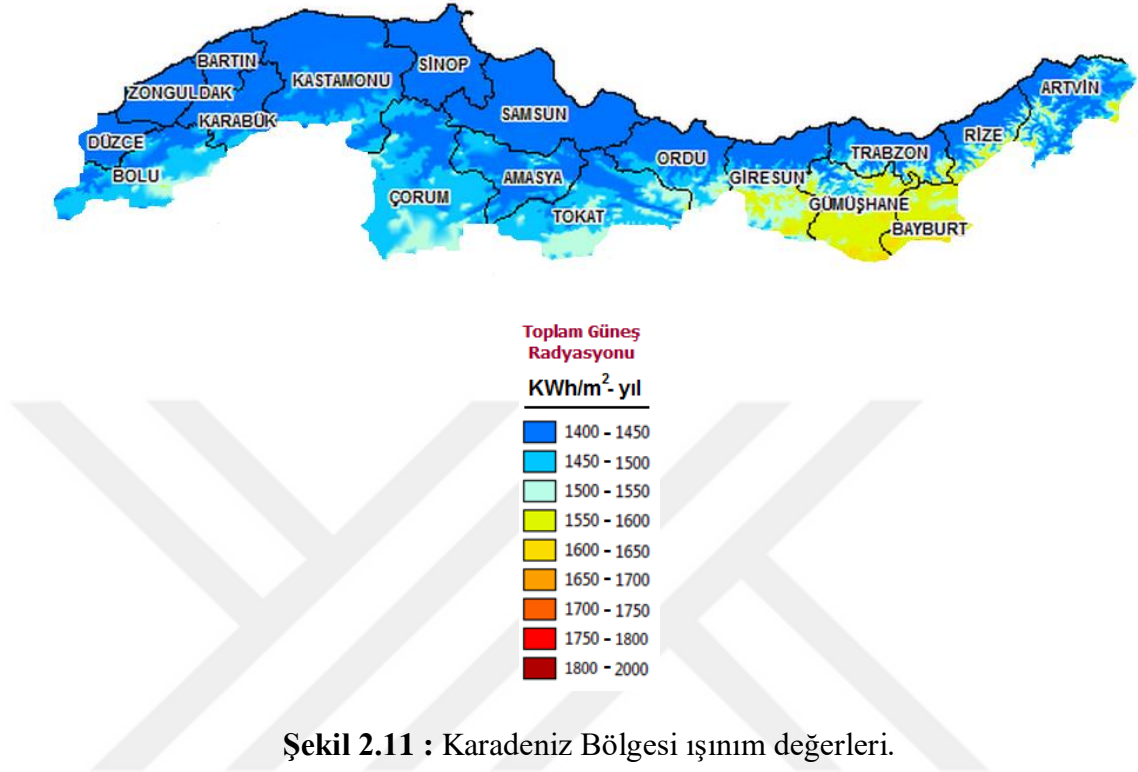
Şekil 2.10 : Marmara Bölgesi ışınlım değerleri.

Çizelge 2.9 : Marmara Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışınlım değerleri.

İl	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² - yıl)
Edirne	2700	1323
Kırklareli	2632	1324
Tekirdağ	2612	1340
İstanbul	2449	1616
Kocaeli	2376	1332
Yalova	2427	1345
Sakarya	2363	1345
Çanakkale	2811	1378
Balıkesir	2690	1422
Bursa	2519	1396
Bilecik	2429	1415

2.3.7 Karadeniz Bölgesi

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait ışımm haritası Şekil 2.11'da, bölgenin güneşlenme süreleri ve ışımm değerleri Çizelge 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.11 : Karadeniz Bölgesi ışımm değerleri.

Çizelge 2.10 : Karadeniz Bölgesi illerine ait güneşlenme süreleri ve ışımm değerleri.

İl	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² - yıl)
Düzce	2365	1347
Bolu	2405	1419
Zonguldak	2386	1317
Bartın	2381	1310
Karabük	2407	1372
Kastamonu	2400	1367
Sinop	2350	1332
Samsun	2316	1338
Ordu	2265	1386
Giresun	2288	1438
Trabzon	2133	1398
Rize	2128	1407
Artvin	2130	1412
Çorum	2516	1422
Amasya	2431	1397
Tokat	2467	1424
Gümüşhane	2353	1503
Bayburt	2401	1532



3. ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK LED'Lİ YOL AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN YAPISI

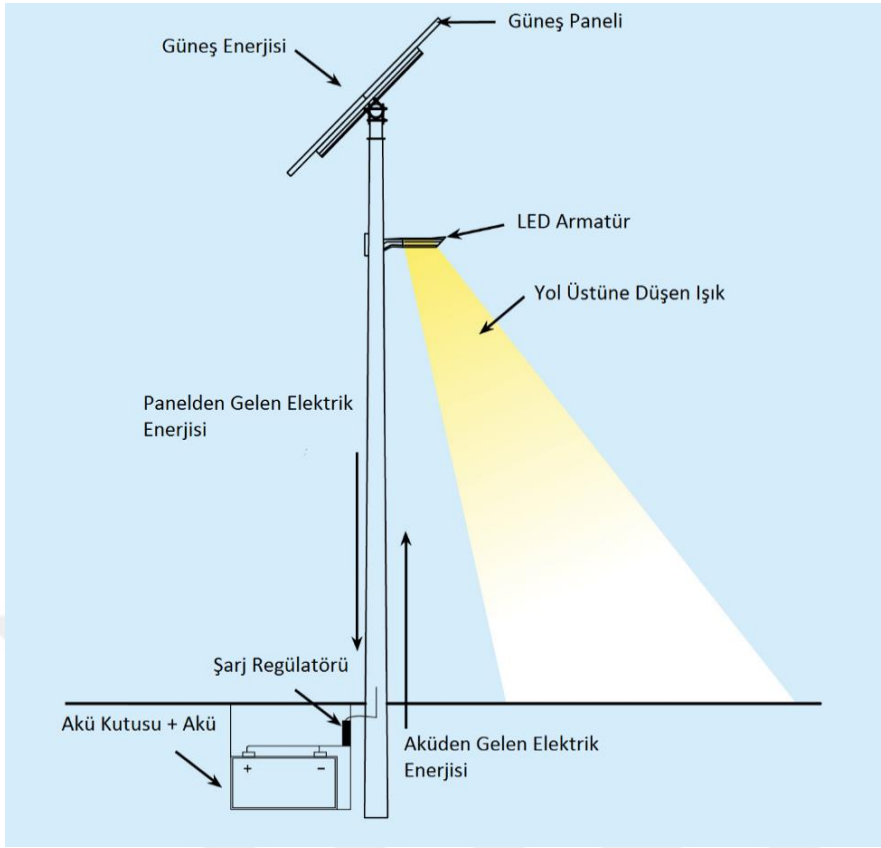
Şebekeden bağımsız bir fotovoltaik LED'li yol aydınlatma sistemi güneş paneli, akü grubu, şarj regülatörü ve LED armatürden oluşur. Sistemin temel bileşenleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Güneş panelleri üzerlerine gelen güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürerek akü grubunu şarj eder. Şarj olan akü aydınlatmaya ihtiyaç duyulan saatlerde yükün ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlar. Bir şarj regülatörü panelin çıkış gerilimini kontrol etmek, aküyü aşırı şarj ve deşarjdan korumak için görev yapar.

Şebekeden bağımsız PV yol aydınlatma sistemlerinin üstünlükleri şunlardır [16]:

- Hızlı ve basit kurulum
- Az bakım gerektirme
- Otomatik işletme
- Uzun ömür
- İletim ve dağıtım kayıplarının bulunmaması
- Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı
- CO₂ ve zararlı gaz emisyonlarının bulunmaması
- Çevreci politikaların bilinirliğine katkıda bulunma

Şebekeden bağımsız PV yol aydınlatma sistemlerinin ana sakıncaları olarak ise şunlar gösterilebilir:

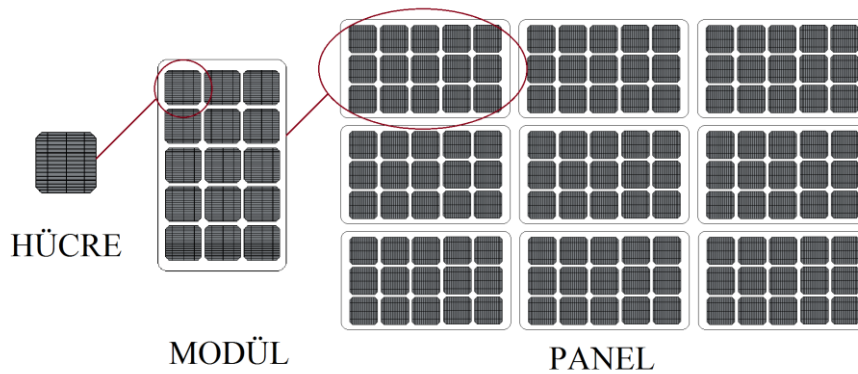
- Yüksek ilk yatırım maliyeti
- Hava şartlarının etkileri (güneş ışığı eksikliği gibi durumlar)
- Üretilen elektriğin tamamının tüketilememesi



Şekil 3.1 : Şebekeden bağımsız PV LED’li yol aydınlatma sisteminin yapısı [17].

3.1 Güneş Paneli

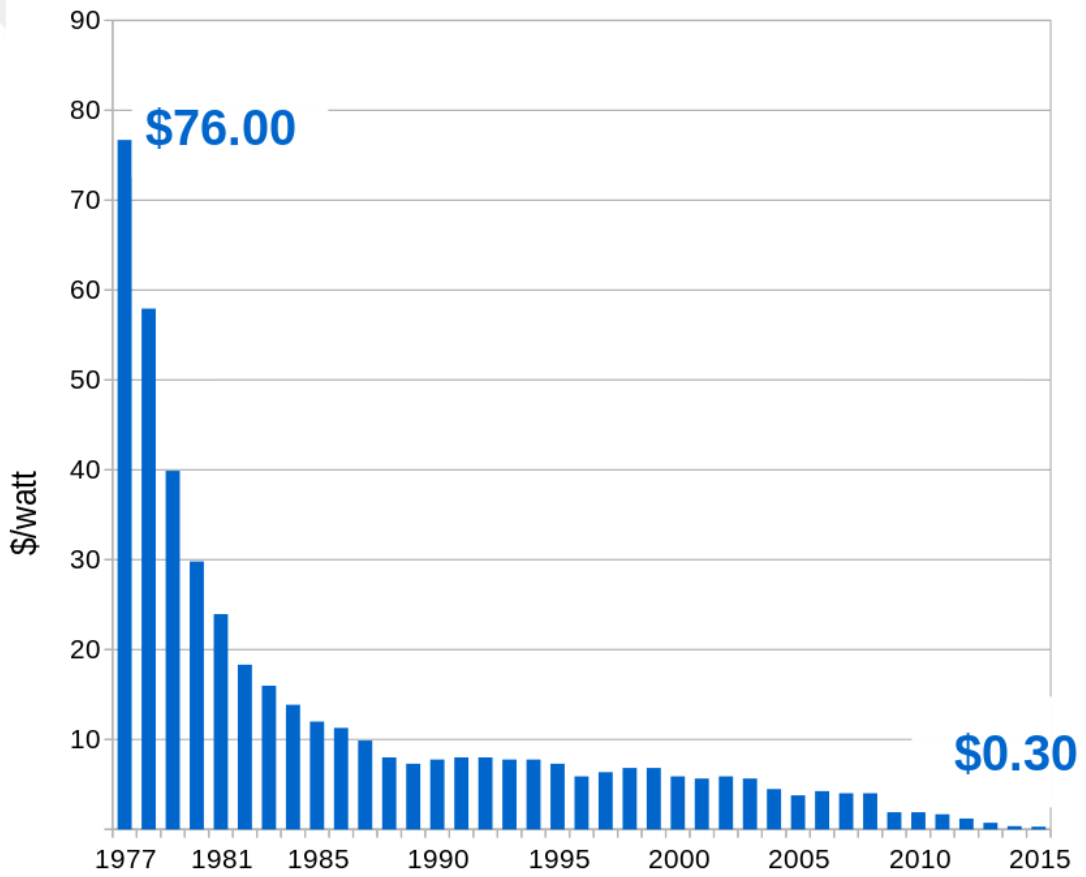
PV paneller güneş enerjisini elektriğe dönüştürmek için kullanılan cihazlardır. Bir PV panel çok sayıda modülün bir araya gelmesiyle oluşur (Şekil 3.2). Bir PV hücre 25-30 cm²’lik karesel bir yüzeye ve 0,2-0,4 mm kalınlığa sahip olup yaklaşık 1W’lık güç üretir. Güç üretimini arttırmak PV hücrelerin birbirlerine seri ve paralel kombinasyonlarda bağlanarak modüllerin elde edilmesiyle mümkündür [3].



Şekil 3.2 : Solar hücreden panel eldesi.

PV panellerin imalinde gelenellikle silisyum, galyum arsenit ve kadmiyum tellür gibi yarıiletken mazellemeler kullanılır. Bu malzemelerin yüksek maliyeti panel fiyatlarını arttıran unsurlardan olmasına rağmen son yıllarda malzeme teknolojisindeki ilerlemeler güneş paneli fiyatlarının fosil yakıtlarla rekabet edebilecek düzeye inmesini sağlamıştır.

Şekil 3.3'de PV hücre fiyatlarının son 35 yılda 100 kat ve son 15 yılda 10 kat düşüş gösterdiği görülmektedir (2005 ve 2008 yılları arasındaki küçük artışın sebebi polisilikon kıtlığıdır). 2009 ve 2010 yıllarında fiyatlardaki keskin düşüşün sebebi özellikle Çin'deki aşırı üretim olmuştur. 2015 yılının ilk çeyreğinde solar hücre fiyatları 0,30 \$ seviyesine inmiştir [18].

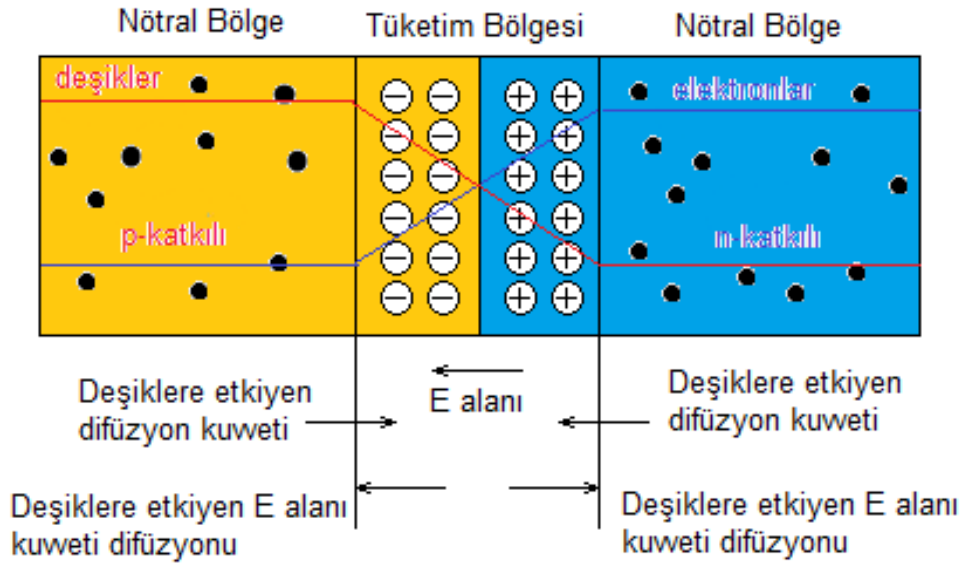


Şekil 3.3 : Watt başına \$ cinsinden kristal silikon fotovoltaik hücre fiyatları [18].

3.1.1 PV hücrenin çalışma prensibi

Güneş ışığı kaynaklı fotonlar farklı dalga boylarına göre farklı enerji miktarlarına sahiptir. PV hücre yüzeyine çarpan fotonlar yeterli enerjiye sahip oldukları takdirde yarıiletken malzemeden elektron kopararak elektrik üretilmesini sağlarlar.

Yarıiletkenlerin elektriği iletmeleri için katkılama adı verilen işlemlerle deşik ve elektron sayıları artırılır. Periyodik cetvelde 4. grupta bulunan ve dış yörüngesinde 4 elektron bulunan silisyum, dış yörüngesinde 5 elektron bulunan yani periyodik cetvelin 5. grubunda bulunan bir maddeyle katkılandığı zaman fosforun fazla olan elektronu sebebiyle kristal yapı negatif yüklenir. n tipi bölgenin oluşturulduğu bu işleme “n” tipi katkılama adı verilir. Aynı şekilde silisyum periyodik cetvelin 3. Grubundan bir elementle katkılandığı zaman kristal yapı pozitif yüklenir ve deşik oluşumu sağlanır. “p” tipi bölgenin oluşturulduğu bu işleme p tipi katkılama denir. Şekil 3.4’de görüleceği gibi n ve p tipi bölgelerin birleşim bölgesindeki p-n jonksiyonda bir elektrik alan meydana gelir [19].



Şekil 3.4 : Bir yarıiletkende p-n jonksiyonun gösterimi.

Bu elektrik alan, jonksiyon bölgesine ışık düşürüldüğünde oluşan elektron deşik çiftlerinin birbirlerinden ayrılmasını sağlar. Ayrılmanın sağlanabilmesi için jonksiyon bölgesine düşen fotonların dalga boylarının yasak enerji aralığından daha büyük enerjiye sahip olması gerekmektedir. Bu sayede birbirlerinden ayrılan elektron deşik çiftleri PV hücrenin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluşturabilmekte ve fotovoltajik olay bu şekilde gerçekleştirilmiş olmaktadır Hücre bir devreye bağlandığında elektrik akımı meydana gelir [20].

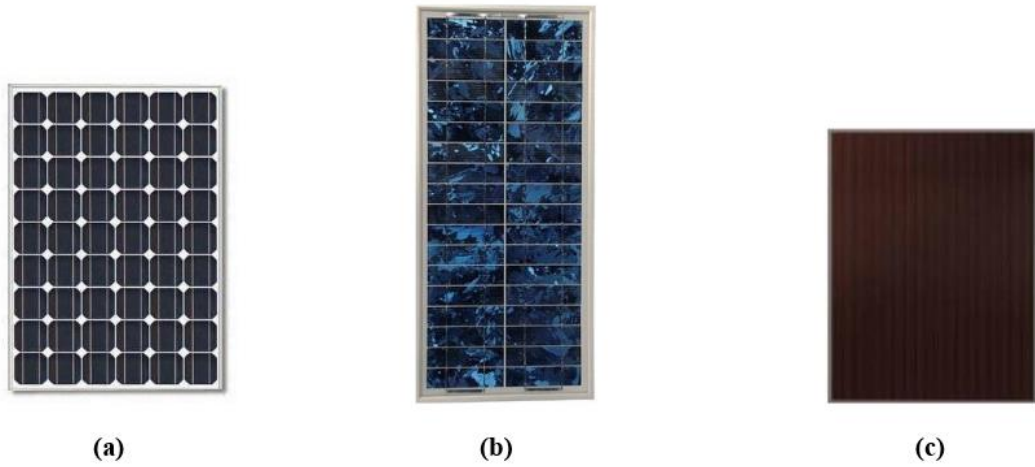
3.1.2 PV panel tipleri

PV panel uygulamalarında kullanılan üç ana güneş panel tipi vardır. Bunlar monokristal, polikristal ve ince film panellerdir (Şekil 3.5).

Monokristal güneş panelleri yüksek maliyetli ve yüksek verimli panellerdir. Monokristal panelin her bir hücresi tek bir kristal silikondan elde edilir. Yüksek verimlerinden ötürü bu panellerin yer kazanımları yüksektir ve kurulum alanının sınırlı olduğu uygulamalarda kullanılmaları avantajlıdır. 1 kWp için ihtiyaç duyulan panel alanı 6-7 m²'dir. Performansları düşük güneş ışığı şartlarında düşer. Verimleri %15-20 arasında değişmektedir.

Polikristal panel birden fazla silikon kristal kullanılarak yapılan üretim sürecinin sonucu olan parçalanmış cam görünümüyle karakterize edilmiştir. En sık kullanılan panel türüdür. Piyasada bulunan panellerin %80'i polikristal teknolojiye sahiptir. Monokristal panellerden daha az verimli ancak aynı zamanda daha az maliyetlidirler. Verimleri %13-16 arasında değişmektedir. 1 kWp için ihtiyaç duyulan panel alanı 8-9 m²'dir.

İnce film paneller ince ve esnek bir yapıya sahiplerdir. Ucuzdurlar ve gölgelenmeden etkilenmezler. Yüksek sıcaklıklara dayanım sağlarlar. Verimleri %6-8 arasında değişir. Verimlerinin düşük olması ve yüksek güç elde etmek için daha fazla alana ihtiyaç duymaları dezavantajlarıdır. 1 kWp için ihtiyaç duyulan panel alanı 13-20 m²'dir [21].



Şekil 3.5 : Üç ana güneş paneli tipi a) Monokristal, b) Polikristal, c) İnce Film [18].

3.1.3 Güneş açıları

Astronomi biliminde güneşin yeryüzüne göre hareketlerini inceleyen çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler arasından en yaygın olarak kullanılanı dünyayı dev bir kürenin merkezine alan ve yıldızlar ile güneşi bu dev kürenin üzerindeki noktalar olarak kabul eden gökküre sistemidir. Burada, güneş açıları gökküre sistemine göre verilmiştir [24].

3.1.4.1 Zenit açısı

Yeryüzü normalinin yüzeyle buluştuğu nokta zenit noktası olarak adlandırılır ve “z” ile gösterilir. Zenit noktası ile güneşin pozisyonu arasındaki açı ise zenit açısı olarak adlandırılır ve “ θ ” ile gösterilir. Güneş ışınları yeryüzüne dik geldiği zaman güneş zenit noktasında sayılır ve zenit açısı 0’a eşittir. Güneşin doğuşu ve batışında zenit açısı 90° olur. Solar zenit açısı zaman, gün sayısı ve enlemin bir fonksiyonudur ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir [24, 25];

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (3.6)$$

Burada;

δ : deklinasyon açısı

φ : gözlemcinin enlem açısı

ω : saat açısı’dır.

3.1.4.2 Saat açısı

Göz önüne alınan yerin boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğru, yani güneş ışınlarının belirttiği boylam arasındaki açıdır.

Sabahları pozitif (+) değerdedir ve öğleye doğru sifıra yaklaşır. Öğleden sonra negatife (-) dönüşür. Saat açısını ölçmek için bilinen açılara göre iki eşitlik kullanılabilir:

$$\sin \omega = - (\cos \alpha \cdot \sin Az) / \cos \delta \quad (3.7)$$

ve

$$\sin \omega = - (\cos \alpha \sin \varphi) / (\cos \delta \cos \varphi) \quad (3.8)$$

Burada:

ω : saat açısı

α : yükseklik açısı

A_z : solar azimut açısı

φ : gözlemcinin enlem açısı

δ : deklinasyon açısı

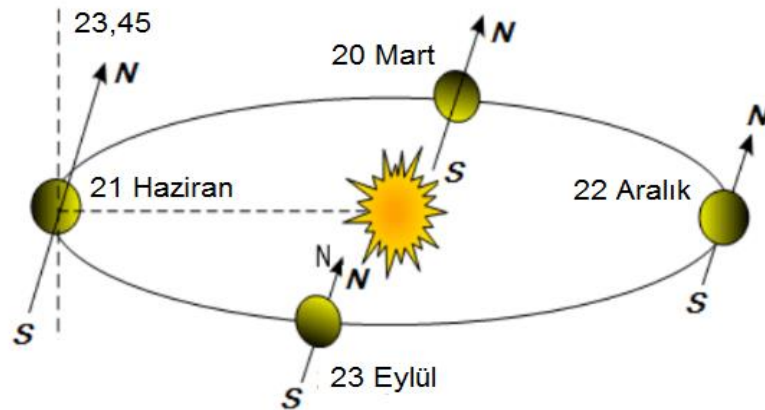
15°'lik saat açısı değişimi 1 saatlik zaman değişimine denktir [24].

3.1.4.3 Azimut açısı

Güneş panellerinin yerleşiminde kullanılır. Panel düzleminin güneyle arasındaki açıyı belirtir. Güneye bakan bir panelin azimut açısı 0°'dir. Panel yüzeyi tamamen batıya bakıyorsa azimut açısı 90°, doğuya bakıyorsa -90°'dir [24].

3.1.4.4 Deklinasyon açısı

Güneşin deklinasyon açısı ile gösterilir. Güneşin doğrultusu ile ekvator düzlemi arasındaki açıdır. Yıl içerisinde 21 Haziran ve 22 Aralık arasında +23,5° ile +23,5° dereceleri arasında değişir. Ekinokslarda (20 Mart ve 23 Eylül) güneş ışınları ekvatora paralel düştüğü için bu zamanlarda deklinasyon açısı sıfıra eşittir. Deklinasyon açısının değişimi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Yıl içerisinde dünyanın güneş etrafındaki pozisyonları ve deklinasyonu [25].

Deklinasyon açısı, aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$\delta = 23.45 \frac{\pi}{180} 2\pi \left(\frac{284 + n}{36.25} \right) \quad (3.9)$$
$$(3.8)$$

Burada;

δ radyan cinsinden deklinasyon açısı, n ise gündür. Örneğin; 2 Ocak için $n=2$ alınır [25].

3.2 Akü Grubu

Aküler elektrik enerjisinin depolanmasında kullanılır. Geceleri güneş enerjisi mümkün olmadığı için şarj regülatöründen gelen elektrik enerjisi gündüz vakti aküde depolanır. PV sistemlerde kurşun asit, nikel-kadmiyum ve nikel-metral-hidrit aküler kullanılır. PV yol aydınlatma sistemlerinde en sık kullanılan akü tipi kurşun asit akülerdir. Kurşun asit aküler düşük maliyet, %80-90 deşarj ve şarj verimlerine rağmen kapasite kaybına uğramama ve bakım gerektirmeme gibi sebeplerle genellikle şebekeden bağımsız aydınlatma sistemlerinde sıkça tercih edilen akü tipleridir [26].

Kurşun asit akü tipleri arasından sulu tip kurşun asit aküler, jel elektrolitli aküler ve AGM (Absorbed Glass Mat) aküler PV yol aydınlatma sistemleri için uygundur. Tercih edilmelerinin en önemli sebebi binlerce şarj-deşarj döngüsünden sonra bile %80'e kadar deşarj olma kapasitelerini koruyabilmeleridir [27].

Akülerle ilgili bilinmesi gereken bazı temel kavramlar şunlardır [28]:

Şarj Durumu (State of Charge – SoC): aküde depolanmış elektrik enerjisinin akünün depolama kapasitesine oranı olarak ifade edilir. %20 deşarj olmuş bir akünün SoC değeri %80'dir.

Deşarj Derinliği (Depth of Discharge – DoD): akünün bir döngüde kapasitesinin ne kadarına kadar boşalabileceğini gösterir. Akünün çeşidine göre değişmekle birlikte genel olarak akülerin tamamen boşaltılmaması daha sağlıklıdır. Uygulamada %70'e kadar boşaltıma izin verilmesi uygun olabilir. %75'e kadar boşaltıma izin verilen bir aküde DoD değeri %25'tir.

Şarj/deşarj Döngüsü (Cycle): Başlangıçta boş olan bir akünün nominal kapasitesine kadar şarj olup bir kezdeşarj olması işlemidir. Bu işlem 1 şarj/deşarj döngüsü ya da çevrim olarak adlandırılır.. Tipik bir PV aydınlatma sistemi için bir akünün şarj döngüsü PV panellerin aktif olduğu ve enerjinin gün içerisinde aküde depolandığı periyottur. Deşarj döngüsü ise yükün aküden alındığı ve gece aydınlatmada kullanıldığı periyottur. Deşarj derinliğinin az olması çevrim sayısının fazla olması anlamına gelir.

3.2.1 Akü grubunun konumlandırılması

Şebekeden bağımsız bir PV yol aydınlatma sisteminde aküler ihtiyaca göre direkte, yer altında veya yerde konumlandırılabilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Direk üzerinde, yer altında ve yerde akü konumlandırılması [29].

Direkte: Yerin üstünde, direğe monte edilmiş aküler modüllerin hemen altında bulunur. Bu sistemde armatür ve akü arasındaki kablolama kısadır. Dolayısıyla güç kaybı daha azdır. Aküye bakım için ulaşım kolay değildir ancak gelişmekte olan ülkelerdeki çalıntı vakalarının yüksek olması sebebiyle sistem güvenliği açısından faydalıdır.

Yer altında: Akü hava şartlarından etkilenmez ancak enerji iletimi için kablo uzunluğu fazladır. Akünün ısınma probleminden kaynaklı verim kaybı sorununa da bir çözümdür. Hırsızlık vakalarına karşı emniyet sağlar.

Yerde: Direk dibinde konumlandırılan aküye bakım durumunda ulaşılması kolaydır. Direğe tırmanma ve aküye ulaşmak için toprağı kazma ihtiyacı yoktur. Ancak

akünün hırsızlık vakalarına karşı güvenliği azdır ve daha emniyetli bir şekilde muhafaza edilmesi gerekir. [29].

3.2.2 Akü grubu seçilirken dikkat edilmesi gereken hususlar

Akü seçiminde sistemin şebekeden bağımsız olduğu göz önünde bulundurulmalı ve düzgün bir boyutlandırma yapılmalıdır. Akü kapasitesinin armatür yükünü karşılamadığı durumlarda (undercharge) akü elektrolitinin hasar görme riski bulunur. Akünün çeşidi, bakım gereksinimleri, garantisi, ömrü, ilk yatırım ve yenileme maliyeti gibi faktörler akü seçiminde dikkate alınmalıdır. Panelin güneş görmeyeceği günler göz önünde bulundurulmalı, akünün tamamen deşarj olmayacağı ve uygulamada %70-80'e kadar boşaltıma izin verileceği hesaba katılmalıdır [27].

3.2.3 Akü ömrünü etkileyen faktörler

Akü çevrim ömrünü etkileyen faktörler [27]:

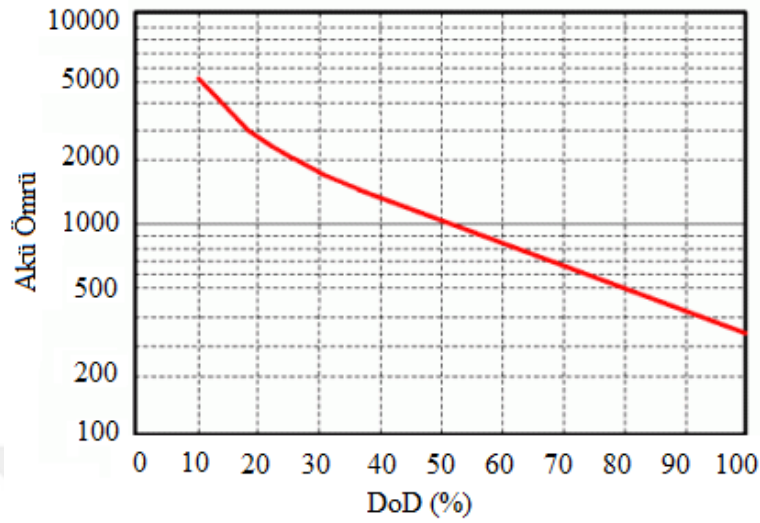
- Fotovoltaik panellerin düzgün boyutlandırılması
- Akü tipi
- İklim (sıcaklık)
- Şarj etme yöntemleri
- Akü bakımı
- Ortalama SoC
- Frekans ve DoD'dır.

Sıcaklık akü ömrüne etkileyen en önemli değişkenlerdendir. Yüksek sıcaklıklar akü içerisinde korozyonu artırır, daha büyük gaz çıkışı ve elektrolit kaybına sebep olurlar. Düşük sıcaklıkta bir ortamda bulunması akünün ömrünü uzatır.

Sıcaklık hücrelerin iç direncini değiştirerek pilin performansını etkiler. Donma derecesindeki sıcaklık deşarj oranını düşürür ancak akünün şarj tutma süresini artırır. 40°C üzerindeki sıcaklıklar düşük sıcaklıklarla karşılaştırınca tam tersi bir reaksiyon sergiler ve yüksek deşarj oranları sağlar. Bu enerji kaybı akünün iç direnci ve yeniden şarjı sırasında üretilen ısı nedeniyle [26].

Aşırı şarj ve aşırı deşarj durumlarından kaçınarak akünün kontrollü bir şekilde şarj edilmesi, yüksek SoC sağlama, frekansı ve DoD değerini sınırlama, düşük sıcaklık ve periyodik bakım sağlanması akü ömrünü yüksek seviyede tutar. Şekil 3.9'da şarj derinliği ve akü ömrü arasındaki ilişki gösterilmiştir. Aküler genellikle 20-25°C

ortam sıcaklığında tam kapasitede çalışır [27]. Sıcaklığın artması akü ömrünü olumsuz olarak etkiler. 8°C sıcaklık artışı akü ömrünü yarı yarıya azaltır [28].



Şekil 3.9 : Şarj Derinliği (DoD) ile akü ömrünün değişimi [28].

3.3 Şarj Regülatörü

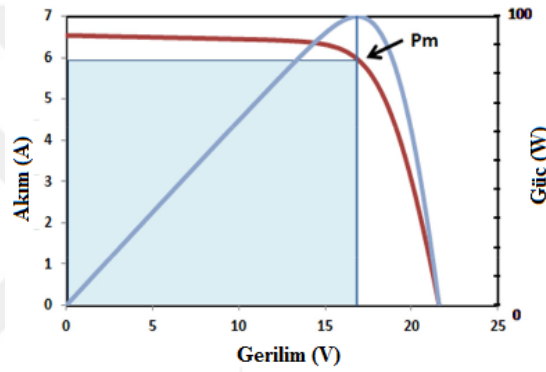
Şebekeden bağımsız PV yol aydınlatma sistemlerinde aküyü aşırı şarj ve aşırı deşarjdan korumak gerekir. Şarj regülatörü, akünün şarj kapasitesi dolduğunda fotovoltaiik panellerle akü arasındaki enerji akışını keserek veya akünün şarj durumu belirlenen seviyenin altına indiğinde aydınlatma yükünü aküden ayırarak akünün zarar görmesini önler. Şarj regülatörü ayrıca gün doğumu ve gün batımı gibi belirlenmiş vakitlerde yükü devreye alıp devreden çıkararak yükün kontrol edilmesini sağlar [30]. Şarj regülatörleri 12V/ 24V/ 48V ve 6A'dan 150 A'ya kadar üretilmektedir. Şarj regülatörünün seçiminde fotovoltaiik panelle aynı gerilim değerinin seçilmesi uygundur. Kurulacak sistemin özelliklerine göre PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) veya MPPT (Maksimum Güç Noktası Takipçisi) şarj regülatörleri arasından seçim yapılır [31].

3.3.1 Regülatör seçimi

PWM şarj regülatörü güneş panelini akü grubuna bağlayan bir tür anahtar olarak düşünülebilir. PWM şarj regülatörü kullanılması durumunda güneş paneli gerilimi akü gerilimine çekilir. PWM, MPPT'ye göre daha az maliyetli ve daha basit bir çözümdür. Düşük güçlü uygulamalarda kullanılması daha avantajlıdır.

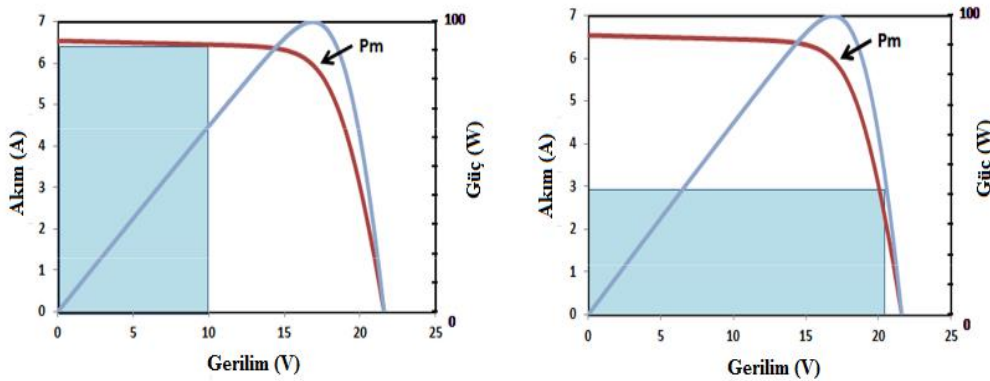
MPPT şarj regülatörünün 150W ve daha yüksek güçlü uygulamalarda kullanılması daha uygundur. Bir tür DC-DC transformatör olarak çalışan MPPT şarj regülatörü PV panellerden maksimum gücü elde etmek için kendi giriş gerilimini ayarlar ve bu gücü akü + yükün değişken gerilim ihtiyacını karşılamak için dönüştürür. Böylece panel ve akü gerilimlerini ayırmış olur. Bu sayede MPPT regülatörün bir tarafında 12V gerilimli akü ve diğer tarafında 24V veya 36V gerilime sahip PV paneller bulunabilir.

Genel olarak MPPT'nin PWM'ye karşı soğuk ve ılıman iklimlerde üstün olduğu görülür. Sıcak ve tropik iklimlerdeyse iki regülatör hemen hemen aynı performansı göstermektedir [31].



Şekil 3.10 : Mavi dikdörtgenin alanı güçle doğru orantılıdır $P_m = V_m \times I_m$ [31].

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de grafiklerde P_m maksimum gücü, I_m ve V_m maksimum akım ve gerilimi ifade eder. Grafikte gösterilen mavi dikdörtgen $V_m \times I_m$ çarpımını yani gücü belirtir. Şekil 3.10'da maksimum gücün elde edildiği durum için grafik verilmiştir. Şekil 3.11'de gerilim düşmesi veya yükselmesi durumlarında panelden maksimum güç çıkışı elde edilemediği görülmektedir.



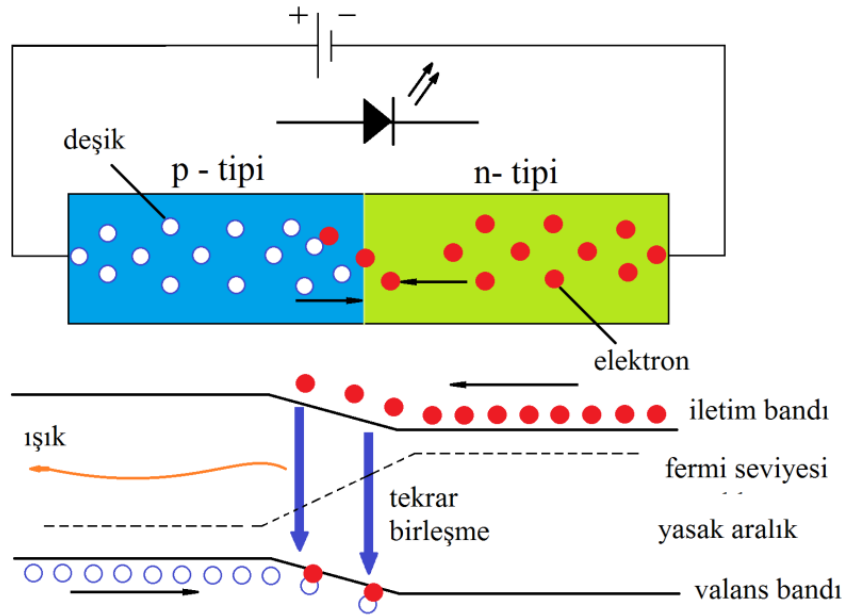
Şekil 3.11 : Aşırı düşük ve aşırı yüksek gerilimlerde düşük güç eldesi [31].

Fotovoltaik panellerden maksimum güç çıkışı eldesi için şarj regülatörünün mevcut akım-gerilim eğrisindeki optimum akım-gerilim noktasını yani maksimum güç noktasını seçebilmesi gerekmektedir ve bir MPPT şarj regülatörünün görevi budur.

PWM şarj regülatörünün giriş gerilimi prensipte PWM'nin çıkışına bağlı olan akünün gerilimine (kablolama ve şarj regülatöründeki gerilim kayıpları da dahil edilerek) eşittir. Güneş paneli PWM şarj regülatörüyle pek çok durumda maksimum güç noktasında kullanılmaz [31].

3.4 LED

LED (ışık yayan diyot) bir çeşit diyottur ve elektrolüminesan ışık üretim prensibiyle çalışır. Bir p-n jonksiyonda yarıiletkenin p bölgesinden n bölgesine elektron akışı sırasında elektronların yarıiletkenin n bölgesinde deşiklerle birleşmesi işlemi sonucunda ışık yayan foton açığa çıkar (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 : Elektrolüminesanın şematik açıklaması.

LED'ler ilk olarak 1962 yılında ABD'de icat edilip ve uzun yıllar boyunca yalnızca tanıtım levhalarında reklam amaçlı ve sinyalizasyon uygulamalarında kullanılmıştır. Malzeme teknolojisindeki gelişmelerle birlikte son on yıl içerisinde LED'ler iç ve dış aydınlatmada efektif olarak kullanılır hale gelmiştir.

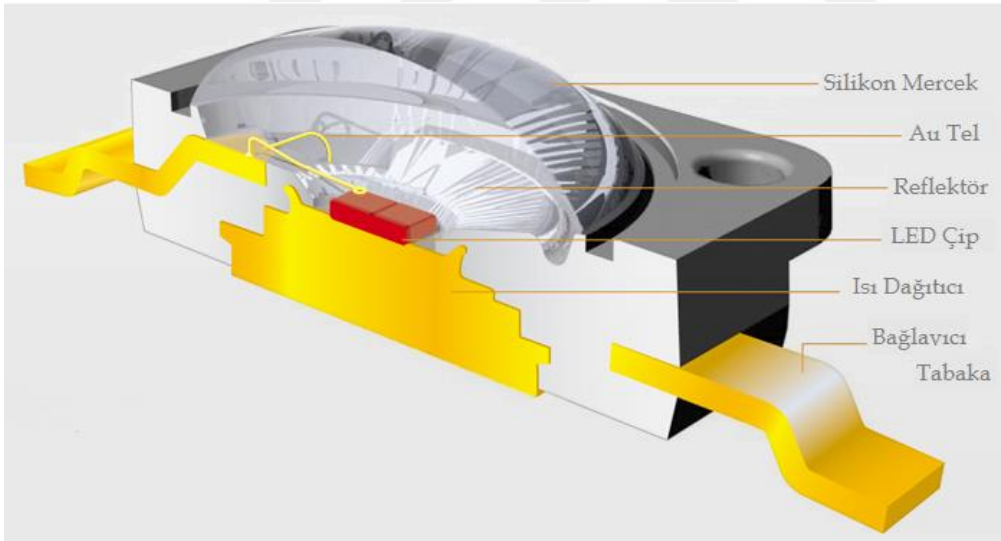
LED'ler ortalama 50.000 saat çalışma ömrüne (laboratuvar şartlarında 100.000 saat) sahiptir. Etkinlik faktörleri yüksektir. Geleneksel aydınlatma elemanlarının aksine

darbe ve titreşimlere dayanıklı bir yapıya sahiplerdir. Bakım&işletme maliyetleri düşük, ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Kontrole müsait yapıları sayesinde farklı renk ve ambiyans etkileri sağlamak için kullanılabilirler. Yüksek parlantıları sayesinde düşük görme açılarında dahi görülebilirler [32].

Bir LED aşağıdaki unsurlardan oluşur, (Şekil 3.13):

- LED çip (ışık yayan kısım)
- Au tel
- Isı dağıtıcı
- LED çipi metal soğutucuya bağlayıcı tabaka
- Reflektör
- Silikon mercek

LED çip, bir ışık geçiren iletken film ile bir ışık yansıtan film arasında yerleştirilmiş p-n jonksiyon yarıiletkenidir. Işık geçiren film çoğunlukla iletken camdır, ışık yansıtan film ise buharlaştırılarak kaplanmış metal, çoğunlukla alüminyumdur.



Şekil 3.13 : LED'in yapısı [33].

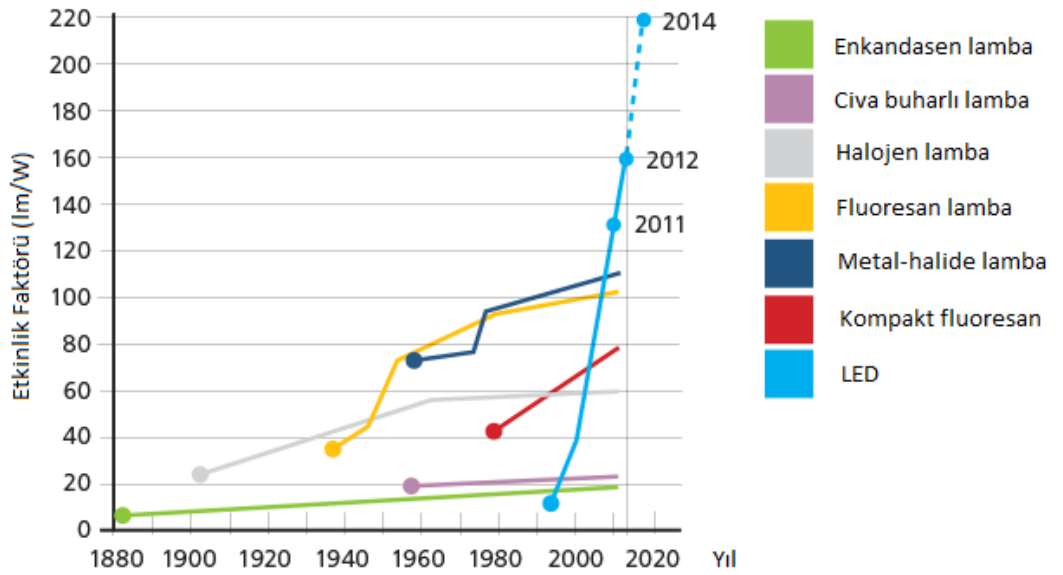
LED'lerin yapısında genellikle galyum arsenit (GaAs) ve galyum fostfit (GaP) bulunur. LED'lerde kullanılan malzemeler ve kullanım oranlarına göre verdikleri renkler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir [34].

LED'lerin piyasaya girmesinden önce enkandesan ve elektrik deşarj lambaların etkinlik faktörleri 100-110 lm/W seviyesine dayanmıştı. LED'ler ise günümüzde 200 lm/W etkinlik faktörüne ulaşabilmiştir (Şekil 3.14) [35].

Çizelge 3.1 : Önemli yarıiletkenlerin özellikleri.

Tepe Dalga Boyu (nm)	Renk	LED'in Malzemesi ve Yapısı
700	Kırmızı	GaP: Zn-O/GaP
660	Kırmızı	GaAl _{0.35} As/GaAs
630	Kırmızı	GaAs _{0.35} PO _{0.65} : N/GaP
610	Turuncu	GaAs _{0.25} PO _{0.75} : N/GaP
590	Sarı	GaAs _{0.15} PO _{0.85} : N/GaP
565	Yeşil	Gap: N/GaP

LED'lerin geleneksel aydınlatma elemanlarının yeini almasıyla sağlanabilecek tasarruf miktarının 1 milyar petrol eşdeğeri olduğu tahmin edilmektedir. Bu değer enerji üretimi 2,5 TWh/yıl olan 200 nükleer enerji santralinin üretim kapasitesine denk gelmektedir. Aynı zamanda bu tasarrufla birlikte karbondioksit emisyonlarında yıllık 270 milyon ton azalım sağlanabilir [36].



Şekil 3.14 : Işık kaynağı etkinlik faktörü trendleri [37].

LED'lerin üstünlükleri şunlardır [32, 9];

- Küçük boyutludurlar (soğutucu büyük olabilir)
- Fiziksel olarak dayanıklıdırlar.
- 50.000 saat gibi uzun işletme ömürlerine sahiplerdir (uygun ısıl tasarım ile).
- Anahtarlamamanın ömür üzerinde etkisi yoktur.
- Civa içermezler.
- Etkinlik faktörleri yüksektir (lm/W).
- Işınımında optik ısınma yoktur.

- Kontrol sistemleriyle uyum içinde çalışırlar. Loşlaştırma işlemi kolaylıkla sağlanır.
- Düşük gerilimle çalışırlar.
- Düşük ortam sıcaklıklarında yüksek performansa sahiplerdir.
- Bakım gerektirmezler.

LED'lerin sakıncaları şunlardır [32, 40];

- Maliyetleri yüksektir.
- Standart eksiklikleri bulunmaktadır.
- Renksel geriverimleri düşük olabilir.
- Küçük lamba boyutlarında yüksek ışık çıkışından ötürü kamaşma riski bulunur.
- Isıl tasarıma ihtiyaç vardır.
- Tasarım ve üretim deneyimsizliği bulunmaktadır.

LED, YBSBL'den daha düşük güçlerde aynı aydınlatma şartlarını sağlayabildiği için şebekeden bağımsız yol aydınlatma sistemlerinde kullanılması halinde sistem bileşenlerinin (akü, panel, direk, bakır kablo) daha düşük boyutlarda tasarlanmasına ve sistemin daha az maliyetli olmasını sağlayabilirler. Aynı zamanda LED armatürlerin uzun ömürlü olmaları yenileme ve bakım maliyetlerinin azalmasına yarar [36].

LED lambalar 110°'lik açıyla çevrelerine ışık yayarken civa ve sodyum buharlı lambalar 360°'lik açıyla ışık yayarlar ve bu sebeple LED'lerin tersine ışığın dağılmadan belli bir noktayı hedeflemesini sağlamak için reflektörlere ihtiyaç duyarlar. LED lambanın yaydığı ışığın %85'ten fazlası yol yüzeyine vururken bu oran sodyum ve civa buharlı lambalarda %40-50 seviyesindedir [10].

4. YOL AYDINLATMASI

Türkiye’de toplam elektrik enerjisinin %20’si aydınlatma tesisatlarında kullanılmaktadır. Enerji verimli aydınlatma uygulamaları kullanılarak ülkenin aydınlatmada %40 enerji tasarrufu sağlama potansiyeli bulunmaktadır. Bu orana ulaşılabilirse 16 milyar TL’lik enerji tasarrufu elde edilebileceği öngörülmektedir. Bu miktar (190 milyon ağaç tarafından temizlenebilecek) 4,2 milyon ton CO₂ emisyonu, 13 milyon varil petrol ve Keban Barajı’nın toplam enerji üretimine eşdeğerdir [37].

Yol aydınlatması kavşak, meydan, sokak, şehir içi ve dışı ana trafik yollarının yol aydınlatma tesisatlarıyla aydınlatılmasıdır [39]. 2014 TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre Türkiye’deki 207375 GWh’lık elektrik tüketiminin %1,9’u genel aydınlatma amaçlı kullanılmıştır (Çizelge 4.1) [41]. Toplam elektrik enerjisi tüketiminde genel aydınlatmanın payı teknolojik gelişmelerle birlikte armatürlerin etkinlik faktörlerinin artması ve enerji verimli armatürlerin yaygınlaşmasıyla düşmektedir. Genel aydınlatma; otoyollar ve özelleştirilmiş erişime kontrollü karayolları hariç, kamunun genel kullanımına yönelik bulvar, cadde, sokak, alt-üst geçit, köprü, meydan ve yaya geçidi gibi yerler ile halkın ücretsiz kullanımına açık ve kamuya ait park, bahçe, tarihî ve ören yerlerinin aydınlatılması ile trafik sinyalizasyonunu ifade eder [40]. Genel aydınlatmada enerji tüketiminde en büyük pay yol ve sokak aydınlatmasına aittir. [41].

Çizelge 4.1 : Elektrik enerjisi tüketiminde genel aydınlatmanın payı.

Yıl	Toplam Tüketim (GWh)	Genel Aydınlatmanın Payı (%)
2003	111766	4,5
2004	121142	3,7
2005	130263	3,2
2006	143071	2,8
2007	155135	2,6
2008	161948	2,5
2009	156894	2,5
2010	172051	2,2
2011	186100	2,1
2012	194923	2,0
2013	198045	1,9
2014	207375	1,9

Yol aydınlatmasının amacı, iyi görme koşulları gerçekleştirilerek trafikteki tehlikelerin farkına vaktinde ve kolaylıkla varılmasını sağlamaktır. Yol aydınlatmasının ekonomik ve sosyal faydaları şu şekilde sıralanabilir [39][43];

- Sürücülerin objeleri seçebilme kabiliyeti yükselir.
- Araç ve yaya emniyeti artar.
- Trafik akışı rahatlar.
- Ekonomik ve ticari faaliyetlerin gece de sürdürülmesini sağlar.
- Suç oranlarının düşmesini sağlar.
- İnsanlara sosyal faaliyetlerle daha fazla meşgul olma fırsatı verir, iyi olma duygularını arttırır.
- Kırsal bölgelerde vahşi hayvanlara karşı güvenlik sağlar.

Yapılan istatistiksel çalışmalara göre trafikteki araçların sadece %25'i 19:00-08:00 saatleri arasında seyahat etmelerine rağmen ölümcül ve ciddi yaralanmalarla sonuçlanan kazaların oranı bu saatler arasında %40'tır. Yapılan çalışmalarda aydınlatma kriterlerinin düzgün olarak uygulandığı yol ve meydanlarda suç oranlarının %20 ve işlenen suçların şiddet oranlarının %40 seviyesinde azaldığı görülmüştür [44].

4.1 Yol Aydınlatma Kriterleri

Günümüzde yol aydınlatma kriterleri Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) önerileri ve Avrupa Birliği Standartları (CEN) göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Bu kriterlerin belirlenmesinde her ülke, kendi coğrafi, ekonomik, iklimsel ve kültürel durumunu göz önünde bulundurarak tercihlerini belirlemektedir.

2006 yılına kadar CIE 12- 1977 numaralı öneriyi dikkate alarak projelerini gerçekleştiren TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi), 2006 yılından itibaren CIE 115-1995 numaralı öneri ile içerik olarak aynı olan BS EN 13201 numaralı standardı dikkate alarak projelerini gerçekleştirmeye başlamıştır [44]. Yol aydınlatması kriterlerinin belirlenmesi konusunda CIE' nin 115 no'lu bu yayınına göre yollar kullanım amaçları, kullanıcı tipleri, trafik yoğunluğu ve kontrolüne göre Çizelge 4.2'deki gibi sınıflandırılmaktadır. 1995'ten sonra güç tüketimleri ve çevresel etkiler daha önemli bir hal almış, aynı zamanda armatür ve lambaların artan

performansları ve özellikle elektronik kontrol ekipmanlarının kullanıma girmesiyle CIE 115-1995 numaralı önerinin revize edilmesi ve güncellenmesi ihtiyacı duyulmuştur ve bu sebeple geliştirilen 115-2010 numaralı bir öneri daha bulunmaktadır [46].

Çizelge 4.2 : CIE 115-1995'e göre yol tanımları ve aydınlatma sınıfları.

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 (Not 3) 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

Burada; 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 (Her bir trafik cinsinin kullanacağı şeridin kesin olarak ayrıldığı yerler, örneğin otobüs yolu, bisiklet yolu vb.).

Çizelge 4.3'de CIE115-1995'e göre aydınlatma sınıfları için sağlanması gereken yol aydınlatması kriterleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : CIE 115-1995'e göre aydınlatma sınıfları için sağlanacak yol aydınlatması kriterleri.

Aydınlatma sınıfı	Lo(cd/m ²)	U _o	U _l	TI (%)
M1	≥2,0	≥0,4	≥0,7	≤10
M2	≥1,5	≥0,4	≥0,7	≤10
M3	≥1,0	≥0,4	≥0,5	≤15
M4	≥0,75	≥0,4	-	≤15
M5	≥0,5	≥0,4	-	≤15

Türkiye’de şehirlerde ve kırsal bölgelerde bulunan yaklaşık 5 milyon aydınlatma direğinin tesis ve bakım sorumluluğu TEDAŞ’a aittir. Son yıllarda İstanbul, Ankara, İzmir gibi şehirlerde bu yükümlülük büyükşehir belediyelerine geçmiştir. Lüzumundan fazla enerji tüketiminin önüne geçmek ve iyi görme koşullarının sağlandığı bir yol aydınlatması için detaylı tasarım hesaplarının yapıldığı optimum yol aydınlatması çözümlerine ihtiyaç vardır.

Bir yol aydınlatma sistemi tasarımının yatırım ve işletme maliyetlerini etkileyecek değişkenler şunlardır;

- Sistemin kurulacağı yol için aydınlatma kriterleri
- Yol yüzeyine ait yansıtma özellikleri
- Lamba ve armatür seçimi
- Tasarım hesaplarının yapılması

Yol aydınlatma sınıflarına göre sağlanması gereken aydınlatma kriterlerinin gerçekleştirilebilmesi için yol yüzeylerinin yansıtma özellikleri de hesaba katılmalıdır. Türkiye’de KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü) kontrolündeki tüm yollar R3 sınıfı olarak kabul edilmektedir. Bunun nedeni Türkiye’de yol yüzeyi yansıtma özelliklerinin tasarım aşamasında belirlenememesidir. [45].

Teknik şartname ve yönetmeliklerin eksikliği nedeniyle TEDAŞ, İTÜ Enerji Enstitüsü danışmanlığıyla gerçekleştirdiği çalışmalar sonucunda Türkiye için Çizelge 4.4’de gösterilen yol tanımları ve bunlara ait yol aydınlatma sınıflarını yeniden belirlemiştir [46].

Çizelge 4.4 : Türkiye için şehir içi yol tanımları ve yol aydınlatma sınıfları.

Yol Tanımı	Aydınlatma Sınıfı
Şehir bağlantı ve çevre yolları (tek veya iki yönlü, kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri dahil)	
- Hız ≥ 90 km/h ;	M1
- Hız < 90 km/h ;	M2
Şehir içi ana güzergahlar (bulvarlar ve caddeler ; ring yolları ; dağıtıcı yollar)	
- $50 \text{ km/h} \leq \text{Hız} < 90 \text{ km/h}$; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ;	M1
- $50 \text{ km/h} \leq \text{Hız} < 90 \text{ km/h}$; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ;	M2
- Hız < 50 km/h ;	M3
Şehir içi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları)	
- Hız ≥ 50 km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ;	M3
- Hız ≥ 50 km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ;	M4
- Hız < 50 km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var ;	M4
- Hız < 50 km/h ; 3 km' den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok ;	M5
Yerleşim (ikametgah) bölgelerindeki yollar	
- $30 \leq \text{Hız} < 50$ km/h ; suç oranı yüksek;	M4
- $30 \leq \text{Hız} < 50$ km/h ; suç oranı normal;	M5
- Hız < 30 km/h ; suç oranı yüksek;	M5
- Hız < 30 km/h ; suç oranı normal;	M6

M1, M2, M3, M4, M5 ve M6 olarak belirlenen altı aydınlatma sınıfı için ilgili yolda sağlanması gereken aydınlatma kalite büyüklükleri Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 : Aydınlatma sınıfları için sağlanacak yol aydınlatması kriterleri.

Aydınlatma sınıfı	$L_o(\text{cd/m}^2)$	U_o	U_1	TI (%)	SR
M1	$\geq 2,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	≤ 10	$\geq 0,5$
M2	$\geq 1,5$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	≤ 10	$\geq 0,5$
M3	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
M4	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
M5	$\geq 0,5$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	≤ 15	$\geq 0,5$
M6	$\geq 0,3$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	≤ 15	-

L_o : Yolun ortalama parlıltısı (cd/m^2)

U_o : Ortalama düzgünlük ($U_o=L_{\min}/L_{\text{ort}}$)

U_1 : Boyuna düzgünlük ($U_1=L_{\min}/L_{\text{maks}}$)

TI : Bağıl eşik artışı ($TI=\{\Delta L_K-\Delta L_e\}/\Delta L_e$)

SR : Çevreleme oranı

4.2 Yol Aydınlatma Düzenekleri

4.2.1 Tek taraflı aydınlatma düzeneği

Tek taraflı aydınlatma düzeneği genellikle yol genişliğinin armatür ışık noktası yüksekliğinden küçük olduğu durumlarda kullanılır. Bu düzenek sisteminde armatürler Şekil 4.1'de gösterildiği üzere yolun tek bir tarafına kurulur. Yol yüzeyindeki parıltı bekleneceği üzere armatürlerin yerleştirildiği tarafta yolun diğer tarafına nazaran daha yoğundur [47].

4.2.2 Karşılıklı aydınlatma düzeneği

Karşılıklı aydınlatma düzeneği genellikle yol genişliğinin, ışık noktası yüksekliğinin 1,5 katından büyük olduğu durumlar için kullanılır. Bu konfigürasyonda armatürler Şekil 4.1'de gösterildiği üzere karşılıklı olarak yerleştirilirler [47].

4.2.3 Kaydırılmış aydınlatma düzeneği

Kaydırılmış aydınlatma düzenliği genellikle yol genişliğinin, ışık noktası yüksekliğinin 1-1,5 katı olduğu durumlar için kullanılır. Bu düzenekte armatürler Şekil 4.1'de gösterildiği üzere yolun iki tarafına zikzaklı şekilde yerleştirilir [47]. Bu düzenekte yeterli boyuna parıltı düzeyi düzgünlüğü sağlamak daha zordur [48].

4.2.4 Refüjden çift konsollu aydınlatma düzeneği

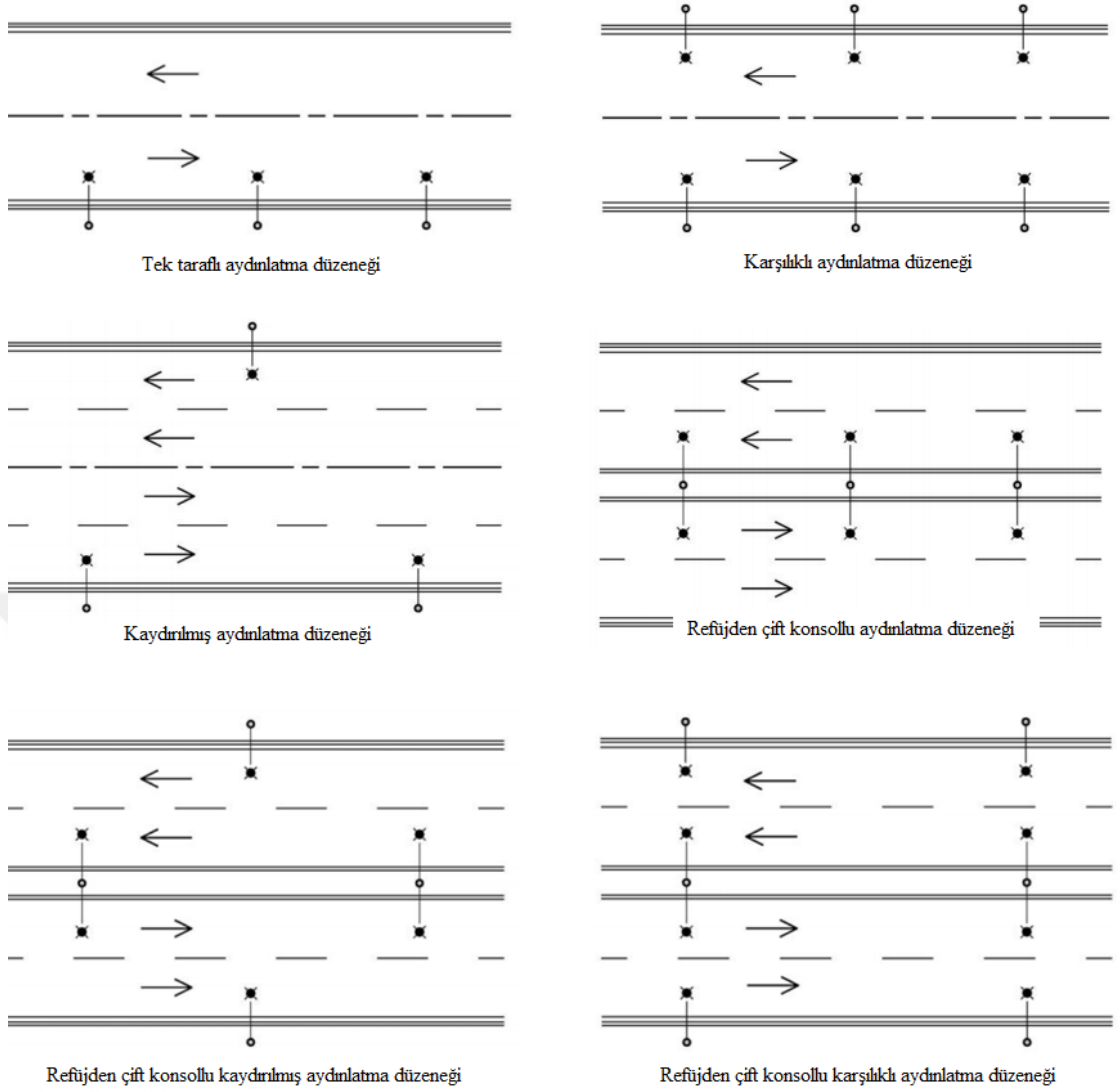
Bu düzenekte armatürler Şekil 4.1'de gösterildiği gibi refüjden konumlandırılır ve armatür ışık noktası yüksekliği, refüj genişliği ve armatürlerin ışık dağılım eğrileri ile bağlantılı olarak karşı yöndeki yolun aydınlatılmasına katkı da sağlanmaktadır [47].

4.2.5 Refüjden çift konsollu kaydırılmış aydınlatma düzeneği

Refüjden çift konsollu aydınlatma düzeneğine ek olarak Şekil 4.1'de görüldüğü üzere yolun her iki tarafında, refüjdenki armatürlerle zikzaklı şekilde yerleştirilmiş armatürler mevcuttur [47].

4.2.6 Refüjden çift konsollu karşılıklı aydınlatma düzeneği

Refüjden çift konsollu aydınlatma düzeneğine ek olarak Şekil 4.1'de görüldüğü üzere yolun her iki tarafında refüjdenki armatürler ile karşılıklı halde bulunan armatürler mevcuttur [47].



Şekil 4.1 : Yol aydınlatma düzenekleri.

4.3 Yol Aydınlatması Tesisatlarında Hesaplanacak Parametreler

Yol aydınlatması yapılacak yolda hesaplanması gereken parametreler şunlardır [39];

Aydınlık düzeyi ile ilgili parametreler;

Ortalama aydınlık düzeyi, ($E_{ort} - lx$)

Minimum aydınlık düzeyi, ($E_{min} - lx$)

Maksimum aydınlık düzeyi, ($E_{max} - lx$)

Ortalama aydınlık düzeyi düzgünlüğü, (U_{oa})

Boyuna aydınlık düzeyi düzgünlüğü (U_{la})

Çevremele oranı (SR)

Parıltı düzeyi ile ilgili parametreler,

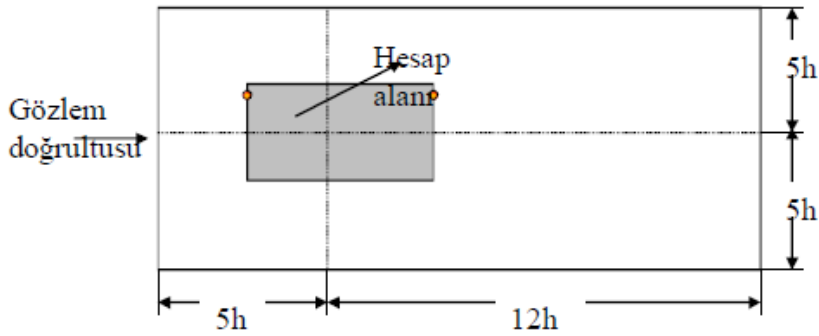
Ortalama parıltı düzeyi, ($L_{ort} - cd/m^2$)

Ortalama parıltı düzeyi düzgünlüğü (U_o)

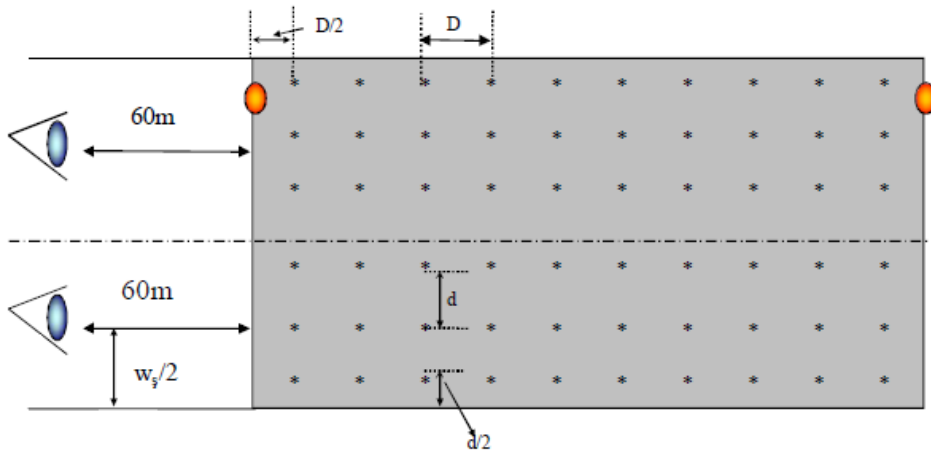
Boyuna parıltı düzeyi düzgünlüğü (U_l)

Bağlı eşik artışı, (TI)

Hesaplamalar gözlemci konumu başına ayrı olarak yapılır. Hesaplanacak noktadan geriye gözlemciye doğru armatür montaj yüksekliğinin 5 katı mesafe ($5h$) ile hesaplanacak noktadan ileriye, armatür montaj yüksekliğinin 12 katı mesafede ($12h$) bulunan tüm armatürlerin katkıları yol aydınlatma hesabına dahil edilir. Hesabı yapılacak alan, iki armatür arasında kalan bölümdür (Şekil 4.2). [39].



Şekil 4.2 : Yol aydınlatma hesap alanı [39].



Şekil 4.2 : Yol aydınlatma hesap noktaları [39].

N: boyuna doğrultadaki hesap noktaları sayısı

Eğer direkler arası mesafe; $s \leq 30$ m ise $N = 10$

Eğer direkler arası mesafe; $s > 30$ m ise $D \leq 3m$ olacak şekilde N belirlenir

Her bir şeritte enine doğrultudaki hesap çizgisi sayısı = 3

d: Enine doğrultudaki hesap noktaları arasındaki mesafe; $w_s / 3$

Gözlemci konumu: Hesap alanındaki ilk armatürden 60m geride ve her şeridin ortasında bulunmaktadır (Şekil 4.3) [39].

4.3.1 Ortalama aydınlık düzeyi ($E_{ort} - lx$)

Ortalama aydınlık düzeyi ($E_{ort} - lx$), yol aydınlatma hesap noktalarındaki aydınlık düzeylerinin, hesap noktası sayısına bölümüdür [39].

4.3.2 Ortalama aydınlık düzeyi düzgünlüğü (U_{oa})

Ortalama aydınlık düzeyi düzgünlüğü (U_{oa}), aydınlatmanın kalitesini gösteren bir değerdir. Güvenlik için gereklidir.

$$U_{oa} = E_{min} / E_{ort} \quad (4.1)$$

formülüyle bulunur. Burada; E_{min} : minimum yatay aydınlık düzeyi , E_{ort} : ortalama yatay aydınlık düzeyidir [39].

4.3.3 Boyuna aydınlık düzeyi düzgünlüğü (U_{la})

Boyuna aydınlık düzeyi düzgünlüğü (U_{la}),

$$U_{la} = E_{min} / E_{max} \quad (4.2)$$

formülüyle bulunur. Burada; E_{min} : minimum yatay aydınlık düzeyi , E_{max} : maksimum yatay aydınlık düzeyidir [39].

4.3.4 Çevreleme oranı (SR)

Çevreleme oranı (SR), yolun kaldırım tarafında kalan 5 metrelik dış alanın ortalama aydınlık düzeyinin, yolun iç tarafında kalan 5 metrelik alanın ortalama aydınlık düzeyine oranıdır. Birimi yoktur [39].

4.3.5 Ortalama parıltı düzeyi, ($L_{ort} - cd/m^2$)

Ortalama parıltı düzeyi, ($L_{ort} - cd/m^2$), gözlemci noktasına göre ölçülmüş parıltıların toplamının, yol aydınlatma hesap noktalarına oranıdır. Her gözlemci noktası için ayrı hesaplanır [39].

4.3.6 Ortalama parıltı düzgünlüğü (U_o)

Ortalama parıltı düzgünlüğü (U_o),

$$U_o = L_{\min} / L_o \quad (4.3)$$

formülüyle bulunur. Burada; L_{\min} : minimum yol parıltısı, L_o : ortalama yol parıltısıdır. Güvenlik için gereklidir. Her gözlemci noktası için ayrı hesaplanır. En düşük değer kabul edilir [39].

4.3.7 Boyuna parıltı düzeyi düzgünlüğü (U_l)

Boyuna parıltı düzeyi düzgünlüğü (U_l),

$$U_l = L_{\min} / L_{\max} \quad (4.4)$$

formülüyle bulunur. Burada; L_{\min} : minimum yol parıltısı, L_{\max} : maksimum yol parıltısıdır. Sürüş konforu için gereklidir. Hesaplamanın yapıldığı yoldaki her şerit için ayrı hesaplanır. En düşük değer kabul edilir [39].

4.3.8 Bağlı eşik artışı (TI)

Bağlı eşik artışı (TI), fizyolojik kamaşma sebebiyle görülebilirlikte meydana gelen azalmayı ifade eder.

$$T_1 = (\Delta L_K - \Delta L_e) / \Delta L_e \quad (4.5)$$

formülüyle bulunur. Burada; ΔL_K kamaşma olduğundaki parıltı eşiği, ΔL_e kamaşma olmadığındaki parıltı eşiğidir [39].

4.4 LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi

TEDAŞ tarafından 2010 yılında yayınlanan ve en son 2015 yılında revize edilen LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi Türkiye yol, cadde ve sokak aydınlatma tesislerinde kullanılacak LED armatürlerin özelliklerini ve deneylerini oluşturmaktadır. Şartnamede armatürlerin imal edileceği ve deneye tutulacağı standartlar, armatür çalışma koşulları, ilgili tanımlar, LED'lerle ilgili genel, elektriksel ve fotometrik özellikler, koruma ve koruma dereceleri, tip

deneyler, rutin deneyler, kabul deneyleri ve uyulması gereken aydınlatma kriterleri açıklanmıştır.

Şartnameye göre LED armatürlerle farklı tip yollarda sağlanması gereken minimum direkler arası açıklıklar Çizelge 4.6’da gösterilmiştir [49].

Çizelge 4.6 : Armatürlerle farklı tip yollarda sağlanması gereken minimum direkler arası açıklıklar.

Aydınlatma Düzenekleri	Aydınlatma Sınıfı	Şerit Sayısı	Şerit Genişliği Min(m)	Refüj Genişliği Min(m)	Direkler Arası Açıklık Min(m)
- Soldan tek taraflı - Sağdan tek taraflı	M4	2	3,5	-	28
- Soldan tek taraflı - Sağdan tek taraflı	M3	2	3,5	-	28
- Refüjden çift konsollu	M3	2x2	3,5	2	30
- Refüjden çift konsollu	M2	2x3	3,5	2	35
- Karşılıklı - Kaydırılmış	M2	4	3,5	-	40
- Refüjden çift konsollu karşılıklı - Refüjden çift konsollu kaydırılmış	M1	2x3	3,5	2	48
- Refüjden çift konsollu karşılıklı - Refüjden çift konsollu kaydırılmış	M1	2x5	3,5	2	55

Şartnamede uyulması gereken fotometrik özelliklere göre; LED’li armatür etkinlik faktörü minimum 115 lm/W olmalıdır. Etkinlik faktörü fotometrik akrediteye sahip bir laboratuvarında ölçülüp belgelendirilmelidir. Yol parıltı düzeyleri istenen değerin %5 fazlasını aşmayacak şekilde sağlanmalıdır. LED’li armatürlerin tasarımında kullanılan LED paketlerin renk sıcaklıkları 4000 K \pm % 5, renksel geri verim endeksi (CRI) en az 70 olmalıdır. Armatürler en az IP 66 koruma sınıfına sahip olmalıdır.

LED’li armatürlerin yapısı ısınmaya dayanıklı ve LED armatürlerin yüksek performansta çalışmalarını sağlayacak şekilde dizayn edilmelidir. LED’li armatür sürücülerinin toplam harmonik distorsiyonu (THD) %10’dan fazla olmayacaktır.

Şartnameye göre LED armatürler yola paralel olacak şekilde monte edileceklerdir. Armatürler 0°, 5°, 10° ve 15°’lik konsol açılarında da yola paralel olarak monte edilebilmelerine olanak sağlayan düzeneklere sahip olmalıdır. Armatür direk veya konsol bağlantı parçası, konsola ya da direğe en az iki noktadan tespit edilebilecektir. LED’li armatürler bütün elemanlarıyla birlikte (LED modül, sürücü, kablo, conta, gövde vb.) işletme koşullarında minimum 50.000 saat çalışacaktır [49].

4.5 Elektrik Dış Aydınlatma Yönetmeliği

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın hazırladığı Elektrik Dış Aydınlatma Yönetmeliği'ne göre; Dış aydınlatmada kullanılacak armatürler, verimi yüksek ve koruma derecesi en az IP 54 olan tiplerden seçilmeli ve armatürlerin her birinin içinde güç katsayısını en az 0,95 olacak şekilde ayarlayan tekil veya merkezi kompanzasyon üniteleri bulunmalıdır. Armatürlerin üst yarı uzaya (gökyüzüne) gönderdikleri ışık miktarı, yönetmelikte Madde 8'de verilen yüzdeleri aşmayacak ve ışık dağılım eğrileri de kamaşma problemine yol açmayacak şekilde ekranlanmış olmalıdır.

Madde 8'e göre güvenlik, ulaşım, ticari ve turizm gereksinimleri dikkate alınarak, gerek enerji tasarrufu sağlanması gerekse doğal hayatın ve astronomik gözlemlerin etkilenmemesi amacıyla dış aydınlatma uygulamalarında çeşitli kurallar esas alınır.

Buna göre; belediye mücavir alanları ile kentsel çalışma ve gelişme alanlarında kullanılacak armatürlerin, kentsel yerleşik ve gelişme alanları ile mücavir alanlarında güvenlik amaçlı yol aydınlatması armatürlerinin üst yarı uzaya yaydıkları ışık akısı % 5'den az ($ULOR \leq \%5$) olacaktır.

Fotometrik ölçümler Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun listelenen yayınlarına göre yapılmalıdır. 10 m'den alçak direklerle yapılan uygulamalarda, kullanılan armatürlerin düşeyle 85° lik açı yapan doğrultudaki ışık şiddeti değerleri Çizelge 4.7'deki değerleri aşmamalıdır [50].

Çizelge 4.7 : 10 metreden alçak direk yüksekliklerinde kamaşma sınırlaması.

Düşeyle 85° lik açıda ve üstünde parıltı değeri	$\leq 20\ 000\ \text{cd/m}^2$		
Direk yüksekliği	< 4,5 m	4,5m ~ 6,0m	6m ~ 10m
85° lik açıda ışık şiddeti	$\leq 2\ 500\ \text{cd}$	$\leq 5\ 000\ \text{cd}$	$\leq 12\ 000\ \text{cd}$

4.6 Genel Aydınlatma Kapsamında LED Armatürlerin Kullanımına İlişkin Usul ve Esaslar

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan Genel Aydınlatma Kapsamında LED Armatürlerin Kullanımına İlişkin Usul ve Esaslar'a göre LED'li aydınlatma tesislerinde loşlaştırma özelliğine sahip armatür kullanmak zorunlu hale getirilmiştir. Mevcut sistemlerin LED'li sistemlere dönüştürülmesinde ve yeni

kurulacak sistemlerde loşlaştırma yöntemi ve seviyesi Çizelge 4.8’de gösterilmiştir. Bu usul ve esaslar ile belirlenen teknik ve ekonomik kriterlere uymayan durumlarda TEDAŞ’ın vereceği kararlara göre hareket edilir [51].

Çizelge 4.8 : LED’li aydınlatma tesislerinde loşlaştırma seviyeleri ve yöntemleri.

Aydınlatma Sınıfı	Loşlaştırma Yöntemi	Loşlaştırma Seviyesi	Loşlaştırma Saat Aralığı
M1	Uzaktan otomasyonlu	M1 → M2	*
M2	Uzaktan otomasyonlu	M2 → M3	*
M3	Kademeli	M3 → M4	*
M4	Kademeli	M4 → M5	*
M5	Kademeli	M5 → M6	*
M6	-	-	*

* Loşlaştırma yapılacak saat aralıklarının belirlenmesi İl Aydınlatma Komisyonu’na aittir.



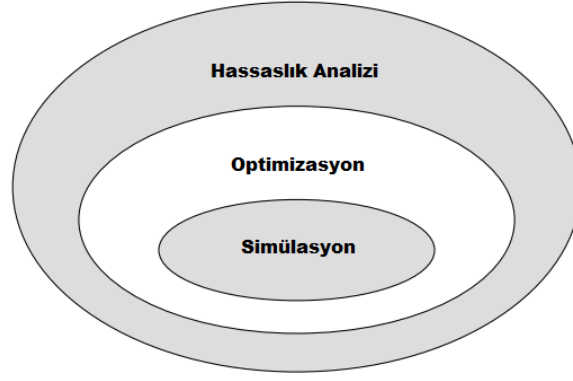
5. HOMER İLE MİKRO ENERJİ SİSTEMİ MODELLENMESİ

5.1 Giriş

HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) Mikro Enerji Optimizasyon Modeli, Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından mikro enerji sistemlerinin modellenmesi ve simülasyonunu sağlamak için geliştirilmiş bir bilgisayar modelidir. HOMER sistem bileşeni kombinasyonlarını yaşam döngüsü maliyetleri üzerinden simüle ederek optimum sistemi bulmaya çalışır. Mikro enerji sistemlerine bu çalışmanın konusunu oluşturan bir yol aydınlatma sistemini besleyen şebekeden bağımsız bir PV-akü sistem, bir adanın enerji ihtiyacını karşılayan rüzgar türbini-dizel jeneratör sistemi ya da bir sanayi tesisine elektrik ve ısı sağlayan şebekeye bağlı bir doğalgaz mikrotürbini örnek olarak gösterilebilir. Elektrik şebekesinin elektrik enerjisini karşılayan enerji santralleri ise belirli bir yüke tahsis edilmedikleri için mikro enerji şebekesi sayılmazlar ve HOMER'in çalışma alanına girmezler.

HOMER'in üç ana görevi simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizidir. Simülasyon işleminde HOMER, saatlik adım aralıklarıyla bir yıl için mali ve teknik performansını inceleyebilmek için bir mikro enerji sistemi konfigürasyonunun modellemesini yapar. Optimizasyon işleminde en düşük yaşam döngüsü maliyetine göre kullanıcının baştan belirlediği teknik kısıtlamaların dışına çıkmayan sistem konfigürasyonlarının simülasyonunu gerçekleştirir. Hassaslık analizi işleminde ise tasarımcının üzerinde kontrolünün bulunmadığı belirsizliğe bağlı değişkenleri analiz etmeye çalışır.

Şekil 5.1, simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Simülasyon kümesi optimizasyon işlemi birçok simülasyonun sonucundan meydana geldiği için optimizasyon kümesinin alt kümesidir. Optimizasyon kümesi ise tek bir hassaslık analizi optimizasyon işlemlerinin kombinasyonlarından meydana geldiği için hassaslık analizi kümesinin alt kümesidir [52].



Şekil 5.1 : Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki kavramsal ilişki [52].

5.2 Simülasyon

HOMER, bir mikro enerji sisteminin işletimini uzun vadeli bir şekilde sistem ömrü üzerinden simüle edebilir. Sistem konfigürasyonları ihtiyaca göre PV panel, rüzgar türbini, dizel jeneratör, hidrojen depolama tankı, hidrolik türbin, doğalgaz türbini, akü grubu, AC-DC dönüştürücü gibi geniş çeşitlilikte ekipmanın farklı şekillerde bir araya gelmesinden oluşabilirler ve şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız olarak AC, DC ve termal yükleri besleyebilirler.

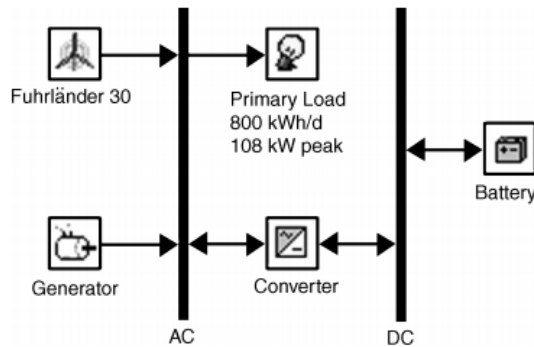
Eğer simülasyon sonucunda bir sistem, yükü kullanıcının belirlediği ölçüde karşılayabiliyorsa HOMER bu sistemi fizibil kabul ederek sonuçlara dahil eder. HOMER bu sonuçları daha sonra yaşam döngüsü maliyetleri üzerinden karşılaştırır. HOMER'in sistemin yaşam döngüsü maliyetini temsil etmek için kullandığı nicelik toplam net bugünkü maliyettir (Total Net Present Cost, TNPC). Toplam net bugünkü maliyet sistemin ilk kurulum maliyetine ek olarak, ekipmanların yenileme maliyetleri, bakım&işletme ve yakıt maliyetlerinden oluşur. Sistem şebekeye entegre olduğu takdirde şebekeden elektrik alınması veya satılması durumları net bugünkü maliyeti etkileyen faktörlerdendir. Simülasyon işleminde HOMER saatlik adımlarla bir yıl için işlem yapar ve bir yıllık kilit simülasyon parametrelerinin (yakıt tüketimi, akü işlem hacmi, fazla enerji üretimi gibi) proje ömrü boyunca diğer yıllarda da temsil edilebileceğini varsayar. Yükün büyümesi veya akünün yaşlanmaya bağlı olarak yıpranması gibi zamana bağlı değişiklikleri dikkate almaz. Ancak tasarımcı, bu etkileri, hassaslık analizi kullanarak analiz edebilmektedir [52].

5.3 Optimizasyon

Optimizasyon işlemi;

- PV dizinin boyutu
- Rüzgar türbinlerinin sayısı
- Hidro sistemin varlığı (HOMER hidro sistemin ancak bir boyutunu dikkate alabilir; bu sebeple tercih, güç sisteminin hidro sistem içerip içermeyeceği ile ilgilidir)
- Her jeneratörün boyutu
- Akülerin sayısı
- AC-DC dönüştürücünün boyutu
- Elektrolizerin boyutu
- Hidrojen depolama tankının boyutu

gibi değişkenler üzerinden HOMER'in optimum sonucu belirlemesidir. Bu değişkenler karar değişkenleri olarak adlandırılır. Örneğin kullanıcı Şekil 5.2'de gösterilen sistemde optimum sonuç için kullanması gereken akü veya rüzgar türbini miktarını bilemeyebilir. Bu karar değişkenleri üzerinden optimum sonucu bulmak HOMER'in optimizasyon işlemindeki görevidir.



Şekil 5.2 : Rüzgar-Dizel sistemi [52].









































































Tasarımcı Şekil 5.3'de gösterilene benzer bir tabloyu doldurarak karar değişkenlerini belirleyebilir. Şekilde kullanıcının karar değişkenlerini 0-4 adet arasında beş rüzgar türbini, 16 adetlik artış miktarıyla 0-128 adet arasında yedi akü, 30 kW'lık artış miktarıyla 0-120 kW arasında dört dönüştürücü olarak belirlediği görülmektedir. Bu

tabloya göre HOMER 140 (5x1x7x4) kombinasyon üzerinden optimizasyon işlemini gerçekleştirecektir.

	FL30 (Quantity)	Gen (kW)	Batteries (Quantity)	Converter (kW)
1	0	135.00	0	0.00
2	1		16	30.00
3	2		32	60.00
4	3		48	120.00
5	4		64	
6			96	
7			128	
8				

Şekil 5.3 : 140 sistem konfigürasyonu içeren arama aralığı (5 x 1 x 7 x 4 = 140) [52].

Şekil 5.4'da rüzgar türbini, dizel jeneratör, akü grubu ve dönüştürücülerden oluşan bu sistemin optimizasyon sonuçları gösterilmiştir. Kullanıcı, önceden belirlediği yük karşılama oranını sağlayan ve HOMER'in fizibil olarak belirlediği sonuçlar üzerinden sistem konfigürasyonlarını toplam net bugünkü maliyet ve enerji üretim maliyetine göre sıralayabilir. Şekil 5.4'de optimum sonucun sistemde 1 adet rüzgar türbini, 64 adet akü ve 30 kW'lık konverter kullanılması durumunda elde edildiği görülmektedir [52].

				FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Diesel (L)	Gen (hrs)
				1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
				2	135	64	30	\$ 346,500	\$ 854,660	0.274	54,434	3,350
				1	135	48	30	\$ 200,500	\$ 855,733	0.275	78,061	4,910
				2	135	48	30	\$ 330,500	\$ 856,335	0.275	57,654	3,685
				2	135	32	30	\$ 314,500	\$ 873,322	0.280	62,394	4,139
				2	135	96	60	\$ 401,000	\$ 878,370	0.282	48,139	2,603
				2	135	64	60	\$ 369,000	\$ 880,421	0.282	52,999	3,195
					135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
				1	135	96	30	\$ 248,500	\$ 887,379	0.285	74,193	4,346
					135	48	30	\$ 70,500	\$ 888,528	0.285	104,009	6,067
				1	135	32	30	\$ 184,500	\$ 889,688	0.285	85,310	5,615
				2	135	96	30	\$ 378,500	\$ 890,504	0.286	52,442	3,136
				2	135	48	60	\$ 353,000	\$ 891,896	0.286	57,316	3,615
				2	135	32	60	\$ 337,000	\$ 905,959	0.291	62,312	4,080
				2	135	128	60	\$ 433,000	\$ 907,508	0.291	45,596	2,226
				1	135	64	60	\$ 239,000	\$ 911,667	0.292	77,753	4,613
					135	96	30	\$ 118,500	\$ 912,410	0.293	101,003	5,330

Şekil 5.4 : Toplam net bugünkü maliyetlerine göre sıralanmış sistem konfigürasyonlarını gösteren toplu optimizasyon sonuçları [52].

5.4 Hassaslık Analizi

Hassaslık değişkenleri karar değişkenlerinden farklı olarak kullanıcının bir ekipman üzerinden belirlediği parametrelerdir. Örneğin bir şebekeden bağımsız PV yol aydınlatma sistemi için PV güçleri ve akü miktarları karar değişkeni olarak sayılabilirken hassaslık değişkenlerine örnek olarak söz konusu sistemdeki PV panelin eğim açısı veya ömrü gösterilebilir. Hassaslık değişkenlerinin artması HOMER'in oluşturacağı sistem kombinasyonlarının ve dolayısıyla yapılacak simülasyonların sayısını arttırır. Hassaslık analizi HOMER'in belirsizliğe karşı bir çözüm geliştirmesini sağlar. Kullanıcı emin olunmayan değişkenlere yakın değerler girerek sonuçların o aralıktaki değişimini inceleyebilme imkanı bulur [52].

5.5 Ekonomik Modelleme

HOMER bir sistemin yaşam döngüsü maliyetini temsil etmek için toplam net bugünkü maliyeti kullanır. Toplam net bugünkü maliyet, proje yaşam süresi boyunca meydana gelen tüm gider ve gelirlerin paranın bugünkü cinsinden hesaplanmış halidir. Tasarımcı proje yaşam süresini ve iskonto oranını HOMER'de açıkça belirtir. Toplam net bugünkü maliyet, ilk yatırım maliyetini, bileşenlerin yenileme ve bakım maliyetlerini, yakıt ve şebekeden elektrik alma maliyetlerini ve kirleticilerden kaynaklanan para cezaları gibi çeşitli maliyetleri içerir. Gelirler, şebekeye satılan elektrikten ve proje yaşam süresi sonunda meydana gelen hurdadan kaynaklanır. HOMER toplam net bugünkü maliyeti hesaplamak için aşağıdaki denkliği kullanır:

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (5.1)$$

Burada $C_{ann,tot}$ toplam yıllık maliyet (\$/yıl), i yıllık reel faiz oranı (%), R_{proj} proje ömrü (yıl), CRF anaparayı geri kazanma faktörüdür (capital recovery factor). CRF aşağıdaki denklikle bulunur:

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (5.2)$$

Burada i yıllık reel faiz oranı, N yıl sayısıdır.

Reel faiz oranı, yıllık maliyetler ve tek seferlik maliyetler arasında dönüşüm yapmak için kullanılan iskonto oranıdır ve şu şekilde ifade edilir:

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (5.3)$$

Burada i' nominal faiz oranı, f yıllık enflasyon oranıdır. HOMER enerjinin bir değere getirilmiş maliyetini hesaplamak için aşağıdaki denkliği kullanır.

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim} + E_{def} + E_{grid,sales}} \quad (5.4)$$

Burada $C_{ann,tot}$ toplam yıllık maliyeti (\$/yıl), E_{prim} yıl başına toplam yük miktarı (kWh/yıl), E_{def} yıl başına ertelenebilir toplam yük miktarı (kWh/yıl), $E_{grid,sales}$ şebekeye satılan yıl başına enerji miktarıdır (kWh/yıl) [52].

6. YEDİ İL İÇİN ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ LED'Lİ FOTOVOLTAİK YOL AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN TEKNOEKONOMİK ANALİZİ

6.1 İncelenecek İllerin Seçimi

Yapılan çalışma için Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'ndan yararlanılmıştır ve Türkiye'nin yedi bölgesinin her birinden, bulunduğu bölgedeki ekonomik, coğrafi ve demografik büyüklüğü göz önünde bulundurularak birer il seçilmiştir. Bu iller Marmara Bölgesi için İstanbul, Karadeniz Bölgesi için Samsun, Ege Bölgesi için İzmir, Akdeniz Bölgesi için Antalya, İç Anadolu Bölgesi için Ankara, Doğu Anadolu Bölgesi için Van ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için Gaziantep olarak belirlenmiştir. Seçilen illere ait güneşlenme süreleri ve yıllık ortalama radyasyon verileri Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 : Seçilen illere ait güneşlenme süreleri ve yıllık ortalama radyasyon verileri.

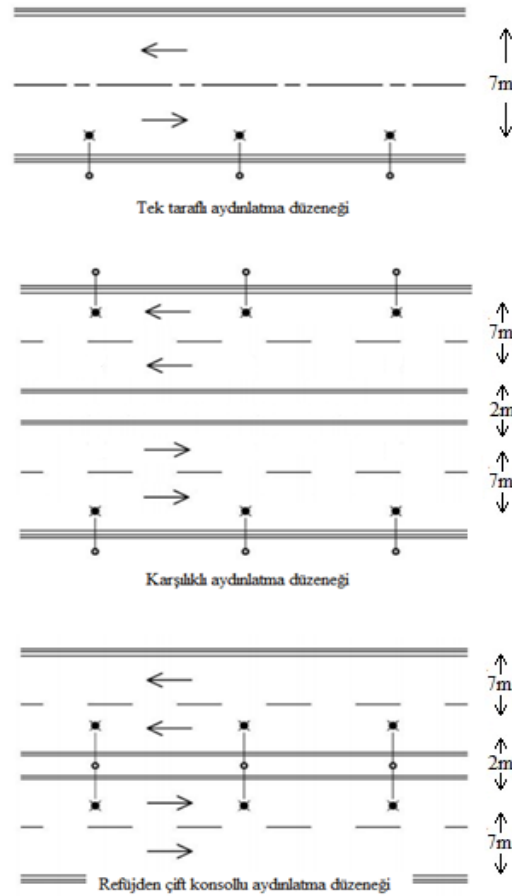
Coğrafi Bölge	İl	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)	Yıllık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)
Marmara	İstanbul	2449	1616
Ege	İzmir	2990	1501
Akdeniz	Antalya	3014	1650
İç Anadolu	Ankara	2616	1476
Karadeniz	Samsun	2316	1338
Doğu Anadolu	Van	2783	1639
Güneydoğu Anadolu	Gaziantep	2979	1586

6.2 Yol Aydınlatma Hesapları

Şebekeden bağımsız PV yol aydınlatma sistemlerinde armatür gücünün artması panel, akü, şarj regülatörü ve direk boyutlarının ve maliyetlerinin de artması anlamına gelmektedir. Bu yüzden çalışma görece düşük güçte armatürlerin kullanılabileceği M3, M4 ve M5 yol aydınlatma sınıfları için gerçekleştirilmiştir. Yol aydınlatma hesapları DIALux programı kullanılarak yapılmıştır.

Çalışmada M4 ve M5 yol aydınlatma sınıfları için soldan tek taraflı düzenek, M3 yol aydınlatma sınıfı için karşılıklı ve refüjden çift konsollu düzenek seçenekleri için

aydınlatma hesapları yapılmıştır. Soldan tek taraflı düzenekli sistemler için şerit sayısı 2 ve yol genişliği 7 metre alınmıştır. Karşılıklı ve refüjden çift konsollu aydınlatma düzenekli sistemlerde ikisi gidiş ikisi geliş olmak üzere toplam dört şerit, yol genişliği 14 metre, refüj genişliği 2 metre alınmıştır (Şekil 6.1). LED’li armatürler IP66 koruma sınıfına sahip olup, CIE 154-2003’ nolu yayına göre bakım işletme faktörü 0,89 olarak belirlenmiştir. Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluğundaki otoyollarda tüm yollar R3 sınıfı olarak kabul edildiğinden ötürü yol sınıfı R3 olarak seçilmiştir. Hesaplar için gözlemci yaşı 23 alınmıştır. LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi’ne göre armatür etkinlik faktörlerinin minimum 115 lm/W, LED’li armatürlerin tasarımında kullanılan LED paketlerin renk sıcaklıklarının 4000 K \pm %5 olmasına ve işletme şartlarında LED’li armatürlerin minimum 50.000 saat çalışma şartına uyulmuştur. Çizelge 6.2’de seçilen yol aydınlatma sınıfları için sağlanacak yol aydınlatması kriterleri gösterilmiştir. Yol aydınlatma hesaplamalarında kullanılan armatürlere ait teknik bilgiler ve ışık dağılım eğrileri EK A’da verilmiştir.



Şekil 6.1 : Hesaplamalarda kullanılan yol aydınlatma düzenekleri.

Yol aydınlatma hesaplamalarında direk boyları için 0,5m'lik artışlarla 7m-10m aralığında, direk açıklıkları 1m'lik artışlarla 28m-55m aralığında arama yapılmıştır. Armatürlerle farklı tip yollarda sağlanması gereken minimum direkler arası açıklıklar LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi'ne göre M5 ve M4 yol sınıflarında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumu için 28m, M3 yol aydınlatma sınıfında refüjden çift konsollu aydınlatma düzeneği kullanılması durumu için 30m ve M3 yol aydınlatma sınıfında karşılıklı aydınlatma düzeneği kullanılması durumu için 28m alınmıştır. Hesaplamalarda konsol boyları 0,5m'lik artışlarla 0m-1,5m aralığında aranmıştır ve konsol eğim açısı 0° alınmıştır.

Çizelge 6.2 : Seçilen yol aydınlatma sınıfları için sağlanacak yol aydınlatması kriterleri.

Aydınlatma sınıfı	L_o (cd/m ²)	U_o	U_1	TI (%)	SR
M3	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
M4	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
M5	$\geq 0,5$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	≤ 15	$\geq 0,5$

Çalışmada, seçilen yol sınıfları için direk açıklıklarının maksimum veya minimum olduğu iki senaryo incelenmiştir.

Maksimum direk açıklığında yol aydınlatma sınıfının ihtiyaç duyduğu aydınlatma kriterlerini sağlamak için daha yüksek güçlü armatür ve yükün ihtiyacını karşılayacak daha yüksek kapasiteli panel, akü grubu ve şarj regülatörü ve tüm bu ekipmanları taşıyabilecek daha dayanıklı bir aydınlatma direğine ihtiyaç duyulmuş ancak maksimum direk açıklığı kullanılması sistemde minimum sayıda aydınlatma direği kullanılmasını sağlamıştır. Minimum sayıda aydınlatma direği kullanılması bakım&işletme maliyetlerini düşüren bir faktördür.

Minimum direk açıklığında ise yol aydınlatma sınıfının ihtiyaç duyduğu aydınlatma kriterlerini sağlamak için daha düşük güçlü armatür, daha düşük kapasiteli panel, akü grubu, şarj regülatörü ve daha az dayanıklı direk kullanılmış ancak minimum direk açıklığı kullanılması sistemde maksimum sayıda aydınlatma direği kullanılmasına neden olmuştur. Maksimum sayıda aydınlatma direği kullanılması durumunda bakım&işletme maliyetleri de artacaktır.

Maksimum ve minimum direk açıklığı seçenekleri için elde edilen yol aydınlatma sonuçları Çizelge 6.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 : M3, M4 ve M5 yol aydınlatma sınıfları için yol aydınlatma hesaplamaları.

Aydınlatma Sınıfı	M3	M3	M3	M3	M4	M4	M5	M5
Aydınlatma Düzeneği	Refüjden Çift Konsollu	Refüjden Çift Konsollu	Karşılıklı	Karşılıklı	Soldan Tek Taraflı	Soldan Tek Taraflı	Soldan Tek Taraflı	Soldan Tek Taraflı
Armatür Işık Akısı (lm)	9270	5642	9270	4641	8280	4641	5642	2875
Armatür Gücü (W)	73	46	73	39	67	39	46	25
Armatür Etkinlik Faktörü (lm/W)	126,99	122,65	126,99	119	123,59	119	122,65	115
s (m)	49	30	51	28	47	28	53	28
h (m)	9,5	8	10	7	10	8,5	10	8,5
k (m)	0,5	1,5	1	1	0	0	1	0
Lort (cd/m ²)	1,02	1,09	1,00	1,01	0,81	0,82	0,50	0,52
U _o	0,40	0,53	0,42	0,47	0,49	0,52	0,41	0,52
U _l	0,51	0,78	0,53	0,76	0,51	0,83	0,41	0,83
TI (%)	14	10	13	10	12	10	12	9
SR	0,89	0,76	0,85	0,61	0,63	0,50	0,61	0,50

s: Direk açıklığı

h: Direk boyu

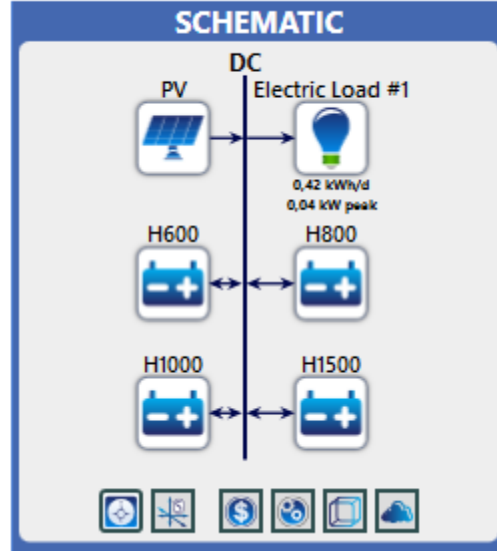
k: Konsol boyu

6.3 HOMER Hesapları

Çalışmada incelenecek illere ait aylık ortalama güneş radyasyon verileri National Renewable Energy Laboratory (NREL) ve NASA (National Aeronautics and Space Administration) Surface Meteorology and Solar Energy Database veritabanlarından HOMER yazılımında illerin koordinatları girilerek elde edilmiştir. Proje ömrü 20 yıl olarak belirlenmiştir. Nominal faiz oranı %10 ve enflasyon oranı %7 alınarak reel faiz oranı %3 olarak hesaplanmıştır. Yük olarak DC gerilim ile beslenen LED armatürler kullanıldığı ve sistem şebekeden bağımsız olduğu için çalışmada inverter modellenmemiştir.

Üç yol aydınlatma tesisatı (M5, M4 yol aydınlatma sınıfları için soldan tek taraflı düzenekli, M3 yol aydınlatma sınıfı için karşılıklı düzenekli ve refüjden çift konsol düzenekli), iki ayrı senaryo (maksimum direk açıklığı, minimum direk açıklığı), yedi ayrı il (İstanbul, Ankara, İzmir, Samsun, Van, Gaziantep, Antalya) ve beş ayrı gelecek projeksiyonu (mevcut durum, elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu, panel ve akü fiyatlarının %25 ucuzlaması durumu, panel ve akü fiyatlarının

%50 ucuzlaması durumu ve elektrik birim fiyatları %25 artarken panel ve akü fiyatlarının %50 artması durumu) için HOMER yazılımında 245 ayrı simülasyon gerçekleştirilmiştir. İncelenen sistemlerden birinin örnek blok şeması Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 : İncelenen sistemlerden birinin örnek şematik gösterimi.

6.3.1 Fotovoltaik panelin modellenmesi

Maliyet açısından daha uygun olmaları sebebiyle simülasyonu yapılacak PV yol aydınlatma sistemlerinde polikristal fotovoltaik panellerin kullanılacağı varsayılmıştır. Polikristal paneller üzerinden yapılan pazar araştırması sonucu modellemede fotovoltaik panel fiyatı 0,52 \$/W olarak alınmıştır. Fotovoltaik panellerin işletme&bakım maliyeti yıllık 7\$ olarak belirlenmiştir. Simülasyonlarda seçilecek fotovoltaik panelin gücü için 10W’lık artışlarla 100W – 1000W aralığında arama yapılmıştır. Fotovoltaik panellerin eğim açısı için 1°’lik artışlarla 0°-90° aralığında arama yapılmıştır. PV azalma faktörü, modülün tozlanma, yüksek sıcaklık, gölgeleme, karla kaplanma, eskime, kablo kayıpları gibi nedenlerle performansında oluşacak azalmayı hesaba katmaya yarar. Sıcak iklimler için %70-%90 arasında değişebilen bu yüzde bu çalışmada %80 alınmıştır. Yeryüzüne gelen radyasyonun, yeryüzü tarafından yansıtılan kısmını ifade eden oran olan yüzey yansıtma yüzdesi %20 olarak alınmıştır. Panel ömrü 20 yıl kabul edilmiştir. Bu ömür sistem ömrüne eşit olduğu için fotovoltaik panel için yenileme maliyeti hesaba katılmamıştır. HOMER yazılımında örnek fotovoltaik panel modelleme ekranı Şekil 6.3’de gösterilmiştir.

PV Name: Generic flat plate PV - Kon Abbreviation: PV Remove
Copy To Library

Properties
Name: **Generic flat plate PV - Konya Copy(5)**
Abbreviation: **PV**
Panel Type: **Flat plate**
Rated Capacity (kW): **0.1**
Manufacturer: **Generic**
Weight (lbs): **160**
Footprint (in²): **9000**
Website: www.homerenergy.com

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
0,56	291,20 \$	0,0 \$	7,00 \$
0,57	296,40 \$	0,0 \$	7,00 \$

Multiplier: (-) (-) (-)

Site Specific Input
Lifetime (years): 20,00 (-)
Derating Factor (%): 80,00 (-)

Search Space
Size (kW)
0,1
0,11
0,12
0,13
0,14
0,15
0,16

Electrical Bus
 AC DC

MPPT Advanced Input Temperature

Ground Reflectance (%): 20,00 (-)
Tracking System: No Tracking
 Use default slope Panel Slope (degrees): 0,00 91
 Use default azimuth Panel Azimuth (degrees West of South): 0,00 (-)

Şekil 6.3 : HOMER yazılımında örnek fotovoltaik panel modelleme ekranı.

6.3.2 Akünün modellenmesi

Modellemelerde kurşun asit akülere ait veriler kullanılmıştır. Modellemeler için dokuz ayrı aküye ait veriler sisteme girilmiştir. Akü ömrü 20 yıldır ve akü şarj durumunun %30'a kadar düşmesine izin verilmektedir. Kullanılan akülerin nominal gerilimleri 12V, verimleri %86'dır. HOMER yazılımında örnek akü grubu modelleme ekranı Şekil 6.4'de gösterilmiştir.

BATTERY Name: 6FM100D-X Abbreviation: 12V 100 Remove
Copy To Library

Properties
Name: **6FM100D-X**
Abbreviation: **12V 100Ah**
Manufacturer:
Nominal Voltage (V): **12,0**
Maximum Capacity (Ah): **105**
Round Trip Efficiency (%): **86,0**
Float Life (years): **10,0**
Electrolyte replacement interval (yrs): **125**
Capacity Ratio, c: **0,522**
Rate Constant, k: **0,857**
Max. Charge Current (A): **30,0**
Max. Discharge Current (A): **900**
Website:
Notes: **Absorbent Glass Mat (AGM) battery.**

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	162,20 \$	162,20 \$	0,0 \$

Click here to add new item

Multiplier: (-) (-) (-)

Site Specific Input
Batteries per string: 1 (12 V bus)
Initial State of Charge (%): 100,00 (-)
Minimum State of Charge (%): 30,00 (-)
Lifetime Throughput (kWh): 2.083,00 (-)
 Enforce minimum battery life?
Minimum battery life (yr): 4,00 (-)

Search Space
Batteries
0
1

Şekil 6.4 : HOMER yazılımında örnek akü modelleme ekranı.

Çizelge 6.4’de modellemede kullanılan akülerin nominal kapasite ve fiyat bilgileri görülmektedir. Yenileme maliyetleri akü maliyetlerine eşit alınmıştır. Aynı direktte bulunmaları ve dolayısıyla bakımlarının aynı anda yapılacak olması sebebiyle hesap kolaylığı açısından akülerin yıllık bakım&işletme maliyetleri güneş panellerinin yıllık bakım&işletme maliyetleri içerisine dahil edilmiştir.

Çizelge 6.4 : Modellemede kullanılan akülere ait nominal kapasite ve fiyat bilgileri.

Nominal Gerilim	Nominal Kapasite	Fiyat
12V	33,3 Ah	117 \$
12V	50 Ah	141 \$
12V	100 Ah	219,75 \$
12V	133,3 Ah	313,5 \$
12V	166,6 Ah	365,25 \$
12V	250 Ah	510 \$
12V	333,3 Ah	705 \$
12V	416,6 Ah	853,5 \$
12V	500 Ah	997,5 \$

6.3.3 Yükün Modellenmesi

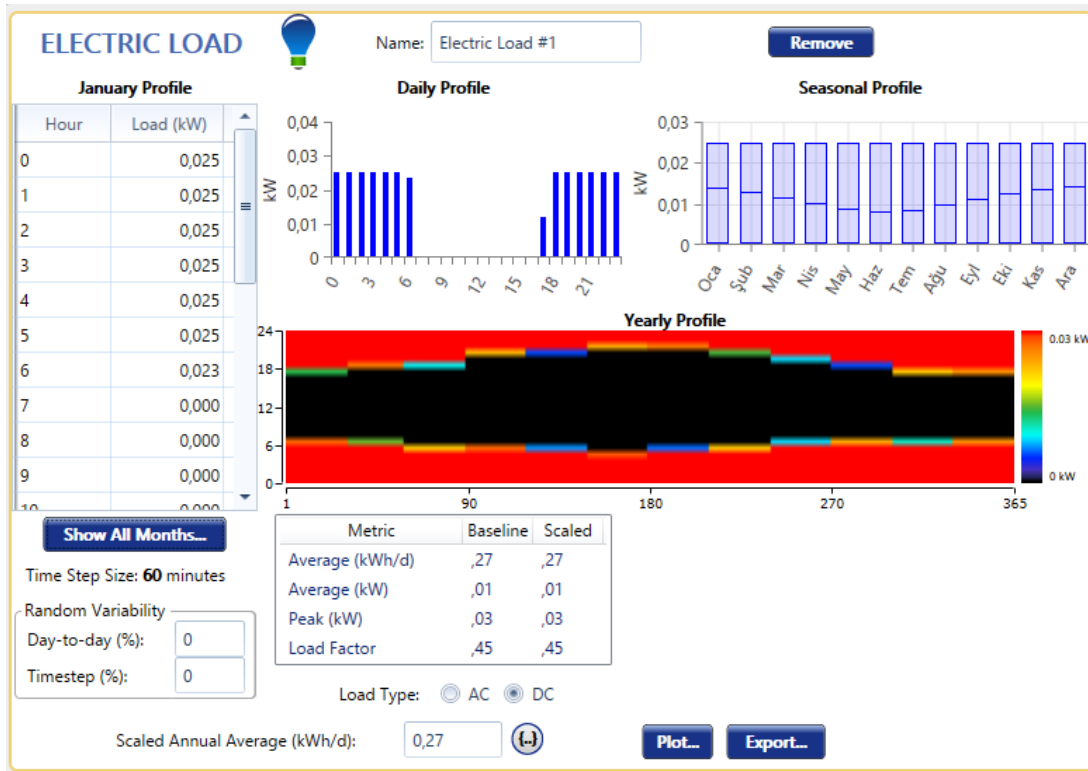
HOMER yazılımına yükün devrede olacağı vakitler yedi ayrı il için aylık olarak girilmiştir. Aydınlatma yapılacak sürelerin seçiminde her il için ait günlük tan (civil twilight) vakitleri dikkate alınmıştır. Günlük tan, güneşin ufukla arasındaki açının 6°’den az olduğu vakittir. Bu vakit aralığı günün, cisimlerin rahatlıkla seçilebildiği ve yapay aydınlatmaya ihtiyaç duymadan insanların günlük işlerini yerine getirebildiği bölümüdür. Yol aydınlatmasının günün tan vakti dışındaki bölümünde yapılacağı varsayılmıştır. Hesaplamalarda ilgili ay için yükün devrede kalacağı süreler olarak aylık ortalama süreler kullanılmıştır. Aydınlık süreleri yaz saati uygulamasının geçerli olduğu duruma göre belirlenmiştir. Seçilen iller için aylık ortalama aydınlık süreleri Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Hesaplamalarda aydınlatma yapılacak vakitlere göre M3 yol aydınlatma sınıfında karşılıklı düzenek kullanılması durumu için 39W ve 73W’lık , M3 yol aydınlatma sınıfında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumu için 92W ve 146W’lık, M4 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzeneğin kullanılması durumu için 39W ve 67W’lık ve M5 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzeneğin kullanılması durumu için 46W ve 25W’lık yük profilleri HOMER programında oluşturulmuştur. Aydınlatma yapılmayan saatler için yük kısmı boş bırakılmıştır.

Çizelge 6.5 : Seçilen iller için aylık ortalama aydınlık süreleri.

	İstanbul	İzmir	Antalya	Ankara	Samsun	Van	Gaziantep
Ocak	06:56 - 17:31	06:58 - 17:44	06:41 - 17:33	06:39 - 17:18	06:28 - 17:01	05:55 - 16:43	06:15 - 17:05
Şubat	06:31 - 18:06	06:36 - 18:16	06:20 - 18:03	06:15 - 17:51	06:02 - 17:36	05:33 - 17:14	05:53 - 17:36
Mart	05:46 - 18:40	05:54 - 18:46	05:41 - 18:31	05:31 - 18:24	05:17 - 18:10	04:52 - 17:44	05:14 - 18:05
Nisan	05:56 - 20:13	06:08 - 20:16	05:55 - 20:00	05:43 - 19:55	05:26 - 19:44	05:05 - 19:13	05:28 - 19:33
Mayıs	05:14 - 20:48	05:29 - 20:47	05:19 - 20:28	05:02 - 20:29	04:43 - 20:19	04:28 - 19:43	04:52 - 20:02
Haziran	04:58 - 21:12	05:15 - 21:09	05:07 - 20:49	04:47 - 20:52	04:27 - 20:43	04:15 - 20:05	04:39 - 20:23
Temmuz	05:13 - 21:06	05:30 - 21:05	05:21 - 20:45	05:02 - 20:47	04:43 - 20:38	04:29 - 20:01	04:53 - 20:19
Ağustos	05:46 - 20:30	05:59 - 20:32	05:48 - 20:14	05:33 - 20:12	05:15 - 20:01	04:57 - 19:28	05:21 - 19:48
Eylül	06:17 - 19:40	06:27 - 19:46	06:13 - 19:30	06:03 - 19:24	05:48 - 19:10	05:25 - 18:42	05:47 - 19:02
Ekim	06:49 - 18:49	06:55 - 18:58	06:40 - 18:45	06:33 - 18:35	06:20 - 18:20	05:52 - 17:56	06:13 - 18:18
Kasım	06:22 - 17:15	06:25 - 17:27	06:09 - 17:15	06:06 - 17:01	05:54 - 16:44	05:22 - 16:25	05:42 - 16:48
Aralık	06:52 - 17:08	06:53 - 17:22	06:35 - 17:11	06:33 - 16:55	06:22 - 16:38	05:49 - 16:21	06:08 - 16:44

HOMER yazılımında yük profili modelleme ekranı Şekil 6.5’de gösterilmiştir.



Şekil 6.5 : HOMER yazılımında örnek yük profili modelleme ekranı.

Çizelge 6.6'da yedi il için armatür yüklerinin aylara göre günlük devrede kalma süreleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.6 : Armatür yüklerinin aylara göre günlük devrede kalma süreleri.

	Antalya	Gaziantep	Van	İzmir	Ankara	İstanbul	Samsun
Ocak	13s 08d	13s 10d	13s 12d	13s 14d	13s 21d	13s 25d	13s 27d
Şubat	12s 17d	12s 17d	12s 19d	12s 20d	12s 24d	12s 25d	12s 26d
Mart	11s 10d	11s 09d	11s 08d	11s 08d	11s 07d	11s 06d	11s 07d
Nisan	09s 55d	09s 55d	09s 52d	09s 52d	09s 48d	09s 43d	09s 42d
Mayıs	08s 51d	08s 50d	08s 45d	08s 42d	08s 33d	08s 26d	08s 24d
Haziran	08s 18d	08s 16d	08s 10d	08s 06d	07s 55d	07s 46d	07s 44d
Temmuz	08s 36d	08s 34d	08s 28d	08s 25d	08s 15d	08s 07d	08s 05d
Ağustos	09s 34d	09s 33d	09s 29d	09s 27d	09s 21d	09s 16d	09s 14d
Eylül	10s 43d	10s 45d	10s 43d	10s 41d	10s 39d	10s 37d	10s 38d
Ekim	11s 55d	11s 55d	11s 56d	11s 57d	11s 58d	12s 00d	12s 00d
Kasım	12s 54d	12s 54d	12s 57d	12s 58d	13s 05d	13s 07d	13s 10d
Aralık	13s 24d	13s 24d	13s 28d	13s 31d	13s 38d	13s 44d	13s 44d

Yedi il için armatür yüklerinin devrede kaldığı aylık toplam süreler Çizelge 6.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 : Armatür yüklerinin aylık toplam devrede kalma süreleri.

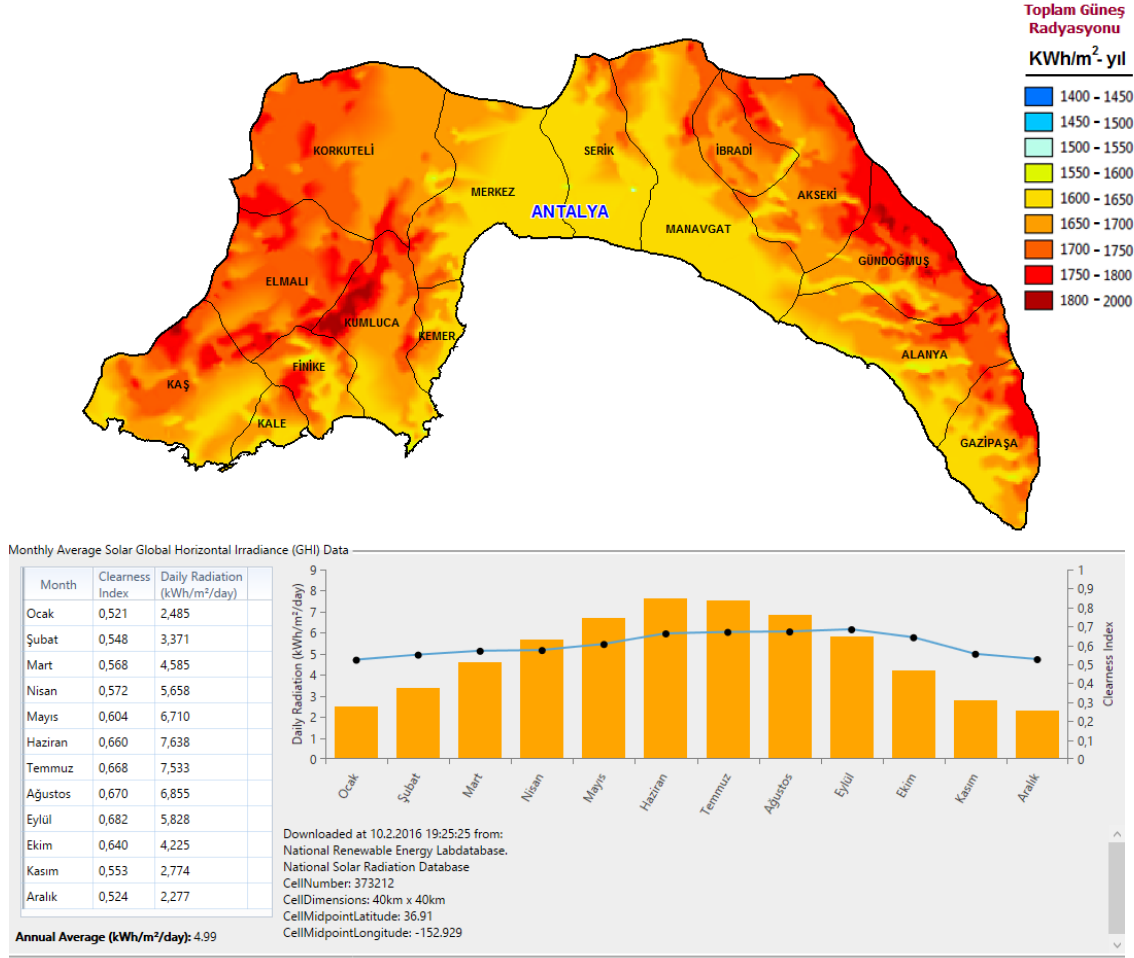
	Antalya	Gaziantep	Van	İzmir	Ankara	İstanbul	Samsun
Ocak	407,13	408,17	409,2	410,23	413,85	415,92	416,95
Şubat	343,93	343,93	344,87	345,33	347,2	347,67	348,13
Mart	346,17	345,65	345,13	345,13	344,62	344,1	344,62
Nisan	297,5	297,5	296	296	294	291,5	291
Mayıs	274,35	273,83	271,25	269,7	265,05	261,43	260,4
Haziran	249	248	245	243	237,5	233	232
Temmuz	266,6	265,57	262,47	260,92	255,75	251,62	250,58
Ağustos	296,57	296,05	293,98	292,95	289,85	287,27	286,23
Eylül	321,5	322,5	321,5	320,5	319,5	318,5	319
Ekim	369,42	369,42	369,93	370,45	370,97	372	372
Kasım	387	387	388,5	389	392,5	393,5	395
Aralık	402	402	404	405,5	409	412	412
TOPLAM (saat)	3961,17	3959,62	3951,83	3948,71	3939,79	3928,51	3927,91

6.3.4 CO₂ emisyon azalımı

Sistemlerin sağlayacağı CO₂ emisyon azalım miktarının belirlenmesinde Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verileri kullanılmıştır. Verilere göre Türkiye'de kWh başına üretilen CO₂ emisyonu miktarı 490 gCO₂/kWh'dır [53].

6.4 Antalya İli İçin Sonuçlar

Antalya ili Türkiye'nin güneybatısında, Akdeniz Bölgesi'nde 29° 20'-32°35' doğu boylamları ile 36° 07'-37° 29' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Antalya iline ait ışınım ve berraklık indeksi verileri Şekil 6.6'da verilmiştir. Veriler HOMER yazılımına ilin koordinatları girilerek National Renewable Energy Laboratory (NREL)'den alınmıştır.



Şekil 6.6 : Antalya iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi.

6.4.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Antalya ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M5 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M5 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (25W)	53m Direk Açıklığı (46W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 100Ah	2 adet 12V 100Ah
PV Panel Gücü (W)	170	280
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	28-76	39-73
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,281	0,254
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	308,5	585,10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	414,60	689,24
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,4	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	274	448
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	159	236,3
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	58,1	52,8
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	99	183
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	74,04	80,51
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	48,51	89,67

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 25W'lık armatür kullanılması durumunda 170W'lık PV panel ve 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 28°-76° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 414,60 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,281 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 274 kWh, yıllık fazla üretim 159 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 58,1%'dir.

Maksimum direk açıklığında 46W'lık armatür kullanılması durumunda 280W'lık PV panel ve 2 adet 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 39°-73° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 689,24 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,254 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 448 kWh, yıllık fazla üretim 236,3 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 52,8%'dir.

6.4.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Antalya ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M4 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M4 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	47m Direk Açıklığı (67W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 250Ah
PV Panel Gücü (W)	240	480
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	40-69	35-57
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,258	0,229
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	490,05	759,60
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	594,19	907,11
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	384	779
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	204,5	471
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	53,3	60,5
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	155	266
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,13	69,09
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,95	130,34

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W'lık armatür kullanılması durumunda 240W'lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 40°-69° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 594,19 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,258 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 384 kWh, yıllık fazla üretim 204,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 53,3%'dür.

Maksimum direk açıklığında 67W'lık armatür kullanılması durumunda 480W'lık PV panel ve 12V 250Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 35°-57° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 907,11 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,229 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 779 kWh, yıllık fazla üretim 471 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 60,5 %'dir.

6.4.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Antalya ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında karşılıklı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.11'de verilmiştir.

Çizelge 6.11 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek).*

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	51m Direk Açıklığı (73W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 250Ah
PV Panel Gücü (W)	240	540
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	40-69	40-44
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,258	0,228
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	490,05	790,80
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	594,19	977,51
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	384	886
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	204,5	551,7
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektrige Oranı (%)	53,3	62,3
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	155	289
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,13	63,66
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,95	141,61

* hesaplar tek bir taraf için yapılmıştır

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W'lık armatür kullanılması durumunda 240W'lık PV panel ve 12V 166,6A kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 40°-69° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 594,19 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,258 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 384 kWh, yıllık fazla üretim 204,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 53,3%'dir.

Maksimum direk açıklığında 73W'lık armatür kullanılması durumunda 540W'lık PV panel ve 12V 250Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 40°-44° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 977,51 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,228 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 886 kWh, yıllık fazla üretim 551,4 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 62,3%'dir.

Antalya ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında refülden çift konsollu düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.12 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek).

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	30m Direk Açıklığı (92W)	49m Direk Açıklığı (146W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 416,6Ah	2 adet 12V 333,3Ah
PV Panel Gücü (W)	530	800
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	52-59	49-66
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,227	0,225
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	1129	1829
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1233	1933
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	823	1227
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	400,3	559,7
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	48,7	45,6
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	365	578
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	83,84	84,86
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	178,85	283,22

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 92W'lık armatür kullanılması durumunda 530W'lık PV panel ve 12V 416,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 52°-59° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1233 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,227 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 823 kWh, yıllık fazla üretim 400,3 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 48,7%'dir.

Maksimum direk açıklığında 146W'lık armatür kullanılması durumunda 800W'lık PV panel ve 2 adet 12V 333,3Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 49°-66° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1933 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,225 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1227 kWh, yıllık fazla üretim 559,7 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 45,6%'dir.

6.4.4 Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri

6.4.4.1 Mevcut durum için

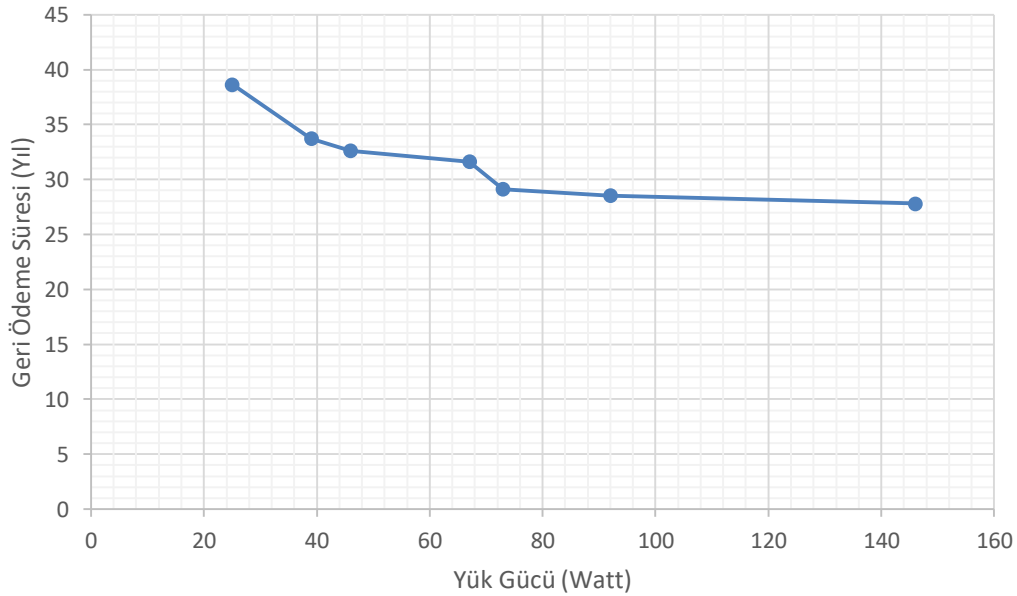
Yapılan hesaplamalar sonucunda, Antalya ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri Çizelge 6.13'de verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin

hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi 0,128 \$/kWh (0,37 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.13 : Mevcut durumda Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	38,64	489,6	99
		46	32,63	764,24	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	33,73	669,19	155
		67	31,64	1007,11	266
M3	Karşılıklı	39	33,73	669,19	155
		73	29,13	1077,51	289
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	28,53	1333	365
		146 (2 x 73)	27,82	2058	578

Şekil 6.7’de sistemlerin geri ödeme sürelerinin yük gücüyle arasındaki ilişki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.7 : Mevcut durumda Antalya İli için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi.

6.4.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için

Antalya ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için Çizelge 6.14’de verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için 0,16 \$/kWh (0,4625 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.14 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	30,91	489,6	99
		46	26,10	764,24	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	26,98	669,19	155
		67	23,66	1007,11	266
M3	Karşılıklı	39	26,98	669,19	155
		73	23,30	1077,51	289
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	22,82	1333	365
		146 (2 x 73)	22,25	2058	578

6.4.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için

Antalya ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için Çizelge 6.15’de verilmiştir.

Çizelge 6.15 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	32,51	411,98	99
		46	26,38	617,96	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	27,55	546,68	155
		67	23,68	806,37	266
M3	Karşılıklı	39	27,55	546,68	155
		73	23,22	859,17	289
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	22,46	1050,97	365
		146 (2 x 73)	21,62	1599	578

6.4.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Antalya ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.16’da verilmiştir.

Çizelge 6.16 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	26,38	334,37	99
		46	20,13	471,69	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	21,37	424,17	155
		67	17,78	605,62	266
M3	Karşılıklı	39	21,37	424,17	155
		73	17,32	640,83	289
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	16,45	768,69	365
		146 (2 x 73)	15,46	1144	578

6.4.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Antalya ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.17’de verilmiştir.

Çizelge 6.17 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Antalya ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek	25	21,11	259,37	99
	Tarafli	46	16,11	396,69	183
M4	Soldan Tek	39	17,10	349,17	155
	Tarafli	67	14,23	505,62	266
M3	Karşılıklı	39	17,10	349,17	155
		73	13,86	540,83	289
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	13,16	668,69	365
		146 (2 x 73)	12,37	1019	578

6.4.5 Antalya ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri

6.4.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Antalya iline ait M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.18 gösterilmiştir.

Çizelge 6.18 : Antalya ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

Antalya M5 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	25	46
Direk Açıklığı (m)	28	53
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	414,60	689,24
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	75
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	73,20	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	989,79	1353,71
1 km İçin Direk Sayısı	36	19
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	34632,44	25720,49
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,281	0,254
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3961,17
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	3565,05	3462,06

6.4.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Antalya iline ait M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.19 : Antalya ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

Antalya M4 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	67
Direk Açıklığı (m)	28	47
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	594,19	907,11
LED Armatür Fiyatı (\$)	291	316,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	100
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	0
Direk Montaj Fiyatı (\$)	73,20	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1175,38	1610,23
1 km İçin Direk Sayısı	36	22
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	42313,68	35425,06
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,281	0,254
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3961,17
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	5561,48	5838,76

6.4.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Antalya iline ait M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.20 ve Çizelge 6.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.20 : Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek).

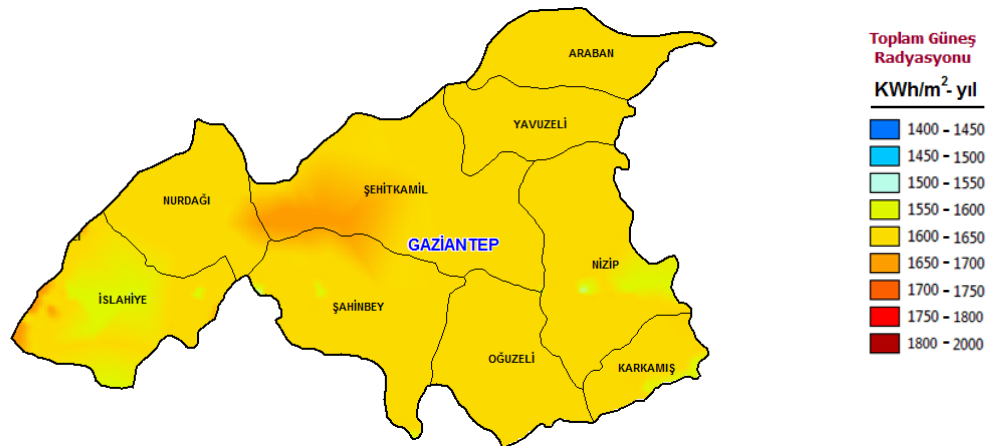
Antalya M3 – Karşılıklı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	73
Direk Açıklığı (m)	28	51
Direk Boyu (m)	7	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	594,19	977,51
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	100
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	102,62	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	7,35	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	54,47	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	2,52	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,84	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1121,99	1666,98
1 km İçin Direk Sayısı	36 x 2	20 x 2
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	80783,28	66679,2
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,258	0,228
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3961,17
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	11122,96	11566,62

Çizelge 6.21 : Antalya ili M3 yol ydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek).

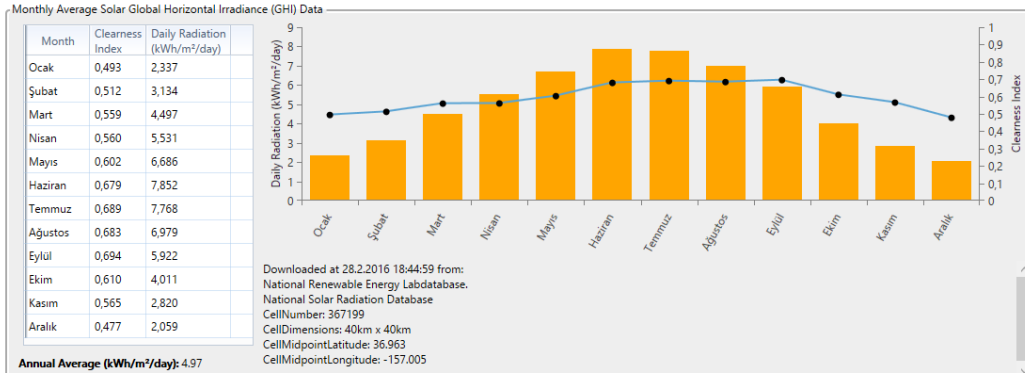
Antalya M3 – Refüjden Çift Konsollu Düzenek		
Yük Gücü (W)	92	146
Direk Açıklığı (m)	30	49
Direk Boyu (m)	8	9,5
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1233	1933
LED Armatür Fiyatı (\$)	591	649,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	100	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	123,04	170,36
Konsol Fiyatı (\$)	10,09	4,60
Direk Montaj Fiyatı (\$)	65,31	90,43
Kablo Fiyatı (\$)	2,88	3,42
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,96	1,14
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	2126,28	2977,45
1 km İçin Direk Sayısı	34	21
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	72293,52	62526,45
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,227	0,225
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3961,17
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	12390,54	12144,95

6.5 Gaziantep İli İçin Sonuçlar

Gaziantep ili Türkiye'nin güneyinde, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 36° 28' ve 38° 01' doğu boylamları ile 36° 38' ve 37° 32' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Gaziantep iline ait ışınım değerleri Şekil 6.8'de ve berraklık indeksi verileri Şekil 6.9'da verilmiştir. Veriler HOMER yazılımına ilin koordinatları girilerek National Renewable Energy Laboratory (NREL)'den alınmıştır.



Şekil 6.8 : Gaziantep iline ait ışınım değerleri



Şekil 6.8 : Gaziantep iline ait berraklık indeksi verileri.

6.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Gaziantep ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M5 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.22’de verilmiştir.

Çizelge 6.22 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M5 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (25W)	53m Direk Açıklığı (46W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 100Ah	2 adet 12V 100Ah
PV Panel Gücü (W)	230	360
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	19-64	29-60
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,303	0,269
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	339,35	626,70
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	446,90	730,84
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,4	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	371	577
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	256,5	366,3
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	69,1	63,4
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	99	183
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	74,09	80,53
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	48,51	89,67

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 25W’lık armatür kullanılması durumunda 230W’lık PV panel ve 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 19°-64° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 446,90 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,303 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 371 kWh, yıllık fazla üretim 256,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 69,1%’dir.

Maksimum direk açıklığında 46W'lık armatür kullanılması durumunda 360W'lık PV panel ve 2 adet 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 29°-60° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 730,84 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,269 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 577 kWh, yıllık fazla üretim 366,3 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 63,4%'dir.

6.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Gaziantep ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M4 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.23'de verilmiştir.

Çizelge 6.23 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M4 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	47m Direk Açıklığı (67W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	2V 166,6Ah	2V 250Ah
PV Panel Gücü (W)	310	670
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	40-45	30-45
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,274	0,255
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	526,45	858,40
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	630,59	1009
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	497	1087
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	318,2	779,1
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	64	71,7
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	155	266
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,15	71,7
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,95	130,34

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W'lık armatür kullanılması durumunda 310W'lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 40°-45° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 630,59 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,274 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 497 kWh, yıllık fazla üretim 318,2 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 64%'dür.

Maksimum direk açıklığında 67W'lık armatür kullanılması durumunda 670W'lık PV panel ve 12V 250Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 30°-45° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1009 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,255 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1087 kWh, yıllık fazla üretim 779,1 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 60,5 %'dir.

6.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Gaziantep ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında karşılıklı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.24'de verilmiştir.

Çizelge 6.24 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek).

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	51m Direk Açıklığı (73W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 333,3Ah
PV Panel Gücü (W)	310	520
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	40-45	41-57
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,274	0,251
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	526,45	976,90
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	630,59	1081
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	497	834
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	318,2	499,1
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	64	59,8
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	155	290
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,15	84,57
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,95	141,61

* hesaplar tek bir taraf için yapılmıştır

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W'lık armatür kullanılması durumunda 240W'lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 40°-69° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 594,19 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,258 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 384 kWh, yıllık fazla üretim 204,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 53,3%'dir.

Maksimum direk açıklığında 73W'lık armatür kullanılması durumunda 520W'lık PV panel ve 12V 333,3Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 41°-57° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1081 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilecek elektriğin kWh maliyeti 0,251 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 834 kWh, yıllık fazla üretim 499,1 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 59,8%'dir.

Gaziantep ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.25'de verilmiştir.

Çizelge 6.25 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek).

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	30m Direk Açıklığı (92W)	49m Direk Açıklığı (146W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 416,6Ah	3 adet 12V 250Ah
PV Panel Gücü (W)	660	880
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	42-50	53-57
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,240	0,243
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	1197	1988
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1301	2092
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	1053	1346
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	630,9	676,5
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	59,9	50,3
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	365	580
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	83,91	95,14
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	178,85	284,2

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 92W'lık armatür kullanılması durumunda 660W'lık PV panel ve 12V 416,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 42°-50° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1301 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilecek elektriğin kWh maliyeti 0,240 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1053 kWh, yıllık fazla üretim 630,9 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 59,9%'dur.

Maksimum direk açıklığında 146W'lık armatür kullanılması durumunda 880W'lık PV panel ve 3 adet 12V 250Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 53°-57° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net

değeri 2092 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,243 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1346 kWh, yıllık fazla üretim 676,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 50,3%'dür.

6.5.4 Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri

6.5.4.1 Mevcut durum için

Yapılan hesaplamalar sonucunda, Gaziantep ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri Çizelge 6.26'da verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi 0,128 \$/kWh (0,37 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.26 : Mevcut durumda Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenneği	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek	25	41,19	521,9	99
	Taraflı	46	34,40	805,84	183
M4	Soldan Tek	39	35,56	705,59	155
	Taraflı	67	32,57	1109	266
M3	Karşılıklı	39	35,56	705,59	155
	Refüjden Çift	73	31,82	1181	290
	Konsollu	92 (2 x 46)	29,99	1401	365
		146 (2 x 73)	29,86	2217	580

Şekil 6.9'da sistemlerin geri ödeme sürelerinin yük gücüyle arasındaki ilişki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.9 : Mevcut durumda Gaziantep ili için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi.

6.5.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için

Gaziantep ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için Çizelge 6.27’de verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için 0,16 \$/kWh (0,4625 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.27 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	32,95	446,90	99
		46	27,52	730,84	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	28,45	630,59	155
		67	26,05	1009	266
M3	Karşılıklı	39	28,45	630,59	155
		73	25,45	1081	290
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	23,99	1301	365
		146 (2 x 73)	23,89	2092	580

6.5.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için

Gaziantep ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için Çizelge 6.28’de verilmiştir.

Çizelge 6.28 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	34,42	436,21	99
		46	27,71	649,16	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	28,93	573,98	155
		67	25,92	882,58	266
M3	Karşılıklı	39	28,93	573,98	155
		73	25,20	935,69	290
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	23,59	1102	365
		146 (2 x 73)	23,17	1720	580

6.5.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Gaziantep ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.29’da verilmiştir.

Çizelge 6.29 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	27,66	350,52	99
		46	21,03	492,49	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	22,29	442,37	155
		67	19,28	656,43	266
M3	Karşılıklı	39	22,30	442,37	155
		73	18,65	692,29	290
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	17,18	802,49	365
		146 (2 x 73)	16,47	1223	580

6.5.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Gaziantep ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.30'da verilmiştir.

Çizelge 6.30 : Elektrik birim fiyatlarının %25 ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Gaziantep ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	22,13	275,52	99
		46	16,82	417,49	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	17,83	367,37	155
		67	15,42	556,43	266
M3	Karşılıklı	39	17,83	367,37	155
		73	14,92	592,29	290
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	13,74	702,49	365
		146 (2 x 73)	13,18	1098	580

6.5.5 Gaziantep ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri

6.5.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Gaziantep iline ait M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.31'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.31 : Gaziantep ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

Gaziantep M5 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	25	46
Direk Açıklığı (m)	28	53
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	446,90	730,84
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	75
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	73,20	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1022,09	1395,31
1 km İçin Direk Sayısı	36	19
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	36795,24	26510,89
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,303	0,269
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3959,62
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	3563,66	3460,71

6.5.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Gaziantep iline ait M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.32’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.32 : Gaziantep ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

Gaziantep M4 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	67
Direk Açıklığı (m)	28	47
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	630,59	858,40
LED Armatür Fiyatı (\$)	291	316,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	100
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	0
Direk Montaj Fiyatı (\$)	73,20	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1211,78	1561,52
1 km İçin Direk Sayısı	36	22
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	43624,08	34353,44
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,274	0,255
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3959,62
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	5559,31	5836,48

6.5.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Gaziantep iline ait M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.33 ve Çizelge 6.34’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.33 : Gaziantep ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek).

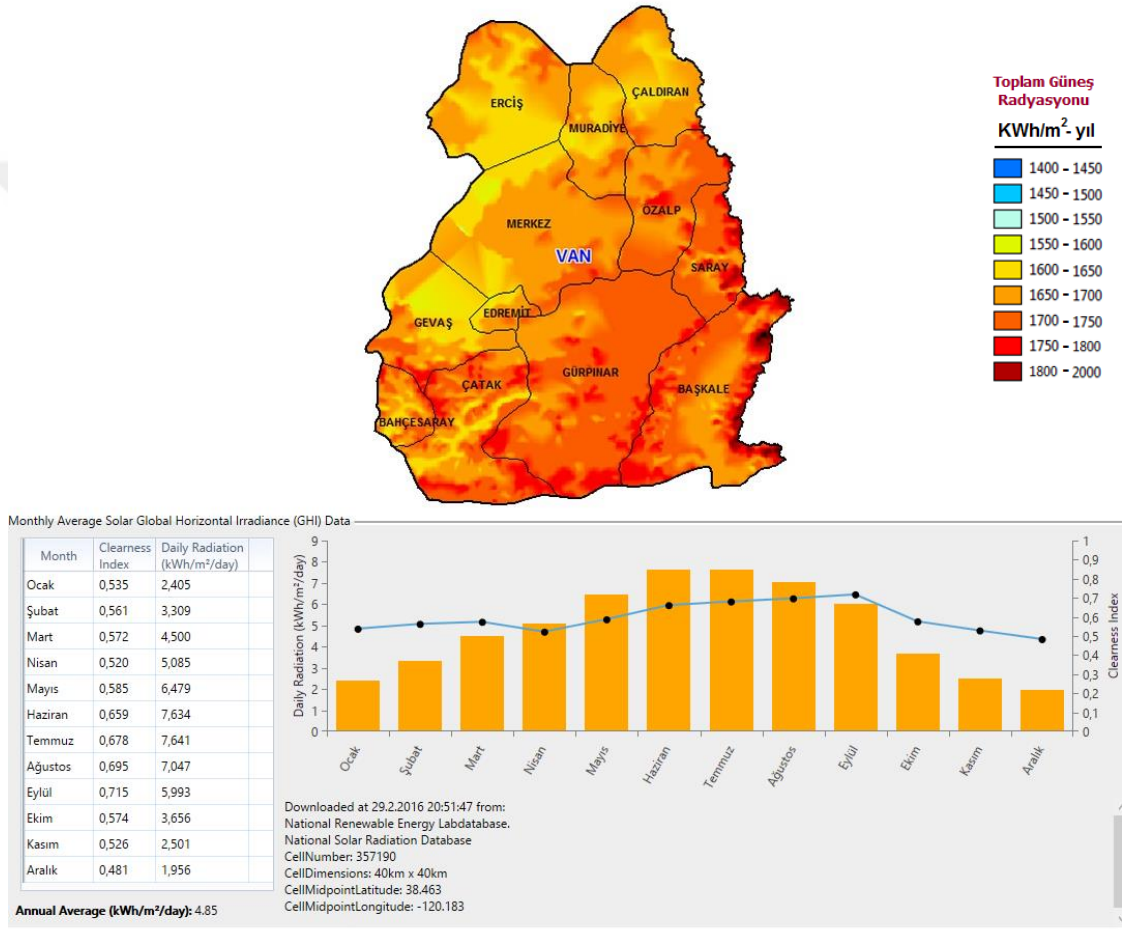
Gaziantep M3 – Karşılıklı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	73
Direk Açıklığı (m)	28	51
Direk Boyu (m)	7	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	630,59	1081
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	100
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	102,62	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	7,35	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	54,47	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	2,52	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,84	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1158,39	1770,47
1 km İçin Direk Sayısı	36 x 2	20 x 2
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	83404,08	70818,8
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,274	0,251
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3959,62
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	11118,62	11562,1

Çizelge 6.34 : Gaziantep ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek).

Gaziantep M3 – Refüjden Çift Konsollu Düzenek		
Yük Gücü (W)	92	146
Direk Açıklığı (m)	30	49
Direk Boyu (m)	8	9,5
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1301	2092
LED Armatür Fiyatı (\$)	591	649,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	100	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	123,04	170,36
Konsol Fiyatı (\$)	10,09	4,60
Direk Montaj Fiyatı (\$)	65,31	90,43
Kablo Fiyatı (\$)	2,88	3,42
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,96	1,14
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	2194,28	3131,45
1 km İçin Direk Sayısı	34	21
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	74605,52	65760,45
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,240	0,243
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3959,62
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	12385,69	12140,19

6.6 Van ili için sonuçlar

Van ili Türkiye'nin doğusunda, Doğu Anadolu Bölgesi'nde 42° 40' ve 44° 30' doğu boylamları ile 37° 43' ve 39° 26' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Van iline ait ışınım ve berraklık indeksi verileri Şekil 6.10'da verilmiştir. Veriler HOMER yazılımına ilin koordinatları girilerek National Renewable Energy Laboratory (NREL)'den alınmıştır.



Şekil 6.10 : Van iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi.

6.6.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Van ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M5 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.35'de verilmiştir.

Çizelge 6.35 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M5 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (25W)	53m Direk Açıklığı (46W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 100Ah	2 adet 12V 100Ah
PV Panel Gücü (W)	230	360
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	31-56	31-61
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,302	0,269
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	339,35	626,70
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	446,33	730,84
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,4	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	372	576
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	257,1	364,9
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	69,1	63,4
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	99	183
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	74,01	80,44
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	48,51	89,67

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 25W'lık armatür kullanılması durumunda 230W'lık PV panel ve 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 31°-56° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 446,33 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,302 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 372 kWh, yıllık fazla üretim 257,1 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 69,1%'dir.

Maksimum direk açıklığında 46W'lık armatür kullanılması durumunda 360W'lık PV panel ve 2 adet 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 31°-61° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 730,84 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,269 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 576 kWh, yıllık fazla üretim 364,9 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 63,4%'dür.

6.6.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Van ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M4 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.36'da verilmiştir.

Çizelge 6.36 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M4 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	47m Direk Açıklığı (67W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 250Ah
PV Panel Gücü (W)	330	700
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	30-62	25-40
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,278	0,258
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	536,85	874
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	640,99	1023
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	525	1130
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	346,3	822,5
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	65,9	72,8
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	155	266
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,06	69,03
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,95	130,34

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W'lık armatür kullanılması durumunda 330W'lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 30°-62° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 640,99 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,278 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 525 kWh, yıllık fazla üretim 346,3 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 65,9%'dür.

Maksimum direk açıklığında 67W'lık armatür kullanılması durumunda 700W'lık PV panel ve 12V 250Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 25°-40° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1023 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,258 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1130 kWh, yıllık fazla üretim 822,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 69,03 %'dür.

6.6.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Van ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında karşılıklı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.37'de verilmiştir.

Çizelge 6.37 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek).

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	51m Direk Açıklığı (73W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 333,3Ah
PV Panel Gücü (W)	330	550
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	30-62	50-56
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,278	0,254
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	536,85	992,50
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	640,99	1097
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	525	850
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	346,3	514,9
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	65,9	60,6
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	155	290
Yükün Karşılammama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,06	84,49
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,95	142,1

* hesaplar tek bir taraf için yapılmıştır

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W'lık armatür kullanılması durumunda 330W'lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 30°-62° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 640,99 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,278 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 525 kWh, yıllık fazla üretim 346,3 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 65,9%'dur.

Maksimum direk açıklığında 73W'lık armatür kullanılması durumunda 550W'lık PV panel ve 12V 333,3Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 50°-56° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1097 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,254 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 850 kWh, yıllık fazla üretim 514,9 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 60,6%'dır.

Van ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.38'de verilmiştir.

Çizelge 6.38 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek).

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	30m Direk Açıklığı (92W)	49m Direk Açıklığı (146W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 416,6Ah	3 adet 12V 250Ah
PV Panel Gücü (W)	670	980
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	39-59	53-59
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,240	0,248
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	1202	2039
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1306	2143
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	1062	1492
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	640	822,2
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	60,3	55,1
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	366	580
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	83,79	95,05
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	179,34	284,2

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 92W'lık armatür kullanılması durumunda 670W'lık PV panel ve 12V 416,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 36°-59° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1306 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilecek elektriğin kWh maliyeti 0,240 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1062 kWh, yıllık fazla üretim 640 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 60,3%'dur.

Maksimum direk açıklığında 146W'lık armatür kullanılması durumunda 880W'lık PV panel ve 3 adet 12V 250Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 53°-59° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 2143 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilecek elektriğin kWh maliyeti 0,248 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1492 kWh, yıllık fazla üretim 669,8 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 55,1%'dür.

6.6.4 Van ili için yatırım geri ödeme süreleri

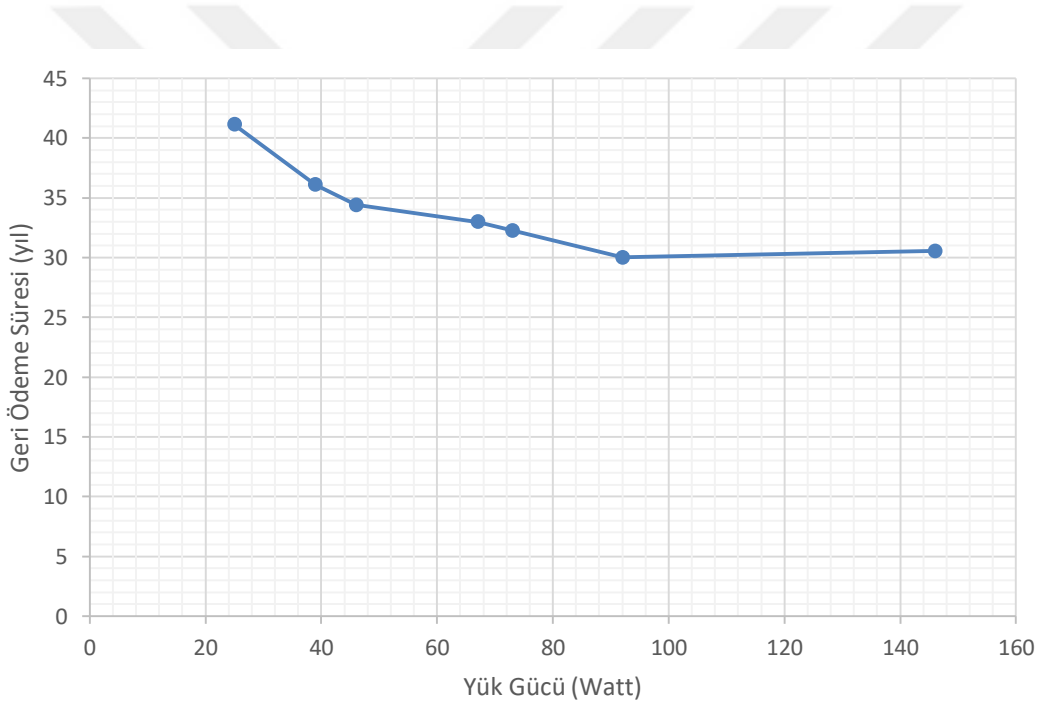
6.6.4.1 Mevcut durum için

Yapılan hesaplamalar sonucunda, Van ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri Çizelge 6.39'da verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifi 0,128 \$/kWh (0,37 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.39 : Mevcut durumda Van ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenneği	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	41,14	521,33	99
		46	34,40	805,84	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	36,08	715,99	155
		67	32,98	1123	266
M3	Karşılıklı	39	36,08	715,99	155
		73	32,25	1197	290
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	30,01	1406	366
		146 (2 x 73)	30,55	2268	580

Şekil 6.11’de sistemlerin geri ödeme sürelerinin yük gücüyle arasındaki ilişki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.11 : Mevcut durumda Van İli için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi.

6.6.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için

Van ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için Çizelge 6.40’da verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için 0,16 \$/kWh (0,4625 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.40 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda Van ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenneği	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	32,91	446,33	99
		46	27,52	730,84	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	28,87	640,99	155
		67	26,39	1023	266
M3	Karşılıklı	39	28,87	640,99	155
		73	25,79	1097	290
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	24,01	1306	366
		146 (2 x 73)	24,44	2143	580

6.6.4.3 Akü ve Fotovoltaik Panel Fiyatlarının %25 Azalması Durumu İçin

Van ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için Çizelge 6.41’de verilmiştir.

Çizelge 6.41 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda Van ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenneği	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	34,39	435,8	99
		46	27,71	649,16	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	29,32	581,78	155
		67	26,23	893,38	266
M3	Karşılıklı	39	29,32	581,78	155
		73	25,52	947,39	290
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	23,61	1106	366
		146 (2 x 73)	23,69	1759	580

6.6.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Van ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.42’de verilmiştir.

Çizelge 6.42 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Van ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenneği	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	27,64	350,25	99
		46	21,02	492,49	183
M4	Soldan Tek Taraflı	39	22,56	447,57	155
		67	19,49	663,64	266
M3	Karşılıklı	39	22,56	447,57	155
		73	18,87	700,39	290
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	17,19	805,09	366
		146 (2 x 73)	16,82	1249	580

6.6.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Van ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.43’de verilmiştir.

Çizelge 6.43 : Elektrik birim fiyatlarının %25 ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Van ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek	25	22,11	350,25	99
	Tarafı	46	16,82	492,49	183
M4	Soldan Tek	39	18,05	447,57	155
	Tarafı	67	15,59	663,64	266
M3	Karşılıklı	39	18,05	447,57	155
		73	15,09	700,39	290
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	13,75	805,09	366
		146 (2 x 73)	13,46	1249	580

6.6.5 Van ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri

6.6.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Van iline ait M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.44’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.44 : Van ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

Van M5 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	25	46
Direk Açıklığı (m)	28	53
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	446,33	730,84
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	75
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	86,55	115,53
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1034,87	1413,12
1 km İçin Direk Sayısı	36	19
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	37255,32	26849,28
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,302	0,269
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3951,83
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	3556,65	3453,90

6.6.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Van iline ait M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.45’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.45 : Van ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

Van M4 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	67
Direk Açıklığı (m)	28	47
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	640,99	1023
LED Armatür Fiyatı (\$)	291	316,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	100
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	0
Direk Montaj Fiyatı (\$)	86,55	115,53
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1235,53	1743,93
1 km İçin Direk Sayısı	36	22
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	44479,08	38366,46
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,278	0,258
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3951,83
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	5548,37	5825,00

6.6.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Van iline ait M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.46 ve Çizelge 6.47’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.46 : Van ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek).

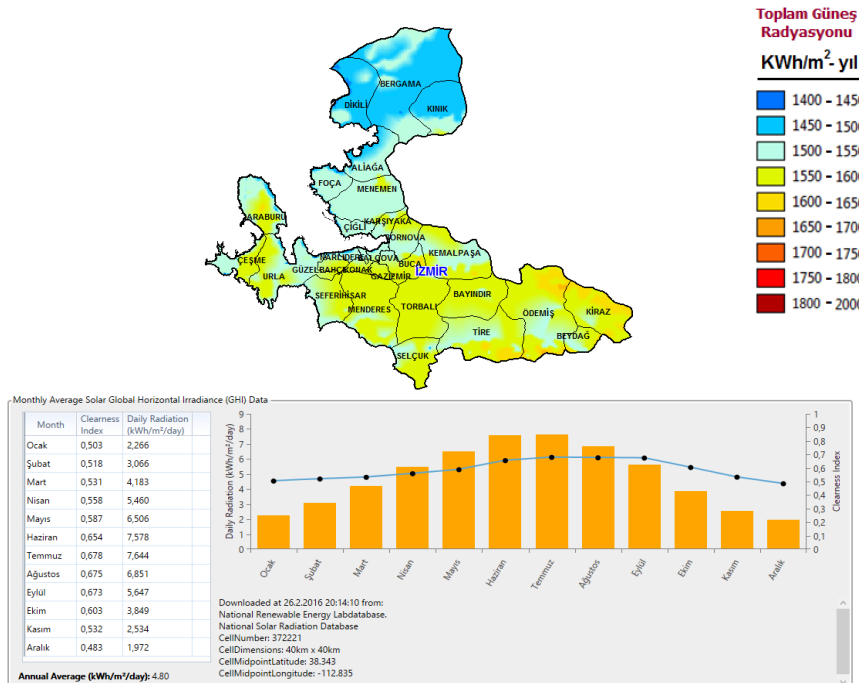
Van M3 – Karşılıklı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	73
Direk Açıklığı (m)	28	51
Direk Boyu (m)	7	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	640,99	1097
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	100
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	102,62	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	7,35	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	64,40	115,53
Kablo Fiyatı (\$)	2,52	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,84	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1178,72	1804,28
1 km İçin Direk Sayısı	36 x 2	20 x 2
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	84867,84	72171,2
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,278	0,254
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3951,83
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	11096,74	11539,34

Çizelge 6.47 : Van ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek).

Van M3 – Refüjden Çift Konsollu Düzenek		
Yük Gücü (W)	92	146
Direk Açıklığı (m)	30	49
Direk Boyu (m)	8	9,5
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1306	2143
LED Armatür Fiyatı (\$)	591	649,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	100	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	123,04	170,36
Konsol Fiyatı (\$)	10,09	4,60
Direk Montaj Fiyatı (\$)	77,21	106,91
Kablo Fiyatı (\$)	2,88	3,42
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,96	1,14
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	2211,18	3203,93
1 km İçin Direk Sayısı	34	21
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	75180,12	67282,53
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,240	0,248
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3951,83
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	12361,32	12116,31

6.7 İzmir İli İçin Sonuçlar

İzmir ili Türkiye'nin batısında, Ege Bölgesi'nde $37^{\circ} 45'$ ve $39^{\circ} 15'$ doğu boylamları ile $26^{\circ} 15'$ ve $28^{\circ} 20'$ kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. İzmir iline ait ışınım ve berraklık indeksi verileri Şekil 6.12'de verilmiştir. Veriler HOMER yazılımına ilin koordinatları girilerek National Renewable Energy Laboratory (NREL)'den alınmıştır.



Şekil 6.12 : İzmir iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi.

6.7.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

İzmir ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M5 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.48’de verilmiştir.

Çizelge 6.48 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M5 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (25W)	53m Direk Açıklığı (46W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 100Ah	2 adet 12V 100Ah
PV Panel Gücü (W)	200	330
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	38-51	47-56
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,292	0,265
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	323,75	611,10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	429,46	715,24
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,4	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	314	505
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	199,6	295,4
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	63,6	58,5
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	99	182
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	74,47	80,94
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	48,51	89,18

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 25W’lık armatür kullanılması durumunda 200W’lık PV panel ve 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 38°-51° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 429,46 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,292 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 314 kWh, yıllık fazla üretim 199,6 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 63,6%’dir.

Maksimum direk açıklığında 46W’lık armatür kullanılması durumunda 330W’lık PV panel ve 2 adet 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 47°-56° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 715,24 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,265 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 505 kWh, yıllık fazla üretim 295,4 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 58,5%’dir.

6.7.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

İzmir ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M4 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.49’da verilmiştir.

Çizelge 6.49 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M4 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	47m Direk Açıklığı (67W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 250Ah
PV Panel Gücü (W)	290	590
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	37-62	36-48
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,271	0,245
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	516,05	816,80
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	620,19	963
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	452	920
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	274,2	614,1
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	60,6	66,7
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	154	265
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,56	69,03
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,46	129,85

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W’lık armatür kullanılması durumunda 290W’lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 37°-62° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 620,19 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,271 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 452 kWh, yıllık fazla üretim 274,2 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 60,6%’dir.

Maksimum direk açıklığında 67W’lık armatür kullanılması durumunda 590W’lık PV panel ve 12V 250Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 36°-48° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 963 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,245 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 920 kWh, yıllık fazla üretim 614,1 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 66,7 %’dir.

6.7.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

İzmir ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında karşılıklı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.50’de verilmiştir.

Çizelge 6.50 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek).*

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	51m Direk Açıklığı (73W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 250Ah
PV Panel Gücü (W)	290	660
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	37-62	37-42
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,271	0,243
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	516,05	853,20
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	620,19	1039
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	452	1042
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	274,2	710,2
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektrığe Oranı (%)	60,6	68,1
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	154	287
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,56	68,1
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,46	140,63

* hesaplar tek bir taraf için yapılmıştır

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W’lık armatür kullanılması durumunda 290W’lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 37°-62° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 620,19 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,271 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 452 kWh, yıllık fazla üretim 274,2 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 60,6%’dir

Maksimum direk açıklığında 73W’lık armatür kullanılması durumunda 660W’lık PV panel ve 12V 250Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 37°-42° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1042 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,243 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1042 kWh, yıllık fazla üretim 710,2 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 68,1%’dir.

İzmir ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.51’de verilmiştir.

Çizelge 6.51 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek).

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	30m Direk Açıklığı (92W)	49m Direk Açıklığı (146W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 416,6Ah	2 adet 12V 333,3Ah
PV Panel Gücü (W)	600	940
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	45-64	48-60
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,237	0,236
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	1166	1902
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1270	2006
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	907	1420
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	491	760,9
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	54,2	53,6
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	359	570
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	85,26	85,96
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	175,91	279,3

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 92W’lık armatür kullanılması durumunda 600W’lık PV panel ve 12V 416,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 45°-64° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1270 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,237 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 907 kWh, yıllık fazla üretim 491 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 54,2%’dir.

Maksimum direk açıklığında 146W’lık armatür kullanılması durumunda 940W’lık PV panel ve 2 adet 12V 333,3Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 48°-60° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 2006 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,236 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1420 kWh, yıllık fazla üretim 659,1 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 53,6%’dir.

6.7.4 İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri

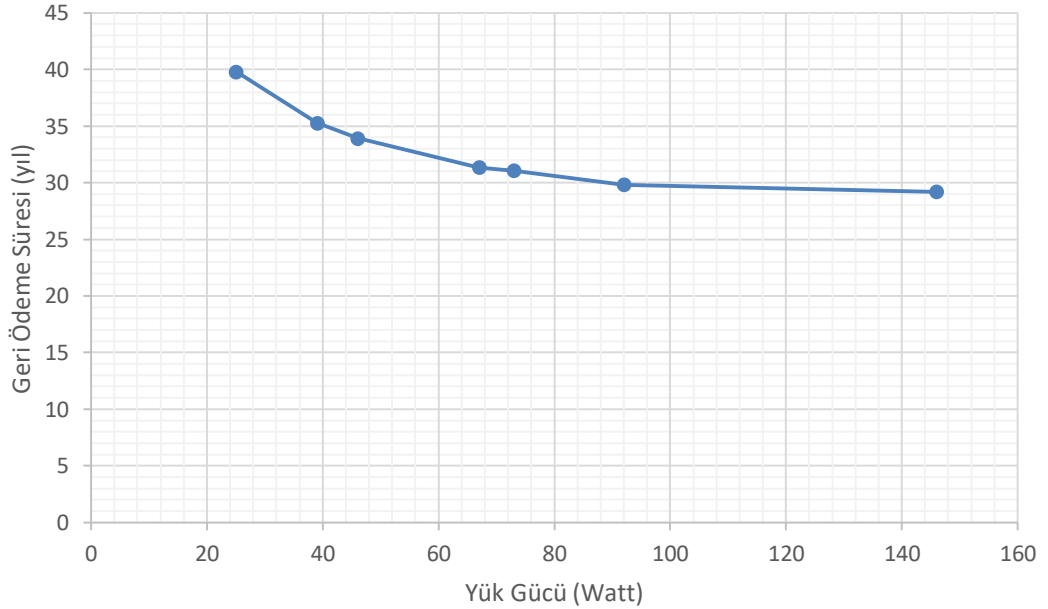
6.7.4.1 Mevcut durum için

Yapılan hesaplamalar sonucunda, İzmir ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri Çizelge 6.52’de verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi 0,128 \$/kWh (0,37 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.52 : Mevcut durumda İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenneği	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	39,81	504,46	99
		46	33,92	790,24	182
M4	Soldan Tek Taraflı	39	35,27	695,19	154
		67	31,34	1063	265
M3	Karşılıklı	39	35,27	695,19	154
		73	31,06	1139	287
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	29,81	1370	359
		146 (2 x 73)	29,21	2131	570

Şekil 6.13’de sistemlerin geri ödeme sürelerinin yük gücüyle arasındaki ilişki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.13 : Mevcut durumda İzmir İli için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi.

6.7.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için

İzmir ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için Çizelge 6.53’de verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için 0,16 \$/kWh (0,4625 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.53 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek	25	31,85	504,46	99
	Tarafli	46	27,13	790,24	182
M4	Soldan Tek	39	28,21	695,19	154
	Tarafli	67	25,07	1063	265
M3	Karşılıklı	39	28,21	695,19	154
		73	24,80	1139	287
	Refüjden Çift	92 (2 x 46)	23,85	1370	359
		Konsollu	146 (2 x 73)	23,36	2131

6.7.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için

İzmir ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için Çizelge 6.54’de verilmiştir.

Çizelge 6.54 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek	25	33,39	423,13	99
	Tarafli	46	27,36	637,46	182
M4	Soldan Tek	39	28,72	566,18	154
	Tarafli	67	25,01	848,29	265
M3	Karşılıklı	39	28,72	566,18	154
		73	24,64	905,19	287
	Refüjden Çift	92 (2 x 46)	23,46	1078,27	359
		Konsollu	146 (2 x 73)	22,66	1653

6.7.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

İzmir ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.55’de verilmiştir.

Çizelge 6.55 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	26,97	341,80	99
		46	20,81	484,69	182
M4	Soldan Tek Taraflı	39	22,18	437,17	154
		67	18,67	633,57	265
M3	Karşılıklı	39	22,17	437,17	154
		73	18,28	671,51	287
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	17,12	786,89	359
		146 (2 x 73)	16,17	1180	570

6.7.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

İzmir ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.56'da verilmiştir.

Çizelge 6.56 : Elektrik birim fiyatlarının %25 ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda İzmir ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	21,58	341,80	99
		46	16,64	484,69	182
M4	Soldan Tek Taraflı	39	17,74	437,17	154
		67	14,95	633,57	265
M3	Karşılıklı	39	17,74	437,17	154
		73	14,62	671,51	287
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	13,70	786,89	359
		146 (2 x 73)	12,94	1180	570

6.7.5 İzmir ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri

6.7.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

İzmir iline ait M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.57'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.57 : İzmir ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

İzmir M5 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	25	46
Direk Açıklığı (m)	28	53
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	429,46	715,24
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	75
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	66,73	89,08
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	998,18	1371,07
1 km İçin Direk Sayısı	36	19
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	35934,48	26050,33
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,292	0,265
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3948,71
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	3553,84	3451,17

6.7.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

İzmir iline ait M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.58’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.58 : İzmir ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

İzmir M4 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	67
Direk Açıklığı (m)	28	47
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	620,19	963
LED Armatür Fiyatı (\$)	291	316,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	100
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	0
Direk Montaj Fiyatı (\$)	66,73	89,08
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1194,91	1657,48
1 km İçin Direk Sayısı	36	22
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	43016,76	36464,56
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,271	0,245
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3948,71
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	5543,99	5820,40

6.7.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

İzmir iline ait M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.59 ve Çizelge 6.60'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.59 : İzmir ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek).

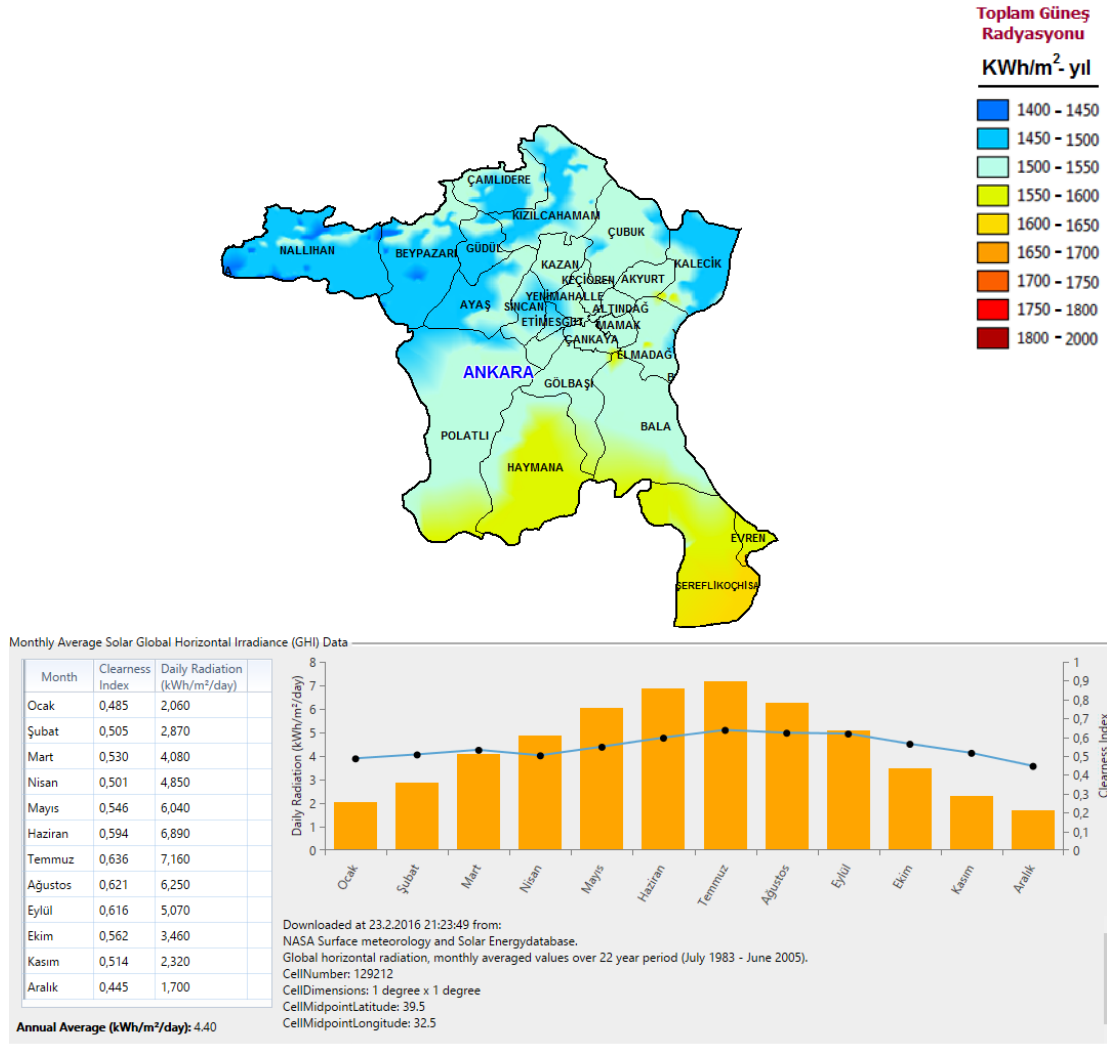
İzmir M3 – Karşılıklı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	73
Direk Açıklığı (m)	28	51
Direk Boyu (m)	7	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	620,19	1039
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	100
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	102,62	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	7,35	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	49,65	89,08
Kablo Fiyatı (\$)	2,52	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,84	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1143,17	1719,83
1 km İçin Direk Sayısı	36 x 2	20 x 2
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	82308,24	68793,2
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,271	0,243
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3948,71
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	11087,98	11530,24

Çizelge 6.60 : İzmir ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek).

İzmir M3 – Refüjden Çift Konsollu Düzenek		
Yük Gücü (W)	92	146
Direk Açıklığı (m)	30	49
Direk Boyu (m)	8	9,5
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1270	2006
LED Armatür Fiyatı (\$)	591	649,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	100	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	123,04	170,36
Konsol Fiyatı (\$)	10,09	4,60
Direk Montaj Fiyatı (\$)	59,53	82,43
Kablo Fiyatı (\$)	2,88	3,42
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,96	1,14
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	2157,5	3042,45
1 km İçin Direk Sayısı	34	21
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	73355	63891,45
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,237	0,236
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3948,71
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	12351,56	12106,74

6.8 Ankara İli İçin Sonuçlar

Ankara ili Türkiye'nin ortasında, İç Anadolu Bölgesi'nde 39 ve 57° kuzey enlemi ve 32 ve 53° doğu boylamı arasında bulunur. Ankara iline ait ışınım ve berraklık indeksi verileri Şekil 6.14'de verilmiştir. Veriler HOMER yazılımına ilin koordinatları girilerek NASA Surface Meteorology and Solar Energy Database'den alınmıştır.



Şekil 6.14 : Ankara iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi.

6.8.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Ankara ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M5 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.61'de verilmiştir.

Çizelge 6.61 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M5 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (25W)	53m Direk Açıklığı (46W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 100Ah	2 adet 12V 100Ah
PV Panel Gücü (W)	310	490
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	26-48	35-45
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,331	0,295
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	380,95	694,30
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	486,89	798,44
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,4	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	456	717
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	341,7	507,4
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	74,9	70,7
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	99	182
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	74,41	80,93
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	48,51	89,18

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 25W'lık armatür kullanılması durumunda 310W'lık PV panel ve 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 26°-48° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 486,89 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,331 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 456 kWh, yıllık fazla üretim 341,7 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 74,9%'dur.

Maksimum direk açıklığında 46W'lık armatür kullanılması durumunda 490W'lık PV panel ve 2 adet 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 35°-45° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 798,44 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,295 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 717 kWh, yıllık fazla üretim 507,4 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 70,7%'dir.

6.8.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Ankara ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M4 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.62'de verilmiştir.

Çizelge 6.62 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M4 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	47m Direk Açıklığı (67W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 333,3Ah
PV Panel Gücü (W)	440	590
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	25-56	49-54
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,305	0,284
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	594,05	1013
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	698,19	1117
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	644	834
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	466	528,8
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	72,4	63,4
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	154	265
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,55	92,60
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,46	129,85

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W'lık armatür kullanılması durumunda 440W'lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 25°-56° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 698,19 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,305 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 644 kWh, yıllık fazla üretim 466 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 72,4%'dür.

Maksimum direk açıklığında 67W'lık armatür kullanılması durumunda 590W'lık PV panel ve 12V 333,3Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 49°-54° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1117 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,284 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 834 kWh, yıllık fazla üretim 528,8 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 63,4 %'dür.

6.8.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Ankara ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında karşılıklı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.63'de verilmiştir.

Çizelge 6.63 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek).*

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	51m Direk Açıklığı (73W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 333,3Ah
PV Panel Gücü (W)	440	720
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	25-56	37-49
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,305	0,276
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	594,05	1081
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	698,19	1185
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	644	1054
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	466	720,9
Yıllık Fazla Üretim Üretilen Elektriğe Oranı (%)	72,4	68,4
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	154	288
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,55	84,99
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,46	141,12

* hesaplar tek bir taraf için yapılmıştır

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W'lık armatür kullanılması durumunda 440W'lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 25°-56° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 698,19 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,305 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 644 kWh, yıllık fazla üretim 466 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 72,4%'dür.

Maksimum direk açıklığında 73W'lık armatür kullanılması durumunda 720W'lık PV panel ve 12V 333,3Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 37°-49° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1185 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,276 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1054 kWh, yıllık fazla üretim 720,9 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 68,4%'dür.

Ankara ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.64'de verilmiştir.

Çizelge 6.64 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek).

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	30m Direk Açıklığı (92W)	49m Direk Açıklığı (146W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 416,6Ah	2 adet 12V 500Ah
PV Panel Gücü (W)	920	970
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	38-46	55-58
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,266	0,303
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	1332	2499
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1436	2603
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	1347	1346
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	926,8	681,1
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	68,8	50,6
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	364	577
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	84,27	127,51
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	178,36	282,73

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 92W'lık armatür kullanılması durumunda 920W'lık PV panel ve 12V 416,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 38°-46° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1436 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,266 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1347 kWh, yıllık fazla üretim 926,8 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 68,8%'dir.

Maksimum direk açıklığında 146W'lık armatür kullanılması durumunda 940W'lık PV panel ve 2 adet 12V 500Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 55°-58° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 2603 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,303 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1346 kWh, yıllık fazla üretim 681,1 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 50,6%'dir.

6.8.4 Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri

6.8.4.1 Mevcut durum için

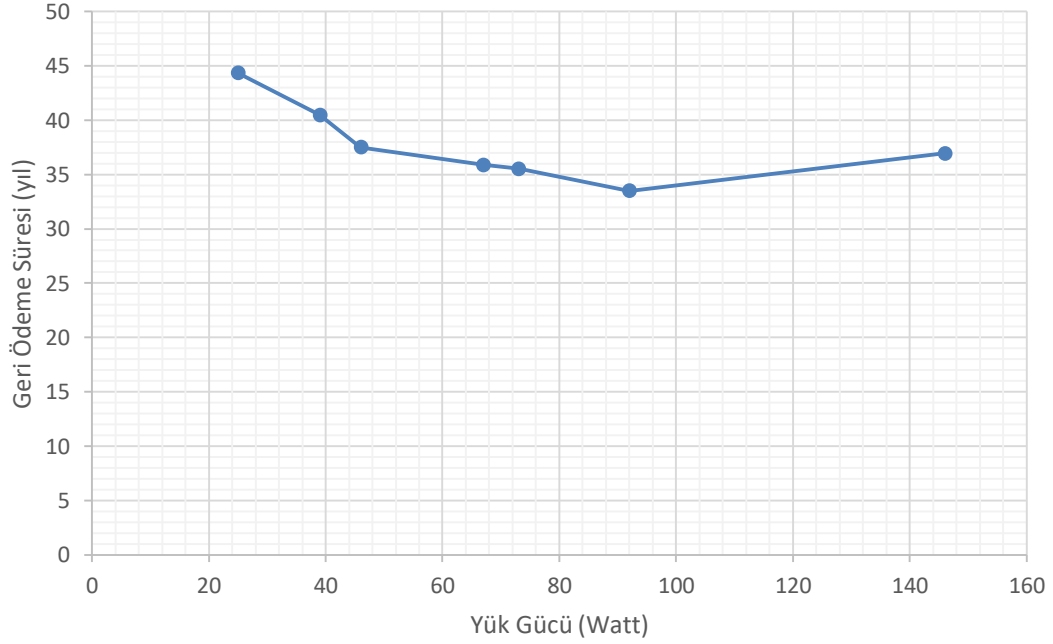
Yapılan hesaplamalar sonucunda, Ankara ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri Çizelge 6.65'de verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin

hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi 0,128 \$/kWh (0,37 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.65 : Mevcut durumda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenineği	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	44,34	561,89	99
		46	37,49	873,44	182
M4	Soldan Tek Taraflı	39	40,49	798,19	154
		67	35,88	1217	265
M3	Karşılıklı	39	40,49	798,19	154
		73	35,54	1310	288
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	33,50	1561	364
		146 (2 x 73)	36,94	2728	577

Şekil 6.15’de sistemlerin geri ödeme sürelerinin yük gücüyle arasındaki ilişki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.15 : Mevcut durumda Ankara ili için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi.

6.8.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için

Ankara ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için Çizelge 6.66’da verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için 0,16 \$/kWh (0,4625 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.66 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek	25	35,47	486,89	99
	Tarafli	46	29,99	798,44	182
M4	Soldan Tek	39	32,39	698,19	154
	Tarafli	67	28,70	1117	265
M3	Karşılıklı	39	32,39	698,19	154
		73	28,42	1185	288
	Refüjden Çift	92 (2 x 46)	26,80	1436	364
	Konsollu	146 (2 x 73)	29,55	2603	577

6.8.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için

Ankara ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için Çizelge 6.67’de verilmiştir.

Çizelge 6.67 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek	25	36,79	466,20	99
	Tarafli	46	30,04	699,86	182
M4	Soldan Tek	39	32,96	649,68	154
	Tarafli	67	28,39	962,99	265
M3	Karşılıklı	39	32,96	649,68	154
		73	28,17	1038,69	288
	Refüjden Çift	92 (2 x 46)	26,36	1228	364
	Konsollu	146 (2 x 73)	28,49	2104	577

6.8.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Ankara ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.68’de verilmiştir.

Çizelge 6.68 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek	25	29,21	370,21	99
	Tarafli	46	22,59	526,29	182
M4	Soldan Tek	39	25,42	501,17	154
	Tarafli	67	20,95	710,79	265
M3	Karşılıklı	39	25,42	501,17	154
		73	20,87	769,59	288
	Refüjden Çift	92 (2 x 46)	19,21	895,09	364
	Konsollu	146 (2 x 73)	20,02	1479	577

6.8.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Ankara ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.69'da verilmiştir.

Çizelge 6.69 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	23,37	370,21	99
		46	18,07	526,29	182
M4	Soldan Tek Taraflı	39	20,34	501,17	154
		67	16,76	710,79	265
M3	Karşılıklı	39	20,34	501,17	154
		73	16,70	769,59	288
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	15,37	895,09	364
		146 (2 x 73)	16,02	1479	577

6.8.5 Ankara ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri

6.8.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Ankara iline ait M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.70'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.70 : Ankara ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

Ankara M5 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	25	46
Direk Açıklığı (m)	28	53
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	486,89	798,89
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	75	75
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	73,20	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1062,08	1463,36
1 km İçin Direk Sayısı	36	19
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	38234,88	27803,84
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,331	0,295
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3939,79
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	3545,81	3443,38

6.8.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Ankara iline ait M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.71’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.71 : Ankara ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

Ankara M4 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	67
Direk Açıklığı (m)	28	47
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	689,19	1117
LED Armatür Fiyatı (\$)	291	316,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	100	100
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	0
Direk Montaj Fiyatı (\$)	73,20	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1295,38	1820,12
1 km İçin Direk Sayısı	36	22
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	46633,68	40042,64
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,305	0,284
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3939,79
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	5531,47	5807,25

6.8.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Ankara iline ait M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.72 ve Çizelge 6.73’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.72 : Ankara ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek).

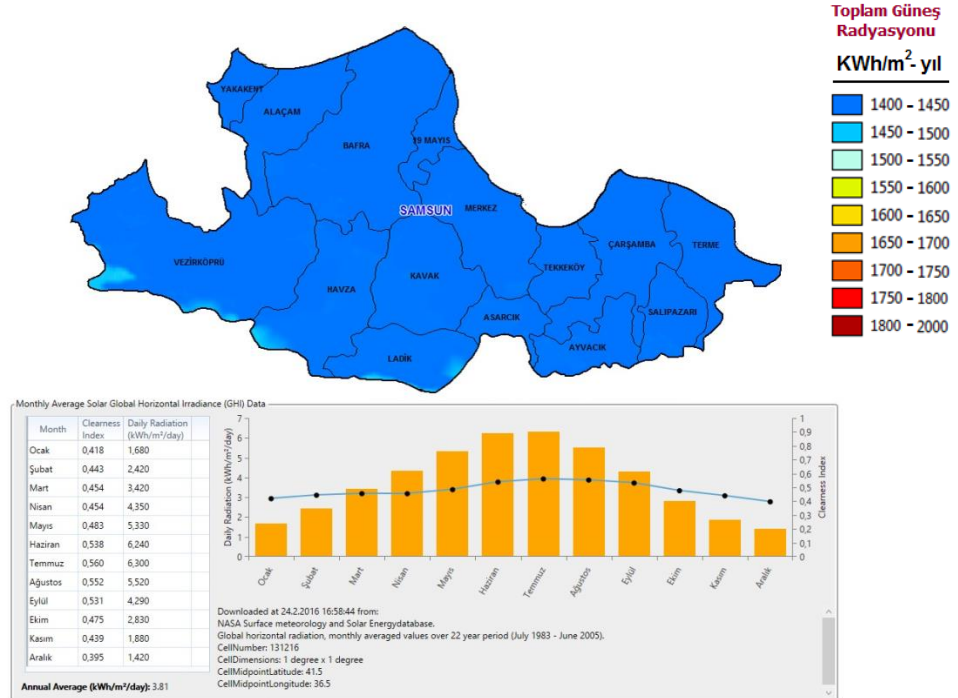
Ankara M3 – Karşılıklı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	73
Direk Açıklığı (m)	28	51
Direk Boyu (m)	7	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	698,19	1185
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	100	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	102,62	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	7,35	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	54,47	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	2,52	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,84	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1250,99	1899,47
1 km İçin Direk Sayısı	36 x 2	20 x 2
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	90071,28	75978,8
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,305	0,276
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3939,79
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	11062,94	11504,18

Çizelge 6.73 : Ankara ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek).

Ankara M3 – Refüjden Çift Konsollu Düzenek		
Yük Gücü (W)	92	146
Direk Açıklığı (m)	30	49
Direk Boyu (m)	8	9,5
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1332	2499
LED Armatür Fiyatı (\$)	591	649,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	125	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	123,04	170,36
Konsol Fiyatı (\$)	10,09	4,60
Direk Montaj Fiyatı (\$)	65,31	90,43
Kablo Fiyatı (\$)	2,88	3,42
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,96	1,14
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	2250,28	3543,45
1 km İçin Direk Sayısı	34	21
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	76509,52	74412,45
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,266	0,303
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3939,79
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	12323,66	12079,39

6.9 Samsun İli İçin Sonuçlar

Samsun ili Türkiye'nin kuzeyinde, Karadeniz Bölgesi'nde 37° 08' ve 34° 25' doğu boylamları ile 40° 50' ve 41° 51' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Samsun iline ait ışınım ve berraklık indeksi verileri Şekil 6.16'da verilmiştir. Veriler HOMER yazılımına ilin koordinatları girilerek NASA Surface Meteorology and Solar Energy Database'den alınmıştır.



Şekil 6.16 : Samsun iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi.

6.9.1 M5 Yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Samsun ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M5 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.74’de verilmiştir.

Çizelge 6.74 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M5 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (25W)	53m Direk Açıklığı (46W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 100Ah	12V 250Ah
PV Panel Gücü (W)	420	550
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	14-47	44-59
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,371	0,333
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	438,15	796
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	544,03	900,14
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,4	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	528	671
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	414,3	461,3
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	78,4	68,8
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	99	182
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	74,52	101,25
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	48,51	89,18

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 25W’lık armatür kullanılması durumunda 420W’lık PV panel ve 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 14°-47° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 544,03 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,371 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 528 kWh, yıllık fazla üretim 414,3 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 78,4%’dür.

Maksimum direk açıklığında 46W’lık armatür kullanılması durumunda 550W’lık PV panel ve 12V 250Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 44°-59° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 900,14 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,333 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 671 kWh, yıllık fazla üretim 461,3 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 68,8%’dir.

6.9.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Samsun ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M4 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.75’de verilmiştir.

Çizelge 6.75 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M4 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	47m Direk Açıklığı (67W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 333,3Ah
PV Panel Gücü (W)	600	860
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	26-37	45-47
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,341	0,320
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	677,25	1154
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	781,39	1258
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	755	1062
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	577,4	757,1
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	76,5	71,3
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	154	264
Yükün Karşılammama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,61	92,69
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,46	129,36

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W’lık armatür kullanılması durumunda 600W’lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 26°-37° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 781,39 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,341 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 755 kWh, yıllık fazla üretim 577,4 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 76,5%’dür.

Maksimum direk açıklığında 67W’lık armatür kullanılması durumunda 860W’lık PV panel ve 12V 333,3Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 45°-47° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1258 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,320 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1062 kWh, yıllık fazla üretim 757,1 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 71,3%’dür.

6.9.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

Samsun ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında karşılıklı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.76'da verilmiştir.

Çizelge 6.76 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek).

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	51m Direk Açıklığı (73W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 416,6Ah
PV Panel Gücü (W)	600	850
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	26-37	44-59
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,341	0,327
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	677,25	1296
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	781,39	1400
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	755	1037
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	577,4	704,2
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	76,5	67,9
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	154	288
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,61	106,33
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,46	141,12

* hesaplar tek bir taraf için yapılmıştır

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W'lık armatür kullanılması durumunda 600W'lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 26°-37° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 781,39 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,341 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 755 kWh, yıllık fazla üretim 577,4 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 76,5%'dür.

Maksimum direk açıklığında 73W'lık armatür kullanılması durumunda 850W'lık PV panel ve 12V 416,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 44°-59° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1400 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,327 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1037 kWh, yıllık fazla üretim 704,2 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 67,9%'dur.

Samsun ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.77’de verilmiştir.

Çizelge 6.77 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek).

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	30m Direk Açıklığı (92W)	49m Direk Açıklığı (146W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	2 adet 12V 333,3Ah	3 adet 12V 500Ah
PV Panel Gücü (W)	880	970
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	44-59	53-73
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,366	0,420
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	1871	3497
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1975	3601
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	1073	1115
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	654,5	458,4
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	61	41,1
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	363	576
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	135,04	191,41
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	177,87	282,24

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 92W’lık armatür kullanılması durumunda 880W’lık PV panel ve 2 adet 12V 333,3Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 44°-59° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1975 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilecek elektriğin kWh maliyeti 0,366 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1073 kWh, yıllık fazla üretim 654,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 61%’dir.

Maksimum direk açıklığında 146W’lık armatür kullanılması durumunda 970W’lık PV panel ve 3 adet 12V 500Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 53°-73° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 3601 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilecek elektriğin kWh maliyeti 0,420 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1115 kWh, yıllık fazla üretim 656,6 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 41,1%’dir.

6.9.4 Samsun ili için yatırım geri ödeme süreleri

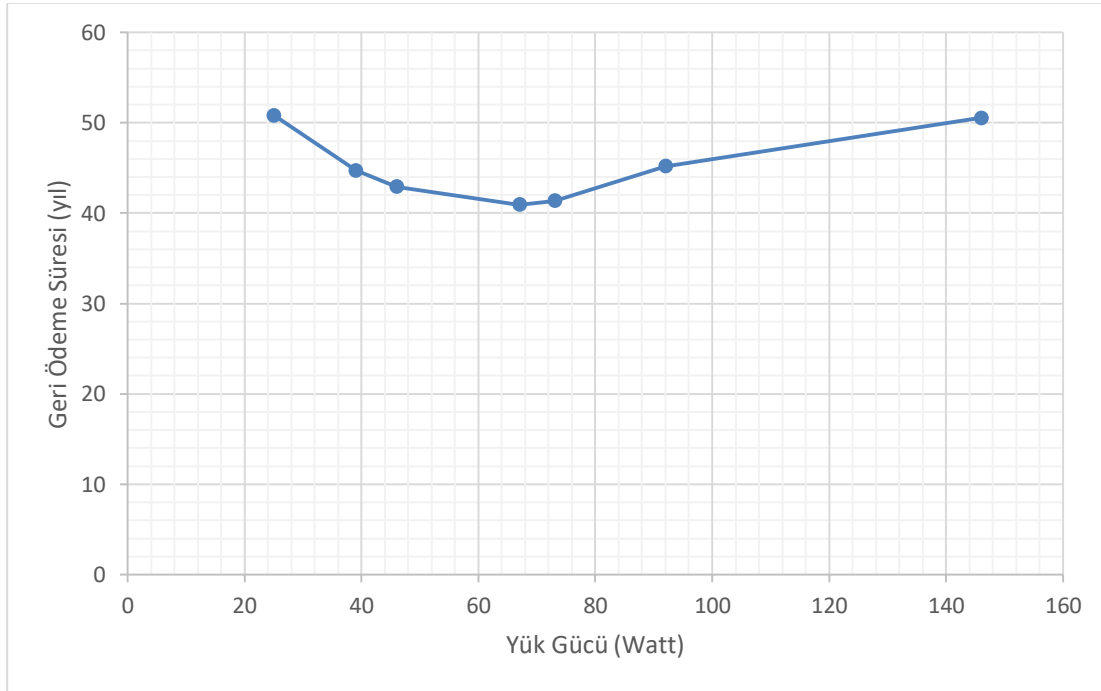
6.9.4.1 Mevcut durum için

Yapılan hesaplamalar sonucunda, Samsun ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri Çizelge 6.78’de verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi 0,128 \$/kWh (0,37 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.78 : Mevcut durumda Samsun ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	50,82	644,03	99
		46	42,93	1000,14	182
M4	Soldan Tek Taraflı	39	44,71	881,39	154
		67	40,92	1383	264
M3	Karşılıklı	39	44,71	881,39	154
		73	41,37	1525	288
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	45,20	2100	363
		146 (2 x 73)	50,53	3726	576

Şekil 6.17’de sistemlerin geri ödeme sürelerinin yük gücüyle arasındaki ilişki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.17 : Mevcut durumda Samsun ili için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi.

6.9.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için

Samsun ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için Çizelge 6.79'da verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için 0,16 \$/kWh (0,4625 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.79 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda Samsun ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek	25	40,66	644,03	99
	Tarafli	46	34,34	1000,14	182
M4	Soldan Tek	39	35,77	881,39	154
	Tarafli	67	32,74	1383	264
M3	Karşılıklı	39	35,77	881,39	154
		73	33,09	1525	288
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	36,15	2100	363
		146 (2 x 73)	40,43	3726	576

6.9.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için

Samsun ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için Çizelge 6.80'de verilmiştir.

Çizelge 6.80 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek	25	42,14	534,05	99
	Tarafli	46	34,39	801,14	182
M4	Soldan Tek	39	36,12	712,08	154
	Tarafli	67	32,35	1093,29	264
M3	Karşılıklı	39	36,12	712,08	154
		73	32,58	1201	288
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	35,08	1630	363
		146 (2 x 73)	38,68	2852	576

6.3.10.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Samsun ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.81'de verilmiştir.

Çizelge 6.81 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	33,46	424,09	99
		46	25,85	602,14	182
M4	Soldan Tek Taraflı	39	27,53	542,77	154
		67	23,85	805,99	264
M3	Karşılıklı	39	27,53	542,77	154
		73	23,78	876,89	288
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	25,05	1164	363
		146 (2 x 73)	26,81	1977	576

6.9.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Samsun ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.82’de verilmiştir.

Çizelge 6.82 : Elektrik birim fiyatlarının %25 ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Samsun ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	26,77	424,09	99
		46	20,67	602,14	182
M4	Soldan Tek Taraflı	39	22,03	542,77	154
		67	19,08	805,99	264
M3	Karşılıklı	39	22,03	542,77	154
		73	19,03	876,89	288
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	20,04	1164	363
		146 (2 x 73)	21,45	1977	576

6.9.5 Samsun ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri

6.9.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Samsun iline ait M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.83’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.83 : Samsun ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

Samsun M5 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	25	46
Direk Açıklığı (m)	28	53
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	544,03	900,14
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	100	100
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	73,20	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1144,22	1589,61
1 km İçin Direk Sayısı	36	19
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	41191,92	30202,59
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,371	0,333
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3927,91
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	3535,12	3432,99

6.9.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Samsun iline ait M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.84’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.84 : Samsun ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

Samsun M4 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	67
Direk Açıklığı (m)	28	47
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	781,39	1154
LED Armatür Fiyatı (\$)	291	316,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	100	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	0
Direk Montaj Fiyatı (\$)	73,20	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1387,58	1882,12
1 km İçin Direk Sayısı	36	22
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	49952,88	41406,64
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,341	0,320
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3927,91
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	5514,79	5789,74

6.9.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

Samsun iline ait M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.85 ve Çizelge 6.86’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.85 : Samsun ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek).

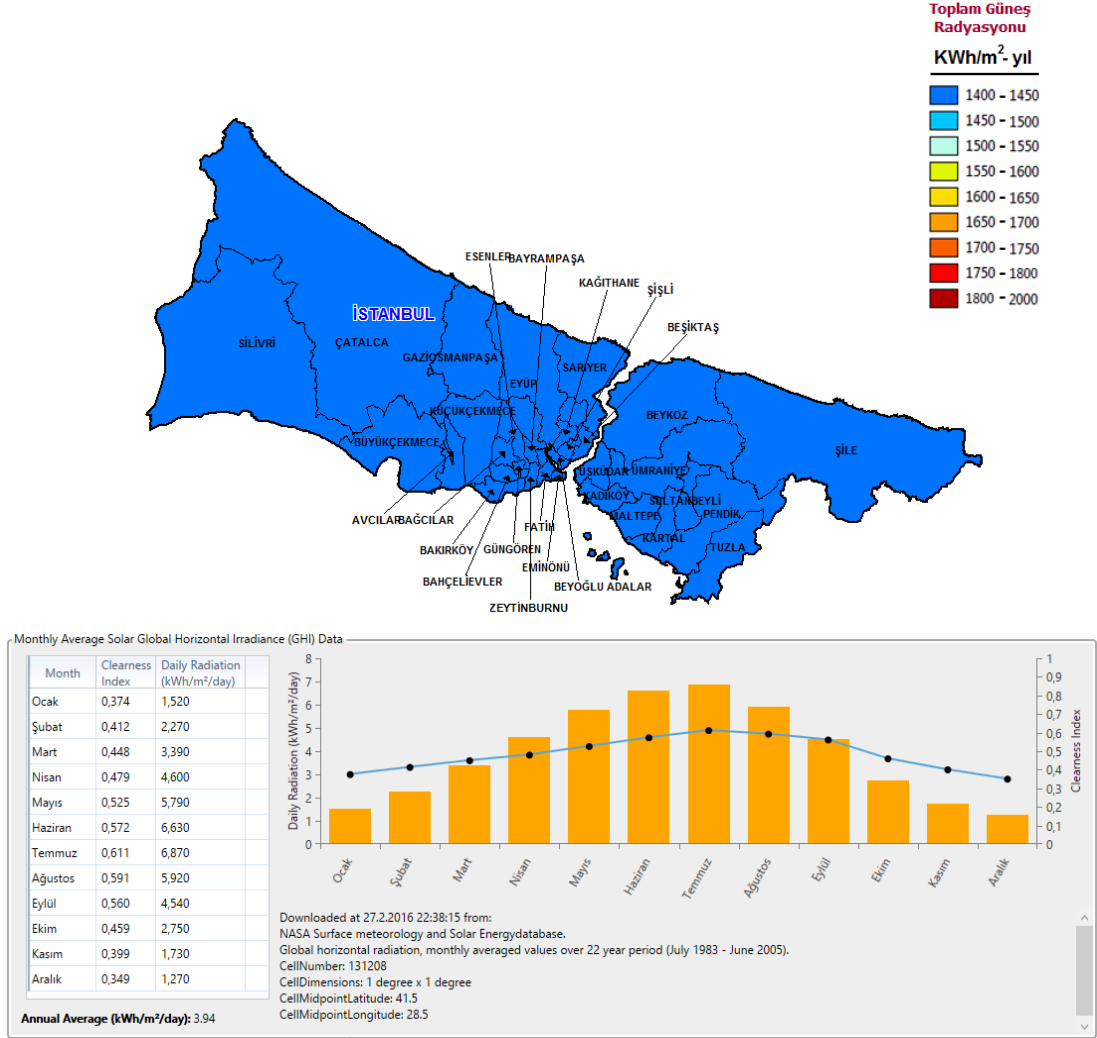
Samsun M3 – Karşılıklı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	73
Direk Açıklığı (m)	28	51
Direk Boyu (m)	7	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	781,39	1400
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	100	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	102,62	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	7,35	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	54,47	97,72
Kablo Fiyatı (\$)	2,52	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,84	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1334,19	2114,47
1 km İçin Direk Sayısı	36 x 2	20 x 2
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	96061,69	84578,8
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,341	0,327
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)	3927,91	
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	11029,58	11469,5

Çizelge 6.86 : Samsun ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek).

Samsun M3 – Refüjden Çift Konsollu Düzenek		
Yük Gücü (W)	92	146
Direk Açıklığı (m)	30	49
Direk Boyu (m)	8	9,5
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1871	3497
LED Armatür Fiyatı (\$)	591	649,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	125	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	123,04	170,36
Konsol Fiyatı (\$)	10,09	4,60
Direk Montaj Fiyatı (\$)	65,31	90,43
Kablo Fiyatı (\$)	2,88	3,42
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,96	1,14
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	2789,28	4541,45
1 km İçin Direk Sayısı	34	21
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	94835,52	95370,45
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,366	0,420
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)	3927,91	
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	12286,50	12042,97

6.10 İstanbul İli İçin Sonuçlar

İstanbul ili Türkiye'nin kuzeybatısında, Karadeniz Bölgesi'nde 28° 01' ve 29° 55' doğu boylamları ile 41° 33' ve 40° 28' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. İstanbul iline ait ışınım ve berraklık indeksi verileri Şekil 6.18'de verilmiştir. Veriler HOMER yazılımına ilin koordinatları girilerek NASA Surface Meteorology and Solar Energy Database'den alınmıştır.



Şekil 6.18 : İstanbul iline ait ışınım değerleri ve berraklık indeksi.

6.10.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

İstanbul ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M5 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.87'de verilmiştir.

Çizelge 6.87 : M5 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M5 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (25W)	53m Direk Açıklığı (46W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 100Ah	12V 250Ah
PV Panel Gücü (W)	490	680
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	10-34	29-56
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,395	0,359
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	474,55	863,60
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	578,69	967,74
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,4	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	618	857
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	504,5	647,4
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	81,6	75,6
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	98	181
Yükün Karşılammama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	74,69	101,39
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	48,02	88,69

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 25W'lık armatür kullanılması durumunda 490W'lık PV panel ve 12V 100Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 10°-34° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 578,69 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,395 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 618 kWh, yıllık fazla üretim 504,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 81,6%'dır.

Maksimum direk açıklığında 46W'lık armatür kullanılması durumunda 680W'lık PV panel ve 12V 250Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 29°-56° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 967,74 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,359 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 857 kWh, yıllık fazla üretim 647,4 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 75,6%'dır.

6.10.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

İstanbul ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M4 yol aydınlatma sınıfında soldan tek taraflı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.88'de verilmiştir.

Çizelge 6.88 : M4 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (soldan tek taraflı düzenek).

M4 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	47m Direk Açıklığı (67W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 416,6Ah
PV Panel Gücü (W)	710	890
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	21-32	37-48
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,367	0,362
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	734,45	1316
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	838,59	1420
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	900	1132
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	722,1	828,2
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	80,3	73,1
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	154	264
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,72	116,15
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,46	129,36

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W'lık armatür kullanılması durumunda 710W'lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 21°-32° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 838,59 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,367 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 900 kWh, yıllık fazla üretim 722,1 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 80,3%'dür.

Maksimum direk açıklığında 67W'lık armatür kullanılması durumunda 890W'lık PV panel ve 12V 416,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 37°-48° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1420 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,362 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1132 kWh, yıllık fazla üretim 828,2 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 73,1%'dir.

6.10.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için sonuçlar

İstanbul ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında karşılıklı düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.89'da verilmiştir.

Çizelge 6.89 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (karşılıklı düzenek).

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	28m Direk Açıklığı (39W)	51m Direk Açıklığı (73W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	12V 166,6Ah	12V 500Ah
PV Panel Gücü (W)	710	900
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	21-32	31-54
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,367	0,367
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	734,45	1466
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	838,59	1570
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	900	1134
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	722,1	802,2
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	80,3	70,8
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	154	287
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	79,72	127,90
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	75,46	140,63

* hesaplar tek bir taraf için yapılmıştır

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 39W'lık armatür kullanılması durumunda 710W'lık PV panel ve 12V 166,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 21°-32° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 838,59 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,367 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 900 kWh, yıllık fazla üretim 722,1 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 80,3%'dür.

Maksimum direk açıklığında 73W'lık armatür kullanılması durumunda 900W'lık PV panel ve 12V 500Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 31°-54° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 1570 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,367 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1134 kWh, yıllık fazla üretim 802,2 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 70,8%'dir.

İstanbul ili için minimum ve maksimum direk açıklığı senaryolarına göre M3 yol aydınlatma sınıfında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumuna ait simülasyon sonuçları Çizelge 6.90'da verilmiştir.

Çizelge 6.90 : M3 yol aydınlatma sınıfında minimum ve maksimum direk açıklığı senaryoları için simülasyon sonuçları (refüjden çift konsollu düzenek).

M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	30m Direk Açıklığı (92W)	49m Direk Açıklığı (146W)
Akü Kapasitesi (V, Ah)	2 adet 12V 416,6Ah	5 adet 12V 500Ah
PV Panel Gücü (W)	820	1000
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	43-44	54-68
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,415	0,654
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	2133	5508
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	2238	5612
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	1030	1161
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	615,5	518,5
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	59,7	44,7
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	363	576
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	168,99	319,01
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	177,87	282,24

Sonuçlara göre minimum direk açıklığında 92W'lık armatür kullanılması durumunda 820W'lık PV panel ve 2 adet 12V 416,6Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 43°-44° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 2238 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,415 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1030 kWh, yıllık fazla üretim 615,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 59,7%'dir.

Maksimum direk açıklığında 146W'lık armatür kullanılması durumunda 1000W'lık PV panel ve 5 adet 12V 500Ah kapasiteli akü kullanılması gerektiği belirlenmiştir. PV panel eğimi 54°-68° aralığında olmalıdır. Akü + panel yatırımının bugünkü net değeri 5612 \$ olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin kWh maliyeti 0,654 \$ olarak bulunmuştur. Yıllık elektrik üretimi 1161 kWh, yıllık fazla üretim 642,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık fazla üretimin yıllık üretime oranı 44,7%'dir.

6.10.4 İstanbul ili için yatırım geri ödeme süreleri

6.10.4.1 Mevcut durum için

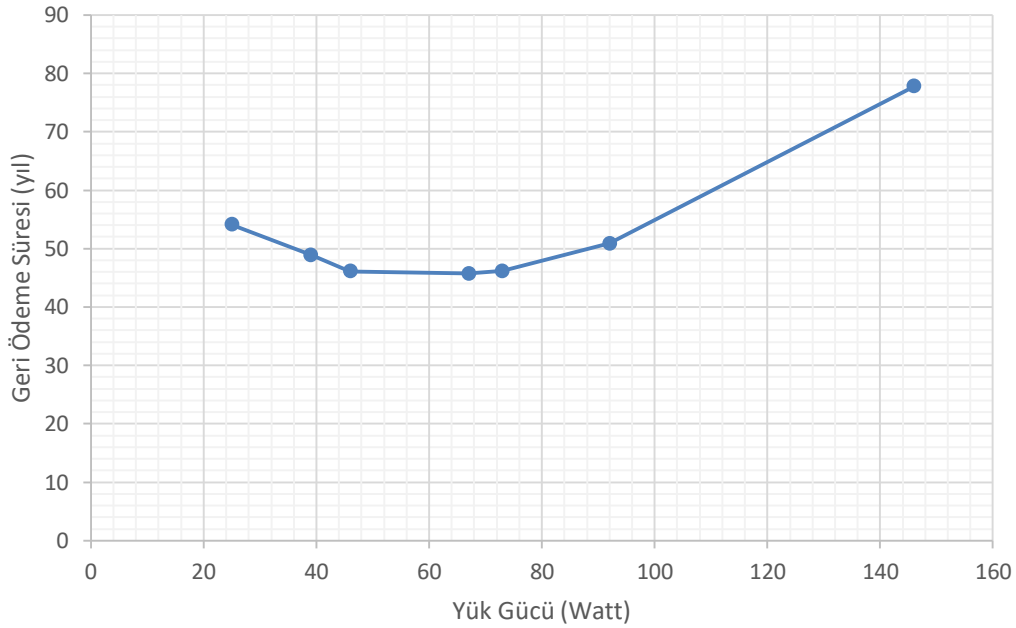
Yapılan hesaplamalar sonucunda, İstanbul ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri Çizelge 6.91'de verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin

hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi 0,128 \$/kWh (0,37 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.91 : Mevcut durumda İstanbul ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzeneği	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	54,10	678,69	98
		46	46,08	1067,74	181
M4	Soldan Tek Taraflı	39	48,88	963,59	154
		67	45,72	1545	264
M3	Karşılıklı	39	48,88	963,59	154
		73	46,14	1695	287
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	50,86	2363	363
		146 (2 x 73)	77,81	5737	576

Şekil 6.19'da sistemlerin geri ödeme sürelerinin yük gücüyle arasındaki ilişki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.19 : Mevcut durumda İstanbul İli için geri ödeme sürelerinin yük gücüne bağlı değişimi.

6.10.4.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için

İstanbul İli için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için Çizelge 6.92'de verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için 0,16 \$/kWh (0,4625 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.92 : Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda İstanbul ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	43,28	578,69	98
		46	36,87	967,74	181
M4	Soldan Tek Taraflı	39	39,10	838,59	154
		67	36,57	1420	264
M3	Karşılıklı	39	39,10	838,59	154
		73	36,91	1570	287
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	40,68	2238	363
		146 (2 x 73)	62,25	5612	576

6.10.4.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için

İstanbul ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için Çizelge 6.93’de verilmiştir.

Çizelge 6.93 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %25 azalması durumunda İstanbul ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	44,65	560,05	98
		46	36,76	851,84	181
M4	Soldan Tek Taraflı	39	39,57	779,98	154
		67	35,98	1216	264
M3	Karşılıklı	39	39,57	779,98	154
		73	36,15	1328	287
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	39,36	1829	363
		146 (2 x 73)	59,14	4360	576

6.10.4.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

İstanbul ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.94’de verilmiştir.

Çizelge 6.94 : Fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Ankara ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	35,18	441,42	98
		46	27,44	635,94	181
M4	Soldan Tek Taraflı	39	30,25	596,37	154
		67	26,26	887,29	264
M3	Karşılıklı	39	30,25	596,37	154
		73	26,18	961,89	287
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	27,89	1296	363
		146 (2 x 73)	40,46	2983	576

6.10.4.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

İstanbul ili için gerçekleştirilecek sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.95’de verilmiştir.

Çizelge 6.95 : Elektrik birim fiyatlarının %25 ve fotovoltaik panel ve akü fiyatlarının %50 azalması durumunda Samsun ili için yatırım geri ödeme süreleri.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M5	Soldan Tek Taraflı	25	28,15	341,42	98
		46	21,96	535,94	181
M4	Soldan Tek Taraflı	39	24,20	471,37	154
		67	21,00	762,29	264
M3	Karşılıklı	39	24,20	471,37	154
		73	20,94	836,89	287
	Refüjden Çift Konsollu	92 (2 x 46)	22,31	1171	363
		146 (2 x 73)	32,37	2858	576

6.10.5 İstanbul ili için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri

6.10.5.1 M5 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

İstanbul iline ait M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.96’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.96 : İstanbul ili M5 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

İstanbul M5 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	25	46
Direk Açıklığı (m)	28	53
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	578,69	967,74
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	100	100
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	66,73	89,08
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1172,41	1648,57
1 km İçin Direk Sayısı	36	19
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	42206,76	31322,83
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,395	0,359
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3928,51
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	3535,66	3433,52

6.10.5.2 M4 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

İstanbul iline ait M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.97’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.97 : İstanbul ili M4 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (soldan tek taraflı düzenek).

İstanbul M4 – Soldan Tek Taraflı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	67
Direk Açıklığı (m)	28	47
Direk Boyu (m)	8,5	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	838,59	1420
LED Armatür Fiyatı (\$)	291	316,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	125	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	137,91	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	0	0
Direk Montaj Fiyatı (\$)	66,73	89,08
Kablo Fiyatı (\$)	3,06	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	1,02	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1463,31	2139,48
1 km İçin Direk Sayısı	36	22
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	52679,16	47068,56
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,367	0,362
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3928,51
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	5515,63	5790,62

6.10.5.3 M3 yol aydınlatma sınıfı için maliyetler

İstanbul iline ait M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri Çizelge 6.98 ve 6.99’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.98 : İstanbul ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (karşılıklı düzenek).

İstanbul M3 – Karşılıklı Düzenek		
Yük Gücü (W)	39	73
Direk Açıklığı (m)	28	51
Direk Boyu (m)	7	10
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	838,59	1570
LED Armatür Fiyatı (\$)	285	295,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	125	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	102,62	184,10
Konsol Fiyatı (\$)	7,35	7,35
Direk Montaj Fiyatı (\$)	49,65	89,08
Kablo Fiyatı (\$)	2,52	3,6
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,84	1,2
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1411,57	2275,83
1 km İçin Direk Sayısı	36 x 2	20 x 2
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	101633,04	89033,2
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,367	0,367
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3928,51
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	11031,26	11471,24

Çizelge 6.99 : İstanbul ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek).

İstanbul M3 – Refüjden Çift Konsollu Düzenek		
Yük Gücü (W)	92	146
Direk Açıklığı (m)	30	49
Direk Boyu (m)	8	9,5
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1975	3601
LED Armatür Fiyatı (\$)	591	649,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)	125	125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)	123,04	170,36
Konsol Fiyatı (\$)	10,09	4,60
Direk Montaj Fiyatı (\$)	59,53	82,43
Kablo Fiyatı (\$)	2,88	3,42
Kablo Montaj Fiyatı (\$)	0,96	1,14
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	2887,5	4637,45
1 km İçin Direk Sayısı	34	21
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	98175	97386,45
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,366	0,420
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)		3928,51
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	12288,38	12044,81

6.11 Loşlaştırma Uygulanması Durumu İçin Hesaplamalar

Genel Aydınlatma Kapsamında LED Armatürlerin Kullanımına İlişkin Usul ve Esaslar'a göre yeni kurulacak yol aydınlatma tesislerinde kullanılacak LED armatürlerde loşlaştırma özelliği bulunmasının zorunlu hale getirilmesinden yola çıkılarak çalışmada loşlaştırma uygulanması durumu için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar yedi il içerisinde en düşük geri ödeme süresine sahip olan Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfında maksimum direk açıklığında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumuna ait sisteme göre gerçekleştirilmiştir [50]. Çizelge 6.100'de seçilen yol için bir yıl içerisindeki aydınlatma yapılacak zamanlar ve bu zamanlarda yükün harcayacağı enerji miktarları gösterilmiştir.

M3 yol aydınlatma sınıfı için çalışmada aydınlatma başlangıç zamanından gece yarısına kadar M3, gece yarısından aydınlatma bitiş zamanına kadar M4 yol aydınlatma kriterlerine göre aydınlatılma yapılacağı varsayılmıştır. Bu durumda yılda 3961,17 saat devrede kalacak aydınlatma tesisatı, 1777,26 saat M3, 2183,91 saat M4 yol aydınlatma kriterlerine göre aydınlatma yapacaktır. Çizelge 6.101'de loşlaştırma uygulanmış aydınlatma hesaplamaları gösterilmiştir.

Çizelge 6.100 : Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfında maksimum direk açıklığında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumunda loşlaştırma uygulanması halinde yıl içerisinde aydınlatma yapılacak zamanlar ve kWh cinsinden yükün harcayacağı saatlik enerji miktarları (kWh)

Saat	Ocak	Şub.	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eylül	Ekim	Kas.	Ara.
0	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102
1	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102
2	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102
3	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102
4	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102
5	0,102	0,102	0,07	0,094	0,032	0,011	0,036	0,081	0,102	0,102	0,102	0,102
6	0,07	0,034	0	0	0	0	0	0	0,022	0,067	0,015	0,015
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0,066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0,11
18	0,146	0,144	0,07	0	0	0	0	0	0	0,036	0,146	0,146
19	0,146	0,146	0,146	0	0	0	0	0	0,074	0,146	0,146	0,146
20	0,146	0,146	0,146	0,146	0,078	0,026	0,036	0,112	0,146	0,146	0,146	0,146
21	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146
22	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146
23	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146

Çizelge 6.101 : Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfında maksimum direk açıklığında çift konsollu düzenek kullanılması durumu için loşlaştırma uygulanmış ve uygulanmamış hallerde yol aydınlatma hesaplamalarının karşılaştırması.

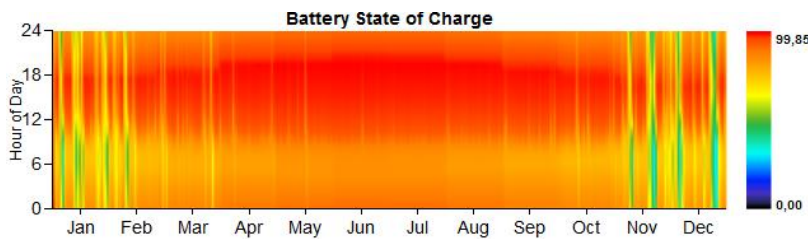
Aydınlatma Sınıfı	M3	M3 → M4
Aydınlatma Düzenegi	Refüjden Çift Konsollu	
Armatür Işık Akısı (lm)	9270	6952,5
Armatür Gücü (W)	73	51,1
Armatür Etkinlik Faktörü (lm/W)	126,99	136,06
s (m)		49
h (m)		9,5
k (m)		0,5
Lort (cd/m ²)	1,02	0,77
Uo	0,40	0,40
Ul	0,51	0,51
TI (%)	14	13
SR	0,89	0,89

M3 yol aydınlatma sınıfından M4 yol aydınlatma sınıfına loşlaştırma uygulanması durumunda armatürlerin ışık akılarının %25 oranında kısılması gerekmektedir. İTÜ Enerji Enstitüsü Enerji Verimliliği ve Aydınlatma Tekniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen verilere göre 100W'lık bir armatürün ışık akısının %25 oranında kısılması durumunda şebekeden çektiği elektrik enerjisi %30 oranında azalmaktadır. Bu veriye dayanarak çalışmada, loşlaştırma uygulanması durumunda armatür gücünün 73W'tan 51,1W'a düşeceği hesaplanmıştır [54].

Çizelge 6.102 : Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfı maksimum direk açıklığında çift konsollu düzenek kullanılması durumu için loşlaştırma uygulanmış ve uygulanmamış HOMER sonuçlarının karşılaştırması.

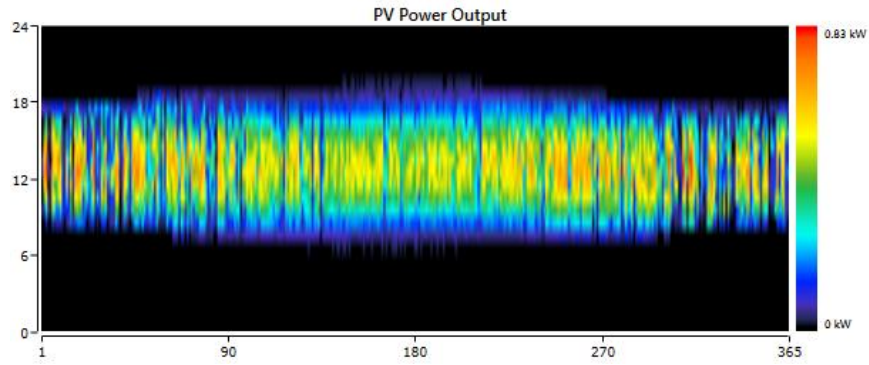
M3 Yol Aydınlatma Sınıfı	49m Direk Açıklığı (146W)	49m Direk Açıklığı (146W)
Loşlaştırma Seviyesi	-	M3 → M4
Akü Kapasitesi (V, Ah)	2 adet 12V 333,3Ah	12V 500Ah
PV Panel Gücü (W)	800	770
PV Panel Eğim Açısı Aralığı (°)	49-66	37-66
Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,225	0,210
Akü + Panel İlk Yatırım Maliyeti (\$)	1829	1398
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1933	1506
Bakım&İşletme Maliyeti (\$)	104,14	104,14
PV Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	1227	1245
Yıllık Fazla Üretim (kWh/yıl)	559,7	687
Yıllık Fazla Üretimin Üretilen Elektriğe Oranı (%)	45,6	55,2
Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)	578	483
Yükün Karşılanmama Oranı (%)	0	0
Otonomi Süresi (saat)	84,86	76,16
CO ₂ Emisyonu Azalımı (kgCO ₂ /yıl)	283,22	236,67

Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfı maksimum direk açıklığında çift konsollu düzenek kullanılması ve belirli saat aralıklarında loşlaştırma uygulanması durumuna ait HOMER simülasyon sonuçları Çizelge 6.102'de verilmiştir. Loşlaştırma uygulanması durumunda kullanılan akünün zamana bağlı şarj durumu Şekil 6.20'de gösterilmiştir.



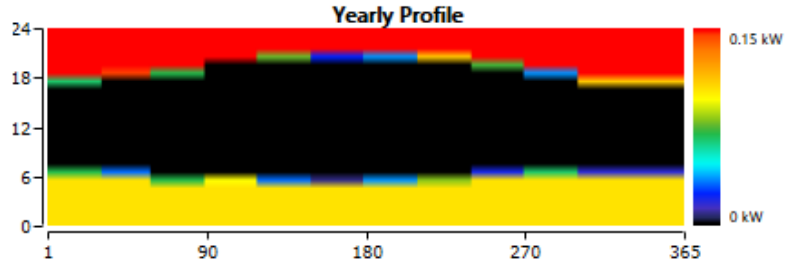
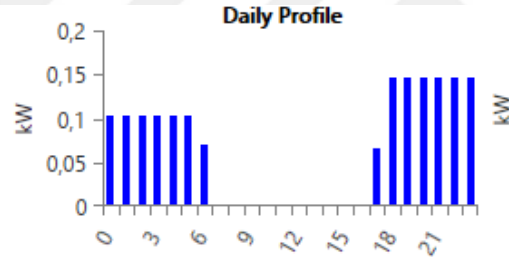
Şekil 6.20 : Loşlaştırma uygulanması durumunda akünün zamana bağlı şarj durumu.

Loşlaştırma uygulanması durumunda kullanılan PV panelin zamana bağlı güç çıkışı Şekil 6.21’de gösterilmiştir.



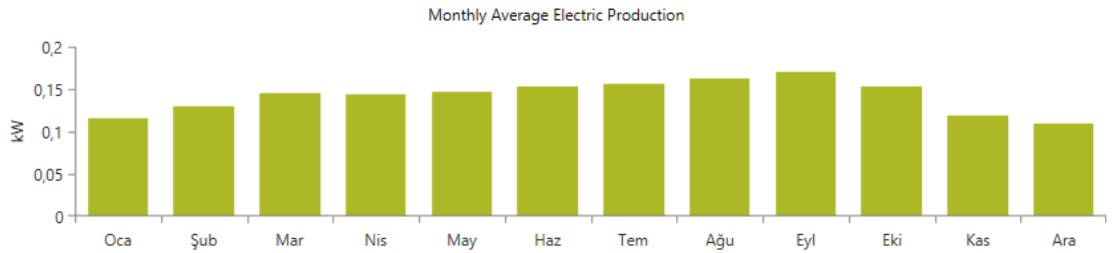
Şekil 6.21 : Loşlaştırma uygulanması durumunda PV panelin zamana bağlı güç çıkışı.

Loşlaştırma uygulanması durumu için günlük ve yıllık yük profilleri Şekil 6.22’de gösterilmiştir.



Şekil 6.22 : Loşlaştırma uygulanması durumunda günlük ve yıllık yük profilleri.

Şekil 6.23’de aylık ortalama elektrik üretim miktarlarına ait grafik gösterilmiştir.



Şekil 6.23 : Loşlaştırma uygulanması durumunda aylık ortalama elektrik üretimi.

6.11.1 Antalya ili için loşlaştırma uygulanması durumunda yatırım geri ödeme süreleri

6.11.1.1 Mevcut durum için

Antalya ilinde M3 yol aydınlatma sınıfı için maksimum direk açıklığında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumunda loşlaştırmanın uygulandığı ve uygulanmadığı hallerde sistem geri ödeme sürelerinin karşılaştırılması Çizelge 6.103’de verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi 0,128 \$/kWh (0,37 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.103 : Loşlaştırma uygulanması halinde mevcut durum için yatırım geri ödeme sürelerinin karşılaştırması.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M3	Refüjden Çift Konsollu	146 (2 x 73)	27,82	2058	578
M3 → M4	Refüjden Çift Konsollu	146 (2 x 73)	26,38	1631	483

6.11.1.2 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için

Antalya ilinde M3 yol aydınlatma sınıfı için maksimum direk açıklığında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumunda loşlaştırmanın uygulandığı ve uygulanmadığı hallerde sistem geri ödeme sürelerinin karşılaştırılması elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için Çizelge 6.104’de verilmiştir. Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında Genel Aydınlatma için elektrik tarifesi elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için 0,16 \$/kWh (0,4625 TL/kWh) alınmıştır.

Çizelge 6.104 : Loşlaştırma uygulanması halinde elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu için yatırım geri ödeme sürelerinin karşılaştırması.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M3	Refüjden Çift Konsollu	146 (2 x 73)	22,25	2058	578
M3 → M4	Refüjden Çift Konsollu	146 (2 x 73)	21,10	1631	483

6.11.1.3 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için

Antalya ilinde M3 yol aydınlatma sınıfı için maksimum direk açıklığında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumunda loşlaştırmanın uygulandığı ve uygulanmadığı hallerde sistem geri ödeme sürelerinin karşılaştırılması akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için Çizelge 6.105’de verilmiştir.

Çizelge 6.105 : Loşlaştırma uygulanması halinde akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumu için yatırım geri ödeme sürelerinin karşılaştırması.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M3	Refüjden Çift Konsollu	146 (2 x 73)	21,61	1599	578
M3 → M4	Refüjden Çift Konsollu	146 (2 x 73)	20,70	1280	483

6.11.1.4 Akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Antalya ilinde M3 yol aydınlatma sınıfı için maksimum direk açıklığında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumunda loşlaştırmanın uygulandığı ve uygulanmadığı hallerde sistem geri ödeme sürelerinin karşılaştırılması akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.106’de verilmiştir.

Çizelge 6.106 : Loşlaştırma uygulanması halinde akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için yatırım geri ödeme sürelerinin karşılaştırması.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M3	Refüjden Çift Konsollu	146 (2 x 73)	15,46	1144	578
M3 → M4	Refüjden Çift Konsollu	146 (2 x 73)	15,04	929,87	483

6.11.1.5 Elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için

Antalya ilinde M3 yol aydınlatma sınıfı için maksimum direk açıklığında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumunda loşlaştırmanın uygulandığı ve uygulanmadığı hallerde sistem geri ödeme sürelerinin karşılaştırılması elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için Çizelge 6.107’de verilmiştir.

Çizelge 6.107 : Loşlaştırma uygulanması halinde elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaiik panel fiyatlarının %50 azalması durumu için yatırım geri ödeme sürelerinin karşılaştırması.

Yol Aydınlatma Sınıfı	Aydınlatma Düzenegi	Armatür Gücü (W)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Sistem Net Bugünkü Değer (\$)	Yükün Tükettiği Elektrik (kWh/yıl)
M3	Refüjden Çift Konsollu	146 (2 x 73)	12,37	1144	578
M3 → M4	Refüjden Çift Konsollu	146 (2 x 73)	12,03	929,87	483

6.11.2 Antalya ili için loşlaştırma uygulanması durumunda kilometre başına sistem kurulum maliyetleri

Antalya ilinde M3 yol aydınlatma sınıfı için maksimum direk açıklığında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumunda loşlaştırmanın uygulandığı ve uygulanmadığı durumlarda maliyetlerinin karşılaştırması Çizelge 6.108’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.108 : Antalya ili M3 yol aydınlatma sınıfı için kilometre başına sistem kurulum maliyetleri (refüjden çift konsollu düzenek).

Antalya M3 – Refüjden Çift Konsollu Düzenek		
Loşlaştırma Durumu	Yok	Var (% 25)
Yük Gücü (W)	146	102,2
Direk Açıklığı (m)		49
Direk Boyu (m)		9,5
Akü + Panel Net Bugünkü Değer (\$)	1933	1506
LED Armatür Fiyatı (\$)		649,5
Şarj Regülatörü Fiyatı (\$)		125
Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direği Fiyatı (\$)		170,36
Konsol Fiyatı (\$)		4,60
Direk Montaj Fiyatı (\$)		90,43
Kablo Fiyatı (\$)		3,42
Kablo Montaj Fiyatı (\$)		1,14
Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	2977,45	2550,45
1 km İçin Direk Sayısı		21
1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$/km)	62526,45	53559,45
Tek Bir Sistem İçin Elektrik kWh Maliyeti (\$/kWh)	0,225	0,210
Yükün Yıl İçerisinde Devrede Kaldığı Süre (saat)	3961,17	2183,91 (loşlaştırmalı) + 1777,26 (loşlaştırmaz)
1 km İçin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	12144,95	10136,19

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi için şebekeden bağımsız fotovoltaik LED'li yol aydınlatma sistemlerinin tekoekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Yol aydınlatma hesaplamalarında DIALux programı kullanılmış, enerji sistemlerinin modellenmesi ve simülasyonunda HOMER yazılımından yararlanılmıştır.

Yol aydınlatma hesaplamaları daha düşük güçlü armatürlerin kullanıldığı, dolayısıyla daha düşük boyutlu fotovoltaik sistem bileşenlerinin kurulumuna müsaade eden M3, M4 ve M5 yol aydınlatma sınıfları için gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar M4 ve M5 yol aydınlatma sınıfları için soldan tek taraflı, M3 yol aydınlatma sınıfı için refüjden çift konsollu ve karşılıklı düzeneklerin kullanılması durumlarına göre yapılmıştır. Yol aydınlatma hesaplamaları direk açıklıklarının maksimum ve minimum olduğu iki senaryoya göre gerçekleştirilmiştir.

Yol aydınlatma sistemlerinde kullanılacak yüklerin belirlenmesinin ardından Türkiye'nin yedi bölgesinden seçilen yedi il için kurulacak enerji sistemlerinin modelleme ve simülasyonları HOMER programıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerinden sistemlerin geri ödeme süreleri hesaplanmış, ardından fotovoltaik panel ve akü fiyatlarındaki düşüş trendi dikkate alınarak ve elektrik birim fiyatlarının artması durumu öngörülerek gelecekteki olası senaryolar incelenmiştir. Sistem geri ödeme süreleri mevcut durumun yanı sıra elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumu, akü ve panel fiyatlarının %25 azalması durumu, akü ve panel fiyatlarının %50 azalması durumu ve elektrik birim fiyatları %25 artarken akü ve panel fiyatlarının %50 azalması durumu için hesaplanmıştır. Çalışmada tek bir direkte kurulacak sistem ve 1 km'de kurulacak sistemler için kurulum maliyetleri hesaplanmıştır ve sonuçlar direk açıklıklarının minimum ve maksimum alındığı iki senaryo için karşılaştırılmıştır. Aynı hesaplamalar, mevcut durumda en düşük geri ödeme süresine sahip olduğu belirlenen sistem için loşlaştırma uygulanması durumu için tekrar yapılmıştır.

Yapılan çalışmada akü ve fotovoltaik panele bağlı enerji üretim maliyetlerinin yedi il arasında en düşük olduğu ilin Antalya olduğu görülmüştür. Antalya'yı sırasıyla İzmir, Van, Gaziantep, Ankara, Samsun ve İstanbul illeri izlemektedir. Çizelge 7.1'de sistemlerin kullandıkları armatür güçleri ile akü ve fotovoltaik panele bağlı enerji üretim maliyetleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Çizelge 7.1 : Yedi il için armatür güçleri ve sistem enerji üretim maliyetleri (\$/kWh) arasındaki ilişki.

	25W	39W	46W	67W	73W	92W	146W
Antalya	0,281	0,258	0,254	0,229	0,228	0,227	0,225
İzmir	0,292	0,271	0,265	0,245	0,243	0,237	0,236
Van	0,302	0,278	0,269	0,258	0,254	0,24	0,248
Gaziantep	0,303	0,274	0,269	0,255	0,251	0,24	0,243
Ankara	0,331	0,305	0,295	0,284	0,276	0,266	0,303
Samsun	0,371	0,341	0,333	0,32	0,327	0,366	0,42
İstanbul	0,395	0,367	0,359	0,362	0,367	0,415	0,654

Antalya ve İzmir illerinde kurulacak sistemlerde yüksek güçlü armatür kullanılmasının enerji üretim maliyetlerini düşürdüğü görülmektedir. Antalya ve İzmir dışındaki illerde ise belirli güç seviyelerinden sonra bu durum tersine dönmekte ve armatür gücünün artması bir noktadan sonra enerji üretim maliyetlerinin yükselmesine sebep olmaktadır. Bunun sebebi, fotovoltaik yol aydınlatma sistemlerinde aydınlatma direğine monte edilebilecek panel kapasitesinin sınırlı olmasıdır. Bu çalışmada maksimum panel kapasitesi 1 kW olarak alınmıştır. Antalya ve İzmir illerinde sistemler maksimum panel kapasitesini aşmaya gerek duymazken diğer illerde o illerin güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu şartları için belirli güçlerden sonra maksimum panel kapasitesi yetersiz kalmış ve sistemler panel kapasitelerini daha fazla arttıramadıklarından ötürü daha yüksek maliyetli olan akülerin kapasitelerini arttırarak enerji ihtiyaçlarını karşılamış, otonomi süreleri artmıştır.

Mevcut durum ve elektrik birim fiyatlarının %25 artması, akü ve panel fiyatlarının %25 azalması, akü ve panel fiyatlarının %50 azalması ve elektrik birim fiyatlarının %25 artıp akü ve panel fiyatlarının %50 azalması senaryolarına göre sistemlerin geri ödeme sürelerinin yedi il içerisinde en yüksek ve en düşük olduğu değerler Çizelge 7.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 : Beş gelecek senaryosu için sistem geri ödeme sürelerinin yedi il içerisinde en düşük ve en yüksek değerleri.

Aydınlatma Düzeneği	Yol Aydınlatma Sınıfı	Mevcut Durum İçin Geri Ödeme Süresi (Yıl)	Elektrik Birim Fiyatlarının %25 Artması İçin Geri Ödeme Süresi (Yıl)	Akü ve Panel Fiyatlarının %25 Azalması İçin Geri Ödeme Süresi (Yıl)	Akü ve Panel Fiyatlarının %50 Azalması İçin Geri Ödeme Süresi (Yıl)	Elektrik Birim Fiyatlarının %25 Artması ve Akü ve Panel Fiyatlarının %50 Azalması İçin Geri Ödeme Süresi (Yıl)
Soldan Tek Taraflı	M5 (25W)	38,64	30,91	32,51	26,38	21,11
		54,10	43,28	44,65	35,18	28,15
	M5 (46W)	32,63	26,10	26,38	20,13	16,11
		46,08	36,87	36,76	27,44	21,96
	M4 (39W)	33,73	26,98	27,55	21,37	17,10
		48,88	39,10	39,57	30,25	24,20
M4 (67W)	31,64	23,66	23,68	17,78	14,23	
	45,72	36,57	35,98	26,26	21,00	
Karşılıklı	M3 (39W)	33,73	26,98	27,55	21,37	17,10
		48,88	39,10	39,57	30,25	24,20
	M3 (73W)	29,13	23,30	23,22	17,32	13,86
		46,14	36,91	36,15	26,18	20,94
Refüjden Çift Konsollu	M3 (92W)	28,53	22,82	22,46	16,45	13,16
		50,86	40,68	39,36	27,89	22,31
	M3 (146W)	27,82	22,25	21,62	15,46	12,37
		77,81	62,25	59,14	40,46	32,37

Çalışma sonucunda mevcut durumda şebekeden bağımsız fotovoltaik yol aydınlatma sistemlerinin Türkiye şartlarında kendilerini geri ödeyemedikleri ve sistemlerin geri ödeme sürelerinin 20 yıllık sistem ömrünün altına inemediği görülmüştür. Mevcut durumda en düşük sistem geri ödeme süresi 27,82 yıl ile Antalya ilinde M3 yol aydınlatma sınıfında maksimum direk açıklığında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumuna aittir. En olumlu senaryoda (elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve panel fiyatlarının %50 azalması durumu) bu süre 12,37 yıl seviyesine inmiştir.

Çalışma sonucunda, şebekeden bağımsız fotovoltaik yol aydınlatma sistemlerinde direk açıklıklarının maksimum alınması gerektiği, bu durumda tek bir direkte kurulacak sistemin maliyeti artmasına rağmen yol aydınlatma tesisatının tamamı göz önüne alındığında sistemlerin kurulum maliyetlerinin direk açıklıklarının minimum

alındığı duruma göre daha düşük olacağı görülmüştür. Yol aydınlatma tesisatının tamamı için M3 yol aydınlatma sınıfında refüjden çift konsollu düzenek kullanılması durumunda karşılıklı düzenek kullanılması durumuna göre maliyetler düşmüştür. Çizelge 7.3’de yedi il içerisinde sistemlerin kurulum maliyetlerinin en düşük ve en yüksek olduğu değerler gösterilmiştir.

Çizelge 7.3 : Sistem kurulum maliyetlerinin yedi il içerisinde en düşük ve en yüksek değerleri.

Aydınlatma Düzenegi	Yol Aydınlatma Sınıfı	1 km İçin Direk Sayısı	Tek Bir Sistemin Maliyeti (\$)	1 km İçin Kurulum Maliyeti (\$)
Soldan Tek Taraflı	M5 (25W)	36	989,79 1172,41	34632,44 42206,76
	M5 (46W)	19	1353,71 1648,57	25720,49 31322,83
	M4 (39W)	36	1175,38 1463,31	42313,68 52679,16
	M4 (67W)	22	1610,23 2139,48	35425,06 47068,56
Karşılıklı	M3 (39W)	36x2	1121,99 1411,57	80783,28 101633,04
	M3 (73W)	20x2	1666,98 2275,83	66679,2 89033,2
Refüjden Çift Konsollu	M3 (92W)	34	2126,28 2887,5	72293,52 98175
	M3 (146W)	21	2977,45 4637,45	62526,45 97386,45

Çalışmada mevcut durumda gerçekleştirilen tüm senaryolar içerisinde en düşük geri ödeme süresine sahip sistem olarak belirlenen Antalya ilinde M3 yol aydınlatma sınıfı için maksimum direk açıklığında refüjden çift konsollu düzenek kullanılan sistem için loşlaştırma uygulanması durumuna göre hesaplamalar yapılmıştır. Loşlaştırma uygulanması halinde tek bir sistem için akü+panel net bugünkü değerinin 1933 \$’dan 1506 \$’a düşerek %22 oranında azaldığı görülmüştür. 1 km için sistem kurulum maliyeti 62526 \$’dan 53559 \$’a düşerek %14 oranında azalmıştır. Tek bir sistem için akü ve fotovoltaik panele bağlı enerji üretim maliyeti 0,225 \$/kWh’den 0,210 \$/kWh’a düşmüştür. Loşlaştırma uygulanması durumunda yıl içerisinde 3961,17 saat devrede kalan LED armatür yılda 2183,91 saat düşük güçte (51,1W), 1777,26 saat tam güçte (73W) çalışacaktır. Loşlaştırma yapılmasıyla 1 km için yıllık elektrik enerjisi tüketimi 12144,95 kWh’den 10136,19 kWh’a

düşerek %16,5 oranında azalmıştır. Mevcut durumda 27,82 yıl olan sistem geri ödeme süresi, loşlaştırma uygulanmasıyla 26,38 yıla düşmüştür. Elektrik birim fiyatlarının %25 artması durumunda sistem geri ödeme süresinin 22,25 yıldan 21,10 yıla, akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %25 azalması durumunda sistem geri ödeme süresinin 21,61 yıldan 20,70 yıla, akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumunda sistem geri ödeme süresinin 15,46 yıldan 15,04 yıla, elektrik birim fiyatlarının %25 artması ve akü ve fotovoltaik panel fiyatlarının %50 azalması durumunda sistem geri ödeme süresinin 12,37 yıldan 12,03 yıla düşeceği görülmüştür.

Bu çalışmada şebekeden bağımsız fotovoltaik yol aydınlatma sistemlerinin mevcut durumda Türkiye şartlarında kendilerini geri ödeyemedikleri anlaşılmıştır. Ancak buna rağmen şebekeden bağımsız fotovoltaik yol aydınlatma sistemleri, şebeke elektriğinin ulaşmadığı ve yol aydınlatma sistemlerinin enerjilenmesi için yeni iletim hattı çekilmesini gerektiren kırsal bölgelerde kurulmaları halinde şebekeye bağlı sistemlerden daha az maliyetli olabilmektedir. Sistemlerin, CO₂ emisyonlarının azalmasına katkıda bulunmak, çevreci politikaların bilinirliğini arttırmak, devlet kurumlarının çevreci imajına katkıda bulunmak, PV aydınlatma alanındaki çalışma ve deneyleri desteklemek gibi faydaları bulunmaktadır.

Çalışmada aydınlatma kriterlerinin yıl boyunca kesintisiz olarak sağlanması hedeflendiğinden dolayı akü ve panel boyutlandırmaları kış aylarındaki en düşük ışınım şiddeti ve güneşlenme sürelerine göre yapılmış ve bu durum sistemlerin kurulum maliyetlerinin ve geri ödeme sürelerinin artmasına neden olmuştur.



KAYNAKLAR

- [1] **Feldman, D., Barbose, G., Margolis, R., Bolinger, M., Chung, D., Fu, R., Seel, J., Davidson, C. & Wiser, R.** (2015). *Photovoltaic System Pricing Trends Historical, Recent, and Near-Term Projections*, National Renewable Energy Laboratory Publications.
- [2] **Liu, G.** (2014). *Sustainable feasibility of solar photovoltaic powered street lighting systems*, Electrical Power and Energy Systems, Volume 56, 168-174.
- [3] **Asha, M. A., Fareeda, A. K., Haseena, H. & Mani, T. K.** (2014). *A Novel Scheme for an Intelligent Solar LED Street Lighting System*, KMEA Engineering College.
- [4] **Wu, M., Huang, H. H., Huang, B. J., Tang, C. W., & Cheng C, W.** (2009). *Economic feasibility of solar-powered led roadway lighting*, Renewable Energy, Volume 34, 1934-1938.
- [5] **Velaga, R. N. & Kumar A.** (2012). *Techno-economic Evaluation of the Feasibility of a Smart Street Light System: A case study of Rural India*, Social and Behavioral Sciences, Volume 62, s. 1220-1224.
- [6] **Kenfack, J.** (2013). *Assesing the Public Lighting with Solar Panels in the Sub Saharan Countries in Africa: Yaounde Case Study*, Energy and Power Engineering, Volume 7, 1909-1914.
- [7] **Url-5** <http://global.kyocera.com/news/2015/0801_fmso.html>, erişim tarihi 08.06.2016
- [8] **Url-6** <http://www.trojanbattery.com/pdf/RE_CS_HydroTurf.pdf>, erişim tarihi 23.06.2016
- [9] **Url-7** <<http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgues.html>>, erişim tarihi 07.08.2015
- [10] **Altuntop, N. & Erdemir, D.** (2013). *Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler*, Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 639, s. 69-77.
- [11] **Url-8** <<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>>, erişim tarihi 07.08.2015
- [12] **Url-9** <www.teias.gov.tr/yukdagitim/kuruluguc.xls> , erişim tarihi 09.08.2015
- [13] **Url-10** <<http://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/gunes>> , erişim tarihi 11.08.2015
- [14] **İTÜ,** (2007). *Türkiye’de Enerji ve Geleceği İTÜ Görüşü*, İ.T.Ü Matbaası, İstanbul.
- [15] **Url-11** <<http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/>>, erişim tarihi 24 Ocak 2016
- [16] **Vieria, J. A. B. & Mota, A. M.** (2010). *Implementation of a Stand-Alone Photovoltaic Lighting System with MPPT Battery Charging and LED Current Control*, 2010 IEEE International Conference on Control

Applications Part of 2010 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, Yokohama, Japan, September 8-10.

- [17] **Url-12** <<http://www.philips.com/consumerfiles/newscenter/main/standard/resources/corporate/press/2012/KNVB-partnership/How-the-solar-system-works.jpg>>, erişim tarihi 22.06.2016
- [18] **Url-13** <http://solarcellcentral.com/cost_page.html#solar_cost>, erişim tarihi 12.06.2016
- [19] **Url-14** <<http://web.itu.edu.tr/~kaymak/PV.html>>, erişim tarihi 02.08.2016
- [20] **Özçelik, S.** *Fotovoltaik (PV) Teknolojileri Sunum Notları*, Gazi Üniversitesi Fotonik ve Uygulama Araştırma Merkezi, Ankara, Erişim: 14 Ekim 2015, <http://fotonik.gazi.edu.tr/posts/download?id=16955>
- [21] **Türkiye Ulusal Ajansı, EU Lifelong Learning Programme**, *Solar Energy Handbook*, s. 13-15, Erişim: 06 Şubat 2016, http://www.esolarproject.com/files/Handbook_EN2.pdf
- [22] **Gray, J. L.** (2011). *The Physics of the Solar Cell*, in *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, A. Luque, Hedefus, S., Editor, John Wiley and Sons.
- [23] **Shivalingaswamy, T. & Kagali, B. A.** (2012). *Determinaton of the Declination of the Sun on a Given Day*, European Journal of Physics Education, Vol. 3 Issue 1.
- [24] **Görecelioğlu, E.** (1987). *Peyzaj Düzenlemelerinde Güneş Açılarının Önemi*” *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, Cilt 36, Sayı 4, s. 34-51.
- [25] **Şenpınar, A.** (2006). *Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması*, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [26] **Messenger, R. & Ventre, J.** (2000). *Photovoltaic Systems Engineering*, 1st Ed. New York: CRC Press, 297-303, s.63-64, s. 53, 64.
- [27] **Dunlop, J.** (1998). *Stand-Alone Photovoltaic Lighting Systems A Decision-Maker's Guide Volume 2: PV Lightng Components and System Design*, FSEC-RR-54-98.
- [28] **Url-15** <<http://www.enel.com.tr/>>, erişim tarihi 02.09.2015
- [29] **Url-16** <http://www.meeco.net/fileadmin/user_upload/content/Broschueren/130719-sun2light-brochure-WEB.pdf>, erişim tarihi 14.09.2015
- [29] **Dunlop, J.** (1997). *Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems*, FSEC-CR-1292-01.
- [30] **Url-17** <www.koronaenerji.com.tr/sarj-regulatorleri>, erişim tarihi 21.05.2015
- [31] **Victron Energy**, (2014). *Which solar charge controller: PWM or MPPT?*, Almere, Hollanda, Erişim: 11 Mart 2016, <https://www.victronenergy.com/blog/2014/07/21/which-solar-charge-controller-pwm-or-mppt/>

- [32] **Halonen, L., Tetri, E. & Bhusal, P.** (2010). *Guidebook on energy efficient electric lighting for buildings*, Otainemi, Aalto University, School of Science and Technology, Department of Electronics Lighting Unit.
- [33] **Url-18** <https://www.wacker.com/cms/en/wacker_group/innovations/magazine2012/drop_silicone/drop_silicone_1.jsp>, erişim tarihi 18.12.2016
- [34] **Özkaya, M. & Tüfekçi T.** (2011). *Aydınlatma Tekniği*, Birsen Yayınevi
- [35] **Url-19** <<http://www.philips.com/consumerfiles/newscenter/main/design/resources/pdf/Inside-Innovation-Backgrounder-Lumens-per-Watt.pdf>> , erişim tarihi 03.11.2016
- [36] **Patrick M.** (2009). *LEDs for Lighting*, Wiley Publications.
- [37] **Url-20** <<http://www.ledacademy.net/wp-content/uploads/2015/03/511.png>>, erişim tarihi 08.08.2015
- [38] **Hua, C. & Ku, P.** (2015). *Implementation of a Stand-Alone Photovoltaic Lighting System with MPPT, Battery Charger and High Brightness LEDS*, Power Electronics and Drives Systems. Volume 2, Pg. 1601-1605.
- [39] **Güler, Ö.** (2012). *Yol Aydınlatma Tesisatları Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü.
- [40] **Url-21** < <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130727-20.htm> > , erişim tarihi 03.11.2016
- [41] **Url-22** <www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1579>, erişim tarihii 09.08.2015
- [42] **Onaygil, S.** (2013). *LED’li Yol Aydınlatması ve Enerji Verimliliği*, 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli.
- [43] **Url-23** <http://www.philips.com/consumerfiles/newscenter/main/standard/resources/corporate/articles/2011/Backgrounder_Solar-driven-LED-street-lighting-in-Guiyang-villages.pdf>, erişim tarihi 06.08.2015
- [44] **Onaygil, S. & Güler, Ö.** (2005). *Şehiriçi Yol Aydınlatma Tesisatlarının İyileştirilmesi*, III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, Ankara.
- [45] **Güler, Ö. & Onaygil, S.** (2007). *Yol Aydınlatması Tesisatlarında Armatür Fotometrik Değerlerinin Önemi*, IV. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, s. 125-135, İzmir.
- [46] **CIE Pub.115.** (2010). *Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic*. Erişim: 16 Haziran 2015, www.cie.co.at/
- [47] **Lighting Technology Catalogue.** (2012). Erişim: 21 Haziran 2016, <http://www.elmarco.pl/assets/files/katalogi/TS-2015-ENG.pdf>
- [48] **Roadway Lighting Standard.** (2016). Erişim: 15 Mayıs 2016, <https://www.niagararegion.ca/business/tenders/pdf/roadway-lighting-standard.pdf>
- [49] **TEDAŞ.** (2015). *LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi, Mart 2015.*

- [50] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2001). Elektrik Dış Aydınlatma Yönetmeliği, 2001.**
- [51] **T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2015). Genel Aydınlatma Kapsamında LED Armatürlerin Kullanımına İlişkin Usul ve Esaslar, 23 Ocak 2015.**
- [52] **Lambert, T., Gilman, P. & Lilienthal, P. *Micropower System Modeling With HOMER*” Integration of Alternative Sources of Energy, IEEE Press, s. 379-418.**
- [53] **Url-24** <<http://www.enerdata.net/publications/2011-trends-in-global-energy-efficiency.pdf>>, erişim tarihi: 16.01.2016
- [54] **Yurtseven, B. (2016). Kişisel görüşme. İTÜ Enerji Enstitüsü Aydınlatma Tekniği ve Enerji Verimliliği Laboratuvarı, İstanbul.**



EKLER

EK A : Yol aydınlatma sistemlerinde kullanılan Philips marka, Speedstar serisine ait armatürlerin teknik bilgileri ve ışık dağılım eğrileri



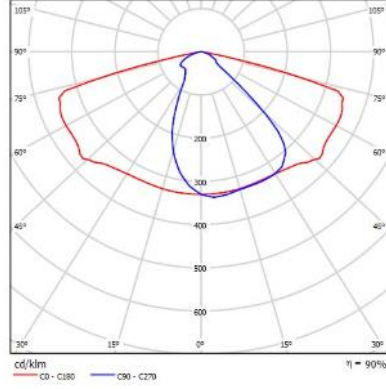
EK A

PHILIPS BGP322 T35 1xGRN98-3S/740 DN / Luminaire Data Sheet



Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 47 80 98 100 90

Luminous emittance 1:



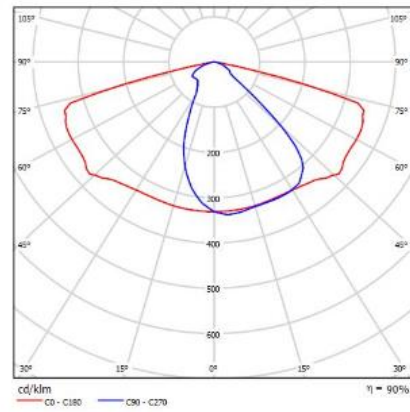
PHILIPS BGP322 T35 1xGRN98-3S/740 DN
Article No.:
Luminous flux (Luminaire): 9270 lm
Luminous flux (Lamps): 10300 lm
Luminaire Wattage: 73.0 W
Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 47 80 98 100 90
Fitting: 1 x GRN98-3S/740 (Correction Factor 1.000).

Şekil A.1 : 73W'lık armatüre ait teknik veriler ve ışık dağılım eğrisi

PHILIPS BGP322 T35 1xGRN88-3S/740 DN / Luminaire Data Sheet



Luminous emittance 1:



PHILIPS BGP322 T35 1xGRN88-3S/740 DN
Article No.:
Luminous flux (Luminaire): 8280 lm
Luminous flux (Lamps): 9200 lm
Luminaire Wattage: 67.0 W
Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 47 80 98 100 90
Fitting: 1 x GRN88-3S/740 (Correction Factor 1.000).

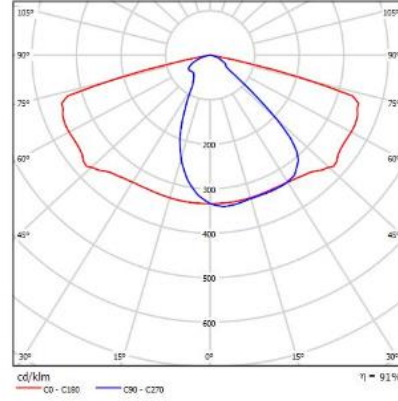
Şekil A.2 : 67W'lık armatüre ait teknik veriler ve ışık dağılım eğrisi

PHILIPS BGP322 T35 1xGRN59-3S/740 DN / Luminaire Data Sheet



Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 47 80 98 100 91

Luminous emittance 1:



PHILIPS BGP322 T35 1xGRN59-3S/740 DN
Article No.:
Luminous flux (Luminaire): 5642 lm
Luminous flux (Lamps): 6200 lm
Luminaire Wattage: 46.0 W
Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 47 80 98 100 91
Fitting: 1 x GRN59-3S/740 (Correction Factor 1.000).

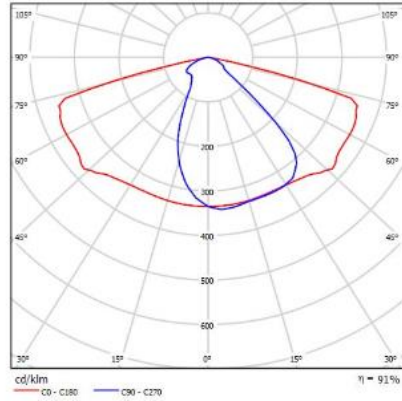
Şekil A.3 : 46W'lık armatüre ait teknik veriler ve ışık dağılım eğrisi

PHILIPS BGP322 T35 1xGRN49-3S/740 DN / Luminaire Data Sheet



Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 47 80 98 100 92

Luminous emittance 1:



PHILIPS BGP322 T35 1xGRN49-3S/740 DN
Article No.:
Luminous flux (Luminaire): 4641 lm
Luminous flux (Lamps): 5100 lm
Luminaire Wattage: 39.0 W
Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 47 80 98 100 92
Fitting: 1 x GRN49-3S/740 (Correction Factor 1.000).

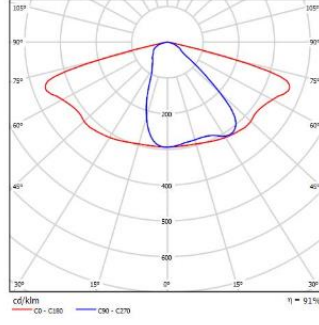
Şekil A.4 : 39W'lık armatüre ait teknik veriler ve ışık dağılım eğrisi

PHILIPS BGP322 T35 1xGRN29-3S/740 DM / Luminaire Data Sheet



Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 42 76 97 100 91

Luminous emittance 1:



PHILIPS BGP322 T35 1xGRN29-3S/740 DM
Article No.:
Luminous flux (Luminaire): 2821 lm
Luminous flux (Lamps): 3100 lm
Luminaire Wattage: 25.0 W
Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 42 76 97 100 91
Fitting: 1 x GRN29-3S/740 (Correction Factor 1.000).

Şekil A.5 : 25W'lık armatüre ait teknik veriler ve ışık dağılım eğrisi

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Anıl Can Duman
E-posta : dumanan@itu.edu.tr
Adres : İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü,
Enerji Enstitüsü, Maslak/İstanbul

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2006-2010, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans:** 2016-2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji