



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA SOKAK AYDINLATMALARINDA LED DÖNÜŞÜMÜ VE GÜNEŞ  
ENERJİSİNDEN BESLENMESİNİN ANALİZİ**

**Elektrik Elektronik Mühendisi Ali KAYA**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29/05/2018**

**Tezin Savunma Tarihi : 18/06/2018**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. H. İbrahim OKUMUŞ**

**İkinci Danışman : Dr.Öğr.Üyesi Nurettin BEŞLİ**

**TRABZON 2018**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında**  
**Ali KAYA Tarafından Hazırlanan**

**ŞANLIURFA SOKAK AYDINLATMALARINDA LED DÖNÜŞÜMÜ VE GÜNEŞ**  
**ENERJİSİNDEN BESLENMESİNİN ANALİZİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29/06/2018 gün ve 1755 sayılı**  
**kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. H. İbrahim OKUMUŞ**  
**Üye : Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ**  
**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ**

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmelerle elektrik cihazlarının toplum hayatında yeri her geçen gün artmaktadır buna bağlı olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. İhtiyaç duyulan enerjinin büyük çoğunluğu fosil kaynaklar ile karşılanmaktadır. Bilindiği gibi fosiller sınırlı kaynaklardır. Fosil kaynaklı enerji üretim proseslerinde doğaya zararlı atık salınmaktadır. Fosil kaynakların tükenme sinyalleri ve doğal felaketlerin baş göstermesiyle; enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji üretimi uygulamalarının ne denli önemli olduğu geniş kitleler tarafından anlaşılmıştır. Bu tez çalışmasında toplam enerji tüketiminin yaklaşık ¼ ünü harcayan aydınlatma sistemlerinde kullanılacak bazı enerji verimliliği uygulamaları incelenmiştir.

Tezin hazırlanması sürecinde yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren saygı değer Danışman Hocam Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ ve İkinci Danışman Hocam Dr.Öğr.Üyesi Nurettin BEŞLİ' ye, ayrıca bana zaman ayırarak tecrübeleriyle katkılarda bulunan değerli arkadaşım Harran Üniversitesi Araştırma Mühendisi Mehmet Akif İLKHAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez hazırlama sürecinde sabır göstererek büyük bir hoşgörü ve sevgiyle bana destek olan sevgili eşim Nilgün KAYA 'ya çok teşekkür ederim.

Ali KAYA

Trabzon 2018

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Şanlıurfa Sokak Aydınlatmasında Led Dönüşümü ve Güneş Enerjisinden Beslenmesinin Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Tez Danışmanım Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ ve İkinci Danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Nurettin BEŞLİ’ nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 18/06/2018

Ali KAYA

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar/ÇİZELGELER DİZİNİ .....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Aydınlatma Ve Aydınlatma Cihazları .....	2
1.2.1. Aydınlatma Nedir .....	2
1.2.2. Aydınlatma Temel Kavramları .....	5
1.3. Lambalar ve Aydınlatmada Kullanılan Lamba Tipleri .....	9
1.3.1. Lamba .....	9
1.3.2. Aydınlatmada Kullanılan Lamba Tipleri.....	10
1.3.3. LED ‘ler.....	15
1.4. Güç Faktörü (Power Factor) (PF).....	22
1.5. Harmonikler.....	23
1.6. Yol Aydınlatmaları ve Kullanılan Uluslararası Standartlar .....	25
1.6.1. Yol Aydınlatmalarında Kullanılan Aydınlatma Türleri .....	25
1.7. Akıllı Aydınlatma Nedir .....	26
1.8. Literatür Taraması .....	27
1.9. Dünyada Uygulanan Bazı Akıllı Aydınlatma Uygulamaları.....	29

1.10.	Ülkemizde Uygulanan Bazı Akıllı Aydınlatma Uygulamaları .....	30
1.11.	Akıllı Şehir Aydınlatma Yöntemleri .....	32
1.11.1.	Akıllı Şehir Aydınlatma Sistemi (AŞAS) (Logiba).....	32
1.11.2.	Tamara Akıllı Aydınlatma Sistemleri: .....	34
1.11.3.	Astronomik Zaman Rölesi ile Aydınlatma.....	36
1.11.4.	Deltagrid Aydınlatma Sistemleri .....	37
1.11.5.	LCU Akıllı Aydınlatma .....	37
1.11.6.	Kullanılan Sistemlerin Değerlendirilmesi .....	37
1.12.	Yenilenebilir Enerji .....	44
1.12.1.	Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	45
1.12.2.	Fotovoltaik (Photovoltaic) (FV) Pil Yapısı ve Sistemleri .....	53
1.12.3.	FV Sistemlerde Kullanılan Diğer Ara Birimler.....	72
1.12.4.	Fotovoltaik Sistem Verimini Etkileyen Faktörler .....	81
1.12.5.	Aydınlatma Sistemlerinde FV Sistemlerin Kullanımı.....	85
1.12.1.	Aydınlatma Sistemlerinde Kullanılan Enerji Verimliliği Uygulamaları.....	88
1.13.	Güneş Açılımları ve Optimum Güneş Paneli Açısı .....	90
1.13.1.	Eğik Düzleme Düşen Güneş Işınımı Miktarının Tespit Edilmesi .....	91
1.13.2.	Güneş Panelleri Arasındaki Mesafenin Hesaplanması .....	94
1.13.3.	İdeal Güneş Paneli Eğimi .....	96
1.14.	Güneş Panelinden Üretilen Enerji .....	100
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR .....	102
2.1.	Şanlıurfa İlinin Mevcut Durumu .....	102
2.2.	Aydınlatma Sistemlerinde Verimliliğin Arttırılması Çalışmaları .....	105
2.3.	Harmonik Ölçüm Çalışmaları.....	122
3.	SONUÇLAR.....	103
4.	KAYNAKLAR.....	139

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

## ÖZET

### ŞANLIURFA SOKAK AYDINLATMALARINDA LED DÖNÜŞÜMÜ VE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN BESLENMESİNİN ANALİZİ

Ali KAYA

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ  
İkinci Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Nurettin BEŞLİ  
2018, 144 Sayfa

Aydınlatma, gece saatlerinde sosyal hayatı etkileyen en büyük faktördür. Mevcut sistemlerde Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı (YBSB) armatürler kullanılmakta ve bu sistemler gece ihtiyaç olmayan zamanlarda bile tam aydınlatma sağlayacak şekilde çalışmaktadır. Bu sistemlere daha verimli aydınlatma araçları ve yönetilebilir akıllı aydınlatma sistemleri eklenerek tüketilen enerjide tasarruf edilebileceği gibi sisteme bedava enerji üretimi sağlayan FotoVoltaik uygulamalar eklenerek aydınlatma maliyetinin minimuma indirilmesi sağlanabilir.

Bu çalışmada; Şanlıurfa ili merkez ve ilçelerinde bulunan YBSB armatürlü aydınlatma sisteminin elektrik tüketim miktarı tespit edildi. Daha sonra armatürlerin tamamının LED armatüre dönüşümü ile LED' e dönüştürülen sisteme Akıllı Şehir Aydınlatma uygulamaları eklenmesi durumları incelendi. Son olarak YBSB, LED ve Akıllı Aydınlatma sistemlerinin enerjilerinin ayrı ayrı Fotovoltaik sistemlerle karşılanması durumları analiz edildi.

**Anahtar Kelimeler** : Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Aydınlatma, LED aydınlatma, Akıllı Şehir Aydınlatma, Fotovoltaik Sistemler

Master Thesis

**SUMMARY**

CONVERTING TO LED IN THE SANLIURFA STREET LIGHTING AND  
ANALYSIS OF SUPPLYING WITH SOLAR ENERGY

Ali KAYA

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Electronics and Electrical Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ  
Second Supervisor: Assoc. Doc. Dr. Nurettin BEŞLİ  
2018, 144 Pages,

Lighting is the biggest factor that effect social life at night. In Existing systems, High Pressure Sodium Steam(HPSS) fittings are used And these systems work to provide full illumination even when not needed at night. By adding more efficient lighting tools and manageable intelligent lighting systems to these systems, consumed energy can be saved and photovoltaic applications that provide free energy generation in system can be added to minimize illumination cost. Saving the consumed energy in lighting systems will contribute to country's economy by reducing the current account deficit.

In this study; firstly, the amount of electricity consumed by the High Pressure Sodium Steam fixture lighting system that located in Şanlıurfa province centre and districts was determined. Later the conversation HPSS system' s to Light Emitting Diode (LED) fixtured illumination and addition Smart City Lighting applications to the LED converted system respectively examined. Finally the cases where power of HPSS, LED and smart City Lighting systems separately providing by the photovoltaic systems were analyzed.

**Key Words** : High Pressure Sodium Steam (HPSS) Lighting, LED Lighting, Smart City Lighting, Photovoltaic Systems.



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. İnsan tarafından algılanan renkler ve dalga boyları . . . . .	5
Şekil 2. Işık Akısı . . . . .	6
Şekil 3. Işık şiddeti. . . . .	6
Şekil 4. Aydınlık düzeyi. . . . .	7
Şekil 5. Aydınlık düzeyi . . . . .	8
Şekil 6. Yüksek basınçlı cıva buharlı lambanın yapısı. . . . .	11
Şekil 7. Metal halojen lamba yapısı. . . . .	12
Şekil 8. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambanın yapısı. . . . .	13
Şekil 9. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba. . . . .	13
Şekil 10. LED P-N bağlantı diyagramı. . . . .	15
Şekil 11. LED'in akım-gerilim karakteristiği. . . . .	16
Şekil 12. Düşük güçlü LED'ler . . . . .	17
Şekil 13. İç aydınlatma için kullanılan orta güçlü LED . . . . .	17
Şekil 14. Yüksek güçlü led yapısı . . . . .	18
Şekil 15. Doğrusal Olmayan Dalga Formu ve Bileşenleri . . . . .	23
Şekil 16. AŞAS Yapısı, Devre Elemanları . . . . .	33
Şekil 17. Tamara akıllı aydınlatma sistemi . . . . .	35
Şekil 18. Tamara aydınlatma sistemi - driver. . . . .	36
Şekil 19. CC2530 ZigBee geliştirme kiti . . . . .	40
Şekil 20. PLC Şebekeler . . . . .	42
Şekil 21. Dünya güneş enerjisi haritası . . . . .	47
Şekil 22. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası(GEPA) . . . . .	50
Şekil 23. Türkiye'nin Güncel Kurulu Gücü: 78.529,62 MW . . . . .	51
Şekil 24. Türkiye'de Lisanssız Güneş Enerjisinin Gelişimi . . . . .	52
Şekil 25. Fotovoltaik hücre teknolojilerinin sınıflandırılması. . . . .	54
Şekil 26. FV hücrenin yapısı . . . . .	55
Şekil 27. Monokristal hücre örnekleri . . . . .	56
Şekil 28. Polikristal silisyum güneş hücresi ve renkleri . . . . .	57

Şekil 29. Laboratuvar güneş pili verimleri .....	60
Şekil 30. Ticari güneş paneli verimleri.....	60
Şekil 31. FV güneş hücreleri ve pazar payı oranları.....	61
Şekil 32. Türkiye FV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl).....	62
Şekil 33. Kristal hücre üretim işlem basamakları.....	62
Şekil 34. FV hücrelerin seri ya da paralel olarak bağlanması .....	63
Şekil 35. Seri bağlı fotovoltaik hücrelerin I- V eğrisi .....	64
Şekil 36. Paralel bağlı FV hücrelerin I- V eğrisi .....	64
Şekil 37. FV sistemlerde kullanılan hücre, modül, panel ve dizi .....	66
Şekil 38. Direkt bağlı akuple sistem.....	67
Şekil 39. Şebekeden bağımsız FV sistem şeması .....	68
Şekil 40. Şebekeye bağlı (On-Grid) sistem. ....	69
Şekil 41. Jeneratör destekli geri beslemeli Hibrit sistem .....	71
Şekil 42. FV sistem ve kullanılan ara birimler .....	73
Şekil 43. Dizi tipi evirici .....	74
Şekil 44. Merkezi tip evirici ve birleştirici ünite .....	76
Şekil 45. Sıvı elektrotlu tipik bir kurşun-asit ızgara tabakalı akünün yapısı (SLI) .....	78
Şekil 46. FV sistemlerde verimliliğe etki eden faktörler.....	81
Şekil 47. FV sistemde kayıplar.....	84
Şekil 48. Off-Grid aydınlatma sistemleri .....	87
Şekil 49. On-Grid aydınlatma sistemi .....	87
Şekil 50. On-Grid Sistem Aydınlatma.....	88
Şekil 51. Yollarda şerit ve bariyerlerde led kullanımı.....	89
Şekil 52. Trafik ışıklarında Güneş Paneli uygulamaları.....	89
Şekil 53. Yollarda yenilenebilir enerji uygulamaları.....	90
Şekil 54. Toplam ışınımın bileşenleri.....	92
Şekil 55. Dizi halinde yerleştirilmiş güneş panelleri.....	95
Şekil 56. Bir Güneş Paneli Yüzeyindeki Güneşlenme Miktarına Güneş .....	97
Şekil 57. Sabit Bir Güneş Panelinin Optimum Montaj Açısı .....	98
Şekil 58. Farklı sezonlarda sabit ve izleyici kolektörlerdeki toplam günlük .....	98
Şekil 59. Şanlıurfa güneş enerjisi potansiyel atlası. ....	103
Şekil 60. Aylık Ortalama kWh/m <sup>2</sup> -gün ışımaya değerleri.....	103
Şekil 61. Ortalama Güneşlenme Süreleri (Saat).....	104

Şekil 62. Şanlıurfa FV tipi-alan-üretilebilecek enerji (KWh-Yıl).....	104
Şekil 63. Abide park kavşağı trafik Durumu .....	110
Şekil 64. SSK kavşağı Trafik Durumu .....	111
Şekil 65. Balık Ayağı kavşağı Trafik Durumu .....	112
Şekil 66. Akım-Gerilim dalga formları .....	124
Şekil 67. Gerilim harmoniği grafiği .....	124
Şekil 68. THD grafiği .....	125
Şekil 69. Şebekeye 100W YBSB armatür bağlanması bağlantıları.....	125
Şekil 70. Power factor grafiği.....	126
Şekil 71. Akım-Gerilim dalga formları .....	126
Şekil 72. THD Grafiği .....	126
Şekil 73. Power factor grafiği.....	127
Şekil 74. Akım-gerilim dalga formları .....	127
Şekil 75. THD grafiği .....	128
Şekil 76. Power factor grafiği.....	128
Şekil 77. Akım-Gerilim dalga formları .....	129
Şekil 78. THD grafiği .....	129
Şekil 79. Şebekeye 70 W LED armatür bağlanması .....	130
Şekil 80. Power factor grafiği.....	130
Şekil 81. Akım-Gerilim dalga formları .....	131
Şekil 82. THD grafiği .....	131
Şekil 83. Power Factor grafiği.....	132
Şekil 84. Akım-Gerilim dalga formları .....	132
Şekil 85. THD grafiği .....	132
Şekil 86. Power factor grafiği.....	133
Şekil 87. Akım-Gerilim dalga formları .....	133
Şekil 88. THD grafiği .....	134
Şekil 89. Ölçüm yapılan armatürler.....	135

## TABLolar/ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Farklı tip ışık kaynaklarının özellikleri.....	14
Tablo 2. Işık kaynaklarında fazla ısının atılması yöntemleri.....	19
Tablo 3. LED'in ortam sıcaklığı ile ömür ilişkisi.....	19
Tablo 4. Lambalar ve harmonik değerleri. ....	24
Tablo 5. Yollarda sıklıkla kullanılan lamba verileri.....	26
Tablo 6. Kablosuz haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması .....	39
Tablo 7. Yenilenebilir enerji çeşitleri ve kaynakları .....	44
Tablo 8. Küresel elektrik üretimindeki yenilenebilir enerji oranı % (2015) .....	45
Tablo 9. Türkiye'nin elektrik üretiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı.....	45
Tablo 10. Güneşle ilgili büyüklükler .....	46
Tablo 11. Türkiye'nin aylık güneşlenme süreleri.....	48
Tablo 12. Türkiye aylık kWh/m <sup>2</sup> -gün ışıma değerleri. ....	49
Tablo 13. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere .....	49
Tablo 14. FV hücrelerin verimlilikleri ve 1 kWp için gerektirdiği alan.....	61
Tablo 15. NREL' göre AC yük kullanımı için tüm De-oranları .....	85
Tablo 16. Ortalama yansıtma katsayıları .....	94
Tablo 17. Farklı bölgedeki illere göre optimum eğim açısının aylara göre değerleri .....	99
Tablo 18. Farklı Bölgedeki İllere Göre Optimum Eğim Açısının Mevsimlere.....	99
Tablo 19. Şanlıurfa ili YBSB sokak aydınlatma bilgileri YBSBL.....	106
Tablo 20. YBSB aydınlatma sisteminde tüketilen enerji maliyetleri .....	106
Tablo 21. LED armatür özellikleri ve sistemin toplam gücü .....	107
Tablo 22. LED Aydınlatma Sisteminde Tüketilen Enerji Bedeli.....	107
Tablo 23. Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı armatürlerin birim fiyatları ve maliyetleri ..	108
Tablo 24. LED armatür birim fiyatları. ....	108
Tablo 25. Analiz 1 karşılaştırma tablosu .....	108
Tablo 26. Akıllı Aydınlatma Sistemi Enerji Tüketimi .....	113
Tablo 27. Akıllı aydınlatma sistemi tüketilen enerji bedeli .....	114
Tablo 28. Analiz 2 karşılaştırma tablosu .....	115

Tablo 29. Aylara göre tüm tesisten günlük-aylık olarak elde edilen enerji.....	117
Tablo 30. Kurulacak FV sistemin maliyet analizi .....	117
Tablo 31. Aylara göre tüm tesisten günlük-aylık olarak elde edilen enerji.....	119
Tablo 32. LED + FV maliyet analizi .....	119
Tablo 33. Aylara göre tüm tesisten günlük-aylık olarak elde edilen enerji.....	121
Tablo 34. LED+AŞAS+FV Maliyet Analizi .....	122
Tablo 35. Armatür dönüşümleri, tasarruf ve maliyet tablosu.....	136
Tablo 36. Aydınlatma Sistemlerine FV sistem eklenmesi durumu analiz tablosu.....	136



## SEMBOLLER DİZİNİ

YEK	Yenilenebilir enerji kaynakları
YBSB	Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı
LED	Light Emitting Diode
HPSS	High Pressure Sodium Steam
CO <sub>2</sub>	Karbon Dioksit
FV	Fotovoltaik
AŞAS	Akıllı Şehir Aydınlatma Sisteminin
CIE	Uluslar Arası Aydınlatma Komisyonu
LED	Light Emitting Diode
GaN	Galyum Nitrit
GaP	Galyum Fosfat
GaAs	Galyum Arsenit
SSL	Katı hal lambaları
CEN	Avrupa Birliği Standartları
AŞAS	Akıllı Şehir Aydınlatma Sistemi
PAÜ	Pamukkale Üniversitesi
LCU	Light Control Unit
DCU	Data Control Unit
PLC	Power Line Communication
NIST	National Institute of Standards and Technology
PIR	Passive Infrared Sensor
LDR	Light Dependet Resistance
CdS	Kadmiyum sülfür
CdS	Kadmiyum selenür
IR	Infrared
Cd-Te	Kadmiyum Tellür
a-Si	Amorf Silisyum
CIS	Bakır İndiyum Selenür
CIGS	Bakır İndiyum Galyum Diselenür

DSSC	Boyar maddeli hücreler
DSC	Nanokristal Güneş Hücresi
TiO <sub>2</sub>	Titanyum dioksit
HIT	Heterojunction with Intrinsic Thin layer
IBC	Interdigitated Back Contact
$V_{hücre}$	FV Hücre Gerilimi
$I_{hücre}$	FV Hücre Akımı
$T_c$	FV panelin hücre sıcaklığı
$T_a$	hava sıcaklığı
G	Işınım
$P_{m,STC}$	Test koşullarındaki (STC Standart Test Koşullar) panel gücü
$\mu_p$	Sıcaklığa bağımlılık katsayısı
$I_{sc,STC}$	Test koşullarındaki kısa devre akımı
GT	Panel yüzeyine düşen toplam ışınım miktarı.
ENH	Enerji Nakil Hattı
$I_{dd}$	MPTT maksimum akımı
Ni-Cd	Nikel Kadmiyum
MPP	En Yüksek Güç Noktası
MPPT	Maximum Power Point Tracker
$V_{FV}$	Güneş panelinin gerilimi
$I_{FV}$	Akımı
$I_L$	Işık akımı
$I_S$	Diyot doyma akımı
q	Elektron yükü
k	Boltzman sabiti
n	Diyot faktörü
T	Hücre sıcaklığıdır.
$E_{FV}$	Güneş pilinin standart koşullarda ürettiği enerji
HWh/m <sup>2</sup>	Işınım
$P_{FV}$ (W)	Güneş Pili Gücü
A (m <sup>2</sup> )	Güneş Pili Alanı
$\eta_{FV}$	Fotovoltaik Çevrim Enerji Verimi
$E_{L1}$	Şarj denetleyici çıkışındaki enerji

$\eta_A$	Akü verimi
$\eta_S$	Bağlantı, kablo ve sistem bileşen kayıpları
$E_{FV}$	Güneş pili üretimi
$E_{L2}$	Yüke verilen enerji
$\eta_{inv}$	Evirici verimi
$I_{FV}$	Güneş pilinin ürettiği net akım
$n_M$	Modül düzeltme katsayısı (derate factor). Modülün çalışma ortamında nominal çalışma değerlerinden kaymasını dikkate almak amacıyla yapılan bir indirgeme katsayısıdır.
$I_m$	En yüksek güç noktasında güneş pili modülü akımıdır.
$E_L$	Yüke verilen enerji
$\eta_A$	Akü verimi
$\eta_S$	Bağlantı, kablo ve sistem bileşen kayıpları
$\eta_{inv}$	Evirici verimi
$\alpha$	Güneş yükseklik açısı
$\psi$	Zenit açısı
$\theta$	Güneş Geliş Açısı
$\beta$	(Slope) Eğim Açısı
$\varphi$	(latitude) Enlem Açısı
$\delta$	Deklinasyon Açısı (Declination)
$K_t$	Açıklık indeksi
$I_d$	Doğrudan ışınım
$I_b$	Doğrudan ışınımın yüzeye dik gelen bileşeni
$\theta$	Işın ile yüzeyin dikeyi arasındaki geliş açısıdır.
$I_{ey}$	Eğik yüzeye gelen yaygın ışınım (W/m <sup>2</sup> )
$I_y$	Aylık Ortalama yaygın ışınım
$S$	Eğim açısı
$I_{et}$	Eğik yüzeye gelen toplam ışınım (W/m <sup>2</sup> )
$I_t$	Toplam ışınım (W/m <sup>2</sup> )
$I_y$	Aylık ortalama yaygın ışınım (W/m <sup>2</sup> )
$s$	Eğim açısı
$R_d$	Doğrudan güneş ışınım faktörü
$G_m$	Sıralı halde olan paneller arasında bırakılması gereken mesafe



g1	Öndeki panelin yatay mesafesi panelin yatayla yaptığı açı
g2	Sonraki güneş panelinin en yakın ucu arasındaki mesafe
$L_k$	Kollektör eğim doğrultusu ölçüsü
EA	Kollektörlerin yatay düzlemle yaptıkları açı (eğim açısı)
h	Açısı ayarlanmış olan panelin yüksekliği
GY	Panellerin güneşi direk görmeye başladıkları güneş yükseklik açısı
Ib	Direkt gelen ışığın yoğunluğudur.
Ab	Gelen ışın ile panelin diğer kenarından dik kenar uzunluğu
Ac	Panel uzunluğu
$\theta$	Işın açısı
$\delta$	Deklinasyon açısı
TRA	Kollektör üzerine gelen toplam radyasyon miktarı (kcal/m <sup>2</sup> gün)
DİR	Direkt radyasyon miktarı (kcal/m <sup>2</sup> gün)
DİRAF	Direkt radyasyon açı faktörü
DİF	Difüz radyasyon miktarı (kcal/m <sup>2</sup> gün)
DİFAF	Difüz radyasyon açı faktörü
YYRA	Yeryüzü radyasyonu (kcal/m <sup>2</sup> gün) (çizelgeden)
YAO	Yansıtma oranı (çizelgeden)
YAF	Yansıtılmış açı faktörü (çizelgeden)
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
PF	Güç Faktörü (Power Factor)

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Elektrikli cihazlar zamanla hayatımızın vazgeçilmezleri durumuna gelmiştir. Bu cihazlar çalışabilmek için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Fosil kaynakların sınırlı olmasından dolayı artan enerji talebine paralel olarak enerji üretilmesi mümkün olmamaktadır. Bu sebeple fosil kaynaklara dayalı geleneksel enerji üretim sistemlerinin dışında yeni enerji üretim sistemleri arayışları hızlanmıştır. Ayrıca mevcut kaynakların daha verimli ve daha ekonomik kullanılması için araştırmalar da yapılmaktadır. Bu çalışmalarla, mevcut konfor düzeyi ve yaşam kalitesi azaltılmadan, tüketilen enerji miktarının minimize edilmesi ve ihtiyaç duyulan enerjinin kesintisiz olarak temin edilmesi amaçlanmaktadır.

Ülkemizde 1 yılda tüketilen enerjinin yaklaşık %25'i aydınlatma sistemlerinde harcanmaktadır. Tüketilen enerjinin %5 oranında tasarruf edilmesiyle yıllık yaklaşık 5,6 milyar kWh lık bir enerji tasarrufu mümkün olmaktadır. Bu değer büyük ölçekli elektrik üretim santrallerinin yaklaşık olarak 1 yıllık elektrik üretimine denk gelmektedir [1], [2].

Nüfus artışı ve göçlerle şehirler sürekli olarak genişlemektedir. Şehirlerin genişlemesiyle birlikte yeni cadde ve sokaklar açılmakta ve bunların aydınlatılması gerekmektedir. Kullanılan geleneksel aydınlatma yöntemlerinde kimsenin olmadığı boş sokakların aydınlatılması için bile enerji tüketilmektedir. 2012 yılında Enerji Bakanlığında yapılan açıklamaya göre; Ülkemizde yaklaşık 17 milyon sokak lambası bulunmaktadır. Toplum hayatında yaşanan refah ve nüfus artışına dayanılarak, mevcutta bulunan sokak lambası sayısının 20 milyona ulaştığı söylenebilir. Sokak aydınlatmaları için tüketilen enerji miktarı, toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak %2,5 ine denk gelmektedir [1]. Geleneksel olarak kullanılan aydınlatma yöntemlerine çeşitli enerji tasarruf uygulamaları eklenerek boşa tüketilen enerjinin minimize edilmesi mümkündür. Bu şekilde ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır.

Gereksiz aydınlatma yapılması veya ihtiyaçtan fazla enerji tüketilerek aydınlatma yapılması gibi sebepler, enerji kaybına sebep olmaktadır. Işık kaynağının yanlış seçilmesiyle %80-85 dolaylarında boşa enerji harcanabilmektedir. Verimsiz bir sistemde ihtiyaç duyulan aydınlatma seviyesi için ihtiyaçtan fazla armatür kullanılması ya da daha

yüksek güçte armatür kullanılması her ne kadar aydınlık seviyesinde bir artış sağlasa da enerji verimliliği açısından negatif etki oluşturmaktadır.

Fotovoltaik (FV) sistemler, son yıllarda enerji verimliliği ve tasarrufu uygulamalarına büyük katkı sağlamaktadır. Bu sistemlerde FV olayı yani güneş ışığından direk olarak elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Bu sistemler FV hücrelerin ihtiyaca göre seri ve paralel bağlanmalarından oluşmaktadır. FV olayının gerçekleştiği FV hücreler Silisyum, Kadmiyum vb. yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır. İlk zamanlarda bu sistemlerin verimi düşük ve pahalıydı. Yaşanılan teknolojik gelişmelerle verimliliklerinde artış gerçekleşmiş ve maliyetlerinde düşüşler olmuştur. Kurulum maliyetinin dışında hammadde maliyetinin olmamasından dolayı FV Sistemler nerdeyse bedava elektrik üretimi sağlamaktadır. Son yıllarda kamunun alım garantisi vermesiyle FV sistemler oldukça rağbet görmekte ve her isteyen kolaylıkla temin edebilmektedir.

Bu çalışmada Şanlıurfa İli merkez ve bağlı ilçelerinde mevcuttaki Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı (YBSB) armatürlü sokak aydınlatma sistemlerinde tüketilen enerjinin daha verimli ve daha ekonomik kullanılabilmesi için uygulanabilecek yöntemlerin araştırılması amaçlanmıştır. Bunun için basamak halinde bazı analizler yapılmıştır. İlk olarak Mevcuttaki (YBSB) armatürlerin tüketimi tespit edilmeye çalışıldı devamında bu armatürlerin LED armatüre dönüştürülmesi durumu incelendi. Daha sonra LED sistemine dönüştürülen aydınlatma sistemine Akıllı Şehir Aydınlatma Sisteminin (AŞAS) eklenmesi durumu incelendi. Son olarak ilk üç durumda incelenen aydınlatma sisteme FV uygulamaların eklenmesi durumlarında, sistemde tüketilen enerji miktarında gerçekleşmesi muhtemel tasarruf miktarları, sistemlerin maliyetleri ve sistemlerin amorti süreleri irdelenmiştir.

## **1.2. Aydınlatma Ve Aydınlatma Cihazları**

### **1.2.1. Aydınlatma Nedir**

Aydınlatma çevrenin veya objelerin ihtiyaca göre görülebilmesi amacıyla aydınlatılmasıdır. Uluslar Arası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından yapılan tanıma

göre aydınlatma; “Nesnelerin ve çevrelerin görülebilmesi için ışık uygulamaktır” şeklinde tanımlanmaktadır [3], [4], [5].

Tüm aydınlatma uygulamalarında temel amaç; aydınlatılan obje ya da çevrenin gündüz gün ışığı altında görülebildiği şekilde kişiler tarafından algılanmasının sağlanmasıdır.

Amacına uygun ideal şekilde aydınlatılan iş yerlerinde, iş veriminde artış gerçekleşir. Ortamlarda daha iyi görüş açısı gerçekleşeceğinden kazalarda azalma olacaktır. Buna bağlı olarak ekonomik faaliyetler ve potansiyel artacaktır. Gözde kamaşma veya çevrede karartılar olmayacak, gözün görme yeteneği artacak ve göz sağlığının korunmasına katkı sağlanmış olacaktır. Çevrede güvenli görüş sağlanır, rahat görüşten dolayı insan psikolojisinde pozitif etki olur, böylece yaşam konforunda artış gerçekleşir [6], [7].

Aydınlatma, ışık kaynağına göre; Doğal aydınlatma ve Yapay aydınlatma, Fiziksel durumuna göre de İç aydınlatma ve Dış aydınlatma olarak gruplandırılabilir [3], [5].

#### Yollarda Aydınlatma

Yerleşim yerleri içinde ve yerleşim dışında bulunan şehir içi, cadde, sokaklar, kavşaklar, meydanlar, bağlantı yolları, çevre yolları, oto yollar, ekspres yollar vb. yerler yol aydınlatma tesisleriyle aydınlatılmaktadır.

Şehir içi/şehirlerarası yol aydınlatmalarında yaya ve araç trafiğinin güvenli ve akıcı bir şekilde sağlanabilmesi için yol aydınlatmaları hayati önem arz etmektedir. Gerekli ışık rengi ve ışık düzeyinin sağlanmasıyla yollar üzerinde gerçekleşen tüm hareketler zamanında fark edilebilecektir. Yetersiz aydınlatmalar ya da ortama uyumsuz ışık rengiyle yapılan aydınlatmalar yollarda maddi veya hayati kazalara sebep olabilmektedir.

Yol aydınlatması kapsamında; genellikle yerleşim yeri içi ve yerleşim yeri dışındaki yol aydınlatmalarında YBSB lambalar kullanılmaktadır. Bu lambalar arzulanan değişik ışık renklerini verememesinin yanı sıra otomasyon sistemlerinde yapılan uygulamalara yeterli cevabı verememektedir. Ancak LED aydınlatmalarında; mavi, kırmızı, yeşil LED kombinasyonlarıyla istenilen onlarca ışık rengi ve aydınlık düzeyleri elde edilebilmektedir. Ayrıca LED sistemlerine diğer elektronik cihazlar (sensörler, kablosuz ağ aygıtları vb. ) dahil edilerek aydınlatma otomasyonu sağlanabilmektedir.

## Aydınlatmada Enerji Verimliliği

Enerji tüketimi yapan tüm uygulamalarda; üretimi, kaliteyi ve performansı düşürmeden, sosyal refahı engellemeden enerji tasarrufu sağlanmasıdır [7]. Enerji verimli yol aydınlatması denildiğinde, sadece armatür ya da ampul değiştirilmesi olarak anlaşılmamalıdır. Yeni tasarlanacak yollar için; aydınlatılacak yerin kullanım amacına göre optimum aydınlatma kriterlerini sağlayacak, minimum enerji tüketen, sürdürülebilir aydınlatma tesisatlarının, tasarım hesaplamaları yol durumuna göre gerçek zamanlı olarak hesaplanıp, gerekli ihtiyaç tespit edilmeli ve yeni nesil verimli donanımların kullanılması tercih edilmelidir. Mevcutta olan aydınlatma sistemlerinde, verimsiz donanımların daha verimlileriyle değiştirilmesi, armatürlerin uygun olması durumunda dimmerleme yapılması ya da sisteme günışığı sensörleri, hareket dedektörleri, astronomik zaman röleleri gibi ekstra donanımlar bağlanılarak aydınlatma sistemlerinde enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [3].

## Aydınlatmada Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

- Aydınlatma yapılırken, ışığın direk olarak göze gelmesi engellenmelidir. Işığın direk olarak aydınlatılacak nesneye ya da düzleme düşecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Uzun süreli bakılan ortamlarda koyu gölgeli bölümlerin oluşmamasına dikkat edilmelidir. Oluşan gölge bölümlerin saydam gölgeli olması gözün yorulmaması açısından önemlidir.
- Çalışma yüzeyi ve bakılan alan ortamın aydınlık düzeyinden daha fazla aydın olmalıdır. Çalışma yüzeyinin ortama göre karanlık olması dikkat dağınıklığına sebep olacak ve verimi azaltacaktır.
- Aydınlatılacak yerler yayınlanan ulusal veya uluslararası standartlarda belirlenen çalışma ortamına uygun kriterlerine göre aydınlatılmalıdır.
- Tasarım yapılırken sadece çalışma yüzeyin aydınlatılmasını sağlayacak teknik ve fotometrik özellikleri bilinen armatürler kullanılmalıdır.

Yukarıda bahsedilen hususlar hem aydınlatılan yüzeylerdeki çalışma koşullarının iyileştirilmesi hem de enerji tasarrufu yapılması için son derece önemlidir [3], [6].

### 1.2.2. Aydınlatma Temel Kavramları

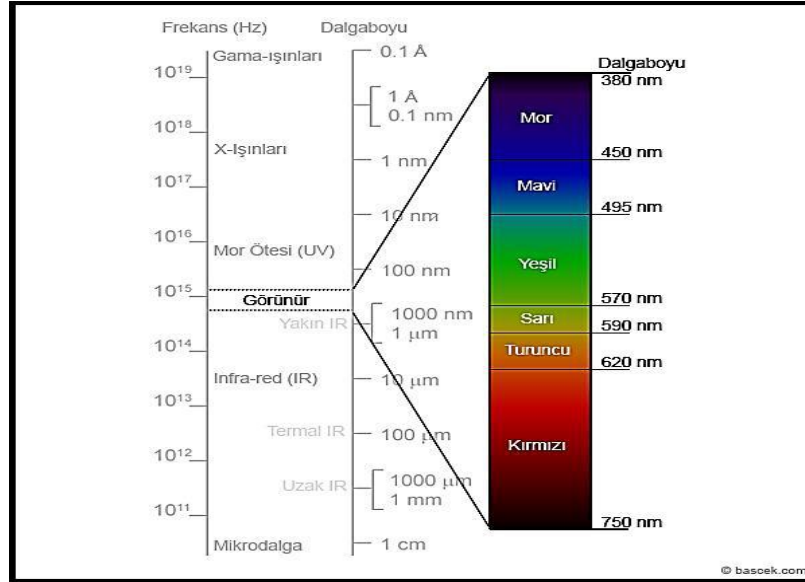
Aydınlatma uygulamalarında ölçüm ve hesaplama işlemlerinin yapılabilmesi amacıyla bazı birimler tanımlanmıştır. Bunlardan bazıları aşağıdaki şekildedir.

#### Işık

Işık, kaynağından dalga ve foton şeklinde yayılan canlılara veya nesnelere çarpıp yansımaları sonucu varlıkların görülmesini ve renklerinin ayırt edilmesini sağlayan elektromanyetik enerjinin (Radyasyon) görünebilen bir şeklidir. Spektrum denilen ışığın dalga uzunluklarına göre sıralandığı tabloda insan sadece 380-750 nm dalga boyu aralığındaki ışığı görebilmektedir. Işığın hızı saniyede 300.000 km dir [3], [8].

#### Renk

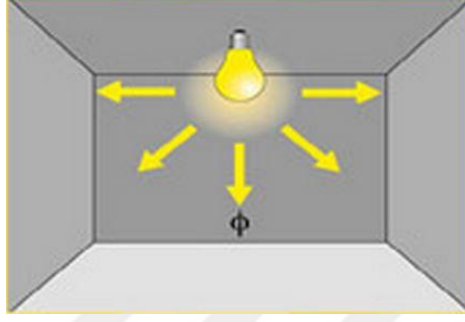
Renk, Farklı dalga boylarında bulunan ışığın insanlar tarafından algılanma şeklidir. Şekil 1. de renkler ve görünür ışık dalga boyları görülmektedir.



Şekil 1. İnsan tarafından algılanan renkler ve dalga boyları [4].

### Işık Akısı ( $\Phi$ )

Işık kaynağından çıkarak her açıdan ortama yayılan toplam ışık enerjisi miktarına ışık akısı denir. Birimi Lümen (lm) dir. Işık kaynağının gücünü ifade etmektedir [9], [3], [6].



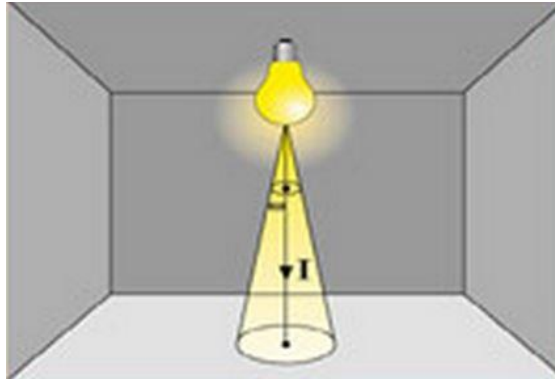
Şekil 2. Işık Akısı [4].

### Işık Şiddeti (I)

Işık kaynağının herhangi bir doğrultudaki ışık yoğunluğudur. Noktasal ışık kaynakları için tanımlanan bu büyüklük doğrultuya bağlıdır. Yani kaynağın herhangi bir yönde yaydığı ışık enerjisidir. Birimi Candela (cd) dır [4], [5].

$$I \text{ (cd)} = \Phi \text{ (lm)} / W \text{ (sr)} \text{ [5]}$$

(1)

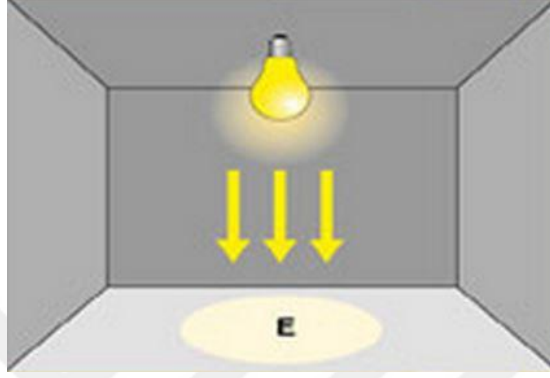


Şekil 3. Işık şiddeti [4].

### Aydınlık Düzeyi (E)

Aydınlatılacak olan yüzeye düşen ışık akısının yüzeye oranıdır. Birimi Lux tür [5].

$$E \text{ (lüks)} = \Phi \text{ (lm)} / A \text{ (m}^2\text{)} \quad (2)$$



Şekil 4. Aydınlık düzeyi [4].

### Parıltı (Lüminans) (L)

Işık yayan bir kaynaktan veya yansıyan yüzeyden göze gelen ve gözü rahatsız eden ışık şiddetidir. Birimi (cd/m<sup>2</sup>) dir. [10], [5].

### Renk Sıcaklığı

Siyah renkteki bir kütle için daha önceden belirlenen bir renkte ışık elde edilmesi için ısıtılması gereken sıcaklığı ifade eder. Birimi Kelvindir (°K). Kırmızı ve sarı renkler düşük renk sıcaklığını, mavi renk tonları ise yüksek renk sıcaklığını ifade eder. Renk sıcaklığı insanları ruhsal yönden etkilemektedir. Bu sebeple yapılacak işe göre aydınlatmada renk sıcaklığı seçilmelidir. Gün ışığı sıcaklığı 5000-6500 °K değerindedir [3], [4], [5].

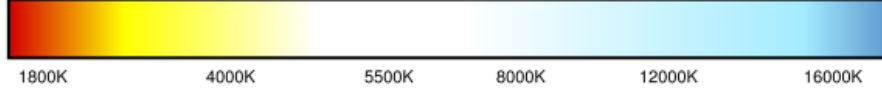
Lambalar için ışık renk sıcaklığı üç gruba ayrılmaktadır [5].

Sıcak Beyaz: t<3300 (ww)

Doğal Beyaz: 3300 °K<t<5000 °K (nw)



Gün Işığı Beyazı:  $t > 5000^{\circ} \text{K}$  (tw)



Şekil 5. Aydınlık düzeyi [5].

### Renksel Geriverim Endeksi (Ra) (CRI)

Işık kaynağının herhangi bir cisimi gerçek renginde görüntüleyebilme değeri- dir. Bilindiği gibi bir cismin gerçek rengi gün ışığı altında algılanabilen renktir. Gün ışığında algılanma değeri- ne 100 denilerek diğer ışıkların Renksel geriverim endeksleri belirlenmektedir. 100 değeri- nden geriye doğru gittikçe renklerin doğru algılanması güçleşmektedir [3], [5].

### Kontrast (C)

Bir aydınlatma ortamında en aydınlık olan kısım ile en karanlık olan kısımların parlaklıklarının farkının en karanlık kısmın parlaklığına oranı olarak tanımlanır [3], [5]. düzlem arasındaki siyahla beyaz aralığındaki kontrast oranı arttıkça arada kalan renk tonları daha net ortaya çıkar.

### Kamaşma (Glare)

Işık kaynağından yayılan ışınların Gözün çevreyi görememe durumuna gelmesine kamaşma denir [3] [4].

### 1.3. Lambalar ve Aydınlatmada Kullanılan Lamba Tipleri

#### 1.3.1. Lamba

Elektrik enerjisini ışık enerjisine çevirerek aydınlatmayı sağlayan temel aydınlatma aracıdır. Lambalar kullanım amaçlarına göre çeşitli renk ve ömür sürelerine sahiptir. Flamanlı lambalar, halojen lambalar, alçak/yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, cıva buharlı lambalar, LED lambalar gibi çeşitleri mevcuttur. Lambalar değişik ortamlarda ışık kaynağı olarak kullanılırlar. Lambaların amacı dışında kullanılmasıyla; lambalardan istenilen verim alınamayarak gereksiz enerji sarfiyatı gerçekleşecek ayrıca insan sağlığında çeşitli sorunlar oluşmasına sebep olacaktır. Bu sebeple aydınlatılacak ortamların ne amaçla kullanılacağı belirlendikten sonra uygun aydınlatma sisteminin kullanılması enerji verimliliğine ve insan sağlığına katkıda bulunacaktır.

#### Etkinlik Faktörü (Aydınlatma Verimi)

Işık kaynağından çıkan toplam ışık akısının kaynağın harcadığı elektriksel güce oranıdır. Işık kaynağının 1 watt için ürettiği ışık akısıdır. Birimi Lümen/Watt (lm/W). Bu değer kaynağın ne kadar iyi olduğunu gösterir [3], [4], [5].

#### Lambaların Ekonomik Ömrü

Lambanın ekonomik ömrü: Lambaların 100 saat kullanıldıktan sonra ışık akılarının yaklaşık olarak %30 oranında azaldığı ana kadar geçen zamandır [11].

#### Lambaların Ortalama Ömrü

Lambanın ortalama ömrü: Bir aydınlatma tesisinde lambaların %50 sinin kullanılamaz hale geldiği ana kadar geçen zamandır [11].

### 1.3.2. Aydınlatmada Kullanılan Lamba Tipleri

#### Akkor Flamanlı (Enkandesan) Lambalar

İçindeki hava boşaltılmış, cam tüp şeklinde kapalı lamba içerisinde bulunan ve elektrik akımı üzerinden geçtiğinde akkor telin ısınmasıyla ışık yayan kaynaklardır. Havası boşaltılmış bu alan içerisinde yüksek basınç oluşturarak tungsten telinin erimesini önlemeye yarayan argon-azot gazları karışımı bulunmaktadır. Ömürleri kısadır bunun yanı sıra etkinlik faktörleri 15 lm/W dolaylarındadır. Bu lambalar tükettiği enerjinin ancak %10'unu ışık enerjisine çevirebilmektedir. Ayrıca düşük voltajlarda da çalışabilmektedirler [9], [2], [6].

#### Halojen Lamba

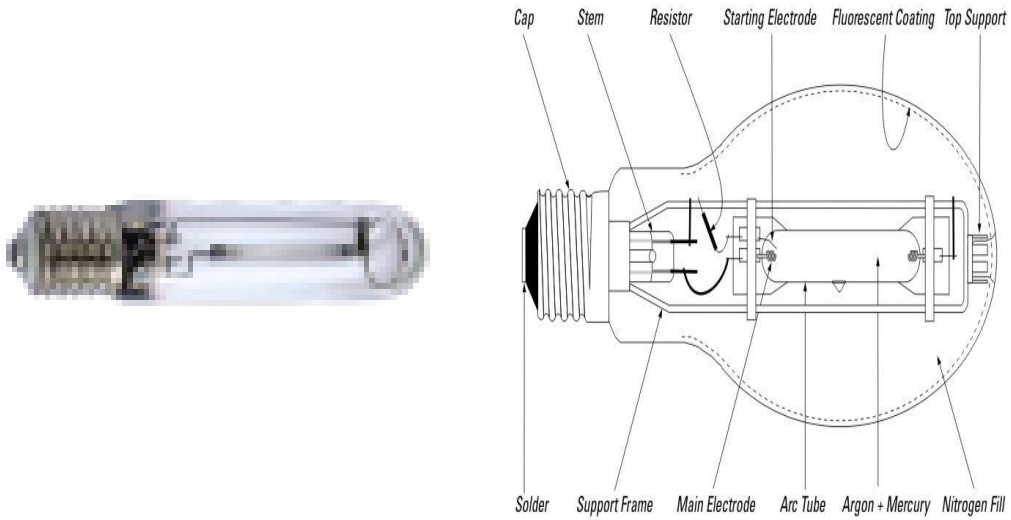
Bu lambaların içinde halojen gazı bulunmaktadır. Tungsten telinden kopan parçaların halojen gaz vasıtasıyla tekrar tele yapıştırılmasıyla daha yüksek miktarda ışık açığa çıkmaktadır. Akkor lambalara göre daha uzun ömürlü olan bu lamba türünde halojen gaz sayesinde tungsten teli daha yüksek sıcaklıklara ulaşmakta ve daha parlak renkte beyaz ışık açığa çıkmaktadır [2].

#### Floresan Lamba

Floresan lambalarda; Lambanın iki ucunda bulunan flamanlar elektrik akımıyla ısıtılır, bu durumda lambada bulunan cıva gazı iyonize edilerek iki flaman elektrotları arasında deşarj oluşturulur, iyonize edilen cıva atomları normal durumuna dönerken ultraviyole ışınlar yayarlar. Bu ışınların lamba iç yüzeyinde bulunan fosfor tabakasından geçmesiyle görülebilir ışık açığa çıkmaktadır. Etkinlik faktörleri 80 lm/W civarlarında olan bu lamba türü akkor flamanlı lamba ve halojen lambalara göre daha verimli ve daha uzun ömürlüdür. Bu lambaların ışıkları gün ışığına yakın olduğundan nesnelerin renkleri daha net anlaşılır ve lambanın renksel geriverimleri yüksektir [9], [2], [6].

## Yüksek Basıncılı Cıva Buharlı Lamba

Ampul içinde gaz deşarjının gerçekleştiği deşarj tüpü bulunmaktadır. Bu tüp içerisinde cıva ve argon gazları bulunmaktadır. Cıva buharından gerçekleşen ışınlama ışık üretilmektedir. Lamba içinde 100.000 paskal gibi yüksek basınç bulunmaktadır. Bu lamlar iç ve dış aydınlatmalarda kullanılabilirler. Yüksek güçlerde 50-1000 W aralıklarında çalışabilmektedirler. Bu nedenle büyük alanların aydınlatılmasında kullanılabilirler. Etkinlik faktörleri 50lm/W dolaylarındadır. Daha çok park-bahçe uygulamalarında kullanılmaktadır. Beyaz ışık üretmektedir. Son yıllarda bu lambalar yerine daha verimli olan Metal halojen lambalar daha sık kullanılmaktadır. Çalışma ömürleri 15.000-25.000 saat aralığındadır. Ateşleyiciye ihtiyaç duymaz ancak yardımcı eleman olarak balast kullanılmaktadır. Etkinlik faktörleri düşük olduğundan TEDAŞ şartnamesiyle yol aydınlatmalarında kullanımı yasaklanmıştır. Enerjilendirildikten yaklaşık 4-5 dakika sonra tam olarak ışık verir. Yeniden çalıştırılabilmesi için soğuması gerekmektedir. Isı ve gerilim dalgalanmalarına dayanıklıdır. Dimmerleme sistemlerinde kullanılamamaktadır. Şekil 6. da YBSB lampa yapısı görülmektedir [9], [3], [6].



Şekil 6. Yüksek basınçlı cıva buharlı lambanın yapısı [9], [3].

## Metal Halojen (Halide) Lamba

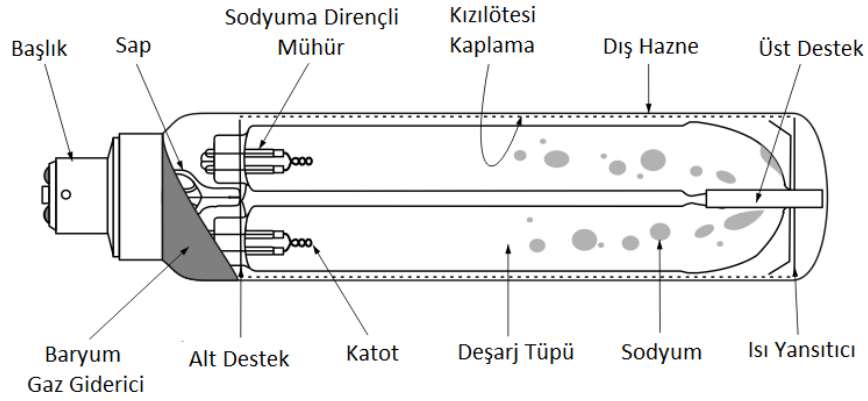
Yapı olarak cıva buharlı lambalara benzemektedir. Bu lambalara cıva buharlı bazı tuzlar (indiyum, talyum, sodyum) gibi metal halojenler ekstra eklenerek ampulün renksel geriverimi arttırılmıştır. Etkinlik faktörü 80 lm/W tır. Ömürleri kısa olmasının yansıra renkler belirgin olarak seçilebilmektedir. Spor sahalarında, tarihi eserler ve binalarda beyaz rengin vurgulanmak istendiği yerlerde kullanılır. Gerilim dalgalanmalarına karşı zayıftır. Dimmerlemeye uygun değildir [3], [2], [12].



Şekil 7. Metal halojen lamba yapısı [2].

## Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba

Yapısında doğada katı halde bulunan sodyum vardır. Sodyumun özelliklerinden dolayı sarı-turuncu ışık yayarlar. Bu sebeple renklerin ayırt edilmesi zorlaşmaktadır. Renk seçiminin önemli olmadığı ancak görüş alanının önemli olduğu askeri bölge, tünel, fabrikalar vb. dış güvenlik uygulamaları olan alanlarda kullanılır. Etkinlik faktörleri oldukça yüksek olup 100-192 lm/watt aralığındadır. Bu lambalarda stroboskopik etki (göz yanılması) olabilmektedir. Bu sebeple elektronik balastlarla kullanılmalıdır. Renksel geriverimi en kötü lambadır. Yapısında balast bulunmaktadır. Balasttan dolayı şebekeye endüktif yük etkisi olmaktadır [3], [6], [13].



Şekil 8. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambanın yapısı [3].

### Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba

Yapısı ve çalışma prensibi cıva buharlı lambalarla aynı olan bu lambalar; Sokak, otoyol, park bahçe vb. dış mekân aydınlatmalarında en çok kullanılan lamba tipleridir. Alçak basınçlı lambalara oranla renk geriverimleri yüksektir. Deşarj tüpünün basıncı artırılarak içindeki karışıma cıva eklenerek ışık spektrumu genişletilmiştir. Bu şekilde görülemeyen ışıklarda üretildiğinden verimi kısmen düşüktür. Etkinlik faktörler 80-140 lm/watt aralığındadır. Yapısında cıva ve sodyum bulunduğundan ömürleri sonunda imha edilmeleri daha masraflıdır. Ateşleyici (ignitron) ve balastla kullanılır [3], [2], [13].



Şekil 9. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba [3].

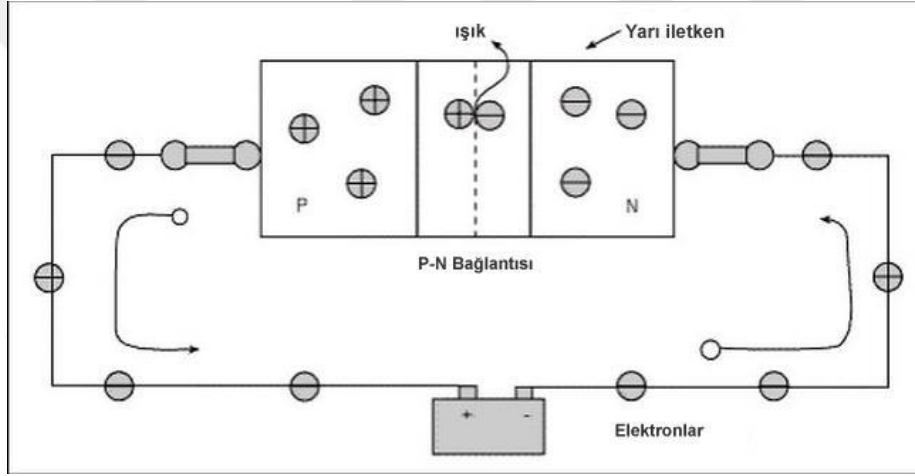
Tablo 1. de çeşitli lambalar ve çeşitli özellikleri görülmektedir.

Tablo 1. Farklı tip ışık kaynaklarının özellikleri [6].

Lamba Kategorisi	Watt	Işık akısının tasarım değerleri	Etkinlik (lm/w)	Renk ayırımı (2)	Sıcaklık Derecesi (3)	Ortalama ömür (4)	Uygulama Alanı
Akkor Filamanlı	Tungsten genel kullanım	40-200	400-2730	10-14	a	Kısa	Kısa direk tepeleri, bahçe ayd.direkleri, süsleyici fenerler, işaretler
	Tungsten halojen	150-1500	2100-33000	14-22	a	Kısa	Projektörlü alan ayd., küçük binaların projektörlü ayd., vurgulu ayd.
	Parlak reflektörlü ve renkli	100-500	820-5600	8-11 (parlak)	a	Kısa	Küçük ağaç, fundalık, çiçek ve heykel ayd.
Tüp Floresan	Standart tipler	8-65	420-4750	30-61	Fosfor'a göre değişir	Uzun	İşaretler, duvara monteli ve kısa direk tepeleri
	Kompakt tipler	9-37	600-2757	44-66	Fosfor'a göre değişir	Orta	İşaretler, duvara monteli ve kısa direk tepeleri
Yüksek basınçlı cıva buharlı	Parlak ampul	80-400	3650-18000	39-42	e	Uzun	Ağaçlar ve mavi / yeşil objelerin projektörlü ayd., binaların projektörlü ayd.
	Floresan kaplamalı	50-400	1900-21500	30-42	d	Uzun	Projektörlü alan ve bina ayd., düşük güçlülerle vurgulu ayd.
	Tungsten/cıva karışımı	100-500	1100-11500	11-23	d	Uzun	Projektörlü alan ve bina ayd., bahçe ayd.direkleri, yol ayd.
	Reflektör*	50-400	1800-20000	28-46	d	Uzun	Alan ayd., bahçe ayd.direkleri, duvara monteli dirsekle ayd.,
Metal halide	Parlak**	250-400	16000-24000	55-57	b-c	Uzun	Projektörlü alan ve bina ayd., düşük güçlülerle vurgulu ayd.
	Kaplamalı	250-400	17500-25000	57-63	c	Uzun	Projektörlü alan ve bina ayd.
	Doğrusal	750-1600	58500-115000	71-72	b	Orta	Projektörlü alan ve bina ayd.
	Kompakt kaynak ve reflektör	400-1000	27000-81000	61-74	b	Kısa	Vurgulu ayd., Kule ve sur ayd.
Yüksek basınçlı sodyum buharlı	Standart	50-400	3100-47000	56-107	c	Uzun	Kısa direk tepeleri, yol ayd., bahçe ayd.direkleri, Projektörlü alan ve bina ayd.
	İyi renk ayırımı	150-400	12500-44000	74-100	c-d	Uzun	Projektörlü alan ve bina ayd.
	Yüksek renk ayırımı	110-400	10440-40000	60-88	b	Uzun	Projektörlü alan ve bina ayd.
Alçak basınçlı sodyum buharlı	Standart	18-180	1800-33000	68-155	-	Uzun	Yol ayd., projektörlü bina ayd., güvenlik ayd.

### 1.3.3. LED 'ler

Light Emitting Diode (LED); elektrik enerjisinin uygulanmasıyla belli bir voltaj değerinden sonra ışık yayan yarı iletken diyotlardır. İngiliz H.Joseph.Round tarafından 1907 yılında keşfedilmiştir. Diyot olduğundan elektrik uygulandığında N ekleminden P eklemine doğru elektron akışı olur. Bu elektron akışıyla çevreye ışık yayılır. Bu olaya elektroluminans denir. LED'ler diyotlar gibi doğru akımla çalışmaktadır. Uyarım gerilimleri renklerine göre 1,6 V ile 4 V aralığında değişmektedir. Renklerine göre etkinlik değerleri değişmektedir [9], [3]. Şekil 10 da LED'lerin P-N eklemleri ve ışığın oluşması görülmektedir.



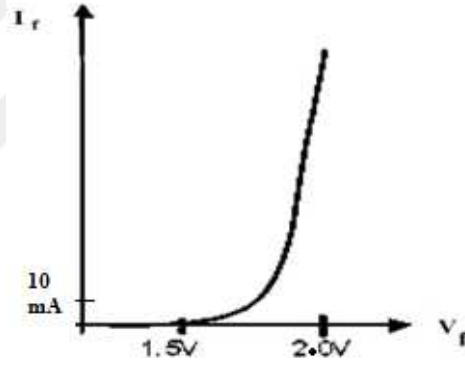
Şekil 10. LED P-N bağlantı diyagramı [4].

Tek LED'in gücü yaklaşık 3 W dolaylarında olmakla birlikte laboratuvar şartlarında LED'lerin etkinlik faktörleri 231 lm/W olarak kaydedilmiştir. Ayrıca laboratuvar ortamında teorik olarak verimli şekilde 100.000 saate kadar çalışabildiği görülmüştür. LED'ler istenilen aydınlık seviyesi sağlanacak şekilde seri ve paralel olarak armatür içerisinde yerleştirilmektedir. Verimleri yüksektir. Diğer ampullere göre az enerjiyle daha fazla ışık enerjisi yayarlar. Yapısında doğaya zararlı gazlar bulunmamaktadır. LED'in rengini aktif katmandaki materyaller belirler. LED'ler normalde tek renkte ışık yayarlar. Ancak aktif katmana değişik kimyasallar Galyum Nitrit (GaN), Galyum Fosfat (GaP), Galyum Arsenit (GaAs) vb. eklenerek istenilen dalga boyunda ışığa sağlanabilir. Farklı



renkteki LED'ler farklı dalga boylarında olduğu gibi aynı renkteki LED'lerinde dalga boyları farklı olabilmektedir.

LED'ler uygulanan akımın büyüklüğüyle orantılı olarak ışık yayarlar. Ancak belli bir değerden sonra akım artsa da ışık akısı artmayacaktır. Bu durumda akımın daha da arttırılması LED'e ve devreye zarar verecektir. Parlaklığın ayarlanabilmesi için akımın sabit tutulabilmesi yani gerilim değerinin de hassas ayarlanabilmesi gerekmektedir. LED'lerin etkinlik değerleri zamanla orantılı düşmektedir. Etkinlik değerinin %50 nin altına düşmesi durumu LED'in ekonomik ömrünün tamamlandığı anlamına gelmektedir. LED'ler yüksek renk geriverme endeksine sahiptir. ( $R_a=80$ ).Bu durumda cisimlerin kendi renginde görülmesi sağlanmış olur. LED'lere katı hal lambaları (SSL) da denmektedir [1], [14], [9], [3], [15].



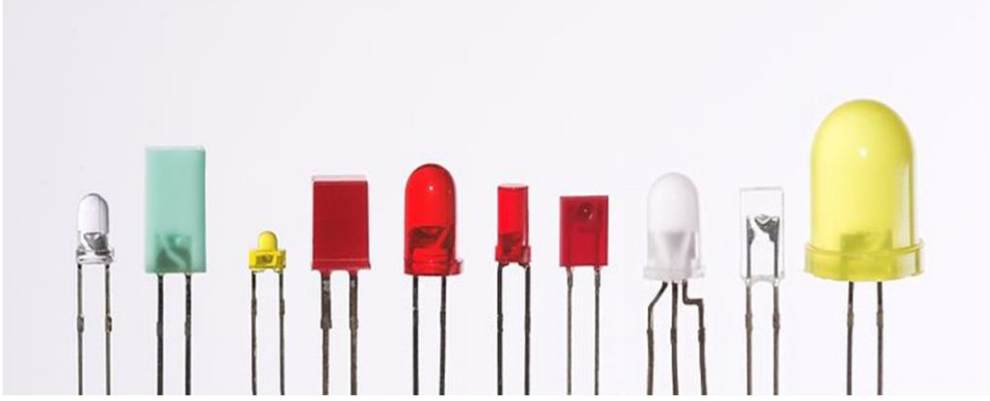
Şekil 11. LED'in akım-gerilim karakteristiği [15].

### 1.3.3.1. Güçlerine Göre LED'ler

Güçlerine göre LED'ler üç gruba ayrılmaktadır.

#### Düşük Güçlü LED

Gücü yaklaşık olarak 0,1 W, düşük gerilimli 3,2 VDC, düşük sürme akımlı 0,20 ma ve ışık yayımı (2-4 Lm) dolaylarında olan LED'lerdir. [14]



Şekil 12. Düşük güçlü LED'ler [14].

### Orta Güçlü LED

Yaklaşık olarak 0,255 W gücünde, 3 V maksimum gerilimli, yaklaşık 0,85 ma sürme akımlı, ışık verimi (230 lm/W) e kadar çıkabilen LED'lerdir [14].



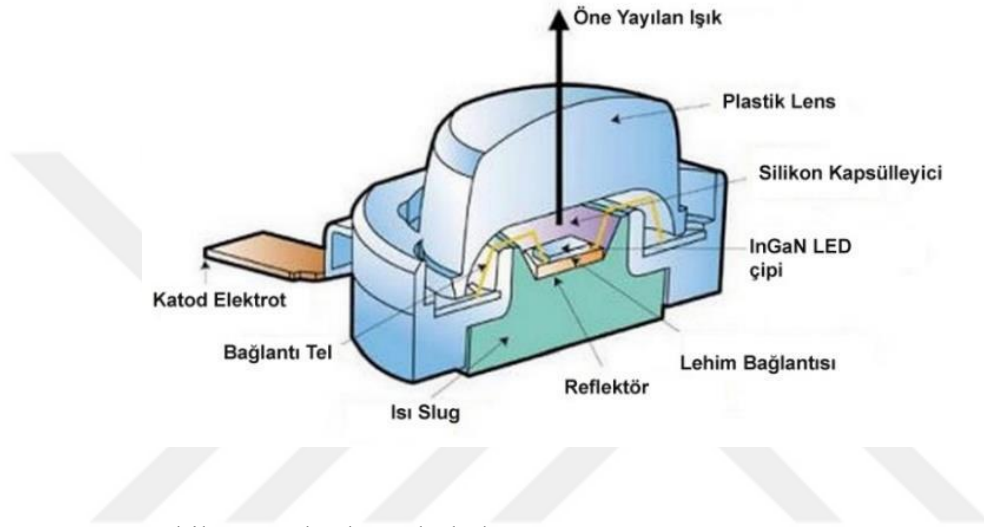
Şekil 13. İç aydınlatma için kullanılan orta güçlü LED [14].

### Yüksek Güçlü LED

Gücü 5 W a kadar olan 3,5 V a kadar gerilimli, yaklaşık 2 A e kadar sürme akımlı, ışık verimi (190 lm/W) e kadar çıkabilen LED'lerdir. Bu LED'lerde ısınma problemi mevcuttur. Sıcaklık LED e zarar vermektedir. Bu durumda LED'in verimi hızlı şekilde azalmaktadır. Oluşan ısının LED den uzaklaştırılması için LED'lerde soğutucu (pasif ve aktif) kullanılmaktadır.

5W lık LED'lerde ışık yoğunluğu yüksektir yapısal özelliklerinden dolayı tek noktadan ışık çıkmaktadır. Bu durum göz sağlığı için zararlıdır. Bu sebeple Yüksek güçlü LED 'ler iç aydınlatmada kullanılmamaktadır. İç aydınlatmada 0,2 w gibi düşük güçlü LED'ler kullanılmaktadır.

Yüksek güçlü LED'lerde etkinlik değeri 180 Lm/W iken orta güçlü LED'lerde 230 lm/W değeri dolaylarındadır [14].



Şekil 14. Yüksek güçlü led yapısı [4].

Minimum 50.000 saatlik ömre sahip olan LED armatürler geleneksel aydınlatma sisteminde 20.000 saatlik ömrü ile en uzun ömre sahip olan alçak basınçlı sodyum lambalardan nerdeyse 2,5 kat daha fazla ömre sahiptir.

### 1.3.3.2. LED lerde Sıcaklığın Etkisi

LED'lerin çalışma karakteristiği ve ömürleri üzerinde en büyük etkiye sahip değerlerden biri de sıcaklık değeridir. Sıcaklığın artması durumunda LED'in direnci düşmektedir. Bu durumda sabit parlaklığın sağlanabilmesi için LED'e uygulanması gereken gerilim de düşecektir. Sabit gerilim uygulanmaya devam edilmesi durumunda LED'den geçen akım artacak ve zamanla LED zarar görecektir. Böylece LED'lerin kendi sıcaklığı ve çevre sıcaklığının artmasıyla LED'lerin verimi düşmekte ve ömürleri de kısalmaktadır. Bu sebeple LED'ler mümkün oldukça serin tutulmalı ve sıcaklığın LED'den uzaklaştırılması gerekmektedir [1], [14], [9], [3], [15].

LED’lerde oluşan fazla ısı 3 yolla yapılmaktadır.

Kondüksiyon (Temas): Katı bir maddeden başka bir katıya ısı transferi şeklindedir. LED’lerde en çok kondüksiyon yolu ile soğuma sağlanmaktadır [16].

Konveksiyon (Hava): Katı bir maddeden başka bir akışkana ısı transferi şeklindedir. (Doğal soğutma) [16].

Radyasyon (Işınım): Farklı sıcaklıktaki iki yüzey arasında, elektromanyetik dalgalar yoluyla ısı aktarımıdır [16].

Tablo 2. de çeşitli lamba tiplerinin ısı transfer yöntemleri görülmektedir.

Tablo 2. Işık kaynaklarında fazla ısının atılması yöntemleri [3].

Işık Kaynağı	Radyasyon Yoluyla Isı İletimi	Konveksiyon Yoluyla Isı İletimi	Kondüksiyon Yoluyla Isı İletimi
Akkor Telli Lamba	>90	<5	<5
Floresan	40	40	20
Deşarj Lambaları(HID)	>90	<51	<5
LED	<5	<5	>90

Tablo 3. LED’in ortam sıcaklığı ile ömür ilişkisi [14].

Ortam Sıcaklığı (°C)	Sürme Akımı (mA)	Çalışma Ömrü (saat)
>50	700	>36000
>50	1500	>36000
>80	700	>36000
>80	1200	>36000
>80	1500	>36000
>115	700	>36000
>115	1200	>36000
>115	1500	>33000

### 1.3.3.3. LED Kontrol Devresi - LED Sürücüler (Driver)

LED sürücüler, LED devrelerinde akımı düzenleyen devrelerdir. LED'ler devrede kullanılırken sıcaklığın artması durumunda dirençleri düştüğünden üzerinden geçen akım artacak bu durumda LED zarar görecektir. Bundan dolayı LED devrelerinde akımın sınırlandırılması gerekmektedir. Ayrıca LED'ler şebeke geriliminde çalışmamakta daha düşük gerilimde çalışmaktadır. LED sisteminin ihtiyaç duyduğu bu güç talebi için elektronik devre driverler tasarlanmaktadır. LED sistemlerinde Akım sınırlamalı ve Voltaj sınırlamalı olmak üzere iki çeşit driver kullanılmaktadır [3].

#### Akım sınırlamalı ( Constant current ) LED Driver

Bu driverler Power LED lerde kullanılmaktadır. Bu tip LED'lerin güçleri 1-10 W, çektikleri akım ise 350-2.000 ma aralığındadır. Power LED'ler akım sınırlaması olmaması durumunda yüksek akım çekecek ve beklenenden daha hızlı şekilde verimi düşüp arızalanacaktır. Bu sebeple yüksek güçlü LED sabit akımlı güvenli bir kaynakla beslenmelidir [4], [8].

#### Voltaj sınırlamalı ( Constant Voltage ) LED Driver

Çoğunlukla küçük ve orta güçte LED devrelerinde kullanılmaktadır. Voltaj gerilimleri 12-24 V olabilmektedir.

Sistemde driver direk olarak LED'i besleyecekse bu durumda sabit akımlı driver olmalıdır [4], [8].

#### LED Avantajları

- İstenilen renkte ışık yayabilmektedir.
- İnsanlara zararlı olan mor ve kızıl ötesi ışınlar yaymazlar
- İstenilen boyutlarda ve güçte tasarlanabilmektedir.
- Düşük enerji tüketmekte ve verimlidirler, Watt başına daha yüksek ışık yayılmaktadır.

- Anında çalıştırılabilmektedir. Çok hızlı açma kapama zamanına sahiptirler.
- Açma kapama esnasında ark oluşturmazlar.
- Balast ya da ayrı bir yardımcı elemana ihtiyaç bulunmamaktadır.
- Dimmerleme için uygundur.
- Soğuk ışık yayarlar. Böylece hassas nesnelere zarar vermezler.
- Çok çeşitli tasarım seçeneğine sahiptir.
- Işığın yönlendirilmesi ve odaklanması diğer aydınlatma elemanlarına göre daha kolaydır.
- Suya dayanıklıdır.
- Doğa dostudur. Cıva ya da doğaya zararlı maddeleri içermez.
- Yüksek dayanım, dış etkenlerle oluşacak şok dayanımlara karşı dayanıklıdır.
- Diğer aydınlatma sistemlerine nazaran bakıma ihtiyaç duymazlar.
- Uzun ömürlüdür. Hesaplamalara göre 100.000 saate kadar kullanılabilir [1], [14], [9], [3], [15].

#### LED Dezavantajları

LED lambalarının yukarıda bahsedilen avantajlarının yanı sıra dezavantajları da mevcuttur.

- Kurulum maliyetleri geleneksel aydınlatma sistemlerine nazaran yüksektir.
- Arızalan LED'lerin yerinde tamir edilmesi mümkün değildir. LED ampuller içerisinde bulunan LED baskı devrelerinin sökülüp değiştirilmesi gerekmektedir.
- LED aydınlatma sistemlerinde ısı yönetiminde problem vardır. Yüksek güçlü LED'ler giriş gücünün %20 sini ışığa çevirir %80 ini de ısıya çevirmektedir. Oluşan ısının LED'den uzaklaştırılması gerekmektedir. Oluşan bu ısı genellikle kondisyon yoluyla uzaklaştırılmaya çalışılmaktadır. Ancak bu yolla bazı zorluklar olmaktadır. Isının LED'den uzaklaştırılmaması durumunda LED'lerin aydınlatma verimliliklerinde ciddi düşüşler gerçekleşmektedir. Ortam sıcaklığının artmasıyla LED'in verimi düşer ve bu durumda LED'in daha çabuk arızalanması söz konusu olur.
- LED'lerde üretilen ışığın dalga boyu dar bir alandadır. Bu durumda sadece tek renk ışık yayarlar.

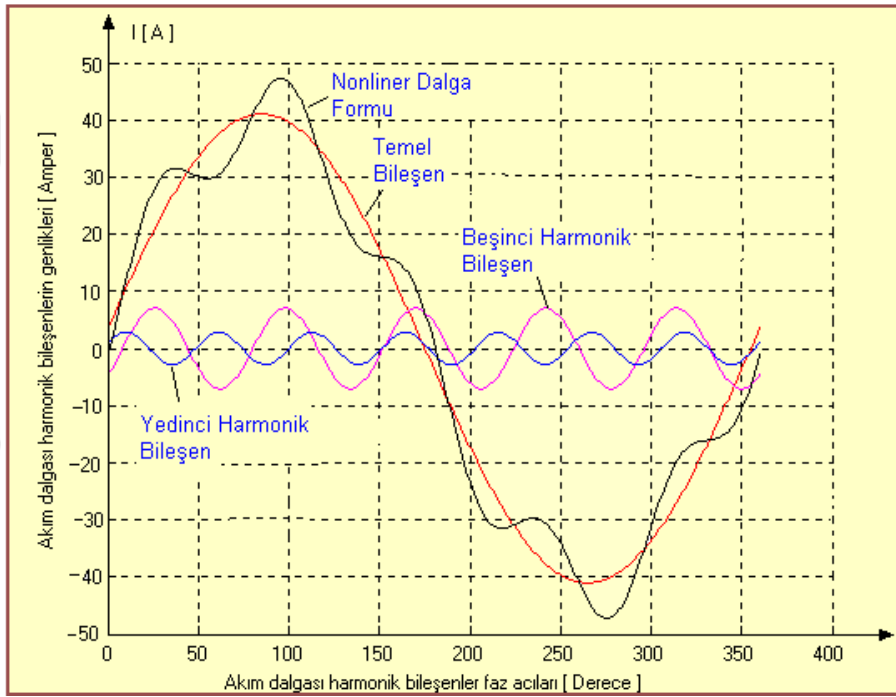
- LED lerle saf beyaz ışık üretilememektedir. Bu durumda farklı metotlarla beyaz ışık üretilmektedir. LED lerle beyaz ışık oluşturulmasında bazı dezavantajlar mevcuttur. İlk yöntem; mavi, yeşil ve kırmızı ışık yayan LED'lerin bir arada kullanılması. İkinci yöntem; mavi ışık yayan LED'in yarı iletken kısmının üzerine fosfor tabakasının konulması böylece LED ışığının bu fosfor tabakasından geçirilerek beyaz ışık oluşturulması. Bu durumda mavimsi bir renk oluşmakta ve LED'in verimi düşmektedir. Son yöntem; Ultraviyole dalga boyu dönüşümü, LED den yayılan ultraviyole ışınların bir floresan bileşen vasıtasıyla beyaz ışık üretilmesidir. Bu durumda da ışık verimi düşmekte ve LED'in ömrü kısalmaktadır.
- LED çipleri 10 w güçte üretilmektedir. Bu durumda LED çipleri tek başlarına büyük alanların aydınlatmasında yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple LED modülleri kullanılmaktadır. Yüksek güçlü LED modülleri LED çiplerinin bir arada kullanılmasıyla oluşmaktadır. Modül içerisinde kullanılan bağımsız LED çiplerinden dolayı aydınlatma düzeyinde birçok gölge oluşmaktadır. Bu da dikkat dağınıklığına sebep olmaktadır [1], [14], [9], [3], [15].

#### **1.4. Güç Faktörü (Power Factor) (PF)**

İyi elektriksel özelliklere sahip bir elektrik şebekesinde gerilim ve akım sinüs dalgaları aynı fazda olur. Saf omik yüklerde güç faktörü 1 dir. Ancak diğer yüklerde yapısal özelliklerinden dolayı akım gerilim dalgaları arasında faz kaymaları gerçekleşir ve güç faktörü düşer. Bu durumda şebekenin elektriksel özellikleri bozulur ve harmonikler görülmeye başlar. Böylece şebekeye bağlı diğer yüklerin güç dengeleri negatif etki görecektir. Bu sebeple şebekelerin güç faktörlerinin 1 olması istenir. Endüktif, kapasitif yükler ve İnvertörler, konvertörler, doğrultucular vb. anahtarlama ile çalışan elektronik cihazlar şebekelerde PF üzerinden en çok etkiye sahip etkenlerdir. Bu durumda reaktif yüklerin kompanzasyon ile kompanze edilmesi ayrıca elektronik cihazların filtreler eklenerek güç faktörünün düzeltilmesi gerekmektedir [17].

## 1.5. Harmonikler

Sistemden sabit akım ve gerilim çekilmediği nonlinear yük durumlarında sinusoidal şebeke geriliminde şeklinde bozulmalar meydana gelir. Bu durumda Temel dalganın dışında oluşan farklı frekanslara sahip sinusoidal bileşenlere harmonik denmektedir. Oluşan harmonik dalgalar ile Temel Sinusoidal dalganın toplanmasıyla nonlinear dalganın şekli ortaya çıkmaktadır. Şekil 15. de Doğrusal Olmayan Dalga Formu ve Bileşenleri görülmektedir



Şekil 15. Doğrusal Olmayan Dalga Formu ve Bileşenleri [18].

Kondansatörler, aküler, akü şarj devreleri, kaynak makineleri, ark fırınları, kaynak makineleri, motor devreleri, transformatörler, jeneratörler, FV sistemler, Tüm aydınlatma lambaları (YBSB, floresan, cıva buharlı lamlalar, LED vd.), anahtarlama mantığıyla çalışan (İnvertörler, converterler, regülatörler, kıyıcılar vb.) yarıiletken güç elektroniği cihazları harmonik kaynağı olarak örnek gösterilebilirler. Bu yükler sistemde harmonikler oluştururlar. Oluşan harmonikler enerji kalitesini bozarlar ayrıca enerji üretim/iletim tesislerine ve bu tesislere bağlı diğer sistemlere zarar vermektedir. [18]. Aydınlatma



sistemlerinde tek seviyeli harmonikler, Özellikle 3. Harmonik ve katları harmonikli akım bileşenleri sistem üzerinde en çok etkiye sahiptir [18].

YBSB armatürler yapısı itibariyle gerçekleşen ark boşalmalarından dolayı sistemde yoğun miktarda harmonik oluşturmaktadır. LED sistemlerinde Sinusoidal gerilim AC/DC doğrultucu yardımıyla DC gerilime dönüştürülür daha sonra DC/DC çevirici (Driverler)yardımıyla istenilen gerilim seviyesi elde edilir. Bu işlemler esnasında sistemde harmonikler oluşmaktadır.

Tüm elektrikli cihazlar için kaliteli enerji talep edilmektedir. Sistemde harmonik değerinin artmasıyla enerjinin kalitesi azalmakta bunun sonucunda elektrik ve elektronik cihazların verimleri negatif etkilenmekte ve cihazların zarar görme ihtimali artmaktadır.

Tablo 4. Lambalar ve harmonik değerleri [19].

Lamba	Gücü(W)	Harmonik Değeri (THD)
Halojen Lamba	75	2,1
Akkor Flamanlı Lamba	100	2,2
YB Cıva Buharlı Lamba	160	4,8
Metal Halojen Lamba	400	7,9
YB Sodyum Buharlı Lamba	250	18,1
LED Lamba	6	22,5
Floresan Lamba	11	72,4

Tek bir aydınlatma elemanının enerji sisteminin enerji kalitesine etkisi azdır ancak aydınlatma sisteminde yüzlercesinin kullanılmasıyla, sistemin enerji kalitesini düşürücü etki göstermektedir.

#### Dimmerleme

Dimmerleme ışık kaynağından yayılan ışığın bazı devre elemanları yardımıyla azaltılıp artırılmasıdır. Bu şekilde enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve aydınlatma sistemlerinin ömürleri uzatılabilmektedir. Akkor flamanlı lambalar bazı ucuz çözümlerle dimmerlemeye müsaittir. Floresan ve benzeri kaynaklarda dimmerleme oldukça zordur. Yüksek basınçlı lambalarda dimmerleme kademeli balastlar vasıtasıyla yapılabilmektedir. LED'lerde Dimmerleme sürücü akımının değiştirilmesi ve darbe genişlik modülasyonu

yoluyla yapılmaktadır. LED’lerde dimmerleme yapıldığında renk özelliklerinde diğer aydınlatmalara nazaran daha iyidir [3].

## **1.6. Yol Aydınlatmaları ve Kullanılan Uluslararası Standartlar**

Hızlı nüfus hareketlerinden dolayı kent nüfusu atmakta bunun sonucunda kurumlar tarafından yeni cadde, sokaklar açılmaktadır. Açılan bu yolların kullanım amacına uygun olarak aydınlatılması, güvenlik ihtiyacının karşılanması ve enerji israflarının önlenmesi amacıyla uluslararası aydınlatma standartları oluşturulmuştur. Aydınlatmada temelde Avrupa Birliği Standartları (CEN) ve uluslar Arası Aydınlatma Komisyonu (CIE) nin belirlediği standartlar esas alınmaktadır. Aydınlatma Komisyonu CIE 115-1995 sayılı standartlarında; yolun karmaşıklığı, kullanıcı tipi ve trafik kontrolüne göre aydınlatma sınıfları belirtilmektedir. Avrupa Birliği CR-13201-1sayılı yayınında; yolda bulunan kavşaklar ve bunların sıklığı, suç oranları, yoldaki araç yoğunluğu vb. yoldaki anlık durumları gösteren parametrelere göre aydınlatma sınıfları yapılmaktadır [20], [21].

Ülkemizde yol aydınlatma sistemleri tasarlanırken Avrupa Birliği ve uluslararası standartlar dikkate alınarak ülkemize ait yol durumları, iklim koşulları, kültürel yapısı, ekonomik yapısı ve coğrafik bilgileri dikkate alınarak ulusal yol tanımları ve aydınlatma sınıfları tanımlanmıştır [22], [20].

### **1.6.1. Yol Aydınlatmalarında Kullanılan Aydınlatma Türleri**

Geleneksel aydınlatma sistemlerinde YBSB ve yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar kullanılmaktaydı. Ancak 2006 yılı Eylül ayında çıkartılan yönetmelikle mevzuatlarla yüksek basınçlı cıva buharlı lambaların kullanımı yapısındaki zehirli kimyasallardan ve verimliliklerinin düşük olmasından dolayı yasaklanmıştır. Sonraki yıllarda YBSB armatürler sokak aydınlatmalarında kullanılmıştır. Son dönemde LED armatürlerde yaşanan gelişmeler sonucunda sokak aydınlatmalarında LED armatürlerde kullanılmaya başlanmıştır.

Yol aydınlatmalarında sıklıkla kullanılan çeşitli güçlerdeki LED ve YBSB lambaların karşılaştırılması aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Tabloda toplam ışık akısı %30 değer kaybedinceye kadarki lamba ömürleri verilmiştir. Ayrıca tablodaki verilere balast

kayıpları dâhil edilmiştir [22]. Yollarda çoğunlukla kullanılan çeşitli lamba güçleri ve özellikleri tablo 5 de görülmektedir.

Tablo 5. Yollarda sıklıkla kullanılan lamba verileri [22]

Lamba tipi	Lamba gücü (W)	Balast kaybı (W)	Işık akısı (lm)	Etkinlik Faktörü * (lm/W)	Ekonomik ömür ** (saat)
LED	150	0	8006,54	53,4	50000
LED	103,2	0	6716	65,1	
LED	100	0	5345,65	53,5	
YBSB-T	150	20	17000	100	20000
YBSB-T	100	15	10000	87,0	
YBSB-T	70	13	6500	78,3	
YBSB-T	50	11	4000	65,6	

### 1.7. Akıllı Aydınlatma Nedir

Akıllı aydınlatmayı şu şekilde tanımlayabiliriz. İnsanların konfor ve yaşam kalitesini azaltmadan gerçek zamanlı çevre kontrolü ile ortamda gerçekleşen değişimlerin tek merkezden izlenilmesi sonucunda çevresel etkenlere göre ortamın ve objelerin ihtiyaçlara göre aydınlatılmasıdır.

#### Akıllı Aydınlatma Faydaları

- Akıllı aydınlatma uygulamaları, ihtiyaca göre gecenin her saatinde aydınlatmanın etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayarak, ihtiyaç olmayan yerlerde daha az aydınlatma sağlanması ile enerji tasarrufunu mümkün kılmaktadır.

- Akıllı aydınlatma uygulamaları ile şehir aydınlatma şebekesi tüm elemanları koordinatlarıyla tek bir arabirim üzerinden görüntülenebilmekte ve yönetilebilmektedir. Böylece aydınlatma şebekesi tüm elemanlarının güç tüketim değeri, çalışma süreleri, çalışma ve arıza durumları gibi anlık durumları takip edilebilmekte ve bunlar kayıt altına alınabilmektedir.

- Her bir aydınlatma armatürü ayrı ayrı ya da senaryolar dâhilinde gruplanarak açma, söndürme, dimleme vb. şekillerde kontrol edilebilmektedir. Yapılacak yeni tasarımlarla ışığın renginin, aydınlık seviyesinin ve yönünün kontrol edilmesi de mümkün olmaktadır. İhtiyaca göre yeterli aydınlatma yapılması ile ışık kirliliğinin önüne geçilmiş olmaktadır.

- Anlık olarak şebeke elemanlarının bakım ve onarım durumları da takip edilebilmektedir. Bu şekilde aydınlatma çevresi ve tüm sisteminin güvenli bir şekilde sürdürülebilirliğine katkı sağlanmış olmaktadır. Akıllı uygulamalar ile çevrede yaşanan anlık değişimlere göre aydınlatma yapılabilme imkânı sağlanmaktadır.

- Akıllı aydınlatma uygulamaları, ihtiyaca göre aydınlatma sağlamasıyla çevrelerinin daha güvenli ve canlı hale getirilmesine katkı sağlayarak çalışma hayatına ve sosyalleşmeye katkı sağlamaktadır. Bu uygulamalar şehir güvenliğinin artmasına ve suç oranlarının azalmasına da katkı sağlamaktadır.

- Akıllı aydınlatmalar ile kamu kaynakları daha etkin kullanılarak maliyetler düşürülmekte ve sunulan hizmetlerin kalitesinin artırılmasına da katkı sağlanmış olmaktadır.

- Enerji tüketiminin azaltılması ile karbon sera gazı salınımında azaltılmasına etki sağlanmış olmasıyla çevre korunmasına da katkı sağlanmış olmaktadır.

- Akıllı aydınlatma uygulamalarına LED teknolojilerinin entegre edilmesiyle geleneksel yüksek güçlü aydınlatma armatürlerinin aydınlattığı alanlar daha az enerji tüketen ve istenilen aydınlık seviyesinde ışık yayabilen armatürlerle aydınlatılabilmektedir. Bu durumda gereksiz aydınlatmaların önüne geçildiği için geleneksel aydınlatma sistemlerine nazaran %50-%70 dolaylarında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [23], [24].

## **1.8. Literatür Taraması**

Mevcut kaynakların daha verimli ve daha ekonomik kullanılması için araştırmalar her alanda olduğu gibi şehir aydınlatma ve yol aydınlatmalarında da yapılmaktadır. Bu çalışmalarda amaç güvenlik zafiyeti oluşturmadan talep edilen konfor düzeyini sağlayarak kesintisiz enerji temin edilmesi ve harcanan enerji miktarının azaltılmasıdır.

Çelik tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, depolama sistemine sahip Fotovoltaik (FV) sistem ile LED armatürlü sokak aydınlatma sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemde armatürlere dimleme yapılarak armatürlerin parlaklıkları kontrol edilmiştir. LED

sürücü kablosuz haberleşme cihazı üzerinden bilgisayarda hazırlanan bir ara yüz üzerinden kontrol edilmiştir. Bu şekilde sistemin sarf ettiği enerji, sürücü verimi ve değişik ışık şiddeti değerleri incelenerek değişik ortam koşulları için senaryolar belirlenmiştir [14].

Yeğin ve Bilgin tarafından yapılan çalışmada, İzmit'te sokak armatürlerinin LED armatüre dönüştürülmesi durumunda oluşacak maliyet ve enerji verimliliği durumları incelenmiştir [1].

Onaygil, Güler ve Erkin tarafından yapılan çalışmada, yol aydınlatmada LED armatürlerin kullanılması incelenmiş olup geleneksel aydınlatma yöntemleri ile LED aydınlatma sistemi kurulum ve ömürleri boyunca oluşturduğu maliyetler açısından karşılaştırılmıştır. Bu durumda LED armatürlerin YBSB lambalara göre %60 oranında daha yüksek kurulum maliyetli olduğu ve 10 yıllık kullanım süresince hesaplanan toplam maliyetlere göre LED lerin %55 oranında daha yüksek maliyetli olduğu tespit edilmiştir [22].

Toy tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, M1 ve M2 aydınlatma sınıfına sahip yollarda öncelikle aydınlatma ihtiyacı hesaplanmış ve ortaya çıkan aydınlatma ihtiyacını karşılayacak optik tasarım SolidWorks ve OptisWorks programları yardımı ile yapılmıştır [25].

Erdem tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada, iç mekan aydınlatmasına ilişkin mahallerin kullanım amaçları, odanın ve kullanılacak armatürlerin özellikleri oluşturulan bir yazılımla işlenerek hesaplama yapılmış ve ideal aydınlatma için görsel simulasyon gerçekleştirilmiştir [5].

Sönmezocak tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, LED kaynakları, armatürlerle alakalı grafiksel tasarımlarla optik, elektriksel ve termal yönden incelenerek verimliliği etkileyen etmenler deneyler sonucunda ortaya çıkartılmış ve bu etmenler açıklanmıştır.[2].

Ahmadi tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, LED aydınlatma sistemi ve Power LED teknolojisinin kullanım seviyesiyle alakalı araştırma yapılmıştır [4].

Kılıç tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, sokak aydınlatmaları için geleneksel olarak kullanılan Metal Halide ve YBSB Lambalar ile Yüksek Güçlü LED'ler, güç ve aydınlık şiddetleri, verimlilikleri, avantajları, dezavantajları kıyaslanmıştır. Tezin sonunda pilot olarak seçilen bir mahallede LED dönüşüm uygulaması gerçekleştirilmiştir [3].

Özgöçmen tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada, 6 adet güneş paneli kullanılarak şebekeden bağımsız enerji depolamalı bir Fotovoltaik sistem oluşturulmuş, bu

sistemin yüklü ve yüksüz durumları için ölçümler yapılarak DC ve AC elektrikli cihazlar beslenmiştir [26].

Gemicioğlu tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, Türkiye’de farklı iklim bölgelerinde tesis edilmiş olan Fotovoltaik sistemler enerji verimliliği açısından, üretilen elektrik miktarları ve verimliliklerine göre kıyaslanarak, değişik iklimler ve enlemlerin Fotovoltaik sistemlere olan etkileri irdelenmiştir [27].

Özçelebi tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, Fotovoltaik sistemler tanıtılmış ve FV sistemlerle çalışan su pompalama sisteminin çalışması anlatılmaktadır [28].

Keskinel tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, bir bina çatısında yapımı tamamlanmış olan FV santrali teknik ve mali yönden incelenmiştir. Santralin ürettiği enerji ve tüketilen enerji dikkate alınarak sistemin geri ödeme süresi hesaplanmıştır. [29]

Eser tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, aydınlatmaya etki eden faktörler (mimari yapı, yerleşim düzeni, yansıtma katsayısı vb.) incelenerek bilgisayar ortamında bu değerler simule edilmiştir [9].

### **1.9. Dünyada Uygulanan Bazı Akıllı Aydınlatma Uygulamaları**

- Hollanda ve İrlanda’da yeni uygulamalarda sokak lambaları tam olarak sönmemekte insanın geçmediği zamanlarda aydınlık seviyesi normalde istenilen aydınlık seviyesinin %10-20 aralığına kadar düşürülmektedir. Hareket sensörleri hareket halinde olan insanları algıladığında buna göre sokağın aydınlık seviyesini ayarlamaktadır. Armatürlerin tam olarak kapanmaması ile loş bir ortam oluşmaktadır. Bu şekilde aydınlatılan yüzey yine görünmekte bu şekilde güvenlik ihtiyaçlarına da katkı sağlanmış olmaktadır. Geçiş olmadığı zamanlarda aydınlık seviyesinin düşürülmesi ile enerji tasarrufu sağlanmış olmaktadır. Kullanılan sistemde 8 farklı sensör sayesinde insan ve araçlar dışındaki varlıklar ayırt edilerek gereksiz aydınlanmaların önüne geçilmektedir. Ayrıca her armatür kendinden önceki armatürün aydınlanmasını fark ettiğinde tam aydınlatma durumuna geçmektedir [30].

- Şikago da yedi mahalle armatürlerinin LED armatürlere dönüştürülmesi planlanmaktadır. Bu uygulamada yaklaşık olarak 270.000 eski tip armatür sökülerek yerlerine tasarruflu LED armatürlerin takılacağı açıklanmıştır. Bu sisteme kablosuz haberleşme sistemi eklenerek sistemin gerçek zamanlı izlenmesi sağlanarak arıza müdahalesinde kolaylık sağlanacaktır [31].

- Endonezya-Cakarta da dünyanın en büyük aydınlatma sistemlerinden biri kurulmaktadır. Şehirde bulunan yaklaşık 90.000 armatür yeni nesil verimli LED'ler değiştirilerek tüm bu armatürler birbirine bağlantılı olarak Uzaktan yönetim sistemine bağlanmaktadır [32].

- Los Angeles sokaklarının tamamını bulut tabanlı teknoloji ile aydınlatmaktadır. Bu sistemde tüm armatürler aydınlatma yönetim sistemi ile tek bir kumanda merkezi üzerinden yönetilmektedir. Bu sistemde her bir armatürde bulunan entegre mobil çip sayesinde her bir sokak armatürü Aydınlatma yönetim sistemine tanıtılarak armatürlere merkezden anlık bağlantı sağlanmaktadır [33].

- Hollanda'da otopanlarda yeni nesil aydınlatma uygulaması denenmektedir. Smart Highway denen bu uygulamada otopan kenarlarına şeritler halinde LED ler döşenmektedir. Bu şeritler gündüz şarj edilerek gece en az 8 saat ışık verecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu uygulamada otopanlarda geleneksel aydınlatma sistemleri kullanılmamaktadır. Sadece şerit LED'lerle gece görüşü başarılı bir şekilde sağlanmaktadır [34].

- Danimarka'da Kopenhag da bulunan 9 km lik bir yol kenarlarına 280 adet LED armatürlü direk montaj edilmiştir. Bu direkler internet alt yapısına bağlanmış ve bağımsız olarak IP adreslenmiştir. Direkler üzerinde bulunan sensörler vasıtasıyla ortamdaki hava kalitesi, ses, hava koşulları ve UV radyasyonu gibi ortam şartları izlenmektedir. Direklerde bulunan hareket sensörleri vasıtasıyla direkler sadece yaya ya da araç geçtiği durumlarda çalışmaktadır [35].

### **1.10. Ülkemizde Uygulanan Bazı Akıllı Aydınlatma Uygulamaları**

- Ankara İnönü Bulvarı: Türkiye'de ilk enerji verimliliği uygulamalarından biri olan bu yol aydınlatma projesi ile yüzde 40 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Protokol yolu olarak bilinen Ankara İnönü Bulvarı'nda bulunan 46 adet 276W enerji tüketen yüksek basınçlı sodyum buharlı yol aydınlatma armatürü, 159W enerji tüketen 26 adet GRN185 ve 169W enerji tüketen 20 adet GRN195 tip SpeedStar LED'li yol aydınlatma armatürü ile değiştirildi. Pilot proje kapsamında armatürlere entegre edilen RF antenler ve sisteme entegre edilebilen City Touch Star Sense Akıllı Şehir Kontrol Sistemi sayesinde uzaktan kumanda edilebilen yol aydınlatma uygulaması, belirlenen gün ve saatlere göre programlanabilme özelliği sayesinde, otomatik olarak açılıp kapatılarak aydınlık miktarı

ayarlanabilmektedir. Bunun yanı sıra uygulamada yaşanabilecek herhangi bir arızaya karşı sistem her an izlenerek, gelen anlık arıza bildirimleri sayesinde arızalara anında müdahale edilebilmektedir [36].

- Ankara Dikmen Caddesi, TBMM önü: Bu projede Dikmen caddesinin TBMM önünde yer alan kısmındaki 54 sodyum buharlı armatür LED armatürlerle değiştirilmiştir [36].

- Ankara Muhsin Yazıcıoğlu Caddesi: Bu projede Ankara Muhsin Yazıcıoğlu caddesinde yer alan 42 adet sodyum buharlı armatür LED armatürlerle değiştirilmiştir [36].

- İzmir Cumhuriyet Bulvarı: Proje kapsamında İzmir Cumhuriyet Bulvarındaki mevcut 20 adet sodyum buharlı armatürün LED armatürlerle değişimi gerçekleştirilmiştir [36].

- Eskişehir Mustafa Kemal Atatürk Caddesi: Eskişehir Mustafa Kemal Atatürk Caddesinde gerçekleştirilen pilot proje kapsamında mevcut 53 adet sodyum buharlı armatürün LED armatürlerle değişimi gerçekleştirilmiştir [36].

- İzmir ileri teknoloji enstitüsünde 35 dönümlük kampüs alanında 200 adet ürün kullanılarak aydınlatma sistemi yenilenmiştir. Bu sistemde wireless sistem sayesinde ürünler birbirleriyle ve ortak yönetim merkeziyle kablosuz haberleşebilmektedir. Tüm ürünler ortak yönetim merkezinden görüntülenebildiği için anlık olarak aydınlatmalar dimlenebilmekte, farklı aydınlatma senaryoları uygulanabilmekte, arıza tespitleri yapılabilmekte ve sisteme hızlı bir şekilde müdahale edilebilmektedir [36].

- Kocaeli Bölgesinde: Kartepe yürüyüş yolu; 153 adet çift konsol direktten oluşan Sodyum buharlı aydınlatma sisteminde; 5 metrelik direklere 40W, 8 metrelik direklerde 80W lık LED armatürler konularak kurulu gücü 18,36kW olan uygulama gerçekleştirilmiştir [1].

- Kocaeli Bölgesinde: Baş iskele sahil yolu; 86 adet çift konsol direktten oluşan Sodyum buharlı aydınlatma sisteminde; her konsolda yola bakan yönlerde 60W lık beyaz LED, denize bakan yönlere ise 75W lık mavi renk LED armatürler konularak kurulu gücü 11,61kW olan uygulama gerçekleştirilmiştir [1].

- Kocaeli Bölgesinde: Değirmendere sahil yolu; 42 adet çift konsol direktten oluşan sodyum buharlı aydınlatma sisteminde; her konsolda yola bakan yönlerde 80W lık beyaz LED, denize bakan yönlerde 95W lık mavi renk LED armatürler konularak kurulu gücü 7,35 kW olan uygulama gerçekleştirilmiştir [1].



- Yukarıda belirtilen üç uygulamada da geleneksel sodyum buharlı armatürler LED armatürlere dönüştürülmüştür.

Ülkemizde ve dünyada uygulanan LED aydınlatma sistemi uygulamaları örneklerini arttırabiliriz. Yapılan uygulamalarda bakım maliyetlerinin azaldığı (%1 su alma ve %2 sürücü arızası) ve genel olarak %60 a yakın enerji tasarruf edildiği tespit edilmiştir LED armatür ve merkezi yönetim sistemlerinde yaşanan gelişmelerin artmasıyla geleneksel armatür sistemlerinin LED merkezden yönetim sistemlerine geçişi de daha da hızlanacaktır.

### **1.11. Akıllı Şehir Aydınlatma Yöntemleri**

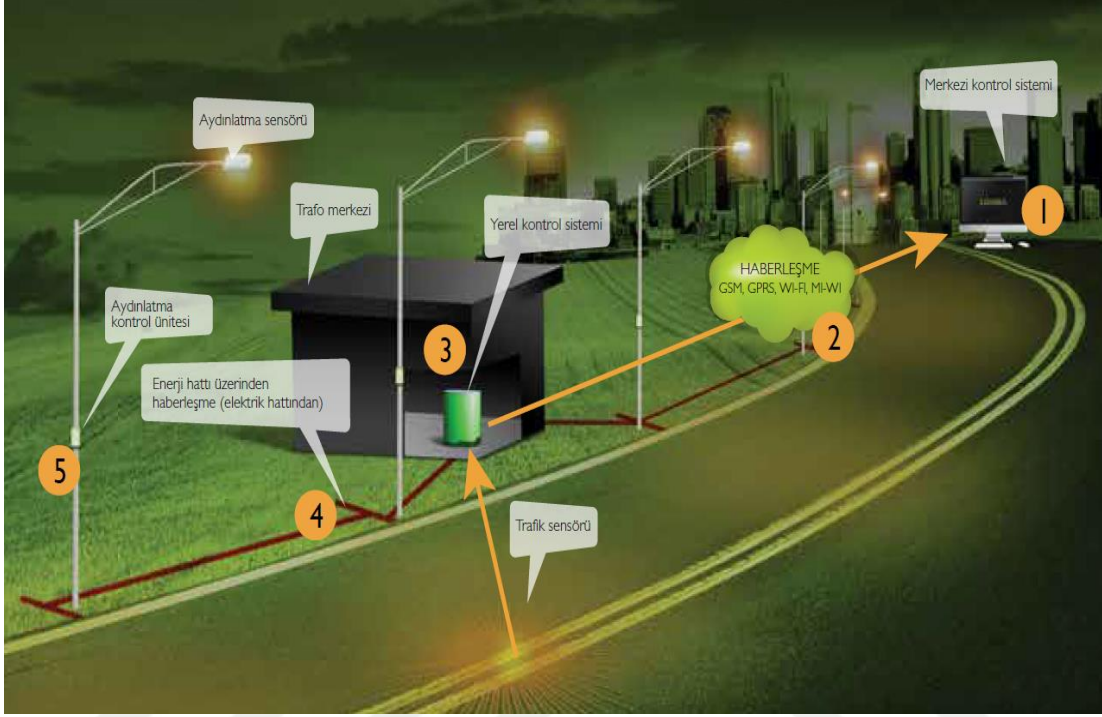
Günümüzde aydınlatma armatürleri otomasyonu çeşitli yollarla yapılmaktadır. Uygulamalarda bazı farklılıklar olsa da temelde aynı amacı gerçekleştirmektedirler. Temel amaç ortamın anlık aydınlık seviyesinin ve aydınlatma sisteminin durumunun denetlenerek ihtiyaca göre aydınlatma sağlanmasıyla gereksiz aydınlatmanın önüne geçilmesi ve sistemin anlık yönetilmesidir. Bu sistemler arasındaki fark ise ortamdan kaç çeşit veri alınacağı, veri aktarımının yapılma şekli ve aydınlık seviyeleri seçimleridir. Çeşitli uygulamalarda kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

#### **1.11.1. Akıllı Şehir Aydınlatma Sistemi (AŞAS) (Logiba)**

Bu sistemde kullanılan haberleşme sistemleri ve aydınlatma elemanlarıyla mevcutta kullanılan tüm aydınlatma sistemlerine (LED, yüksek basınçlı sodyum buharlı, metal halide, floresan lambalar vb.) uyum sağlamaktadır. Sistemde web tabanlı uygulama ile her bir armatürün ve tüm devre elemanlarının durumu takip edilebilmekte ayrıca her armatür bağımsız veya grup olarak senaryolara göre kontrol edilebilmektedir. Armatürlerdeki sürücüler veya balastların dali sistemine uyumlu olması durumunda lambalar dimlenebilmektedir.

AŞAS yazılımında sistemde bulunan devre elemanları arasındaki iletişim, sahada bulunan aydınlatma armatürleri ile aydınlatma panoları arasında mevcut elektrik hattından, aydınlatma panoları ile merkezi yazılım haberleşmesi ise saha panolarına yerleştirilen modüller ile GSM modem vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Sistemde her armatüre bir

donanım bağlanmaktadır. Sitemde yaşanacak herhangi bir iletişim aksamasında sistem önceki günkü senaryoyu hafızasında tutarak uygulamaktadır [37]. Şekil 16. da AŞAS sistemi ve yapısı görülmektedir.



Şekil 16. AŞAS Yapısı, Devre Elemanları [37].

#### 1.11.1.1. Sistemde Kullanılan Devre Elemanları

##### Saha Kontrol Panosu

Burada AŞAS yazılımından gelen komutlar saha elemanlarına verilmeden önce toplanıp işlenmekte ardından enerji hattına verilmektedir. Ayrıca uç noktalarda bulunan ara yüzlerden gelen veriler işlenerek kablosuz haberleşme hattına verilmektedir. Sisteme dahil edilen diğer ek sensörlerin verileri burada toplanmakta ve işlenmektedir.

Bu sistemde elektrik şebekesi üzerinden haberleşme (Power Line Communication) sağlanmaktadır. Saha kontrol panoları ile armatürlerde bulunan Aydınlatma Kontrol Üniteleri veri akışını elektrik şebekesi üzerinden sağlamaktadır.

### Yerel kontrolör

Verileri şifreleme, Gsm modem haberleşme portu mevcuttur, Veri depolama vb. özelliklere sahiptir [37].

### Enerji Hattı Üzerinden Haberleşme Modemi

Verileri şifreleme, Enerji Hattı Üzerinden Haberleşmede hata düzeltme vb. özelliği mevcuttur [37].

### Aydınlatma Kontrol Üniteleri (Uç Nokta Arayüzleri)

Armatüre ve direğe montaj edilebilen 2 türü mevcuttur. Her bir armatüre birer adet bağlanmaktadır. Böylece her bir armatür kontrol edilebilmektedir. Verileri şifreleme, enerji hattı üzerinden haberleşmede hata düzeltme, hareket sensörü bağlantısı sayesinde harekete bağlı olarak açma kapama, 1-10V veya DALI dim sistemlerine uyumluluk, armatür durum değişikliği algılama, armatürde harcanan güç ölçümü, armatür içi sıcaklık ve nem ölçümü, analog veya dijital çıkış vb. özellikler mevcuttur [37].

### Uç Nokta Arayüzü (Direğe Montaj)

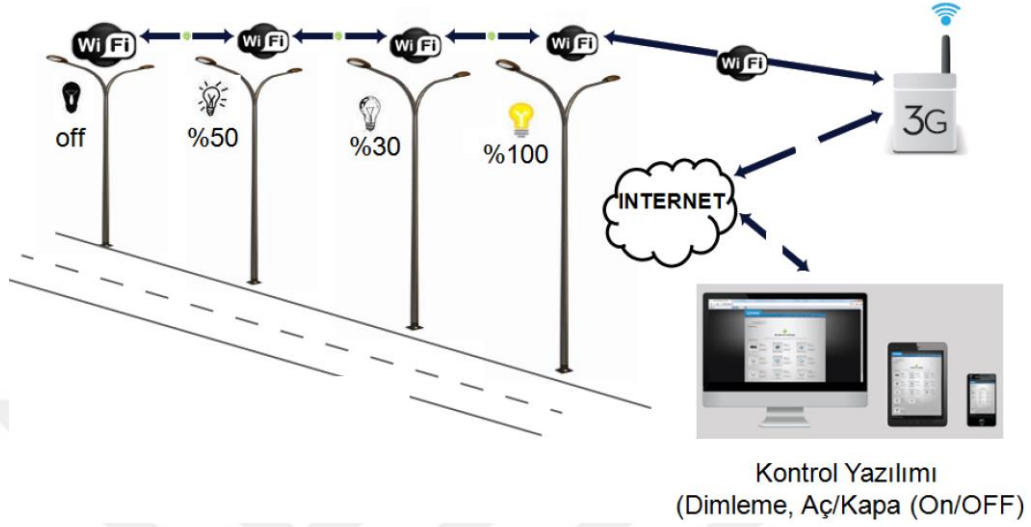
Verileri şifreleme, enerji hattı üzerinden haberleşmede hata düzeltme, armatür durum değişikliği algılama (opsiyonel), armatürde harcanan güç ölçümü (opsiyonel), armatür içi sıcaklık ve nem ölçümü (opsiyonel), analog veya dijital çıkış (opsiyonel) vb özellikler mevcuttur.

### **1.11.2. Tamara Akıllı Aydınlatma Sistemleri:**

Bu sistemde diğer sistemlerde olduğu gibi web tabanlı uygulama ile her bir armatürün ve tüm devre elemanlarının durumu takip edilebilmekte ayrıca her armatür bağımsız veya grup olarak senaryolara göre kontrol edilebilmektedir.

Bu uygulamada sistemde armatürler arasındaki iletişim, Wi-Fi ile direktten direğe zincir oluşturularak gerçekleştirilmektedir. Saha uygulaması ile merkezi yazılım

haberleşmesi ise saha GSM modem vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir [38]. Şekil 17. de TAMARA aydınlatma sistemi ve çalışma yapısı görülmektedir.



Şekil 17. Tamara akıllı aydınlatma sistemi [38].

### Kablosuz Haberleşme

Sistemde her bir armatürle iletişim Wi-Fi ile direktten direğe zincir oluşturularak gerçekleştirilmektedir. Haberleşme için ek kablolu bağlantıya gerekmemektedir. Wi-fi zincirde bir arıza olması durumunda bir önceki arızalı armatürden sonraki armatürle zincir kurulabilmektedir.

### Wi-fi Kontrol Ünitesi

Bu ünite sayesinde armatürler kontrol (aç, kapa, dimleme vb.) edilebilmektedir.

Bu sistemde Ağ geçidi (Gateway) gerekmemektedir. Armatür kontrol üniteleri verilerinin internet ortamına açılması için veri ara toplayıcı ya da protokol dönüştürücü gibi firmalara özel uygulamalar yoktur. Veriler direkt olarak Wi-Fi ile aktarılır. Wi-fi li hareket/radar veya diğer sensörler sisteme dahil edilebilmektedir.

2 km alan içerisinde Wi-Fi zincir oluşturulabilmektedir. Aralarında 30 m mesafe olan 67 direğe kadar. 2 km den sonra ilave ağ geçidi kurulumu gerekmektedir [38].

## Driverler Sürücüler

Yarı iletken teknolojiye sahip aydınlatma kaynaklarının beslenmesinde kullanılırlar. Driverler armatür içerisine montaj edilebilmektedir. Driverler aracılığıyla armatürler yönetilebilmektedir. Driverlerin arıza bildirim özelliği mevcuttur. Bu uygulamalarda Armatür dışına bir anten ve ışık sensörü çıkartılır [38].



Şekil 18. Tamara aydınlatma sistemi - driver

### 1.11.3. Astronomik Zaman Rölesi ile Aydınlatma

Pamukkale Üniversitesi (PAÜ) Mühendislik Fakültesi'nde geliştirilen projede geleneksel olarak kullanılan yöntemlerde, aydınlık kontrolünde kullanılan fotosellerden dolayı armatürlerin aydınlatma ihtiyacı olmadan günlük 40 dk. ile 60 dk. arasında fazladan çalıştığı ayrıca koyu bulutlu havalarda aydınlatmaların gereksiz devrede oldukları tespit edilmiştir. Astronomik zaman röleleri; kullanılacağı yerin enlem ve boylamlarına ve güneşin hareketine göre hesaplamalar yaparak o yerde güneşin ne zaman doğacağı ve batacağı günlük olarak hesaplamaktadır. Böylece tam kararmanın gerçekleştiği ya da aydınlanmanın başladığı zamanlarda aydınlatma sisteminin erken devreye girmesi engellenerek zamanında devreye girmesi ya da devreden çıkması sağlanmaktadır [39]

#### **1.11.4. Deltagrid Aydınlatma Sistemleri**

Tayvan'da 5000 den fazla armatürün izlenmesinin sağlandığı bu sistemde her bir armatür üzerinde kontrol ve izleme donatıları entegre edilmiştir. Bu sistemde haberleşme ve veri aktarımı ZigBee protokolü üzerinden gerçekleştirilmektedir. ZigBee vasıtasıyla toplanılan veriler DeltaGrid platformu vasıtasıyla 3g/GPRS üzerinden bulut ortamına aktarılır. Burada sistem anlık olarak izlenebilmekte ve tercih edilen aydınlatma senaryoları uygulanabilmektedir [40].

#### **1.11.5. LCU Akıllı Aydınlatma**

Armatürlerin Dimlenmesi, açma kapama komutlarının uygulanmasını, açma kapama zamanlarının ölçülmesi, tüketilen enerji ve ömür süresinin takibini yapan Light Control Unit (LCU) armatürlere montaj edilmektedir. Elde edilen veriler LCU tarafından Data Control Unit (DCU) ya iletilir. Armatürler ile DCU arasındaki iletişim elektrik hattı (PLC) yada RF kablosuz teknolojiler üzerinden olmaktadır. DCU da oluşan veriler ADSL veya GSM üzerinden akıllı aydınlatma yazılımına gönderilmektedir. Yazılım üzerinden kullanıcıların aydınlatma tercihleri armatürlere gönderilmektedir.

RF ile kablosuz haberleşme sağlanan sistemlerde devre elemanları Mesh-Network'u desteklemelidir. Ancak bu durumda uzak noktalar arasında kesintisiz veri aktarımı sağlanabilmektedir [41].

#### **1.11.6. Kullanılan Sistemlerin Değerlendirilmesi**

Piyasada kullanılan uygulamalardan yukarıda bahsedilenlerden anlaşıldığı üzere tüm sistemlerin mantıklarında benzerlik bulunmaktadır. Tüm uygulamalar çevrede olup bitenleri sensörler vasıtasıyla algılayarak genelde bulut ortamında veri kayıt ve işleme özellikleri olan merkezi kontrol birimine aktarmakta, merkezi kontrol birimlerinden alınan senaryolara göre sistemdeki armatürler tek tek ya da gruplanarak kontrol edilmektedir. Uygulamalar arasındaki temel farklılıklar ise sistemdeki elemanlar arasındaki veri aktarım şekilleridir. Bazı sistemlerde elektrik hattı Power Line Communication (PLC) üzerinden

haberleşme ve veri aktarılmaktayken bazılarında da kablosuz (gps, wifi, zigbee vb. ) sistemler ile haberleşme ve veri aktarımı sağlanmaktadır.

#### **1.11.6.1. Bulut Bilişim Nedir**

Normal şartlarda kişisel bilgisayar üzerinden yazılım ve işletim sistemi ortamında gerçekleştirilen işlemlerin (Uygulamalar, bilgi işleme, veri saklama, yedekleme, iletişim vb.) yüksek kapasitedeki merkezi bilgisayarlarda yapıp kaydedilmesi ve bu verilerin web servisine erişilebilen her noktadan her zaman temin edilebildiği internet veri kayıt ortamıdır.

National Institute of Standards and Technology (NIST), tarafından yapılan tanıma göre Bulut Bilişim; ağ, sunucu, depolama, uygulama ve servisler gibi düzenlenebilen bilgisayar kaynaklarına ait paylaşım havuzuna talebe uygun ağ erişimi sağlayan bir teknolojidir.

Bulut Bilişimin temelleri Depolama hizmeti (Verilerin kaydedildiği ve uygulamaların yapıldığı alan), sunucular ve yedekleme sistemleridir [42], [43].

#### **1.11.6.2. Akıllı Aydınlatma Sistemlerinde Kullanılan Veri Aktarım-İletişim Yöntemleri**

Akıllı aydınlatma uygulamalarında uygulama elemanları ve uygulama şekillerinin farklı olabilmemesinin yanı sıra tüm sistemlerde temel amaç enerji verimliliği kapsamında; aydınlatılacak ortamda gerçekleşen değişimlerin tek merkezden izlenilmesi sonucunda çevresel etkenlere göre ortamın ve objelerin ihtiyaçlara göre aydınlatılmasıdır. Bu uygulamalarda temel farklılıklardan biri de veri aktarım ve haberleşme yöntemlerinin farklı olmasıdır. Akıllı aydınlatma sistemlerinde kullanılan veri aktarım-iletişim yöntemlerinden bazıları aşağıda belirtilmiştir.

##### **1.11.6.2.1. Zigbee**

Zigbee düşük hızlı ve küçük boyutta veri iletimini sağlayan kısa mesafe (100m ye kadar) kablosuz haberleşme protokolüdür. Küçük ölçekli veri aktarımı sağladığından

maliyeti düşük ve güç tüketimi minimumdur. Sensörler, ev ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir. Dünya çapında ücretsiz olarak 2,4 GHz frekans bandı kullanılmaktadır. 20 Kbps-100 Kbps aralığında hızlarda veri aktarımı sağlamaktadır. Veri aktarımı olmadığı zamanlarda zigbee uyku moduna girdiğinden enerjiyi tasarruflu kullanmakta bu şekilde pil ömrü uzamaktadır. Zigbee Sensörünü pil ömrü ortalama 5 yıl kadar sürmektedir. Zigbee nin hızı bluetooth un hızının altıda biri kadardır ancak zigbee nin kapsama alanı bluetooth tan çok büyüktür [44], [45]. Tablo 6. da kullanılan kablosuz haberleşme sistemleri ve özellikleri görülmektedir.

Tablo 6. Kablosuz haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması [44]

Özellik	ZigBee	GPRS/GSM	Wi-Fi	Bluetooth
Odaklanma Alanı	İzleme ve Kontrol	Geniş alan ses ve veri	Web, E-mail, Video	Kablo Yerine
Sistem Kaynağı	4-32 Kb	16 Mb +	1 Mb +	250 Kb +
Pil Ömrü (Gün)	100-1000 +	1-7	0,5-5	1-7
Ağ Boyutu	Sınırsız $2^{64}$	16 Mb +	32	7
Ağ Veri Genişliği (kb/sn)	100-1000 +	64-128 +	11000-54000	720
Kapsama Alanı (metre)	1-100 +	1000 +	1-100	1-10 +
Başarı Alanları	Dayanıklılık, Maliyet, Güç tüketimi	Ulaşılabilirlik, kalite	Hız, esneklik	Maliyet, rahatlık





Şekil 19. CC2530 ZigBee geliştirme kiti [45]

#### 1.11.6.2.2. Lora & Lorawan

Long Range Wide Area (LORA) uzak mesafelere paket veri aktarabilen L1 (fiziksel katman) kablosuz haberleşme protokolüdür.

Loraya mac fonksiyonu kazandırılarak LORAWAN adıyla standartlaştırılmaktadır.

Lorawan çok uzun ömürlü pil süresi olmasının yanında kapalı alanlarda 3 km ye kadar açık alanda 15-20 km ye kadar veri aktarabilmektedir. 0,3 kbps den 50 kbps ye kadar iki yönlü haberleşme sağlamaktadır. Lorawan protokolüne sensörler ev ve endüstriyel ölçüm uygulamaları dahil edilebilmektedir [46].

#### 1.11.6.2.3. Enerji Hatları Üzerinden Haberleşme (Power Line Communication / PLC)

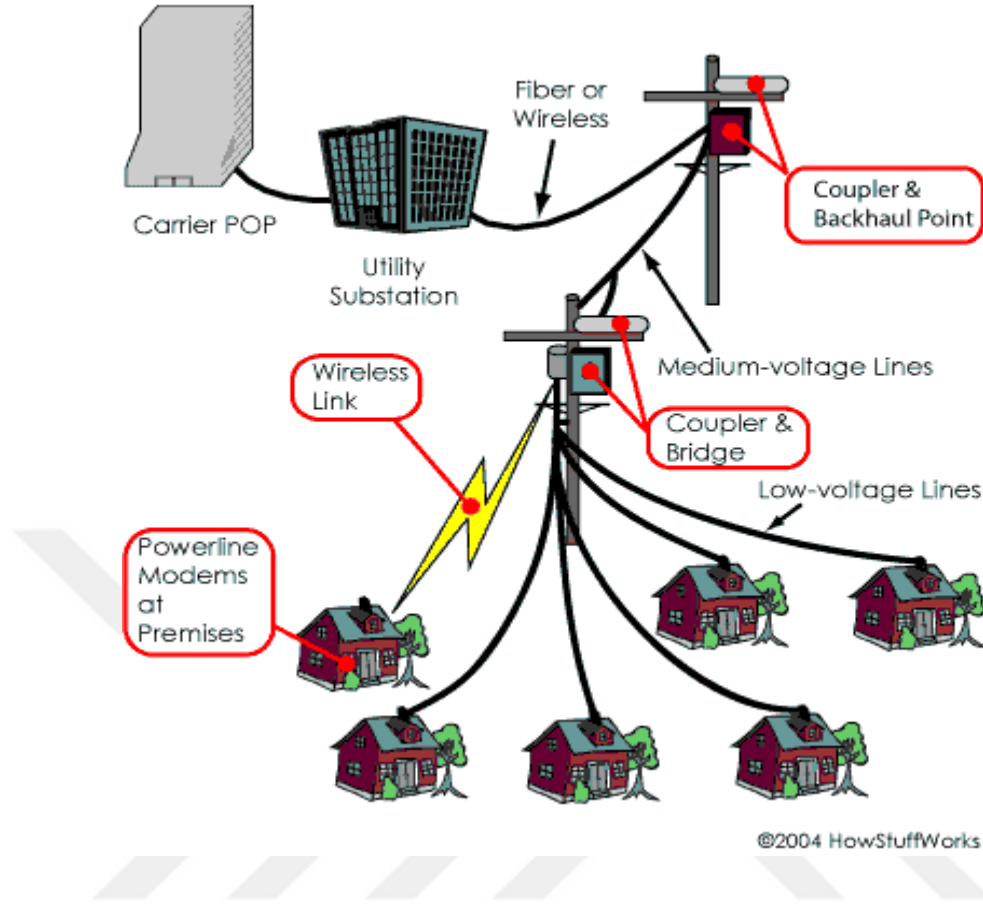
PLC elektrik hatlarının haberleşme için de kullanılmasıdır. İlk zamanlarda düşük veri iletim hızına sahip olan bu uygulamalar zamanla gelişen teknoloji ile düşük frekans ta (100-900Hz) ve yüksek sürücü gücü ile sokak aydınlatma yönetimi ve yük kontrolü gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Günümüzde haberleşme uygulamalarında eskiye nazaran daha yüksek frekans ve daha düşük genlikli işaretler ile haberleşme sağlanmaktadır. Dar

bantlı frekans taşınımları kısa mesafede veri aktarımı sağlayabilmekte, geniş bantlı frekansa sahip aktarımlar ise daha uzun mesafelerde veri aktarımı sağlayabilmektedir.

Hat ta düşük veya yüksek voltajda enerji akışı sağlandığından hat üzerinde veride yüksek oranda gürültü, emilim ve büyük bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bu sebeple her 300-600 metrede bir Repeater (tekrarlayıcı) kullanılmaktadır. Bu şekilde bozucu etkiler minimuma indirilmektedir.

38 kV dan Yüksek gerilimli hatlarda 50 kHz-500kHz frekans aralığında yüksek iletim hızında veri aktarılabilmektedir. 38 kV un altında gerilim hatlarında ise 5kHz-20kHz frekans aralığında veriler aktarılmaktadır.

Sistemin mantığı elektrik hattı üzerinden modüle edilmiş sinyallerle verilerin aktarılmasıdır. Hat üzerinde bulunan transformatörler ve binalarda bulunan sayaçlar veri geçişini engellemektedir. Veri iletimi için birçok veri iletim hızı (Baudrate) ve frekanslar kullanılmaktadır. Bu işlem elektrik hattına bağlanan modülasyon ve demodülasyon aygıtlarıyla yapılmaktadır. Alternatif akım ve radyo dalgalarının farklı frekanslarda olmasından dolayı aktarılan veriler birbirine karışmamaktadır. Orta gerilim hatlarında uzun mesafelerde veri aktarımı sağlanırken hattın belirli noktalarında hatta repeater (tekrarlayıcı) cihazları monte edilmektedir. Yüksek gerilim seviyesinden alçak gerilim seviyesine inilen trafo merkezlerinde verilerin bozulmadan aktarılması için trafo üzerlerine bağlayıcılar (Coupler) veri yolu oluşturmak için montaj edilir. Enerji kablolarının yapısı gereği frekans sınırlaması vardır. Birçok ülkede izin verilen frekans değeri 500 kHz ve altıdır [47]. Şekil 20. de PLC şebeke yapısı görülmektedir.



Şekil 20. PLC Şebekeler [47]

### 1.11.6.3. Akıllı Aydınlatma Sistemlerinde Kullanılan Sensör Çeşitleri

#### Passive Infrared Sensor (PIR)

Passive Infrared Sensor (PIR) hareket algılayıcılar olarak bilinmektedir. Bu elektronik cihazlar, kızılötesi ışın yayan sıcakkanlı varlıkların hareketini ve ateşin ısını algılayabilirler. Dalga boyu görünür ışıktan daha uzun olan kızıl ötesi ışınlar görülmez ancak PIR sensörler vasıtasıyla algılanabilir. Bu sensörlerin geniş kızılötesi menzili vardır. Filtreleme aracılığıyla canlı varlıkların dalga boyu olan 8-14  $\mu\text{m}$  aralığına getirilir. Fresnel lens yardımıyla sensörün algılama mesafesi 30 m ye kadar çıkartılır. Fresnel Lens çokgen şeklinde olup hareketli canlılardan gelen ışınlar bu yapıdan dolayı kesintiye uğrar böylece hareketli canlılar algılanır [48].

### Optik Sensör- Foto Direnç (Light Dependet Resistance (LDR))

Light Dependet Resistance (LDR), Kullanıldığı ortamda üzerine düşen ışık şiddetine göre direnci ters orantılı olarak değişen optik sensörlerdir. Yani LDR üzerine düşen aydınlık arttıkça LDR nin direnci 5-10  $\Omega$  civarına düşer, LDR üzerine düşen ışık şiddeti azaldıkça da direnci 200 M  $\Omega$  dolaylarına çıkmaktadır. Yapılarında kadmiyum sülfür (CdS), kadmiyum selenür (CdSe), selenyum, germanyum, silisyum gibi üzerine düşen ışık şiddetiyle bağlantılı olarak direnci değişen malzemeler kullanılır. Kullanılan bu malzemeler LDR nin hassasiyetini ve tepkime sürelerini etkiler. Bu sensörler AC ve DC devrelerde aynı özelliği gösterir. Işık ile kontrol edilebilen tüm otomasyon sistem uygulamalarında, aydınlatma otomasyonlarında, kapı zillerinin gece aydınlatılmasında vb. uygulamalarda kullanılmaktadır [49].

### Infrared (IR) ve Ultrasonik Sensörler

Infrared (IR) sensörler uygulamalarda nesnelerin uzaklıklarının ölçülmesi için kullanılmaktadır. Bu sensörlerde kızılötesi ışınlar kullanılmaktadır. IR LED tarafından lens aracılığıyla dar hüzmeye gönderilen ışık cisimden yansıtılarak geri döner ve ışığa duyarlı diğer bir lens Position Sensible Photo Detector (PSD) aracılığıyla algılanır. Bu lensin iletkenliği ışığın konumuna göre değişir, iletkenliğe göre bir gerilim üretilir, üretilen gerilime göre mesafe hesaplanır. Sensörün gerilim çıkışı uzaklıkla ters orantılıdır. Mesafe arttıkça gerilim azalmaktadır. IR sensörler Ultrasonik sensörlere nazaran hızlı ve ucuzdur. Ancak bu sensörler doğrusal olmayan karakteristiğe sahiptir bu sebeple cisim yüzeylerine göre farklı tepkiler verebilmektedir.

Ultrasonik Sensörler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sensörler algılamada daha güvenilirdir. Saydam cisimlerde ve zayıf ışıkta da kullanılabilir. Bu sensörler 0,5 m den daha kısa mesafeyi algılayamamaktadır. Gönderilen ses dalgalarının uçuş sürelerine göre hesaplama yapılır. Cismin karakteristik özelliklerinden ve ortam koşullarından pek etkilenmemektedir [50].

## 1.12. Yenilenebilir Enerji

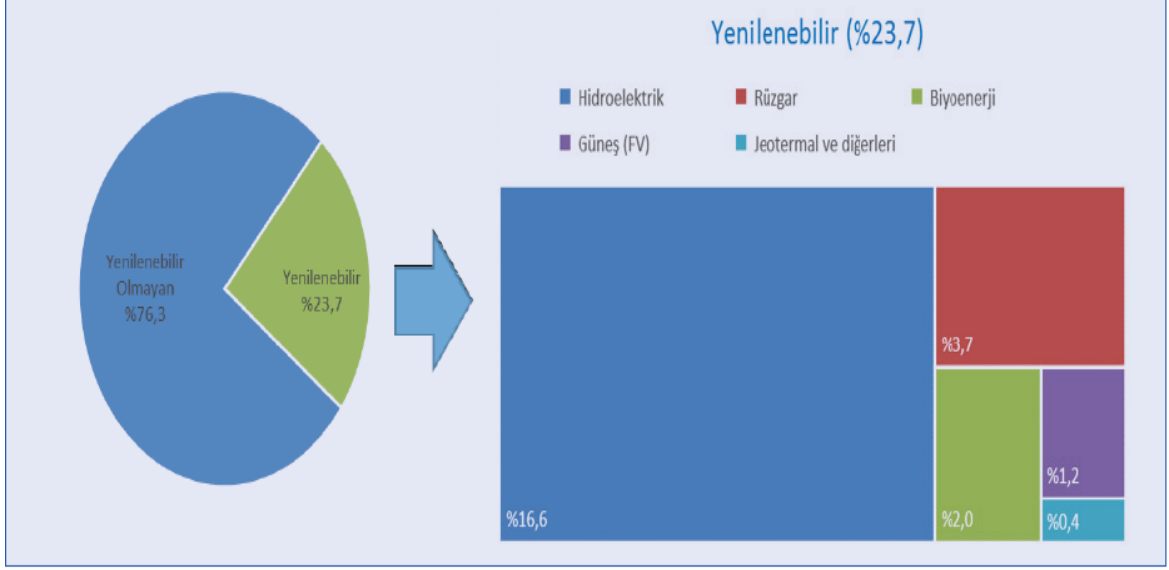
1973 yılında dünyada yaşanan petrol kriziyle enerji tedarik yöntemlerinin ne kadar önemli olduğu anlaşılmıştır. Bu kriz sonucunda çoğunlukla enerji ithal eden ülkeler sürdürülebilir enerji üretim yöntemlerini çeşitlendirme arayışları içerisine girmişlerdir. 2000 li yıllarda ise fosil yakıtların tükenme endişeleri ve oluşan çevre kirliliğinden dolayı bu arayışlar yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji doğal kaynaklardan elde edilen ve sürekli yenilenebilen enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerjinin en önemli özelliği kendi kendini yenileyebilmesi ve tükenmemesidir. Kullanılabilen yenilenebilir enerji kaynakları olarak Güneş, Rüzgar, Hidrolik, Jeotermal, Biyokütle, Dalga enerjileri gösterilebilir. Bilindiği gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının temeli güneş enerjisidir. Güneş enerjisi doğa olaylarıyla ve çevresel faktörler neticesinde diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşmasına sebep olmaktadır [51].

Tablo 7. Yenilenebilir enerji çeşitleri ve kaynakları [51]

YENİLENEBİLİR ENERJİ ÇEŞİTLERİ	ENERJİNİN KAYNAĞI
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgar Enerjisi	Rüzgar
Jeotermal Enerji	Yer Altı Suları
Hidrolik Enerji	Nehir ve Akarsular
Biyokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar
Dalga Enerjisi	Okyanus ve Denizler
Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler

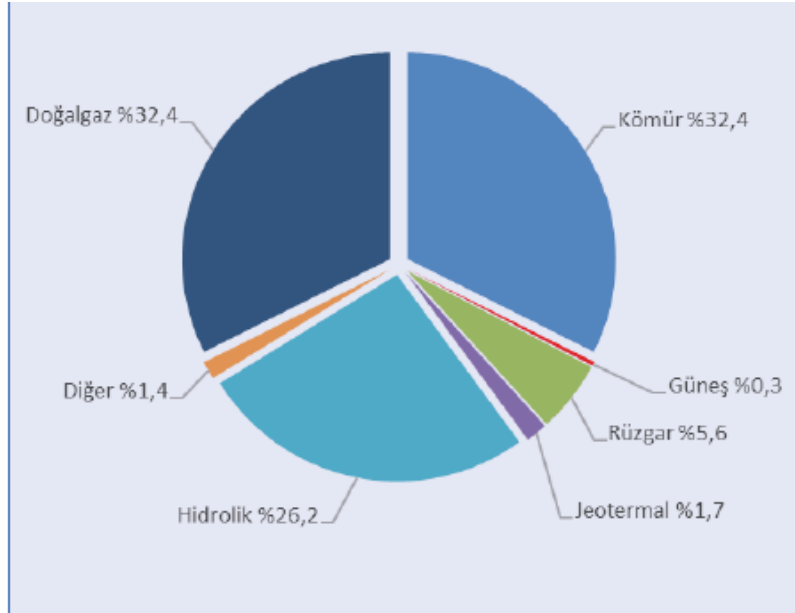
2015 yılı içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarından (Hidroelektrik, güneş ve diğer yenilenebilir enerji uygulamaları) üretilen enerji miktarı dünyada üretilen enerji miktarı içerisinde ancak %23,7 gibi bir orana sahiptir [51].

Tablo 8. Küresel elektrik üretimindeki yenilenebilir enerji oranı % (2015) [51].



Ülkemizde de yenilenebilir enerji üretim oranı tablo 9. da verilmiştir.

Tablo 9. Türkiye'nin elektrik üretiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı [51].



### 1.12.1. Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş enerjisi, termonükleer bir reaktör olan güneşte bulunan 4 hidrojen atomunun füzyon reaksiyonu sonucunda 1 helyum atomuna dönüşmesiyle açığa çıkan ışın enerjisidir. 4,032 birim ağırlığında olan 4 hidrojen atomu, 4,003 birim ağırlığında olan 1 helyum atomuna dönüşmektedir. Reaksiyon sırasında kütleler arasındaki fark enerjiye dönüşmektedir. Güneşten 150 milyon km uzakta olan ve dünyaya 8 dakikada gelen enerji, güneşin tüm yüzeyinden çıkan enerjinin ancak iki milyarda biridir. Yeryüzüne ulaşan radyasyonun %46 sı kızılötesi, %45 i görünür ışık geri kalan kısım ise mor ötesi ışık bölgesinde bulunur. Dünyaya ulaşan bu ışınların %30 u atmosferden uzaya yansıtılır, %20 si atmosferde bulutlarda tutulur, %50 si de atmosferi geçerek dünyaya ulaşır. Dünyaya ulaşan bu ışınlar doğa olaylarında işlem gördükten sonra her hâlükârda uzaya geriye verilir [52]. Tablo 10. da güneşin yapısal özellikleri görülmektedir.

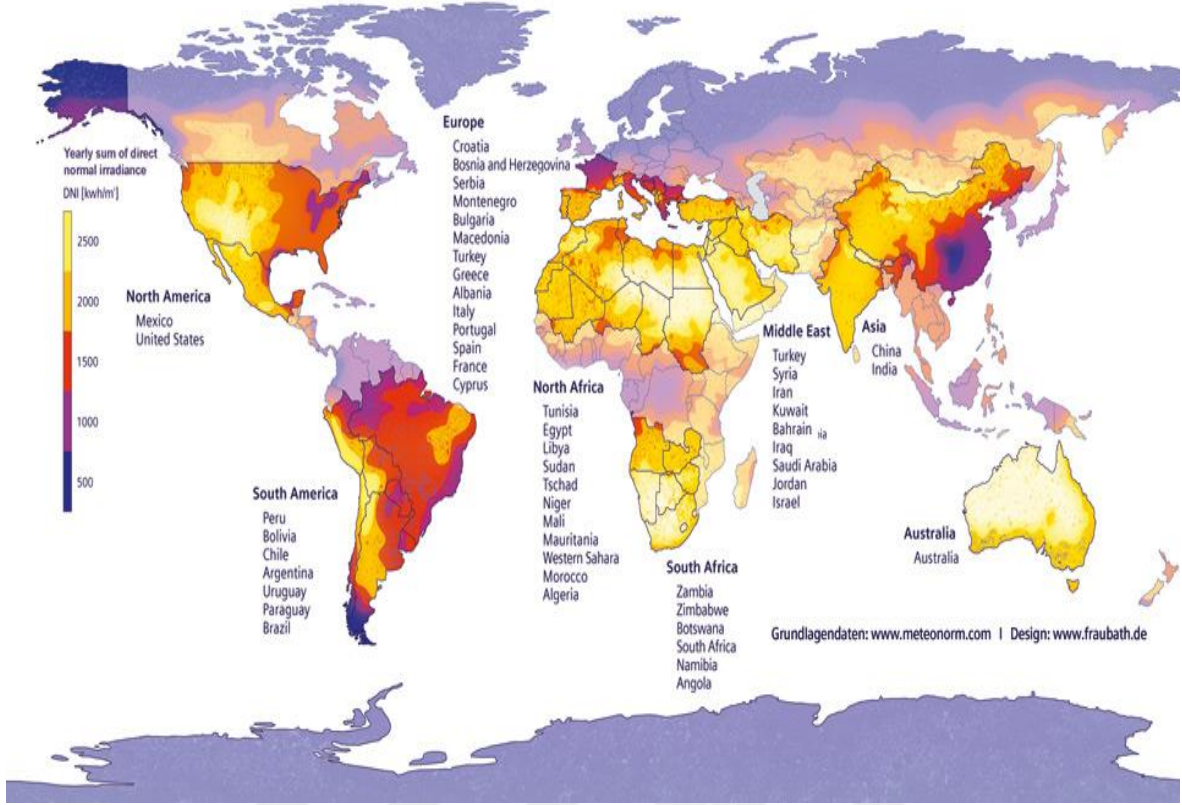
Tablo 10. Güneşle ilgili büyüklükler [53].

<b>GÜNEŞ</b>	
<b>Çap</b>	: 1.391.980 km (109 Dünya çapı)
<b>Kütle</b>	: 1.989.100x10 <sup>24</sup> kg (333.000 Dünya)
<b>Hacim</b>	: 1.412.000x10 <sup>12</sup> km <sup>3</sup> (1.304.000 Dünya)
<b>Dünya'dan uzaklık</b>	: Minimum 147.100.000 km Ortalama 149.600.000 km Maksimum 152.100.000 km
<b>Merkez Basıncı</b>	: 2,477x10 <sup>11</sup> bar
<b>Merkez Sıcaklığı</b>	: 1,571x10 <sup>7</sup> K
<b>Merkez Yoğunluğu</b>	: 1,622x10 <sup>5</sup> kg/m <sup>3</sup>
<b>Merkez Bileşimi</b>	: % 35 H, % 63 He, % 2 C, N, O . . .
<b>Yaşı</b>	: 4,57x10 <sup>9</sup> yıl

Güneşten saniyede yaklaşık 170 milyon MW enerji dünyaya ulaşmaktadır. Bu enerji Türkiye'nin yıllık enerji tüketiminin yaklaşık 1700 katıdır.

Atmosfer dışında güneş enerjisinin ışınımı 1.370 W/m<sup>2</sup> [53].

Dünya yüzeyinde her bölgenin enerji ışınım miktarı farklıdır. Aşağıdaki şekil 21. de Dünya güneş enerjisi haritası görülmektedir.



Şekil 21. Dünya güneş enerjisi haritası [54].

### Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

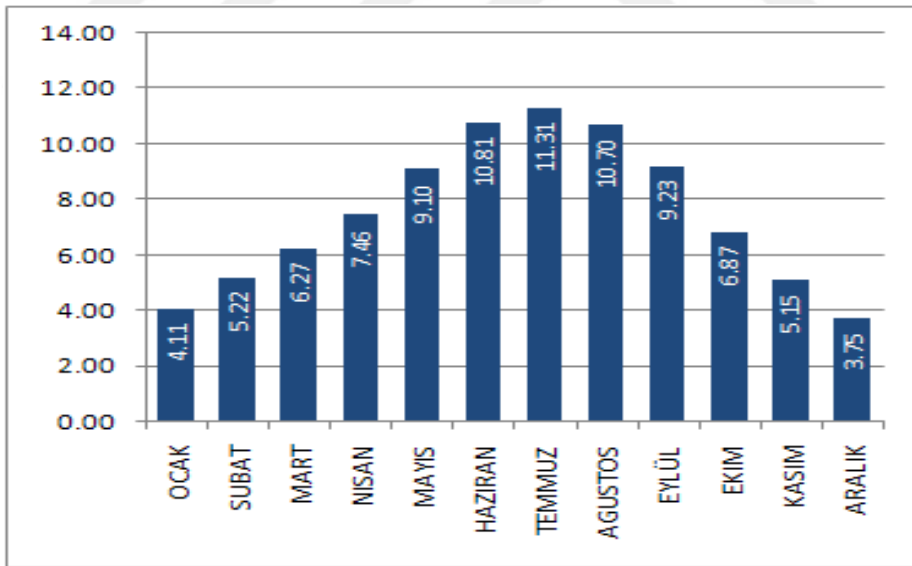
Güneş enerjisi, kullanımı kolay, çevre dostu ve yenilenebilir olmasının yanı sıra yeryüzünde meydana gelen nerdeyse tüm doğal olayların da kaynağıdır. Kullanılan fosil kaynaklarının da yapısı güneş enerjisinin değişik bir format almış halidir. Ülkemiz coğrafi konumundan dolayı çok büyük bir güneş enerji potansiyeline sahiptir. Türkiye 36°-42°kuzey enlemleri ve 26°-45° doğu boylamları arasındadır. Yıl boyunca güneşlenme süreleri değişmekle birlikte Türkiye yıllık güneşlenme süresi yaklaşık 2.738 saat ve yıllık yatay ışınım şiddeti 1.311kWh/m<sup>2</sup> dir. Günlük ortalama olarak güneşlenme süresi 7,5 saat ve günlük toplam ışınım şiddeti 3,6kWh/m<sup>2</sup> ölçülmüştür. Ülke yüzölçümünün %63 ünde yılın 10 ayı boyunca ve ülke yüzölçümünün %17 sinde yılın tamamında güneş enerjisinden elektrik üretilmesi mümkündür. Ülkemizde güneş enerjisi daha çok ısı elde edilmesi (sıcak su) amacıyla kullanılmaktadır. Son zamanlarda elektrik üretilmesi amacıyla da kullanılmaya başlanmıştır [51], [53], [52].

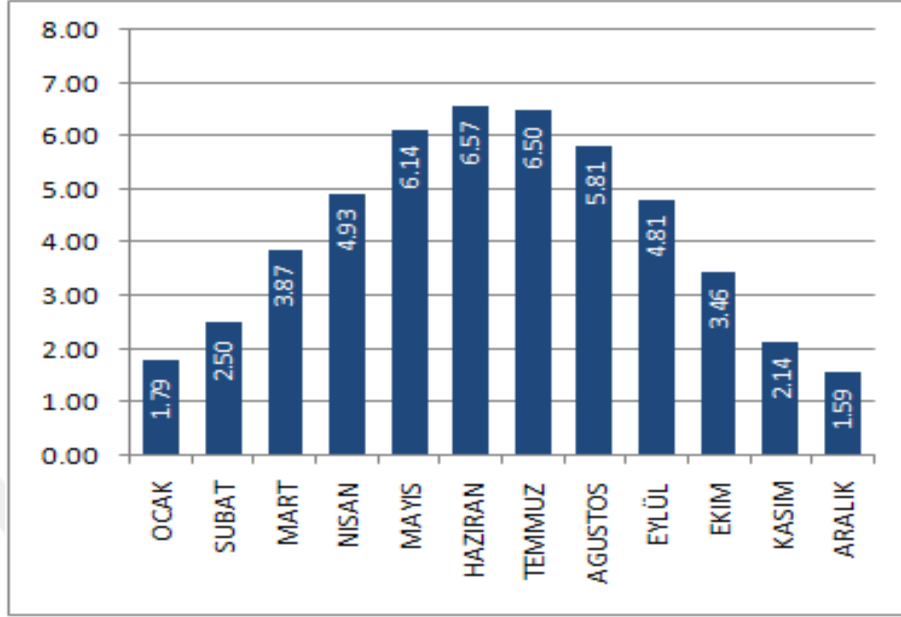


Güneş enerjisi aşağıda bahsedilen çeşitli alanlarda ve aşağıda bahsedilemeyen hayatın diğer alanlarında elektrik enerjisi (FV sistemler ve Termal Isıl Güneş teknolojileri) ve çeşitli termal uygulamalarda kullanılabilir.

- Büyük ve küçük ölçekli sanayide.
- Her türlü konut ve is yerlerinde.
- Her çeşit ulaşım araçlarında.
- Tüm iletişim araçları (GSM, TV, telefon, radyo), sinyalizasyon ve otomasyon uygulamalarında.
- Her Türlü elektrik üretimi sistemlerinde (Termal, FV).
- Kırsal alanlarda ve tarım araçları ve diğer tarımsal teknolojilerde.
- Askeri özel amaçlı uygulamalarda.
- Uzay teknolojisinde.

Tablo 11. Türkiye'nin aylık güneşlenme süreleri

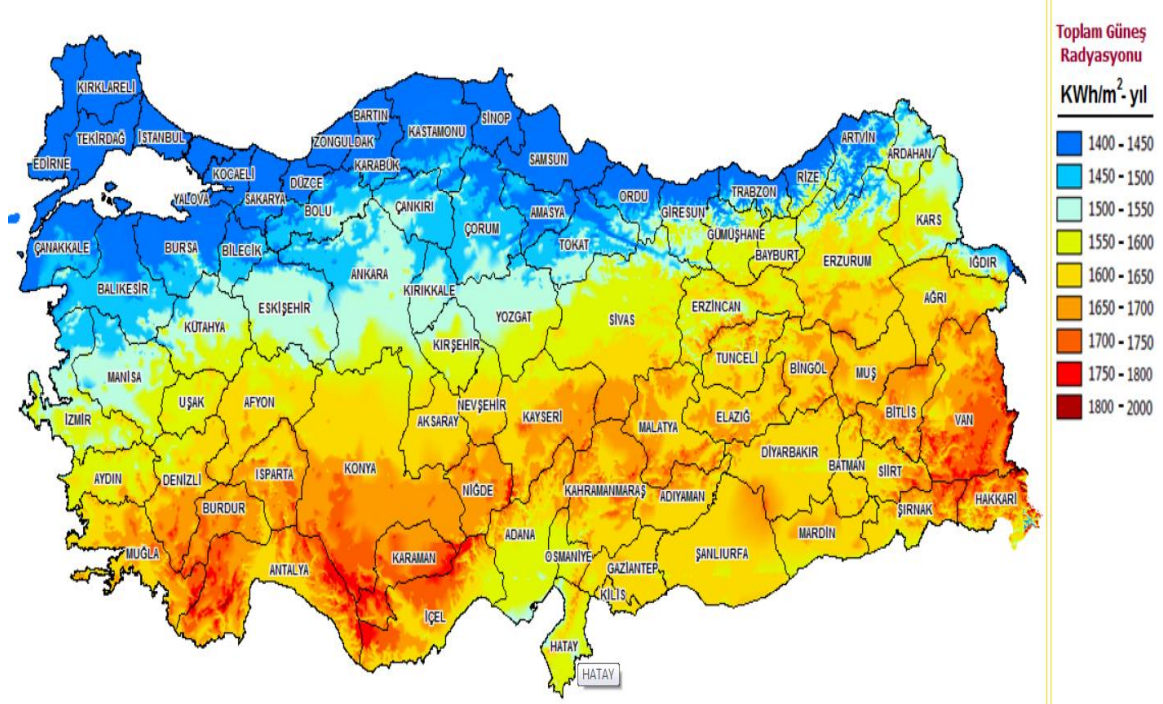


Tablo 12. Türkiye aylık kWh/m<sup>2</sup>-gün ışıma değerleri [90].

Tablo 13. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [55]

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> – yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Şekil 22. de Türkiye bölgelerinin güneş enerjisi potansiyelleri görülmektedir.

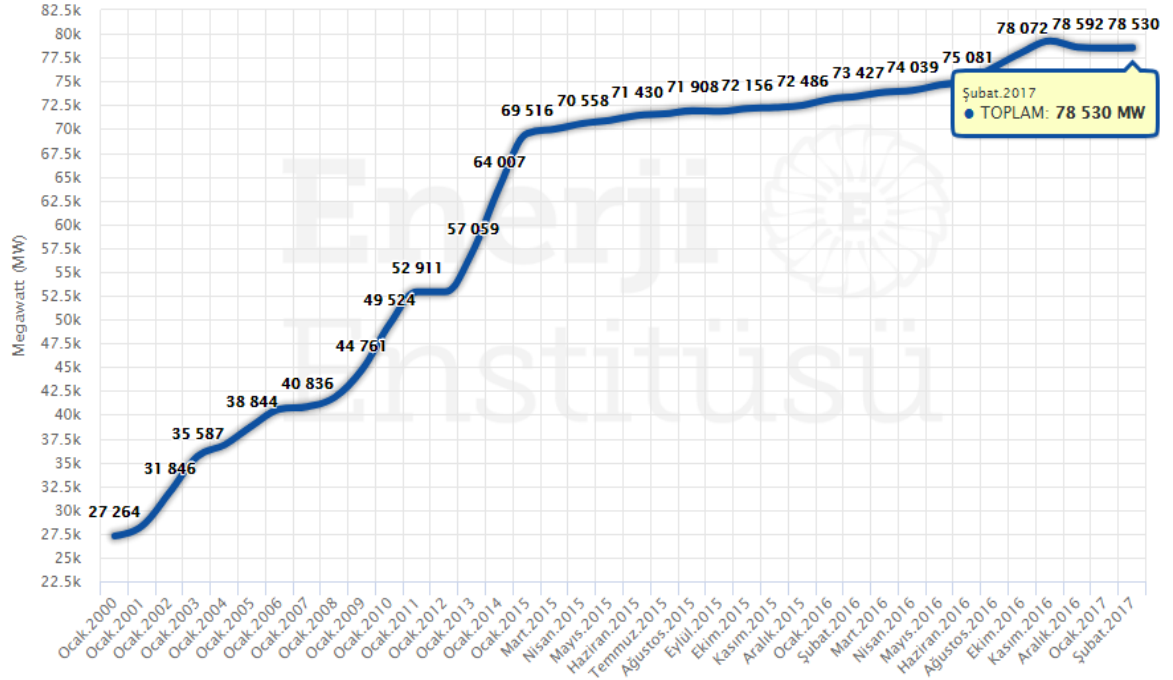


Şekil 22. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası(GEPA) [90].

Güneydoğu Anadolu bölgesi ve Akdeniz bölgeleri güneş enerji potansiyeli yönünden Türkiye’de ilk sıralarda gelmektedir. Bunun yanında Marmara ve Doğu Karadeniz bölgeleri ise Türkiye’nin en az güneş alan bölgeleridir [51].

Yapılan araştırmalar sonucunda Türkiye’nin güneş enerjisi üretim potansiyeli en az 500.000 MW olarak tespit edilmiştir. 2016 yılı itibariyle Türkiye’nin toplam kurulu gücünün yaklaşık olarak 78.530 MW olduğu göz önüne alındığında güneş enerji potansiyelinin ne denli önemli olduğu daha anlaşılmaktadır [51].

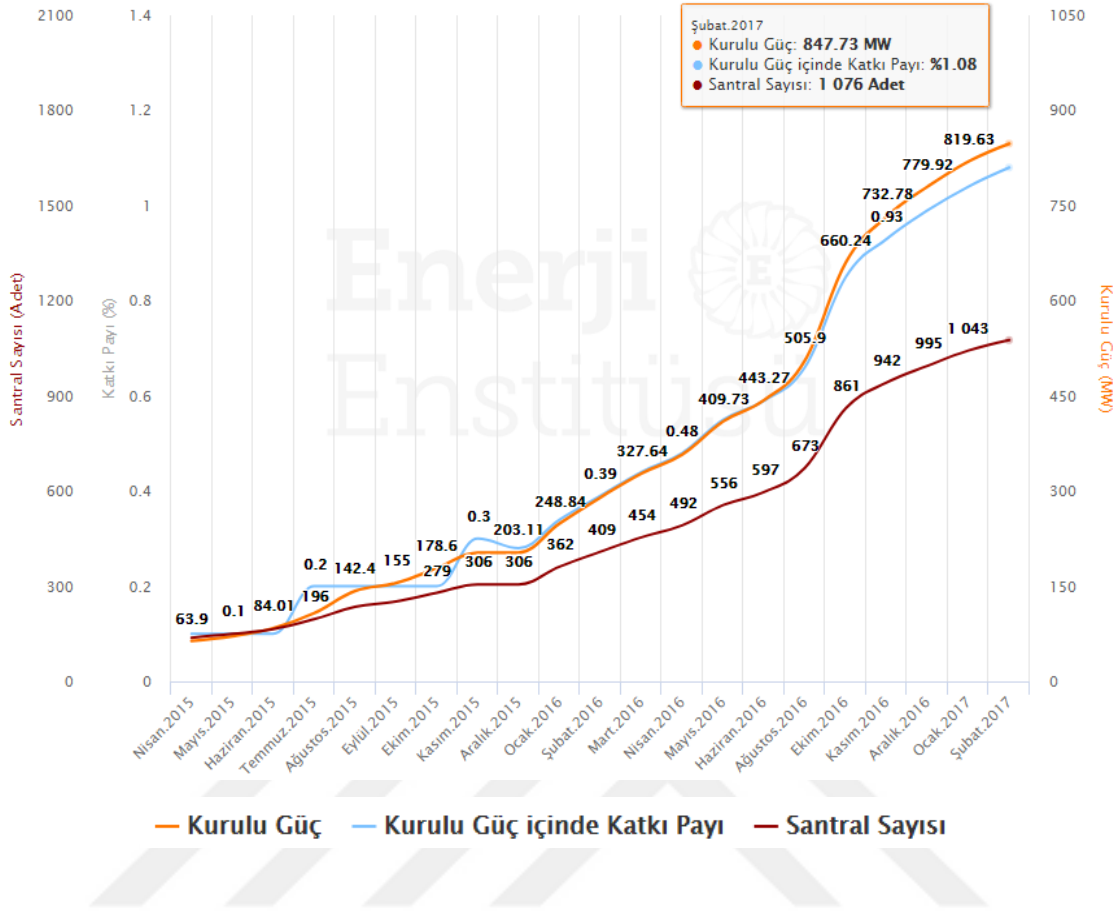
Şekil 23. de 2017 yılı Türkiye Toplam kurulu gücü görülmektedir.



Şekil 23. Türkiye'nin Güncel Kurulu Gücü: 78.529,62 MW [61].

Güneş enerji potansiyelinin bu denli yüksek olmasının yanı sıra kurulum maliyetlerinin yüksek olması, mevzuatsal engeller, finans problemler, veriminin henüz düşük olması, kapasitesinin yetersiz olması ile bazı teknolojik yetersizlikler ve maddi sebeplerden dolayı güneş enerjiden yeterince faydalanılamamaktadır. Bahsedilen zorlukların aşılmasından sonra ülkemizin güneş enerji potansiyelinden daha fazla faydalanılabilecektir [51].

Şekil 24. de lisanssız güneş enerji santralleri eğrisi görülmektedir.



Şekil 24. Türkiye'de Lisanssız Güneş Enerjisinin Gelişimi [89].

### Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Avantajlarından Bazıları

- Her şeyden önce, güneş bol ve tükenmeyen enerji kaynağıdır.
- Temiz bir enerji kaynağıdır. Çevreyi kirletici, duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi atıkları yoktur.
- Yerel uygulamalar için elverişlidir. Enerjiye ihtiyaç duyulan, hemen hemen her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür. Bir çakmağın, bir saatin, bir hesap makinesinin veya bir deniz fenerinin, bir orman gözetleme kulesinin enerji ihtiyacı yerinde karşılanabilir.
- Dışa bağlı olmadığından, doğabilecek ekonomik bunalımdan bağımsızdır.
- Birçok uygulaması için karmaşık teknolojiye gerek duyulmamaktadır.
- İşletme masrafları çok azdır.

### Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Dezavantajlarından Bazıları

- Birim yüzeye gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç vardır.
- Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir. Depolama imkânları ise sınırlıdır.
- Enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve geceleri de hiç yoktur.
- Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevrenin açık olması, gölgelenmemesi gerekir.
- Güneş ışınımından yararlanan birçok tesisatın ilk yatırım maliyeti fazladır ve henüz bazıları ekonomik değildir.
- Düşük verimlidir (maksimum % 33,8)
- Başlangıç maliyeti çok yüksektir

#### 1.12.2. Fotovoltaik (Photovoltaic) (FV) Pil Yapısı ve Sistemleri

Fotovoltaik (Photovoltaic) (FV); Photo (Işık) ve Voltaic (Elektrik) anlamlarındadır. FV çeşitli yöntemlerle ışık enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üretilmesidir. FV etkiyi 19. yy. da Fransız Alexandre-Edmond Becquerel keşfetmiştir. Takip eden yıllarda FV üzerine çalışmalar yapılmış ancak verim %1 civarlarında olmuştur. Daha sonraki yıllarda ortaya çıkan dünya savaşlarından dolayı çalışmalara ara verilmiştir. 1950 li yıllarda Bell laboratuvar çalışanlarından Calvin ve Gerald silikon transistor geliştirmeye çalışırken tesadüfen FV hücre oluşturmuş ve elektrik üretmişlerdir. Tesadüfen keşfedilen Silikon bazlı olan bu hücrelerde verim %4 dolaylarındaydı [29].

Günümüzde kullanılan güneş panellerinin yaklaşık %95 i kristal silikon panellerden oluşmaktadır. Mono-kristal panellerin verimleri %13,32 ile %21,16 aralığındadır. Ortalama verim ise %15,74 değerine ulaşmış durumdadır. Poli-kristal panellerin verimleri %13,05 ile %18,87 aralığında olup ortalama verim ise %15,32 değerine ulaşmış durumdadır. İnce film FV hücrelerin verimi %4,22 ile %13,19 değerine ulaşmış durumdadır [29].

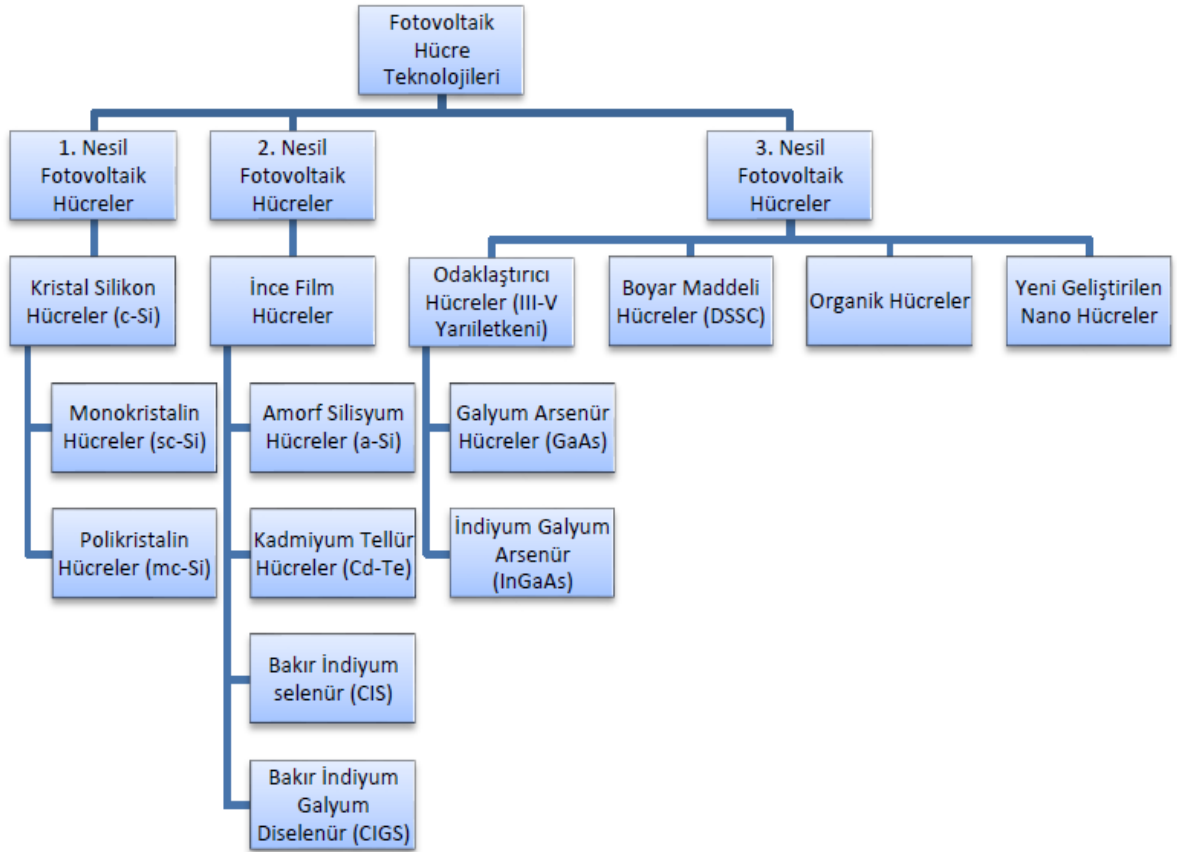
### 1.12.2.1. FV Güneş Hücreleri

FV sistemlerin temel ögesidir. FV olayının gerçekleştiği, yani ışıktan elektrik üretilen ana bileşendir. Hücrelerin yüzeyine ışık düştüğünde uçlarında gerilim oluşmaktadır. Silisyum, Kadmiyum vb. yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır [27].

FV hücreler doğada bulunan farklı cins malzemelerin çeşitli işlemler sonucunda üretilmektedir. Üretim şekli ve kullanılan hammadde türüne göre hücreler arasında şekil, verim ve maliyetlerde değişkenlik oluşmaktadır [29].

Ticari anlamda kristal silisyum hücrelerden oluşan ilk güneş paneli 1963 yılında Japonya'da üretilmiştir [29].

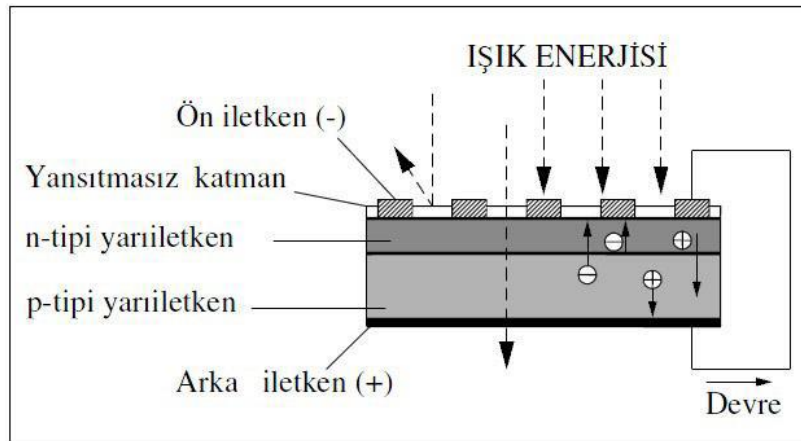
FV hücre teknolojilerinin sınıflandırılması aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi yapılabilmektedir [29]. Şekil 25. de FV hücre sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 25. Fotovoltaik hücre teknolojilerinin sınıflandırılması [29]

## FV Hücre Yapısı

FV hücreler 1-15 cm boyutlarında 0,2-0,4 mm kalınlığında, genelde 100 cm<sup>2</sup> alanına sahip ve değişik şekillerde üretilebilmektedirler [56]. FV hücrelerde elektrik üretimi yapılması için hücre üzerinde bazı katmanlar bulunmaktadır. Hücreyi dış etkilerden koruyan ve güneşin ışınlarının hücreye ulaşmasını sağlayan Saydam Üst Tabaka, hücre üzerinde ışığın yansımalarını engelleyen yansıtma özeliği düşük olan malzeme ile kaplanmış ve pürüzlendirilmiş Yansıtmasız Yüzey, elektronların hareketlendiği Yarı İletken Malzeme, devrenin tamamlanmasını sağlayan plaka halinde Arka İletken, elektronların akışını sağlayan üretilen elektriğin dış devreye aktarılmasını sağlayan Ön İletken katmanları bulunmaktadır. Hücrede kullanılan bu katmanların özellikleri doğrudan hücrenin elektriksel özelliklerini yani veriminin belirlenmesine etki etmektedir [27].



Şekil 26. FV hücrenin yapısı [27].

## Birinci Nesil FV Hücreler

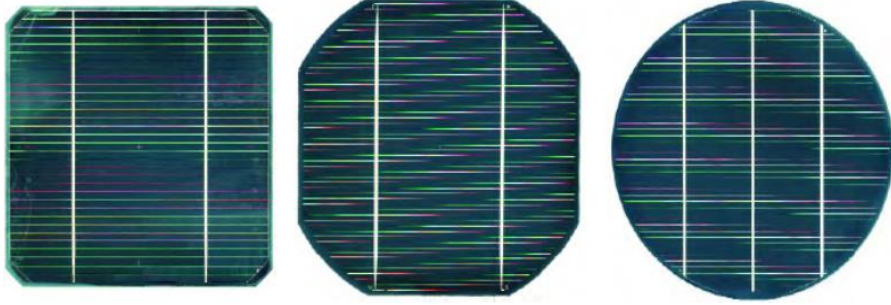
Birinci nesil FV hücre yarı iletken kristal silisyum teknolojisinden türetilmektedir. Geçerli uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan hücre tipidir. Silisyumun saflık durumuna bağlı olarak mono-kristal ve poli-kristal olmak üzere 2 çeşidi bulunmaktadır. Mono-kristal hücreler daha maliyetli olmanın yanı sıra verimi yüksektir. Poli-kristal hücreler mono kristal hücrelere nazaran yapısı heterojen dir. Ayrıca verimi ve maliyeti daha düşüktür. Zamanla teknolojiye gerçekleşen iyileştirmelerle poli-kristal hücrelerin



verimi daha da yükselmiş olup büyük ölçekli FV uygulamalarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

### Mono-Kristal Güneş Hücreler

Silisyum doğada oksijenden sonra en çok bulunan element olmasının yanı sıra doğada saf olarak bulunmamaktadır. Doğada silisyum dioksit olarak bulunur. Silisyum dioksidi güneş pilinde kullanabilmek için silisyumun saflaştırılması bunun için de çok yüksek sıcaklıklara yükseltip yabancı maddelerden ayrıştırılması, soğutulması daha sonra çok ince dilimlere ayrıştırılması gibi bir dizi işlemden geçirilerek saflaştırılması gerekmektedir. Üretimi karmaşık ve pahalı olmanın yanı sıra bu hücre tipi FV işlemini yüksek verimlilikte gerçekleştirebilmektedir. Hücrelerde elektrik akımının meydana geldiği N tipi yarı iletken (Silisyuma fosfor atomu eklenmiş olan N katmanı ki hücrenin negatif katmanıdır) ve P tipi yarıiletken (Silisyuma bor atomu eklenerek oluşturulan P katmanı hücrenin pozitif katmanıdır) bölümleri bulunmaktadır. Mono-kristal güneş hücreleri saf silisyumdan imal edilir. Yapısı homojen olup rengi koyu maviden siyaha doğru değişmektedir [27].

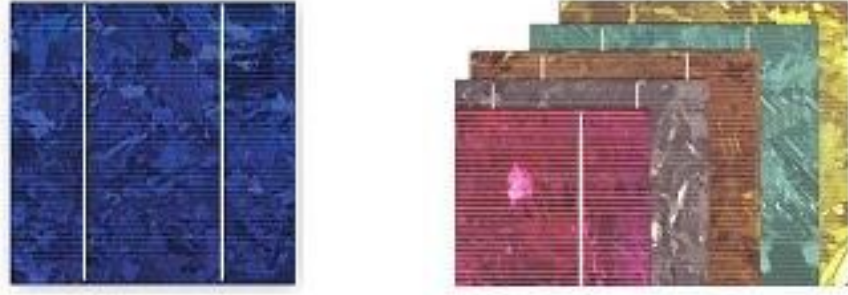


Şekil 27. Monokristal hücre örnekleri [57].

### Poli - Kristal Güneş Hücreler

Verimi, monokristal hücelere nazaran daha düşüktür. Ancak üretimi mono-kristal hücelere nazaran daha basit ve ucuz olmasından dolayı kullanımını yaygındır. Saflık derecesi daha düşüktür. Bu sebeple kristallidir. Işık yansımalarında kristaller

gözlemlenebilmektedir. Rengi yansıtmasız kaplama yapılmış haliyle mavi, yansıtmasız kaplama yapılmamış iken ise gri tonlardadır.



Şekil 28. Polikristal silisyum güneş hücresi ve renkleri [27].

### İkinci Nesil FV Hücreler

İkinci Nesil FV hücreler, İnce Film Hücreler olarak da bilinmektedir. 1. nesil kristal silisyum hücrelerden daha ucuz ve verimleri daha düşüktür. Yapısal özelliklerinden dolayı binalara uygulanabilirliği daha kolaydır. Cam yüzeylerine, dış cepheye, çatılara vb. bina aksamlarına yerleştirilebilmektedir.

2. nesil FV hücreler; Kadmiyum Tellür (Cd-Te), Amorf Silisyum (a-Si), Bakır İndiyum Selenür (CIS), Bakır İndiyum Galyum Diselenür (CIGS) gibi türlerden oluşmaktadır [27].

### İnce Film Güneş Hücreleri

Üretim, montaj gibi maliyetlerin azaltılması için daha basit teknolojilerin kullanılması ile yarı iletken malzemelerin, daha geniş yüzeylere ince film şeklinde kaplanması şeklinde uygulanmaktadır. Verimi diğer hücre tiplerine nazaran düşüktür ancak az ışıklı ortamlarda ve yüksek sıcaklık durumunda performansı yüksektir. Hücre yapısından dolayı bulutlu ve az ışıklı ortamlarda enerji üretimi devam etmektedir. Silisyum hücrelerine nazaran daha az ham madde ve daha basit teknolojiyle üretilmektedir. Bu hücreler selenyum elementinin bileşikleri olan bakır indiyum selenür (CIS), kadmiyum tellür (CdTe) ve amorf silisyum ( a-Si) İnce film hücreleri olmak üzere 3 gruba ayrılır.

Bu hücre tipinde çeşitli katmanlar bulunmaktadır. Bunlar; hücrelerin ön yüzeyinde saydam ve iletken özellikte Saydam İletken Metal Oksit Tabaka, bu tabakanın altında arı İletken Tabaka, bu tabakanın altında elektrik bağlantılarının yapıldığı Metal Kaplama bulunmaktadır [27].

#### Bakır İndiyum Selenür (CIS)

CIS ler en verimli ince film hücreleridir. Verimleri %10-14 aralığındadır. Bu hücrelerde amorf hücrelere benzer şekilde ışığa bağlı verim kaybı olmaz. Sıcaklık ve neme karşı zayıf durumdadır. Bu sebeple yalıtıma dikkat edilmelidir. Homojen yapıya sahiptir siyah renklidir [27].

#### Kadmiyum Tellürid (CdTe)

Oda sıcaklığında FV dönüşüm için en iyi üretilmektedir. Verimleri %10 dolaylarındadır. Üretim süreci pahalı olmadığından tercih edilmektedir. Homojen yapıya sahip olup rengi koyu yeşil ile siyah renkleri aralığındadır [27].

#### Amorf Silisyum ( a-Si)

İnce homojen silisyumdan oluşur. Yapısındaki malzemelerin düzenli dizilmiş olmamasından dolayı verimi düşüktür. Verimi %7,5-10 aralığındadır. Rengi kızılımsı kahverengiden siyah aralığındadır [27].

#### Üçüncü Nesil FV Hücreler

Henüz laboratuvar şartlarında geliştirilmekte olup daha verimli ve çoğunlukla özel uygulamalarda kullanılan hücre tipleridir. Örneğin Galyum Arsenür (GaAs) hücreler laboratuvar ortamında %36,6 verime ulaşmış olup uzay uygulamalarında kullanılmaktadır. Üçüncü nesil FV hücreler sınıfında; organik hücreler, nano hücreler ve boyar maddeli hücreler (DSSC) de bulunmaktadır [29].

### Galyum Arsenür (GaAs)

Silisyumda sonra 2. önemli yarı iletken maddedir. LED ve lazerlerde kullanılır. Verimi %20 dolaylarında ve üretimi çok pahalıdır [27].

### Nanokristal Güneş Hücresi (DSC Boyalı Hücreler)

Yarı iletken olarak titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) kullanılır. Bu yarı iletkende geleneksel P-N eklemine olduğu gibi elektrik üretmez. Işığın organik boya sayesinde soğurarak üretim sağlar. Gölgelemeye karşı toleransı yüksektir. Sıcaklıkla verimi artmaktadır. İç mekân aletlerinde kullanıma uygundur [27].

### Mikrokristal ve Mikromorf Güneş Hücreleri

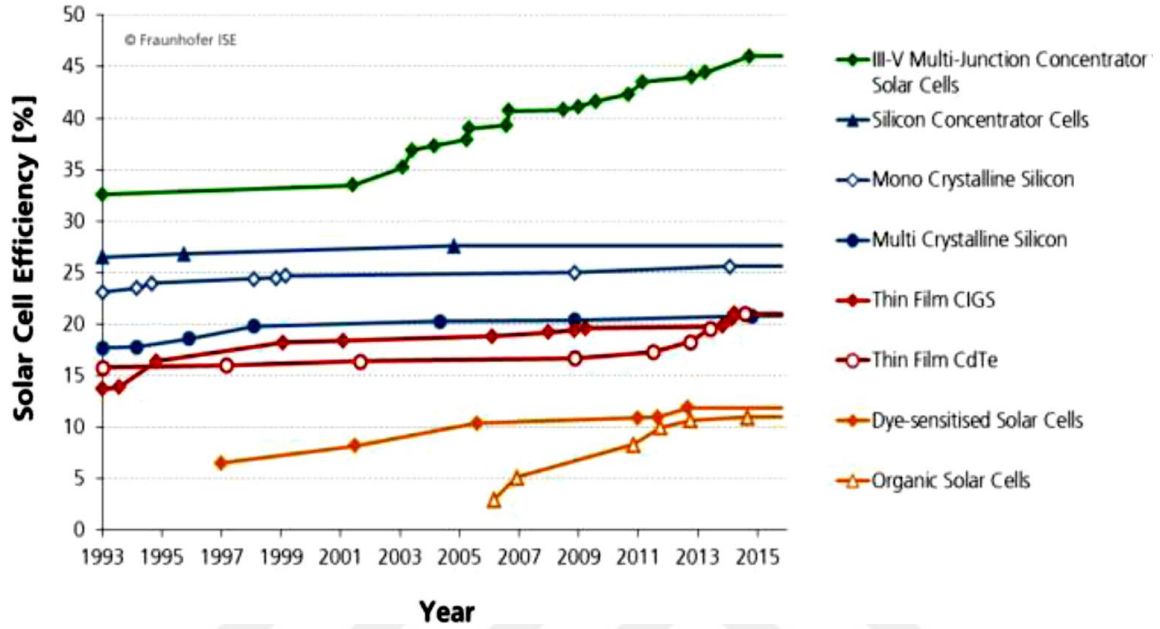
Yüksek sıcaklıktaki ya da daha düşük sıcaklığa kadar soğutulan silisyumdan ince film teknolojisi kullanılarak hücre üretilmesidir. Mikrokristal hücre verimi %8,5 dolaylarındadır. Verimin artırılması için ise amorf silisyumla tandem in bileşik oluşturulmasıyla mikromorf hücreler oluşturulur. Bu durumda verim %12 dolaylarında olmuştur [27].

### Hibrit (HIT) Güneş Hücreleri

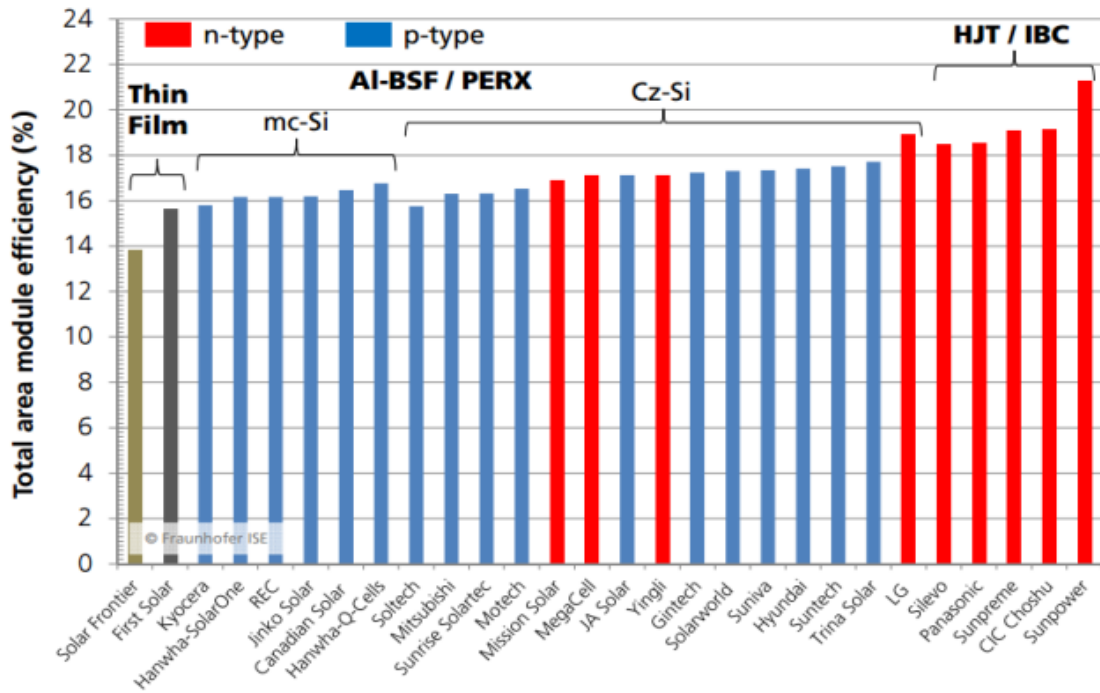
Bu hücreler kristal silisyum ve ince film güneş hücrelerinin kombinasyonu ile oluşturulan verimi daha yüksek olan hücrelerdir. Kristal-amorf silisyum yarı iletkeni katkısız ince film tabakasıyla bağ yapılarak oluşur. Bu hücrelerde ışığa endeksli verimlilik azalmaz. Yüksek sıcaklıklarda daha verimlidirler. Verimlilikleri %17,3 ve renkleri koyu mavi ve siyah renkleri aralığındadır [27].

Heterojunction with Intrinsic Thin layer (HIT) ve Interdigitated Back Contact (IBC) hücre üretim teknolojileri uygulanan diğer teknolojilerden daha yüksek verime sahiptir. Bu teknolojilerde gücün sıcaklığa bağlı olduğu katsayı diğer teknolojilerden daha düşüktür. HIT ve IBC teknolojileriyle üretilen panellerin sıcak bölgelerde kullanımları diğer panel tiplerine göre daha verimli olacaktır. Ayrıca laboratuvar ortamında geliştirilmekte olan çok

eklemlı güneş pillerinin pazara girmesiyle güneş panellerinin verimlerinin %45 ten büyük duruma gelmesi beklenmektedir [58]. Şekil 29. da Laboratuvar ortamındaki FV pil verimlilikleri, Şekil 29. da ticari FV pil verimlilikleri görülmektedir.



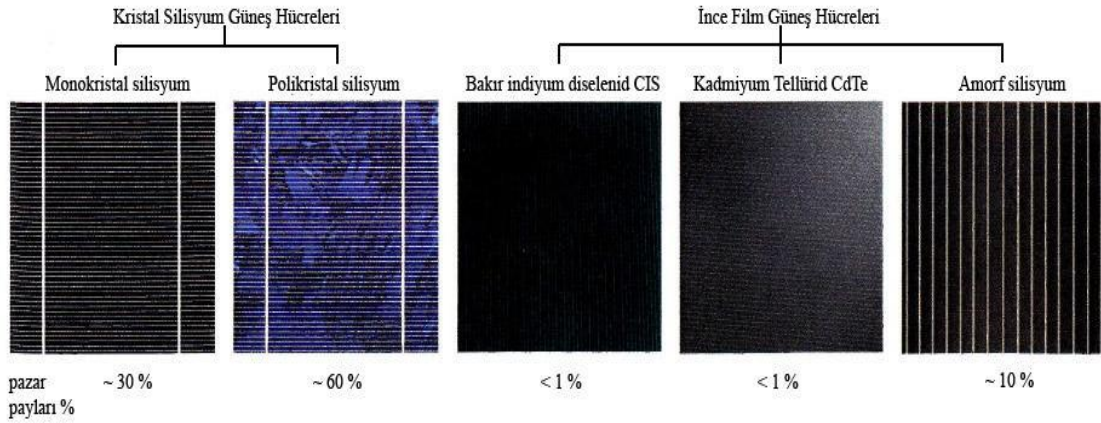
Şekil 29. Laboratuvar güneş pili verimleri [58]



Şekil 30. Ticari güneş paneli verimleri [58].

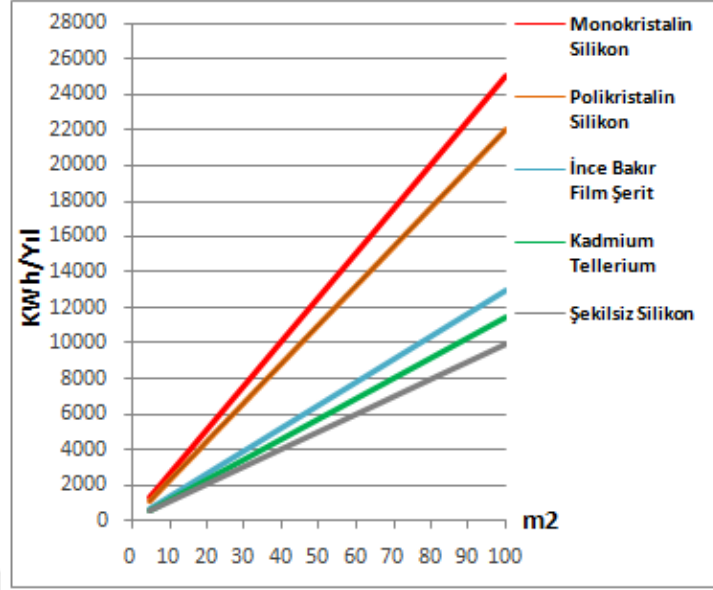
Tablo 14. FV hücrelerin verimlilikleri ve 1 kWp için gerektirdiği alan [27]

Güneş hücresi malzemesi	Hücre malzemesi (laboratuvarda)	Hücre verimi (üretimde)	Modül verimi (üretimde)	1 kWp için gerekli alan m <sup>2</sup>	
	%	%	%		
Kristal Silisyum Güneş Hücreleri	Monokristal silisyum (m-Si)	24,7	18	14	7-9 m <sup>2</sup>
	Polikristal silisyum (p-Si)	19,8	16	13	8-11 m <sup>2</sup>
İnce film Güneş Hücreleri	Bakır indiyum diselenid (CIS)	18,8	14	10	11-13 m <sup>2</sup>
	Kadmiyum tellürid (CdTe)	16,4	10	9	14-18 m <sup>2</sup>
	Amorf silisyum (a-Si)	13	10,5	7,5	16-20 m <sup>2</sup>

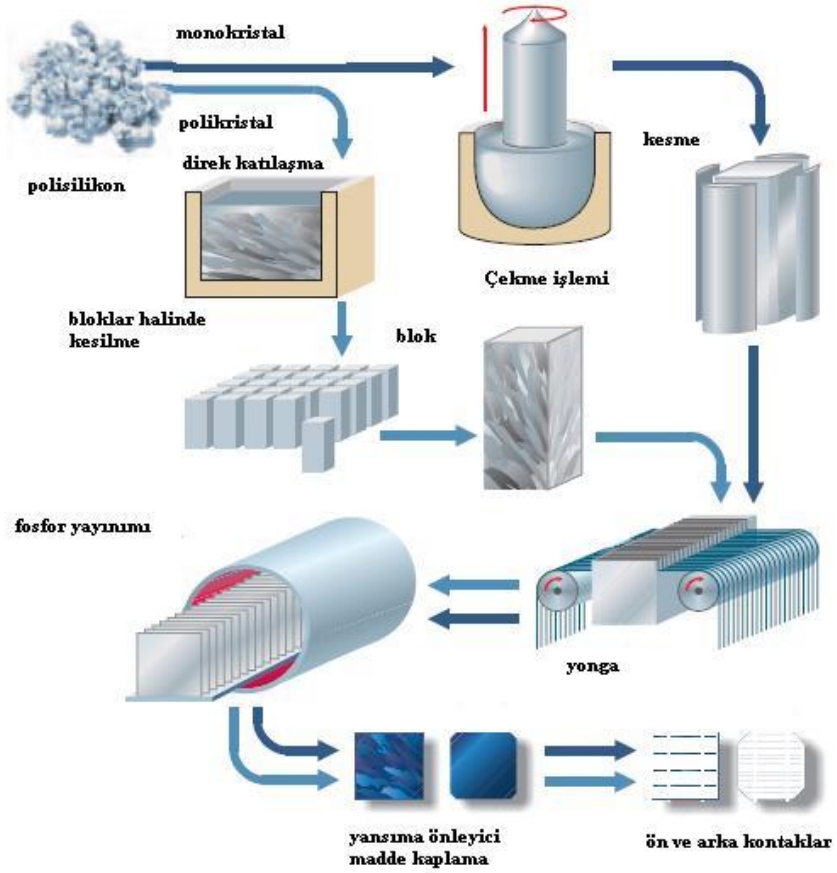


Şekil 31. FV güneş hücreleri ve pazar payı oranları [27].

Şekil 32. de farklı FV panel tiplerine göre yıllık üretilebilecek enerji potansiyeli, Şekil 33. de FV hücre üretim aşamaları görülmektedir.



Şekil 32. Türkiye FV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl) [90]



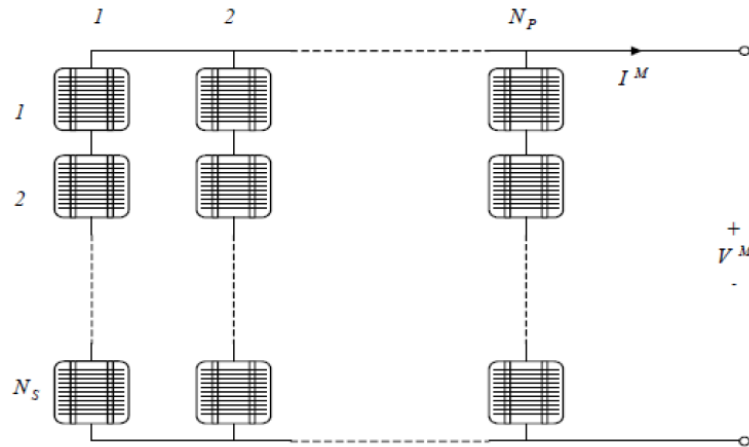
Şekil 33. Kristal hücre üretim işlem basamakları [57]

### 1.12.2.2. FV Modüller

Tek FV hücreye ait bu değerler günlük tüketimleri karşılayamayacağı açıktır. Bu sebeple belirli sayıda hücreler bir araya getirilerek daha yüksek gerilim ve akım oluşturacak modüller meydana getirilir. Modüller; FV hücrelerin seri ve paralel bağlanarak oluşturduğu FV elemanıdır. Özel üretimlerin dışında genelde seri olarak bağlanırlar. Hücrelerin akım gerilim değerleri pillerle aynıdır. Tüm hücrelerin karakteristikleri aynı olmalıdır. Aksi durumda akım ve gerilim değerleri çok düşecektir. Hücrelerin seri bağlanmasıyla; Modülün gerilimi tüm hücrelerin gerilimlerinin toplamı olurken, modülün akımı serideki bir hücrenin akım değerine eşit olmaktadır. Hücrelerin paralel bağlanmasıyla oluşacak olan modülün akımı hücrelerin akım değerlerinin toplamıdır. Bu durumda modül gerilimi hücre gerilimine eşittir. FV hücrelerin seri yada paralel bağlanmasıyla istenilen akım ve gerilim değerlerini sağlayacak modül ve paneller üretilebilmektedir [59].

$$V_{\text{hücre}}: (\text{modül gerilimi}) / (\text{modüldeki seri hücre sayısı}) \quad (3)$$

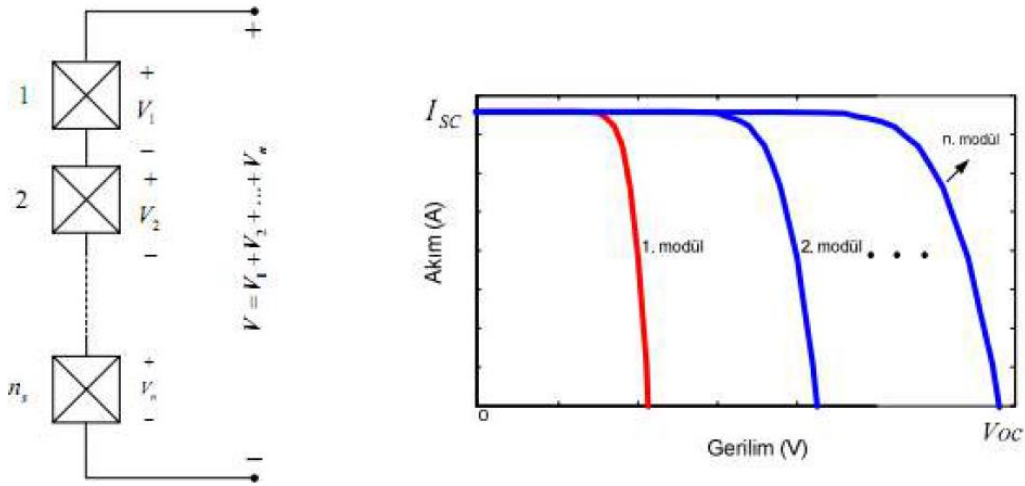
$$I_{\text{hücre}}: (\text{modül akımı}) / (\text{modüldeki paralel hücre sayısı}) \quad (4)$$



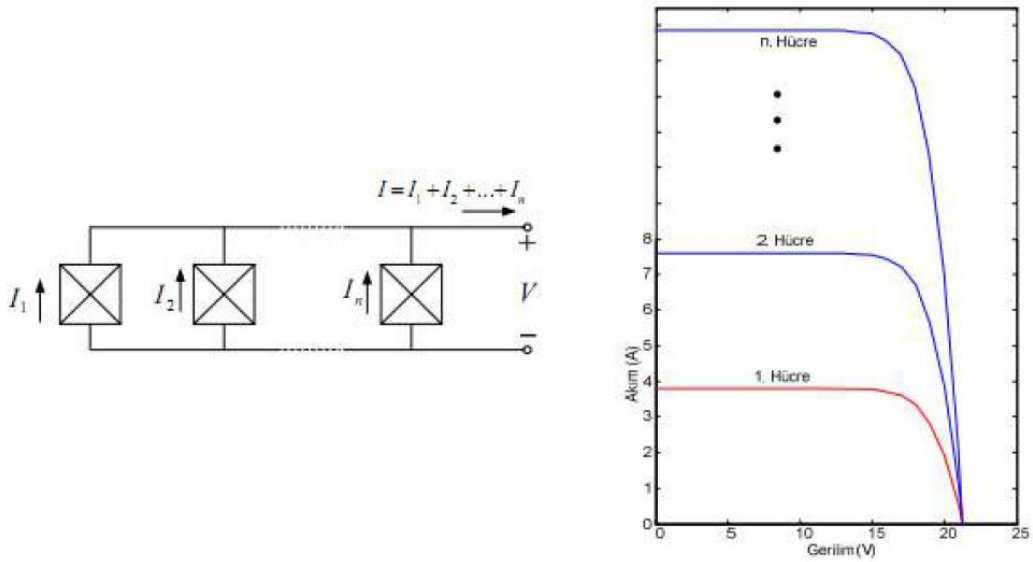
Şekil 34. FV hücrelerin seri ya da paralel olarak bağlanması [60].

Şekil 35. FV hücrelerin seri bağlanması durumuna I-V eğrisi, Şekil 36. da FV hücrelerin paralel bağlanması durumuna I-V eğrisi görülmektedir.





Şekil 35. Seri bağlı fotovoltaik hücrelerin I- V eğrisi [60]



Şekil 36. Paralel bağlı FV hücrelerin I- V eğrisi [28]

### 1.12.2.3. FV Paneller

Günlük hayatta bir modülün tek başına ürettiği enerji de ihtiyaçları karşılayamamaktadır. Bu durumda modüller kendi aralarında seri ve paralel birleşerek FV panelleri oluşturmaktadır. FV paneller çok uzun süre verimli kullanılabilir. Ortalama olarak 25 sene garanti süresi verilmektedir. Ancak 50 yıl kadar kullanılan paneller mevcuttur. Kristal silisyum hücrelerde yıllık 0,25-0,50 aralığında verim düşmektedir [27].

### Panel Gücünün Sıcaklıkla Değişimi

Bir FV panelin hücre sıcaklığı ( $T_c$ ), istenilen bir hava sıcaklığı ( $T_a$ ) için ışınım ( $G$ ) değeri ve NOCT sıcaklığı kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{0.8} G(kW/m^2) \quad (5)$$

Hesaplanan bu hücre sıcaklık değeri, FV panel güç-sıcaklık bağımlılık katsayısı  $\mu_p$  kullanılarak panelin çıkış gücü hesaplanabilmektedir.

$$P_m(T_c) = P_{m,STC} [1 - \mu_p (T_c - 25)] \quad (6)$$

Burada

$P_{m,STC}$  : Test koşullarındaki (STC Standart Test Koşullar) panel gücüdür.

$\mu_p$  : Sıcaklığa bağımlılık katsayısı  $\mu_p=0.38-0.45 \%/K$  arasında

Sonuç olarak panel seçilirken NOCT sıcaklığı ve güç-sıcaklık bağımlılık katsayıları ortam sıcaklığına göre dikkatli seçilmelidir. Bu durumda yüksek sıcaklık ortamlarında verim kaybının fazla olması önlenmiş olur [58].

### FV Panelin Kısa Devre Akımı

Kısa devre akımı sıcaklığın etkisi ihmal edilmesi durumunda aşağıdaki şekildedir. [58]

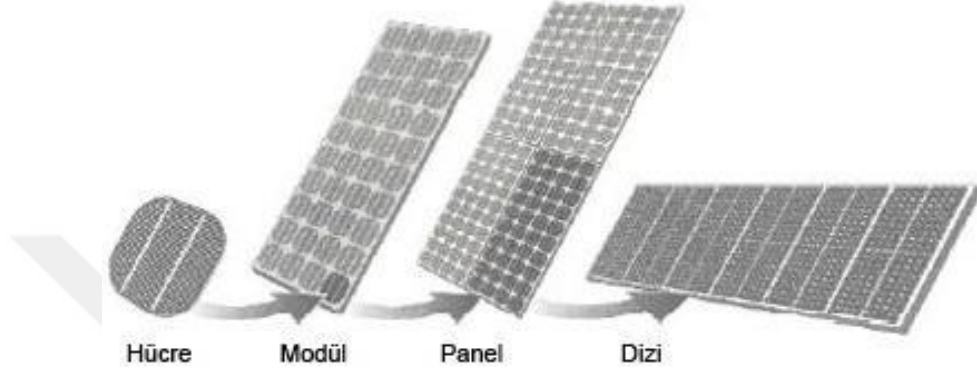
$$I_{sc} = I_{sc,STC} \frac{G_T (W/m^2)}{1000(W/m^2)} \quad (7)$$

$I_{sc,STC}$  : Test koşullarındaki kısa devre akımı

$G_T$  : Panel yüzeyine düşen toplam ışınım miktarı. Direk ve yansıyan ışınımın toplamıdır.

#### 1.12.2.4. FV Diziler (Array)

Talep edilen güç ihtiyacının karşılanabilmesi için panellerin seri ve paralel şekillerde birleşmesiyle diziler oluşur. Şekil 37. de FV hücre, modül, panel ve dizi yapısı görülmektedir.



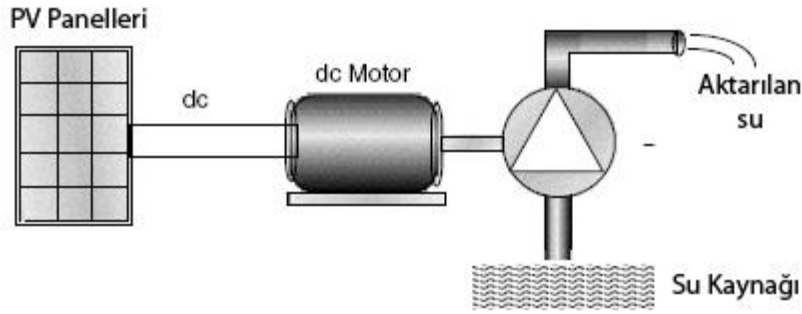
Şekil 37. FV sistemlerde kullanılan hücre, modül, panel ve dizi [27].

#### 1.12.2.5. FV Sistem Tipleri

FV sistemler kullanımına göre 3 gruba ayırmak mümkündür.

##### 1.12.2.5.1. Yüke Direkt Bağlı (Akuple) Sistemler:

Güneş panellerinde üretilen enerjinin direk olarak yüke uygulandığı sistemlerdir. Bu sistemlerde ara birimler olmadığından sistem verimi daha da yüksektir. Çoğunlukla ABD de sulama amaçlı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [28]. Şekil 38. de Akuple sistem bağlantı şekli görülmektedir.



Şekil 38. Direkt bağlı akuple sistem [28]

Sistemin geriliminin pompa gerilimine eşit olduğu durumda

$$\text{seri bağlı modül sayısı} = \frac{\text{Pompa gerilimi (V)}}{V_R / \text{modül}} \quad (8)$$

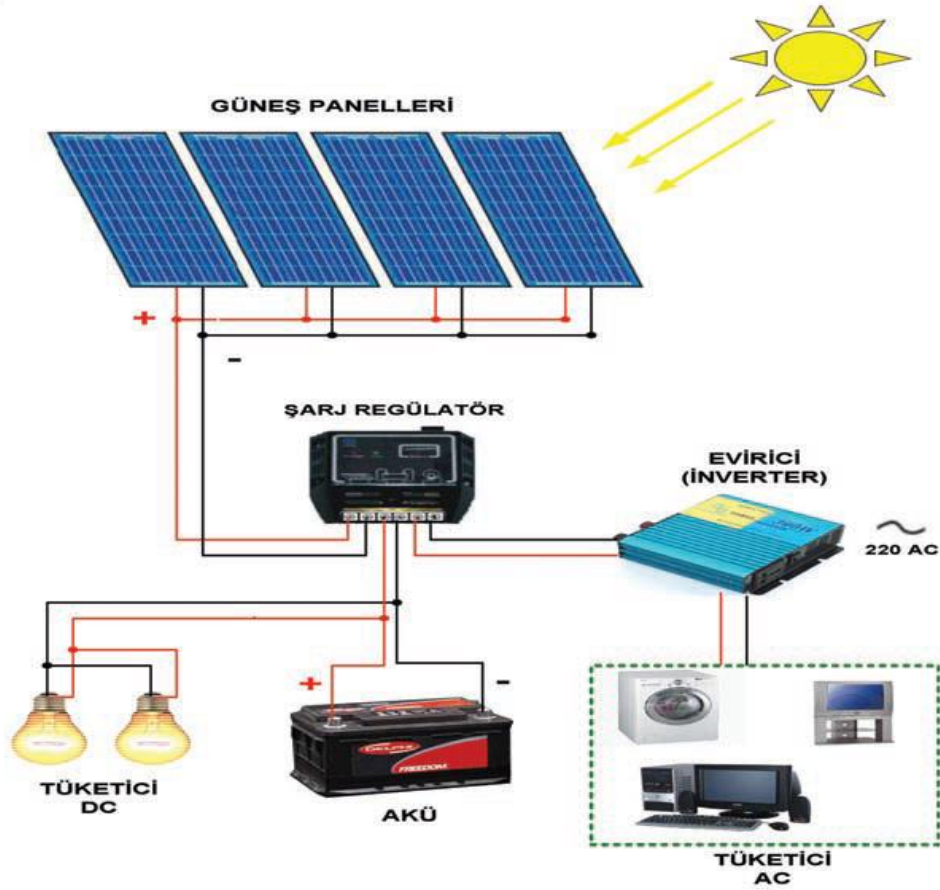
Paralel bağlı modül sayısının bulunması;

$$\text{Paralel modül sayısı} = \frac{\text{pompa giriş gücü } P_m \text{ (W)}}{\text{seri modül sayısı} \times \text{modül gerilimi } (V_R / \text{modül}) \times I_R \text{ (A)} \times \text{de-oranı}} \quad (9)$$

#### 1.12.2.5.2. Şebekeden Bağımsız Sistemler (Stand Alone Systems, Off-Grid Systems)

Bu sistemler elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde (daha çok kırsal alanlarda) FV dizilerinden üretilen elektriğin tamamının üretildiği yerde yük için kullanılan sistemlerdir. FV olayının gerçekleşmediği zamanlarda yükün düzenli ve kesintisiz beslenebilmesi için elektrik depolama (akü) sistemi olmaktadır. Depolama sistemi güneşin yeterli olduğu durumlarda fazla üretilen elektriği alarak depolar ve ihtiyaç durumunda yüke aktarır. Üretilen enerji DC şeklinde olduğundan sistemde bulunan AC yüklerin beslenmesi için İnvertörler kullanılmaktadır. Bu sistemler tasarlanırken yıllık yaz-kış dönemlerindeki güneşlenme süreleri, elektrik tüketim miktarı ve akü kapasitesi dikkate alınmalıdır. Fazla elektrik tüketimi olmayan yerlerde kullanımı daha iyidir. Enerji üretildiği yerde

kullanılacaktır. Böylece ekstra tesis masraflarından kurtulmuş olunacaktır. Bu sistemde güneş panelleri özellikleri, sayısı, bakım ve onarımı, İnvörtör özellikleri, aküler, kablolama ve bağlantılar verimliliğe doğrudan etki etmektedir [27].



Şekil 39. Şebekeden bağımsız FV sistem şeması [27].

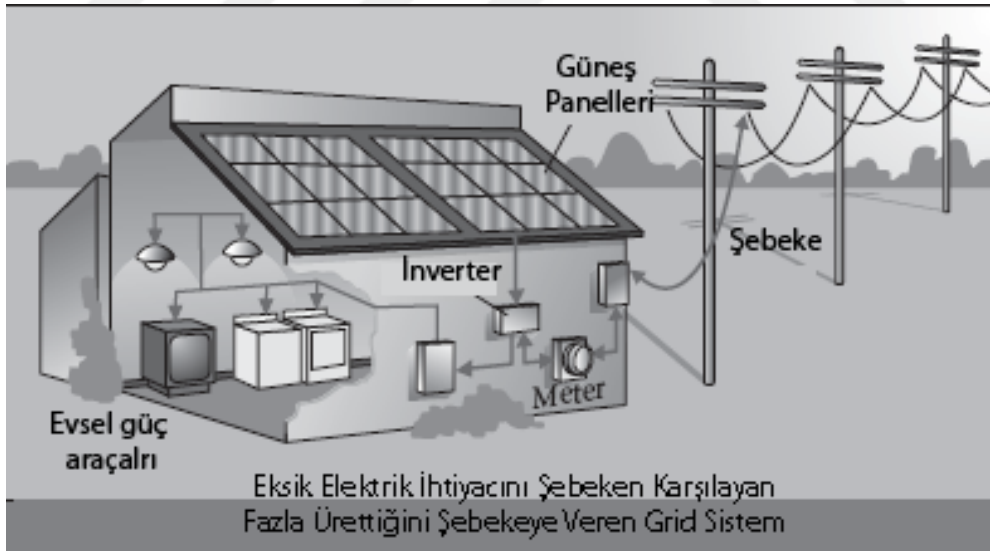
#### Şebekeden Bağımsız Sistem Avantajları

- Sistem, Yükün enerji ihtiyacını kendisi ürettiğinden, ekstra bir Enerji Nakil Hattı (ENH) şebeke yatırımına ihtiyaç bulunmamaktadır.
- Elektrik şebekesinin olmadığı bölgelerde yükün tamamını besleyecek kapasitede tesis edilebilmektedir.
- Elektrik üretimi olmadığı durumlarda yedek depolama ünitelerinden ya da yardımcı elektrik üretim sistemlerinden enerji sağlanabilmektedir.

• Bu sistemlerde yüksek güçte yatırımlardan kaçınılmak için tasarruflu cihazlar kullanılmaktadır [56].

### 1.12.2.5.3. Şebekeye bağlı sistemler (On-Grid Systems)

Bu sistemler dağıtım şebekelerinin bulunduğu yerlerde yapılır. Bu sebeple içeriğinde depolama sistemleri bulunmamaktadır. Bu durumda depolama sistemleri satın alma ve kullanım maliyetleri olmadığından kurulumu daha ucuz olmaktadır. Bu sistemler bir evin enerji beslemesinde uygulanabildiği gibi büyük tesislerde de uygulanabilmektedir. FV panellerden üretilen elektrik enerjisi yükte kullanılır. Yükte tüketilen enerjiden daha fazla üretilen elektrik şebekeye verilir. Panellerden üretilen enerjinin yetersiz olması durumunda ise şebekeden elektrik enerjisi kullanılır. Şebekeye verilen ya da şebekeden alınan enerji çift yönlü sayaçlar vasıtasıyla ölçülerek belli periyotlarla dağıtıcı firma ile tüketim hesaplaşması yapılır. Son dönemlerde ülkemizde yapılan mevzuat düzenlemeleriyle 1 MW a kadar lisansız sistemlerin kurulumu artmaya başlamıştır [27].



Şekil 40. Şebekeye bağlı (On-Grid) sistem [28].

### Sistem Avantajları

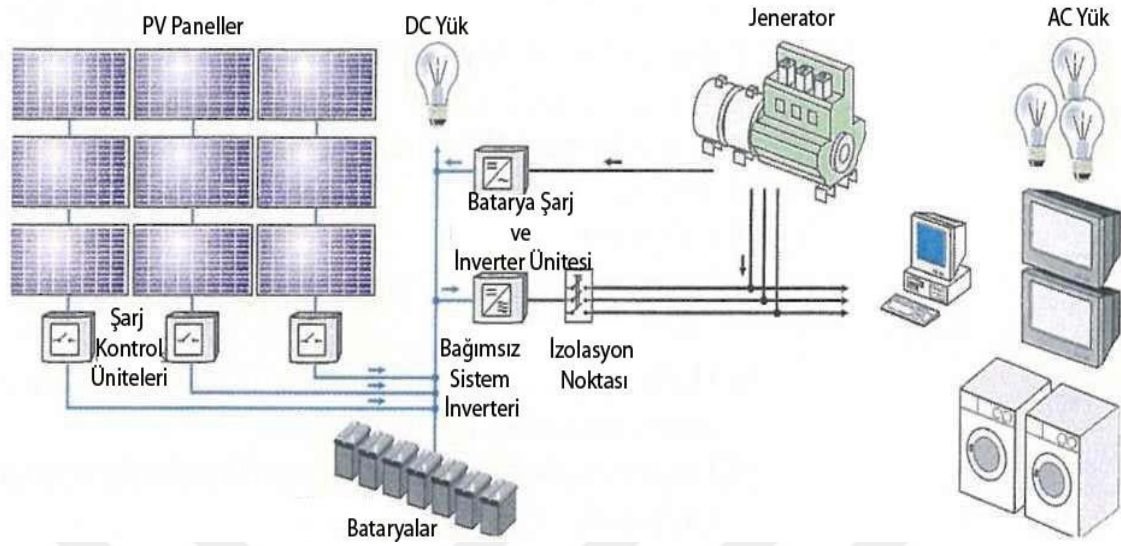
- Sistemde üretilen enerji depolanmayıp direk sisteme verildiğinden depolama ünitesi bulunmamaktadır. Böylece depolama maliyeti bulunmamaktadır.
- Üretilen ihtiyaç fazlası elektrik şebekeye satılarak ek gelir sağlanabilmektedir.
- Enerji genelde üretildiği yere yakın yerlerde kullanıldığından enerji kaybı düşüktür.
- FV sisteminde herhangi bir arıza oluşması durumu ya da üretilen enerjinin yetersiz kaldığı durumlarda şebekeden beslenebilmektedir. Bu şekilde yük enerjisiz kalmamaktadır.
- Bu sistemde eksik kalan enerji şebekeden karşılandığından dolayı FV sistemi yükün tamamını karşılayacak şekilde tasarlanmak zorunluluğu bulunmamaktadır istenilen her kapasitede tasarlanabilmektedir.
- Bu sistemler ihtiyaç duyulduğunda panel sayısı artırılabilir yani istenildiğinde kapasite artırımına açıktır [9].

### Sistemin Dezavantajları

- Şebekede bir sorun olduğunda ve FV sistem yeterli elektrik üretmediği durumlarda tüketici enerjisiz kalacaktır. Bu durumda başka bir enerji kaynağına ihtiyaç olabilecektir.
- FV sistemde üretilen enerji dağıtım şebekesine verileceğinden üretilen enerjinin şebeke enerjisiyle senkronize edilmesi gerekmektedir. Frekans, harmonikler, gerilim, güç faktörü gibi değerleri düzenli ve yüksek kalitede regule edilmesi için kaliteli elektronik cihazlara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu ekipmanlar maliyeti arttırmaktadır [9].

#### 1.12.2.5.4. Karma (Hibrit) Sistemler

FV sistemlerin diğer elektrik üretim metotlarıyla birlikte kullanıldığı sistemlere Hibrit Sistem denir. FV sistemlerde fazla üretilen elektrik depolama sistemlerinde saklanır. FV sistemin yetersiz kaldığı durumlarda ise, doğalgazlı ya da diğer yakıt türlerini kullanan üretim sistemleri (Jeneratörler) bulunur. Şebekeye bağlı sistemler de hibrit sistemlere örnek olarak verilebilmektedir [27]. Şekil 41. de örnek bir hibrit sistem yapısı görülmektedir.



Şekil 41. Jeneratör destekli geri beslemeli Hibrit sistem [28].

### Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

#### Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları

• Sonsuz denebilecek bir enerji kaynağı olan güneşe bağlı çalışması bu durumda hammadde/yakıt sorunu yoktur.

• Hammadde ihtiyacı olmadığından bedava enerji sağlar.

• Çevreye zarar veren herhangi bir atık üretimi yoktur. Temiz bir enerji kaynağıdır.

• Üretilen her kWh elektrik ile yaklaşık olarak 0,6 kg Co2 emisyonu azaltılmaktadır.

• Hareketli parçaları yoktur. Kurulumu ve işletmesi kolaydır.

• İstenilen çıkış gücüne göre tasarlanabilmekte ayrıca ihtiyaca göre güç artırımı yapılabilmektedir.

• Modüler bir yapıya sahiptir. Enerji üretimi yapan parçalar yeni teknoloji ile üretilen daha verimli parçalarla değiştirilebilmektedir.

• Enerji ihtiyacı olan yere kurulduğundan ENH yatırımları ile buna bağlı olarak ENH kayıpları azalmaktadır.

• Bakım ihtiyacı az ve maliyetleri düşüktür. Mekanik yıpranma bulunmamaktadır.

• Sessiz çalıştılarından gürültü kirliliğine sebep olmazlar.



- Uzun ömürlüdür uzun yıllar yüksek verimle çalışabilmektedir.
- Enerji ithalatını ve dışa bağımlılığını azaltır.
- Enerji üretiminde çeşitlilik katar. Enerji sürekliliğine ve elektrik arz güvenliğine katkı sağlar [28], [56].

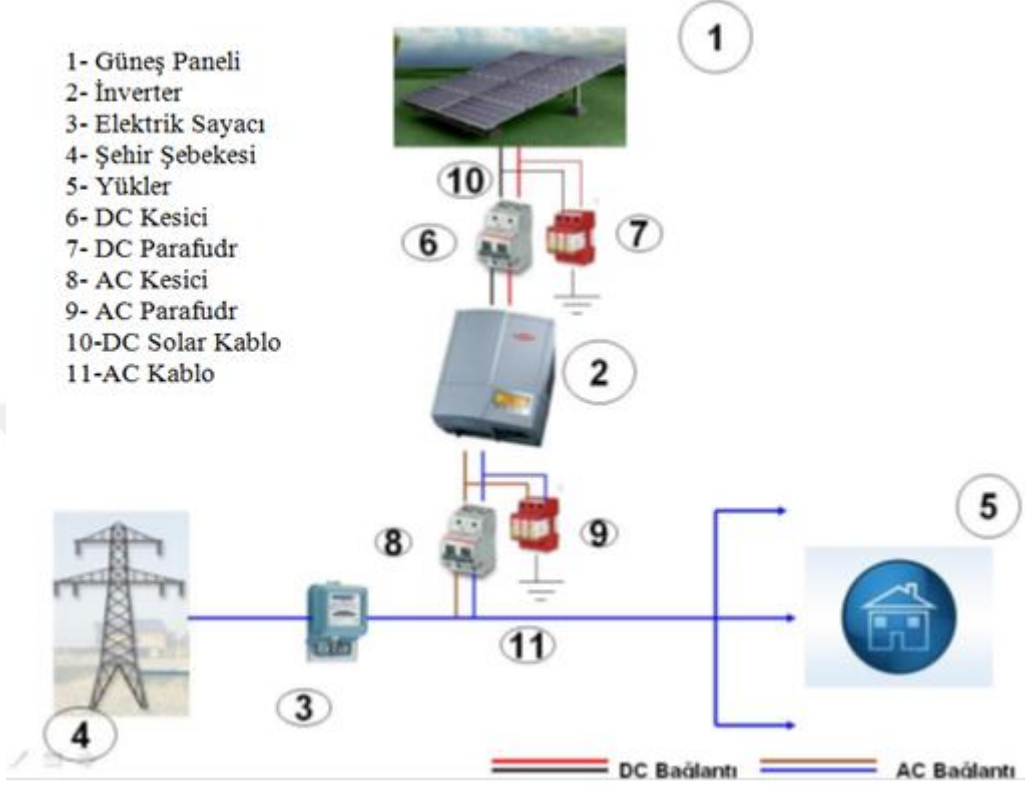
#### Fotovoltaik Sistemlerin Dezavantajları

- FV hücre ve akülerin üretim maliyetlerinin yüksek seyretmesinden dolayı FV sistem ilk yatırım maliyetleri yüksektir.
- Bağımsız sistemlerde kullanılan aküler yüksek maliyetlidir. Ayrıca bakımlarının yapılmaması ve optimum ortam şartları sağlanmadığı durumda çabuk verim düşüşü gerçekleşmektedir. Bu durumda ekstra maliyet oluşmaktadır.
- FV sistemlerde enerji üretimi güneşlenme ve hava şartlarına bağlıdır. Gece ya da kapalı havalarda enerji üretimi gerçekleşmez, böylece yük enerjisiz kalmaktadır. Bu sebeple gece enerji ihtiyacı olan yerlerde akü ya da ikinci bir enerji kaynağı bulunması zorunludur.
- Ticari amaçla piyasada kullanılan hücrelerin verimleri %20 nin altındadır. Bu sebeple daha büyük güçte sistem tasarlanabilmesi için daha büyük yüzeylere ihtiyaç olmaktadır.
- FV sistemlerde enerji üretimi DC şeklindedir. Günlük hayatta kullanılan cihazların çoğunluğu AC la çalışmaktadır. Bu durumda FV sistemlerde üretilen enerjinin AC enerjiye çevrilmesi için İnvertörlere ihtiyaç olmaktadır.
- Kullanılan İnvertörler ve akü ler FV sistemlerde hem maliyet artışı yapmakta hem de %20 lere yakın enerji kaybı oluşturmaktadır.
- FV sistemde kullanılan parçalardan bazıları insan ve çevreye zararlı madde içermektedir. Örneğin akülerde kurşun kullanılmaktadır [28], [56].

#### 1.12.3. FV Sistemlerde Kullanılan Diğer Ara Birimler

FV sistemlerde; Güneş panellerinden üretilen enerjinin yüke ya da sisteme aktarılması için bazı ara birimlere ihtiyaç olmaktadır. FV sistemlerde yukarıda bahsedilen FV elektrik üretim devre elemanlarının yanı sıra sistem güvenliğinin sağlanması, verilerin

izlenebilmesi ve uzaktan kumanda edilebilmesi gibi görevleri yerine getirmek için çeşitli donanımlar dahil edilmektedir. Bunlardan bazıları aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 42. FV sistem ve kullanılan ara birimler [57]

### İnvertör (Çevirici)

İnvertörler; FV panallerden doğru akım halinde üretilen olan enerjiyi ihtiyaç duyulan gerilim ve frekansta alternatif akıma dönüştüren güç elektronik devreleridir. Günlük hayatta kullanılan cihazlar 220V – 50 Hz AC enerjili sistemlere göre tasarlanmıştır ayrıca ENH ları çeşitli gerilimli 50 Hz AC enerjili sistemlerdir. Bu sebeple üretilen DC elektriğin AC elektriğe çevrilmesi için İnvertör (Çevirici) kullanılmaktadır. Bu cihazlar %80-95 arası verimle çalışmaktadır. Yük miktarına göre İnvertörler seçilir.

İnvertörler besleme özelliklerine göre akım ve gerilim beslemeli olmak üzere iki gruba ayrılır.

Gerilim beslemeli İvertörlerde giriş gerilimi sabittir. Yükün harmonik akımlara yüksek empedans gösterdiği durumlarda, yükün gerilim beslemeli İvertörler ile sürülmesi daha uygundur.

Akım Beslemeli İvertörlerde giriş akımı sabittir. Yükün harmonik akımlara düşük empedans gösteren özellikte olduğu durumlarda yükün akım beslemeli İvertörler ile sürülmesi daha uygundur.

Off-Grid sistemlerde üretilen enerji üretildiği yerde kullanıldığı için bağımsız İvertörler kullanılmaktadır. Ancak On-Grid sistemlerde panellerden üretilen enerjinin ihtiyaç fazlası olduğu durumlarda şebekeye verilebilmesi için üretilen enerjinin şebeke ile senkronize edilmesi gerekmektedir. Bunun için senkronize İvertörler kullanılmalıdır.

### FV Sistemlerde Sahada Kullanılan İvertör Çeşitleri

FV sistemlerde kullanılan İvertörler 2 çeşide ayrılabilir.

#### Dizi Tip İvertör

Bu tip İvertörler 1 kW-15 kW aralığında çalışır. İvertörler birbirine paralel bağlanarak sistemin gücü artırılabilir. Bu İvertörler genelde FV panellerin yakınına montaj edilirler.



Şekil 43. Dizi tipi evirici [57].

## Merkezi Tip İvertör

Bu İvertör çeşidi 1,25-100 kW aralığında tasarlanabilmektedir. Şalt sahasının kenarında bağımsız yerleştirilir. FV çıkış DC gerilimleri birleştirici birimler aracılığıyla İvertöre bağlanır.

## Yapılarına Göre İvertörler

Trafo ve trafosuz olmak üzere 2 gruba ayrılabilir.

### Trafo İvertörler

Yapılarında trafo olduğundan verimi nispeten düşüktür (%91-%95). Yapısı itibariyle elektromekanik etkilere karşı daha korunaklıdır. Trafo olmasından dolayı DC ile AC şebeke arasında izolasyon sağlayabilmektedir. Bu şekilde sistem güvenliğine katkı sağlamaktadır. Bu tip İvertörler uzun yıllardır FV sistemlerde kullanılmaktadır.

### Trafosuz İvertörler

Bu İvertörler içlerinde elektronik devre elemanları bulundurmaktadır. Bu sebeple verimleri trafolu tiplerine göre daha yüksektir (%95-%98). Yapıları daha küçük ve hafiftir. Trafo İvertörler gibi DC/AC devre arasında ekstra koruma sağlayamamaktadır [57].



Şekil 44. Merkezi tip evirici ve birleştirici ünite [57].

#### Şarj Kontroller (Kontrol Ünitesi) (Regulatör)

Şarj kontrol üniteleri akülerin sağlıklı ve uzun ömürlü çalışmasını sağlanmasında hayati öneme sahiptir. Şarj kontrollerin ana görevi akülerin şarj durumunun kontrol edilmesi, güvenli bir şekilde şarj edilmesinin sağlanması ve akünün tam deşarj edilmesinin engellenmesidir. FV sistemlerde akülerin tam şarj olduktan sonra daha fazla şarj edilmesinin (overcharge) engellenmesi gerekmektedir. Akünün daha fazla şarj edilmesi akünün ısınmasına, akü sıvısının eksilmesine böylece akülerin ömrünün kısılmasına sebep olmaktadır. Ayrıca; Derin deşarjın önlenmesi gerekmektedir. Akülerin aşırı şarj ya da deşarj edilmesinin engellenmesi için kullanılan şarj kontroller doluluk durumuna göre ya güneş panellerinden gelen akımı ya da yük tarafından çekilen akımı keserek aküleri korur.

Gece elektrik üretilmeyen durumlarda aküden çekilen akımın sınırlandırılması, yüke bağlı olarak en yüksek verimde çalıştırılması, akünün şarj durumuna göre yüke yeterli enerjinin verilmesi ile akü ve sistemin korunması gibi önemli görevleri vardır. Şarj kontrol ünitelerine MPPT üniteleri eklenerek daha etkinliği artırılmıştır. MPPT li şarj kontrol ünitelerinin kapasiteleri FV sistemin kısa devre akımının 1.25 ile çarpılması ile bulunabilmektedir [28].

Bulunan değer maksimum kontroller akımıdır [28].

Şarj Kontroller seçilirken maksimum akım dikkate alınmalı, ayrıca bataryaların voltajı ile uyumlu olmasına dikkat edilmelidir.

### Akü (Bataryalar)

Aküler, FV sistemlerde enerji üretiminin fazla olduğu zamanlarda elektriği kimyasal reaksiyonlarla depolayıp, enerji üretimi olmadığı zamanlarda yüke ihtiyaç duyduğu enerjiyi vermeye sağlayan ara birimdir. Aküler sabit DC akım özelliği gösterirler.

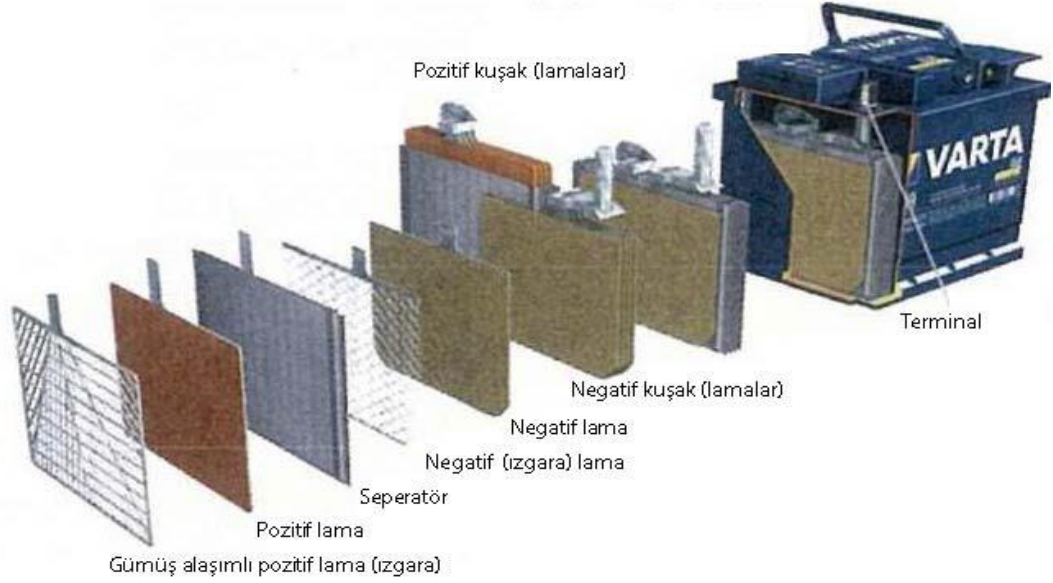
FV sistemlerde ucuz ve kullanım kolaylığından dolayı çoğunlukla kurşun-asit aküler kullanılmaktadır. Zamanla bu akülerin yerini Nikel Kadmiyum (Ni-Cd), nikel-metal hidrit, lityumiyon, lityum-polimer, nikel-çinko gibi daha verimli ve daha az zararlı aküler yerini alacaktır. Nikel-kadmiyum ve nikel-metal aküler günümüzde hibrit otomobillerde kullanılmaktadır.

Akülerden verimli olarak faydalanılabilmesi için %20 nin altında deşarj edilmemelidir. Aküler güneşten uzak, kuru ve serin ortamda olmalıdır. Tam dolu olan aküler boş akülere oranla çok daha düşük sıcaklıklarda donar. Örneğin Dolu akü -57°C de donar. Sıcaklık arttıkça akünün ömrü hızlı bir şekilde azalır.

FV sistemlerde gölgelenmeler ya da değişik sebeplerle yaşanabilecek güneş ışığında oluşacak aksamalarda, şarj edilmede yaşanabilecek kesintilere toleranslı olan lead acid deep cycle tip aküler kullanılmaktadır.

Akünün içerisinde sülfürik asit-su çözeltisi bulunur. Bu sıvı içerisinde her biri 2 V luk kurşundan oluşturulan (+) ve (-) hücreler (levhalar) bulunmaktadır. Bu levhaların seri bağlanmasıyla istenilen akü gerilimi sağlanmaktadır. Yeni akülerde asit yerine Jel kullanılmaktadır.

Aküler boyutlandırılırken Cx değeri 10-20-100 gibi belirlenir. Bu değer akünün (10 saat, 20 saat, 100 saat) boşalma süresini göstermektedir. Kapasitenin, deşarj süresine oranı akünün verebileceği akım değerini vermektedir ( $100 \text{ Amp-H}/20=5\text{A}$  verebilir.). Aküden 5 A den daha fazla akım çekilirse akü hiçbir şekilde 20 saat besleme yapamaz. Deşarj akımı arttıkça sistem verimi düşecektir. Örneğin aküden 25 A çekilirse sistemi ancak 2,5 saat besler. Akü boşalma süresinden daha hızlı deşarj olursa akü kapasitesinin altında çalışır. C/5-/10-/20 değeri akünün şarj edilme süresini(5-10-20 saat) göstermektedir [28].



Şekil 45. Sıvı elektrotlu tipik bir kurşun-asit ızgara tabakalı akünün yapısı (SLI)[28].

### 1.12.3.1. FV Sistemlerde Kullanılan Aküler

Piyasada sıklıkla kullanılan Akü tipleri aşağıda belirtilmiştir.

**OPzS Akü** : Tüplü sabit tesis aküleri (OPzS), az bakımlı standby akülerdir. Düşük enerji maliyeti vardır. Düşük antimonlu kurşun alaşımı sayesinde kendi kendine deşarj azaltılmaktadır. Böylece su kaybı azaltılmaktadır [56].

**Jel Akü** : Silikon jel teknolojisiyle üretilen bu aküler soğuk ortamlarda daha uzun ömür göstermektedir. Bu aküler tam kapalı tipte olup bakım gerektirmemektedir [56].

**Kuru Akü** : Tam kapalı tipte olup bakımsız akü tipleridir. Geniş ısı ortamlarında çalışabilmektedir. Çok döngülü çalışmasının yanı sıra yatay ve dikey pozisyonlarda çalıştırılabilmektedir [56].

### 1.12.3.2. Maximum Power Point Tracker (MPPT)

Güneş panelinin ürettiği güç, akım ve gerilim değerlerine bağlıdır. Bu değerler birbirine bağımlı denklemlerdir. Bu denklemlerin Newton-Raphson metoduyla çözülmesiyle FV sistemlerinin I-V grafiği elde edilmektedir. Grafik üzerinde öyle bir nokta vardır ki akım-gerilim çarpımı en büyüktür. Bu noktaya En Yüksek Güç Noktası (MPP) denir. FV sistem MPP noktasında sürekli maksimum güç üretecektir. MPP noktalarını değişken ortamlarda yakalayan cihazlara Maximum Power Point Tracker (MPPT) denir. DC-DC dönüştürücü olan bu cihaz içindeki dirençlerle akım-gerilim ayarlanarak FV sistem MPP noktasına getirilir. Yapılarında dirençler olduğundan bir miktar enerjiyi ısıya düşürmektedir böylece bir kayba neden olurlar. Verimleri %90-95 aralığındadır. Akü şarj sistemleri ve direk bağlı FV sistemlerinde daha çok kullanılır. Sistemin gerilim ve akımına göre seçilir. 3 çeşit MPPT cihazı mevcuttur [28].

İndirici DC-DC dönüştürücü

Yükseltici DC-DC dönüştürücü

İndirici-yükseltici (çift-yönlü)

FV sistemlerinde yüksek verim elde edilmesi isteniyorsa eviricinin mutlaka MPTT izleme sistemine sahip olması gerekmektedir. MPTT işlemi değişik yöntemlerle yapılabilmektedir. Uygulamada değiştir izle yöntemi en çok kullanılan yöntemdir ve Yaklaşık olarak %99 oranında MPTT noktasında verimli çalışabilmektedir. Seri ve paralel direncin ihmal edilmesi durumunda Bir FV panelin akım-gerilim ilişkisi [58].

$$V_{PV} = I_L - I_S \left( e^{\frac{qV_{PV}}{nkT}} - 1 \right) \quad (10)$$

Burada

$V_{FV}$  : Güneş panelinin gerilimi

$I_{FV}$  : Akımı

$I_L$  : Işık akımı

$I_S$  : Diyot doyma akımı



q	: Elektron yükü
k	: Boltzman sabiti
n	: Diyot faktörü
T	: Hücre sıcaklığıdır.

### **1.12.3.3. Elektrik Sayacı**

On-Grid şebekelerde FV sistemde üretilen elektriğin yetersiz olduğu durumlarda şebekeden alınan elektriğin veya FV sistemlerde üretilen ihtiyaç fazlası elektriğin şebekeye verilmesi durumlarında alınan veya verilen elektriğin miktarının ölçülmesi için çift yönlü sayaçlar kullanılmaktadır. Dönemler halinde sayaçlarda tespit edilen tüketim miktarları dağıtım şirketi ile tüketici arasındaki tüketim uzlaşmasına temel teşkil etmektedir.

### **1.12.3.4. AC / DC Kesici – AC / DC Parafudr**

FV sistemde DC kısmında gerektiğinde sistemin izole edilmesi ve enerjinin kesilmesi amacıyla DC kesiciler kullanılmaktadır. Buna benzer şekilde FV sistemin AC kısmında gerektiğinde sistemin izole edilmesi ve enerjinin kesilmesi amacıyla AC kesiciler kullanılmaktadır.

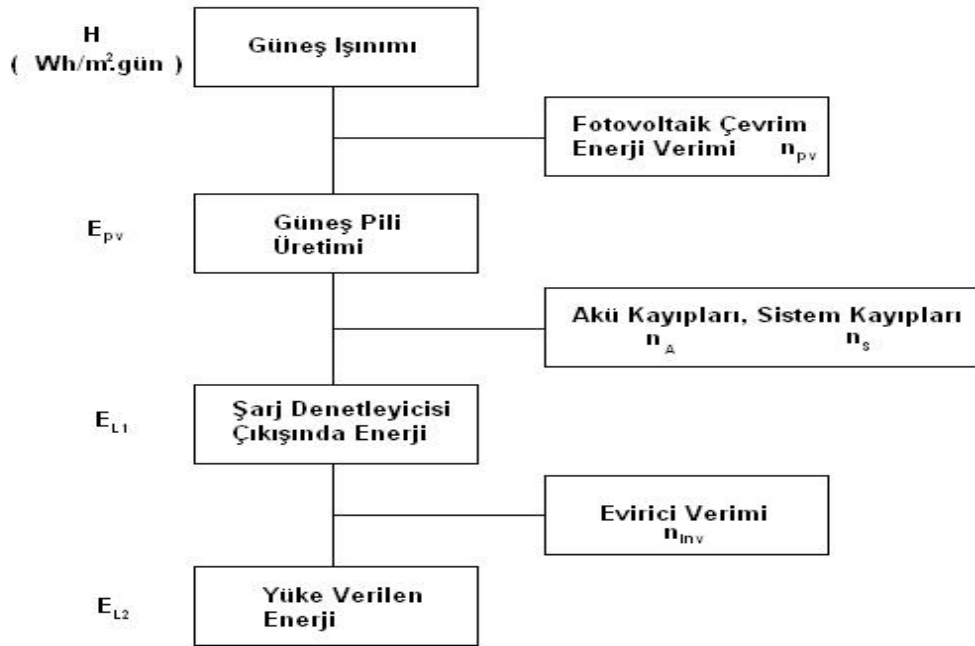
FV Sistemde oluşabilecek AC ve DC gerilim dalgalanmalarının sisteme zarar vermesinin önlenmesi amacıyla sisteme AC/DC kesicilere paralel olarak AC/DC parafudrlar eklenmektedir.

### **1.12.3.5. FV Diğer Bağlantı Parçaları**

FV sistemlerinde kullanılan başka bağlantı elemanları da mevcuttur. Bunlar AC-DC kablolar, sensörler, konnektörler, şalterler, panolar, metal konstrüksiyonlar, yıldırımdan koruma sistemleri, trafolar. vb ihtiyaca göre değeri belirlenen başka devre elemanlarıdır. Ayrıca sistem güvenliği amacıyla tüm devre elemanlarının topraklanması gerekmektedir.

#### 1.12.4. Fotovoltaik Sistem Verimini Etkileyen Faktörler

FV sistemlerde, iklim ve hava durumu, spektrum durumu, sıcaklık artışı, modüllerin montaj açısı, yansıma, gölgelenme, tozlanma, uyumsuzluk kayıpları, kablo kayıpları, İnvertör kayıpları, MPPT kayıpları gibi sistemde kullanılan elektronik cihazların türleri, verimlilikleri, birbirleriyle uyumluluk durumları gibi durumlar FV sistemin verimliliği üzerinde etkiye sahiptir. Bazı donanımların FV hücrelerde enerji üretimi üzerindeki etkisi tabloda görülebilmektedir.



Şekil 46. FV sistemlerde verimliliğe etki eden faktörler [26].

Güneş pilinin standart koşullarda ürettiği enerji: E<sub>FV</sub> Aşağıdaki denklem 11 den bulunabilmektedir [26].

$$E_{FV} = P_{FV} \cdot (H/1000) = \eta_{FV} \cdot A \cdot H \quad (11)$$

E<sub>FV</sub> : Güneş pilinin standart koşullarda ürettiği enerji

H (Wh/m<sup>2</sup> gün) : Işınım

P<sub>FV</sub> (W) : Güneş pili gücü

A (m<sup>2</sup>) : Güneş pili alanı

$\eta_{FV}$  : FV çevrim enerji verimi

Akü kayıpları, şarj denetleyici, kablo ve diğer bileşenlerde oluşan sistem kayıplarıyla birlikte şarj denetleyici çıkışındaki enerji [26].

$$E_{L1} = \eta_A * \eta_S * E_{FV} \quad (12)$$

$E_{L1}$  : Şarj denetleyici çıkışındaki enerji

$\eta_A$  : Akü verimi

$\eta_S$  : Bağlantı, kablo ve sistem bileşen kayıpları

$E_{FV}$  : Güneş pili üretimi

Evirici verimi ile yüke verilen enerji [26].

$$E_{L2} = \eta_{inv} * E_{L1} \quad (13)$$

$E_{L2}$  : Yüke verilen enerji

$\eta_{inv}$  : Evirici verimi

$E_{L1}$  : Şarj denetleyici çıkışındaki enerji

$$I_{FV} = \eta_p * n_m * I_m \quad (14)$$

$I_{FV}$  : Güneş pilinin ürettiği net akım

$n_M$  : Modül düzeltme katsayısı (derate factor). Modülün çalışma ortamında nominal çalışma değerlerinden kaymasını dikkate almak amacıyla yapılan bir indirgeme katsayısıdır.

$I_m$  : En yüksek güç noktasında güneş pili modülü akımıdır.

Gelen güneş ışınımı  $H$  Wh/m<sup>2</sup>gün iken güneşlenme saati denem tepe ışınım gelme süresi bu değerın 1000 W/m<sup>2</sup>'ye bölünmesiyle bulunacağından, güneş pilinin ürettiği enerji Ah olarak;

$$E_L = \eta_A * \eta_S * \eta_{inv} * E_{FV} \text{ Ah/gün} \quad (15)$$

- $E_L$  : Yüke verilen enerji  
 $\eta_A$  : Akü verimi  
 $\eta_S$  : Bağlantı, kablo ve sistem bileşen kayıpları  
 $\eta_{inv}$  : Evirici verimi  
 $E_{FV}$  :  $I_{FV} \cdot (H/1000)$  (Ah/gün)' dür.

Bu enerji ile yükün çalışabilme süresi t [26]

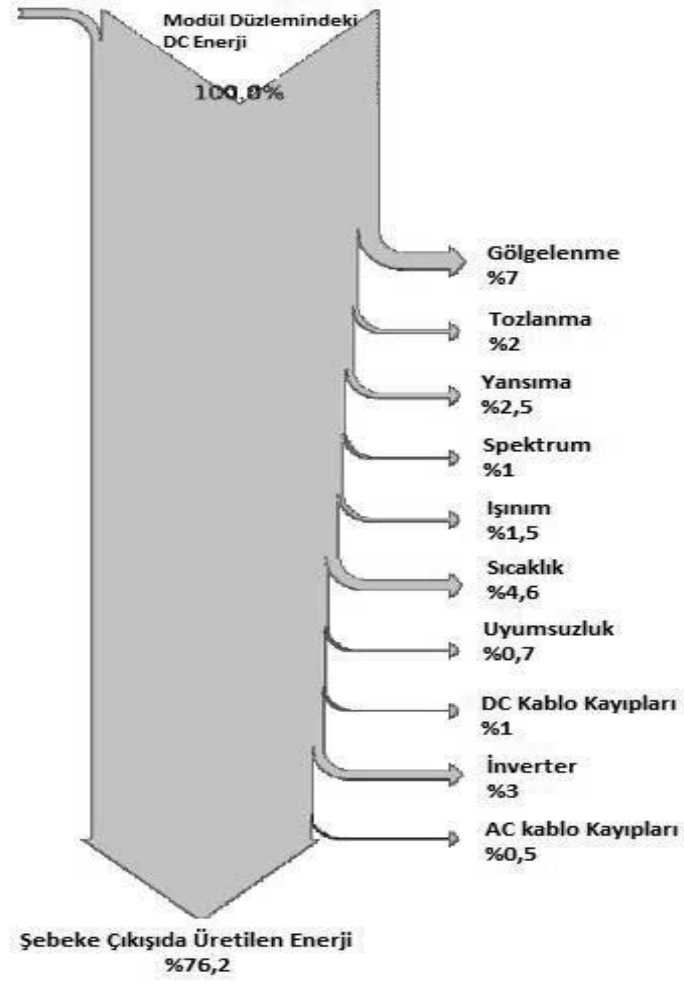
$$t = E_L / (P_L / V) \quad (16)$$

- $t$  : Yükün çalışabilme süresi  
 $E_L$  : Yüke verilen enerji  
 $P_L$  : Yük gücü  
 $V$  : Sistem gerilimi

#### Uyumsuzluk MisMatch Kayıpları

FV sistemlerde İnvörtörlerinin giriş gerilimlerinin üretilebilmesi için ihtiyaç duyulan yeterli sayıda FV hücreler seri bağlanır. Bu durumda gerilim değerleri toplanır ancak tüm hücreler aynı akımla çalışmaktadır. Tüm hücrelerin uyumlu çalışabilmesi için hepsinin karakteristik akım değerlerinin aynı olması gerekmektedir. Ancak üretim aşamasında üretim toleransları aynı olmadığından tüm hücrelerin akım değerleri %100 aynı olamamaktadır. Bu sebeple hücreler arasında uyumsuzluk kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıplar ilk durumda %2 dolaylarında olup ilerleyen zamanlarda sistem yaşlandıkça %12 lere kadar çıkabilmektedir. Işınım ve sıcaklık farklılıkları da Mismatch kayıplarına neden olur [62].

Şekil 47 de FV sistemlere kayıplara neden olan etkenler ve oranları görülebilmektedir.



Şekil 47. FV sistemde kayıplar

FV hücrelerin enerji üretimine etki eden çevresel ve donanımdan kaynaklı etkileri ifade eden De-oranı (derate factor) tanımlanmıştır. Aşağıdaki tablo 15 de AC enerjiye dönüşüm durumunda etki eden de oranları görülmektedir.

Tablo 15. NREL' göre AC yük kullanımı için tüm De-oranları [28]

Parçaların de-oranları	De-oranları	Kabul edilebilir değerler
PV modül de-oranı	0,95	0.80 – 1.05
Dönüştürücü ve çevirici	0,92	0.88 – 0.96
Uygunsuz bağlama	0,98	0.97 – 0.995
Diyot ve bağlantılar	0.995	0.99 – 0.997
DC kablo(bağlantı)	0,98	0.97 – 0.99
AC kablo(bağlantı)	0,99	0.98 – 0.993
Topraklanma	0,95	0.30 – 0.995
Sistem kullanılabilirliği	0,98	0.00 – 0.995
Gölgeleme	1,00	0.00 – 1.00
Güneş takip	1,00	0.95 – 1.00
Yaş	1,00	0.70 – 1.00
Ortalama DCden AC' ye de-oranı	0,77 genellikle geçerli	

Sistemde kullanılan tüm parçalardan kaynaklanan bir De oranı mevcuttur.

Sistemin De oranının bulunması; Sistemde kullanılan tüm parçaların de oranlarının çarpılarak bulunabilmektedir [63].

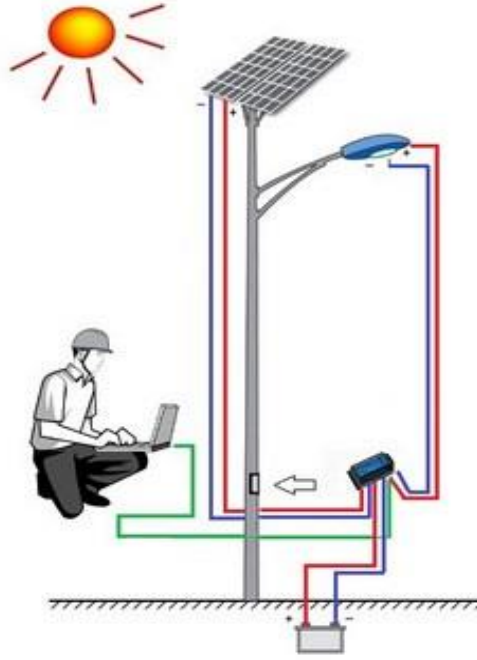
Düzeltilme faktörü=Bağlantı hataları x Kirlilik etkisi x Sistemin yaşı x gölgeleme etkisi x diğer etkenler [63].

#### 1.12.5. Aydınlatma Sistemlerinde FV Sistemlerin Kullanımı

Aydınlatma sistemlerinde FV sistemlerin 3 şekilde kullanılması mümkündür.

1. Yöntem; Aydınlatma sisteminde kullanılan tüm aydınlatma direklerinin tepesine, direkte bulunan armatürün gücüne göre FV panel konularak gündüz panellerden üretilen enerjinin akülerde depolanması ve gece saatlerinde de aküde depolanan enerjinin kullanılması mantığına dayalı şebekeden bağımsız (Off-Grid) olarak FV sistem

oluşturulmasıdır. Bu tür uygulamada FV sistem çok dağınık olacaktır. Bu durumda direk tepesinde bulunan panellerin, akülerin ve diğer donatıların bakım/onarımlarının yapılması maliyetli ve zor olacaktır. Şekil 48. de kullanılan çeşitli Off-Grid uygulamaları görülebilmektedir.



Resim 1



Resim 2



Resim 3



Resim 4

Şekil 48. Off-Grid aydınlatma sistemleri [64], [65], [66], [67].

2. Yöntem; 1. yöntemde olduğu gibi aydınlatma sisteminde kullanılan tüm aydınlatma direklerinin tepesine direkte bulunan armatürün gücüne göre FV panel konularak gündüz panellerden üretilen enerjinin şebekeye verilmesi gece saatlerinde ise şebekeden enerjinin kullanılması mantığına dayalı şebekeye bağlı (On-Grid) olarak FV sistem oluşturulmasıdır. Bu tür uygulamada da FV sistem çok dağınık olacaktır. Bu durumda gündüz saatlerinde FV panellerden üretilen enerjinin ölçülmesi için her direğe sayaç bağlanması gerekecek, dağınık olan bu şebekeden üretilen enerji miktarının ölçülmesi ve dağıtım şirketiyle enerji mahsuplaştırılması zor olacaktır. Ayrıca direklerin tepesinde bulunan panellerin ve diğer donatıların bakımlarının, temizliklerinin yapılması maliyetli ve zor olacaktır.



Şekil 49. On-Grid aydınlatma sistemi [68].

3. Yöntem; Mevcuttaki aydınlatma sisteminde tüketilen enerjinin tamamını karşılayabilecek bir FV santral kurularak, gündüz saatlerinde santralden enerji üretilip dağıtım şebekesine verilmesi gece saatlerinde ise şebekeden enerji alınıp aydınlatmanın yapılmasıdır. İhtiyaç olan enerjinin tamamının tek bir On-Grid FV tesis ile üretilmesi durumunda; üretilen/tüketilen enerjinin ölçülmesi kolay olacak, sistemde aküler olmadığından maliyet daha ekonomik olacak, panellerin ve diğer donatıların bakımlarının,



temizliklerinin yapılması daha kolay ve ekonomik olacaktır. Ancak bu yöntemde diğer yöntemlerde olmayan tesis için geniş bir arazi ihtiyacı, üretilen enerjinin şebekeye verilmesi için yeni enerji nakil hattının yapılması sorunu ortaya çıkacaktır.



Şekil 50. On-Grid Sistem Aydınlatma

### 1.12.1. Aydınlatma Sistemlerinde Kullanılan Enerji Verimliliği Uygulamaları

Aydınlatmada tüketilen elektrik enerjisinin azaltılmasının ne denli önemli olduğu daha önce bahsedilmişti. Bu bölümde Şehir aydınlatma sistemlerinde kullanılan enerji verimliliği uygulamalarından bazıları incelenmiştir.

Otoyollarda yol kenarlarında, bariyer aydınlatmalarında ve yol otoyollarında bulunan şeritlerin aydınlatmalarında led kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 51. de yollarda kullanılan LED uygulamaları görülmektedir.



Şekil 51. Yollarda şerit ve bariyerlerde led kullanımı [69], [68].

Trafik İşaretlerinde güneş panelleri kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 52. Trafik ışıklarında Güneş Paneli uygulamaları [70].

Elektrik Üreten yollar ve elektrikli araçlarda yenilenebilir enerji kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 53 de yollarda kullanılan FV uygulamalar görülmektedir.



Şekil 53. Yollarda yenilenebilir enerji uygulamaları [71], [72], [73].

### 1.13. Güneş Açıları ve Optimum Güneş Paneli Açısı

Uzayda Dünya ve Güneşin kendi eksenleri ve birbirilerine göre yaptıkları hareketlerinden dolayı yeryüzünde farklı noktalarda düşen ışınların geliş açıları ve şiddetlerinde değişimler meydana gelir. Işınların geliş açıları enlem ve mevsimlere göre de değişkenlik göstermektedir. Dünya uzay boşluğunda  $23,45^\circ$  eğimle dönmektedir. Bu eğim kış aylarında günlerin kısalmasına ve yaz aylarında da günlerin uzamasına etki etmektedir. Güneş açıları yeryüzünde güneşin hareketlerini izlememize olanak sağlamaktadır [74].

Bilindiği üzere güneş panelleri üzerine düşen ışın miktarı üretilen enerji miktarı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bu sebeple FV paneller kurulum yapılacağı yerlerde buldukları yerin coğrafik konumuna göre yatayda üzerlerine maksimum ışık düşecek şekilde konumlandırılmalıdır. Aylara - mevsimlere göre de ışınların geliş açısı değiştiğinden, FV paneller tüm aylarda maksimum elektrik üretecek optimum açı hesaplanarak yerleştirilmelidir.

Uygulamalarda Güneş panelleri sabit açılı ve güneş takip sistemli olarak tasarlanmaktadır. Güneş takip sistemleri gün doğumundan itibaren güneşi maksimum

verimlilikle takip ettiğinden enerji üretimi en üst derecede olmaktadır. Sabit açılı FV sistemlerde ise maksimum enerji üretimi sağlanabilmesi için tesisin kurulacağı yerin coğrafik özelliklerine göre ideal açısı hesaplanarak paneller montaj edilmelidir [75].

### 1.13.1. Eğik Düzleme Düşen Güneş Işınımı Miktarının Tespit Edilmesi

19. yy. dan itibaren çeşitli amaçlarla güneş ışınımı ölçülmeye başlamıştır. Herhangi bir yüzeye düşen ışınım miktarının bilinmesi üretilecek enerji miktarının hesaplanabilmesinde hayati rol oynamaktadır. Piranometre ( Tüm güneş ışınımı ve yaygın ışınım ölçümü), pirradiometre (Uzun ve kısa dalga boylu toplam ışınım ölçümü), pirgeometre (Yer ışınımı ölçümü) ve pirheliometre (Direk güneş ışınımı ölçümü) ışınım miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılan cihazlardandır.

#### Açıklık İndeksi ( $K_t$ )

Atmosferin güneş ışığını geçirme katsayısıdır. Bu değer atmosferin üst katmanına ulaşan güneş ışınının yeryüzüne ulaşan ışın oranını ifade etmektedir. Rasathanelerde ölçüm yapılan yüzeyler yatay yüzeylerdir. Eğimli yüzeylerde direk ve yayılı ışık hesaplamalara katılmalıdır.

#### Yaygın (Yayınık) Işınım Değeri

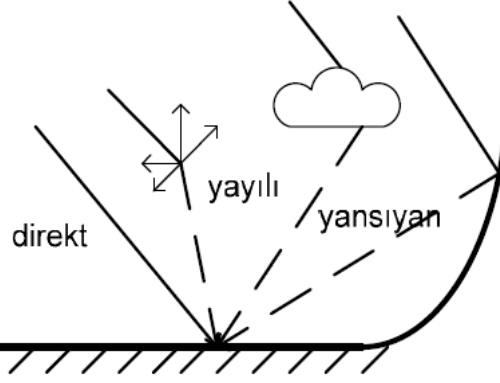
Yaygın ışınım atmosferdeki bulutlar ve tozlar tarafından saçılmaya uğratılmış ışınım [76]. Seçilen bölgenin ışınım değerinin açıklık indeksi  $K_t$  ile çarpılmasıyla bulunabilmektedir [60].

#### Direkt ışınım

Toplam ışınımdan yayınık ışınım değerinin çıkartılmasıyla Direkt ışınım bulunabilmektedir [60].

### Eğimli Yüzeğe Gelen Direkt Işınım (Beam Radiation)

Panele düşen ışınım 3 bileşene sahiptir. Bunlar; doğrudan, yaygın ve yansıyan ışınımlardır. Bu ışınlar Şekil 54 de görülmektedir [76].



Şekil 54. Toplam ışınımın bileşenleri[60]

Doğrudan ışınım (beam radiation), yatay yüzeye direkt gelen ışınım ile ışınım gelme açısının kosinüsünün çarpılmasıyla bulunabilmektedir. [60]

$$I_d = I_b / \cos(\theta) \quad [76] \quad (17)$$

- $I_d$  : Doğrudan ışınım  
 $I_b$  : Doğrudan ışınımın yüzeye dik gelen bileşeni  
 $\theta$  : Işın ile yüzeyin dikeyi arasındaki geliş açısıdır.

Eğik düzleme gelen yaygın ışınım, yatay yüzeye yaygın gelen ışınımın, ışınım gelme açısının fonksiyonu şeklindedir [60].

$$I_{ey} = I_y \left[ \frac{1 + \cos(s)}{2} \right] \quad (18)$$

- $I_{ey}$  : Eğik yüzeye gelen yaygın ışınım (W/m<sup>2</sup>)  
 $I_y$  : Aylık Ortalama yaygın ışınım  
 $S$  : Eğim açısı

Eğik düzleme gelen yansıyan ışınım, yatay yüzeye gelen toplam ışınım, eğimli yüzey ışınım açısı ve yüzey yansıma katsayısına bağlıdır [60].

$$I_{ya} = I_t \times \rho \left[ \frac{1 - \cos(s)}{2} \right] \quad (19)$$

- $I_{ya}$  : Yansıyan ışınım  
 $I_t$  : Toplam ışınım  
 $\rho$  : Yerin yansıma katsayısı  
 $S$  : Eğim açısı

Güneş panellerinin eğik yüzeyine gelen toplam ışınım;

$$I_{et} = R_d(I_t - I_y) + (I_y) \left[ \frac{1 + \cos(s)}{2} \right] \quad (20)$$

- $I_{et}$  : Eğik yüzeye gelen toplam ışınım (W/m<sup>2</sup>)  
 $I_t$  : Toplam ışınım (W/m<sup>2</sup>)  
 $I_y$  : Aylık ortalama yaygın ışınım (W/m<sup>2</sup>)  
 $s$  : Eğim açısı  
 $R_d$  : Doğrudan güneş ışınım faktörü

$$R_d = \frac{I_{ed}}{I_d} = \frac{\cos(\varphi - s)\cos\delta\cos\omega + \sin\delta(\varphi - s)}{\cos\varphi\cos\delta\cos\omega + \sin\delta\sin\varphi} \quad (21)$$

- $R_d$  : Doğrudan güneş ışınım faktörü  
 $\delta$  : Denklinasyon açısı  
 $\varphi$  : Enlem açısı,  
 $\omega$  : Saat açısını,  
 $I_{ed}$  : Eğik yüzeye gelen doğrudan ışınım (W/m<sup>2</sup>)  
 $I_d$  : Doğrudan ışınımı  
 $s$  : Eğim açısı  
 $\rho$  : Yerin yansıtma katsayısıdır.

Denklemleri ile hesaplanır [76]

$\rho$  Bazı yansıtma katsayıları aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 16. Ortalama yansıtma katsayıları [60].

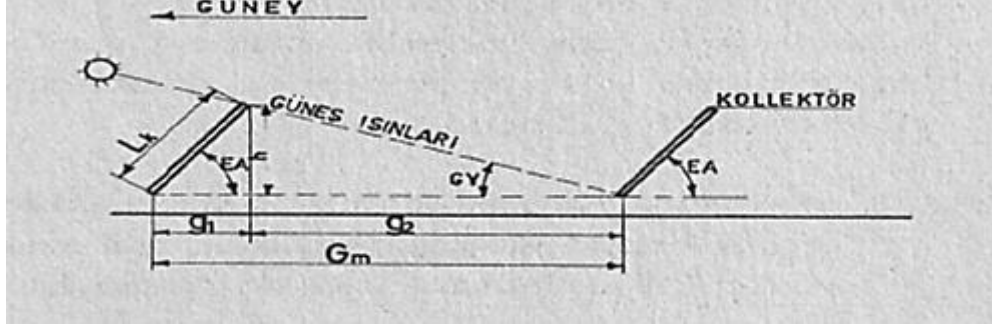
Yüzey	Ortalama Yansıtma Katsayısı
Kar	0,75
Su Yüzeyi	0,07
Toprak	0,14
Patika Yollar	0,04
Çam Ormanları (Kış)	0,07
Sonbahardaki Ormanlar	0,26
Beton Kaplı Alan	0,22
Kuru Çim	0,2
Yeşil Çim	0,26

### 1.13.2. Güneş Panelleri Arasındaki Mesafenin Hesaplanması

FV panellerden üretilen enerji miktarı panel üzerine düşen ışın miktarıyla orantılı olarak artmaktadır. Bilindiği gibi paneller üzerinde oluşan kısmi gölgelenmeler panellerin gerilim ve güçlerinde yüksek oranda düşüğe sebep olmaktadır. Bu sebeple FV sistemlerinde panellerin yerleştirilmesinde panellerin birbirini gölgelemelerin önüne geçilmesi gerekmektedir. Bunu yaparken arazi verimli kullanılmalı, minimum alana maksimum panel yerleştirilebilmesi için hesaplamalar dikkatli yapılmalıdır. Arazide paneller yan yana ve arka arkaya dizilmektedir. Güneş radyasyonunun maksimum olabilmesi için azimut açısının sıfır olması sağlanmalıdır. Uygulamalarda paneller güneşe yönlendirilmiş sabit eğimli ve hareketsiz, tek eksenli güneş takipli ve iki eksenli güneş takipli olarak montaj edilmektedir [58].

Optimum sabit eğimle montaj edilen FV paneller yan yana 2 eksenle güneş takipli sistemlerde paneller arasındaki mesafe en az 1 panel genişliği kadar, tek eksenle güneş takip sistemlerinde paneller arasındaki mesafe panel genişliğinin en az 2 kadar olması gölgelenmeyi önlemede etkili olacaktır. Arka arkaya dizilmiş olan paneller arasındaki mesafeler ise; Tek eksenle güneş takipli sistemlerde paneller arasındaki mesafe en az 1

panel uzunluğu kadar, 2 eksende güneş takipli sistemlerde paneller arasındaki mesafe en az 2 panel uzunluğu kadar olması gerekmektedir. [58]



Şekil 55. Dizi halinde yerleştirilmiş güneş panelleri [77]

Sıralı halde yerleştirilmiş paneller arasındaki mesafe aşağıda belirtildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$G_m = g_1 + g_2 \quad (22)$$

$G_m$  : Sıralı halde olan paneller arasında bırakılması gereken mesafe

$g_1$  : Öndeki panelin yatay mesafesi panelin yatayla yaptığı açı

$g_2$  : Sonraki güneş panelinin en yakın ucu arasındaki mesafe

EA ve güneş panelinin boyu  $L_k$  olarak alınırsa

$$g_1 = L_k \times \cos(EA) \quad (23)$$

$g_1$  : Öndeki panelin yatay mesafesi panelin yatayla yaptığı açı

$L_k$  : Kollektör eğim doğrultusu ölçüsü

EA : Kollektörlerin yatay düzlemle yaptıkları açı (eğim açısı)

$$g_2 = h / \tan(GY)$$



$$g_2 = L_k \times \sin(EA) / \tan(GY) \quad (24)$$

- $g_2$  : Sonraki güneş panelinin en yakın ucu arasındaki mesafe  
 $L_k$  : Kollektör eğim doğrultusu ölçüsü  
 $h$  : Açısı ayarlanmış olan panelin yüksekliği  
 $GY$  : Panellerin güneşi direk görmeye başladıkları güneş yükseklik açısı  
 $EA$  : Kollektörlerin yatay düzlemle yaptıkları açı (eğim açısı)

$$h = L_k \times \sin(EA) \quad (25)$$

$$GM: L_k \times \cos(EA) + L_k \times \frac{\sin(EA)}{\tan(GY)} \quad (26)$$

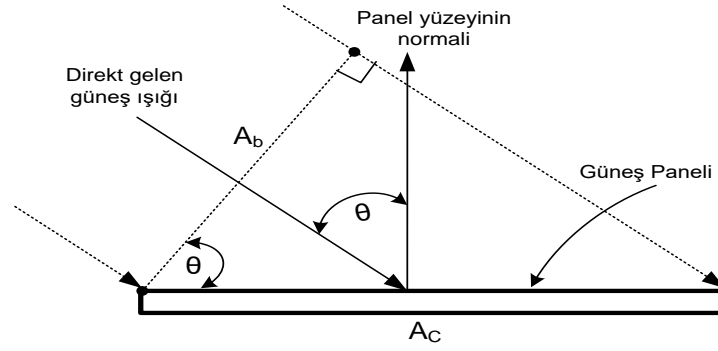
$$GM: L_k [ \sin(EA) / \tan(GY) + \cos(EA) ] \quad (27)$$

Formülleri ile hesaplanabilir [77].

### 1.13.3. İdeal Güneş Paneli Eğimi

Güneş paneli üzerine düşen ışıma miktarı panellerden enerji üretimine doğrudan etki etmektedir. Mevsimlere göre ve neredeyse yılın her günü güneş ışığı geliş açısı değişmektedir. Bu sebeple güneşlenme miktarı da değişmektedir. FV panelin gün içerisinde maksimum ışık alabilmesi için panelin montaj edileceği yer için hesaplanmış olan optimum eğim ve azimut açısına göre yerleştirilmelidir.

FV panelin üzerine direk düşen ışıma miktarı güneş ışınlarının geliş açısının panel düzlemi normali arasındaki açının kosinüsü ile orantılıdır [75].



Şekil 56. Bir Güneş Paneli Yüzeyindeki Güneşlenme Miktarına Güneş Açısının Etkisi (Kosinüs kanunu) [75]

Panel üzerindeki ışıma miktarı

$$I_b \cdot A_b = I_b \cdot A_c \cdot \cos\theta$$

Burada

$I_b$  : Direkt gelen ışığın yoğunluğudur.

$A_b$  : Gelen ışın ile panelin diğer kenarından dik kenar uzunluğu

$A_c$  : Panel uzunluğu

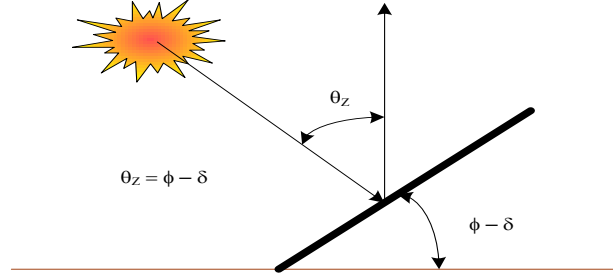
$\theta$  : Işın açısı

FV panellerden maksimum enerji elde edilmesi için güneş ışınlarının panel üzerine dik olarak düşmesi sağlanmalıdır. Güneş öğlesi saatinde (yerel saat 12.00) güneş paneli yatayla  $\theta_z$  açılı eğimle montaj edilmesi durumunda; güneş ışını panel üzerine  $90^\circ$  geliş açısı ile düşmektedir.

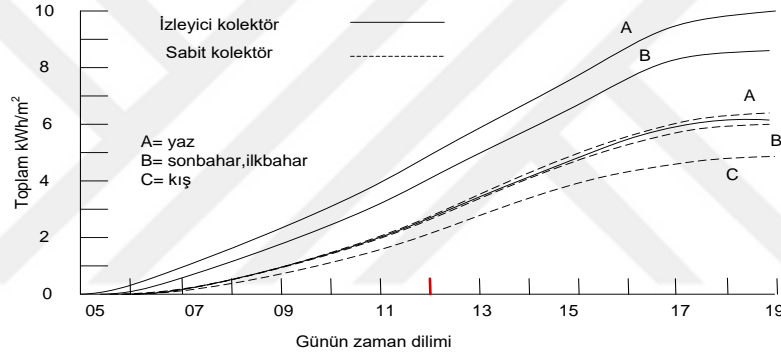
Sabit açılı FV sistemlerde yılın herhangi bir gününde maksimum enerji elde edilebilmesi için panellerin yatay düzlemle  $\theta - \delta$  açısıyla montaj edilmesi gerekmektedir.

Mevsimsel olarak maksimum enerji üretimi için ortalama bir deklinasyon açısı ( $\delta$ ) seçilmelidir. Yaz aylarında deklinasyon açısı 0 dan  $23,45^\circ$  ye kış mevsiminde ise  $23,45^\circ$  den 0 dereceye doğru değişir. Bu değişim bir sinusoidal dalga şeklindedir. Bu dalgada  $(2A/\pi)$  ortalama değer alınması durumunda yaz dönemi için ortalama deklinasyon açısı  $14,93^\circ$  kış ayları için ise  $-14,93^\circ$  çıkmaktadır. Buradan anlaşıldığı üzere yaz aylarında en iyi enerji üretimi için panellerin  $(\theta - 15)^\circ$  açısıyla; kış aylarında en iyi enerji üretimi için panellerin  $(\theta + 15)^\circ$  açısıyla montaj edilmesi gerekmektedir [75]. FV sistemden yıllık

optimum elektrik üretilebilmesi için ise panellerin enlem açısıyla montaj edilmesi gerekmektedir [77].



Şekil 57. Sabit Bir Güneş Panelinin Optimum Montaj Açısı [75]



Şekil 58. Farklı sezonlarda sabit ve izleyici kolektörlerdeki toplam günlük ışınım miktarı [60].

Tablo 17 de çeşitli iller için aylara göre hesaplanmış olan optimum eğim açıları görülmektedir.

Tablo 17. Farklı bölgedeki illere göre optimum eğim açısının aylara göre değerleri [75].

İl	Ocak	Şubat	Mart	Nis.	May	Hazr.	Tem.	Ağus.	Eyl	Ekm	Kasm	Aral.
Ankara	60,4	52,88	41,9	30,06	20,75	16,48	18,5	26,26	37,6	49,4	58,61	62,7
Elazığ	59,5	52	41,1	29,18	19,87	15,6	17,6	25,38	36,7	48,5	57,73	61,8
İstanbul	61,9	54,33	43,4	31,51	22,2	17,93	19,9	27,71	39	50,9	60,06	64,1
İzmir	59,1	51,57	40,6	28,75	19,44	15,17	17,1	24,95	36,3	48,1	57,3	61,3
Mersin	57,3	49,8	38,9	26,98	17,67	13,4	15,4	23,18	34,5	46,3	55,53	59,6
Sinop	62,9	55,33	44,4	32,51	23,2	18,93	20,9	28,71	40	51,9	61,06	65,1
Ş.Urfa	57,9	50,4	39,5	27,58	18,27	14	16	23,78	35,1	46,9	56,13	60,2

Tablo 18 de çeşitli iller için mevsimlere göre optimum FV panel eğim açıları görülmektedir.

Tablo 18. Farklı Bölgedeki İllere Göre Optimum Eğim Açısının Mevsimlere Göre Değerleri[75]

Sabit Güneş Paneli için Optimum Eğim Açısı (derece)							
İl	Enlem (N)	Boylam (E)	Mevsimlik Değerler				Yıllık Değer
			İlk Bahar	Yaz	Sonbahar	Kış	
Ankara	39,56	32,52	30,92	20,4	48,52	58,6	35,6
Elazığ	38,68	39,14	30,04	19,5	47,64	57,8	34,82
İstanbul	41,01	28,58	32,37	21,9	49,97	60,1	36,91
İzmir	38,25	27,09	29,61	19,1	47,21	57,3	34,43
Mersin	36,48	34,38	27,84	17,3	45,44	55,6	32,83
Sinop	42,01	35,09	33,37	22,9	50,97	61,1	37,81
Ş.Urfa	37,08	38,46	28,44	17,9	46,04	56,2	33,37

### 1.14. Güneş Panelinden Üretilen Enerji

FV panellerde enerji üretilmesi için panel üzerine düşen güneş ışımaya miktarının bilinmesi gerekmektedir. Hesaplama yapılabilmesi için;

- Hesaplama yapılacak olan yerin (kcal/m<sup>2</sup>gün) cinsinden yeryüzü radyasyon değeri ve atmosfer öncesindeki radyasyon değerleri tablolardan bulunmalıdır.

- Bulanıklık faktörü  $\frac{\text{yeryüzü radyasyon}}{\text{atmosfer öncesindeki radyasyon}}$  (28)

formülüyle bulunmalıdır.

- Yeryüzüne düşen toplam radyasyon değerinden direk ve difüz radyasyon miktarı bulunmalıdır.

Difüz radyasyon= (1 – 1,097 x Bulanıklık Faktörü) x Yeryüzü radyasyon değeri

Direk Radyasyon = Yeryüzü radyasyon değeri- Difüz radyasyon

- Enlem derecesine ve eğik düzlemin açılara bağımlı olarak hazırlanan tablolardan tespit edilen açı faktörleri vasıtasıyla yeryüzü radyasyon değerinden açılı yüzeylere gelen direkt, difüz ve yansıtılmış radyasyon değerleri bulunur.

- Bunun için direkt, difüz ve yansıtılmış ışınlar açı faktörleri ile çarpılırlar [77].

$$TRA = (DİR \times DİRAF) + (DİF \times DİFAF) + (YYRA \times YAO \times YAF) \text{ kcal/m}^2\text{gün} \quad (29)$$

TRA : Kollektör üzerine gelen toplam radyasyon miktarı (kcal/m<sup>2</sup>gün)

DİR : Direkt radyasyon miktarı (kcal/m<sup>2</sup>gün)

DİRAF : Direkt radyasyon açı faktörü

DİF : Difüz radyasyon miktarı (kcal/m<sup>2</sup>gün)

DİFAF : Difüz radyasyon açı faktörü

YYRA : Yeryüzü radyasyonu (kcal/m<sup>2</sup>gün) (çizelgeden)

YAO : Yansıtma oranı (çizelgeden)

YAF : Yansıtılmış açı faktörü (çizelgeden)

Bir FV panelde üretilecek olan elektrik enerjisi üzerine düşen güneş ışığı, panel alanı, panel verimi ve İvertör verimiyle doğrudan ilişkilidir. Bu ilişki aşağıdaki formülden görülebilmektedir [76].

$$E_{FV} = N_P \cdot N_D \cdot A \cdot I_{et} \quad (30)$$

Burada

$E_{FV}$  : FV panelden üretilecek olan elektrik enerjisi

$N_P$  : Güneş panelinin verimini,

$N_D$  : İvertör verimini,

$A$  : Toplam güneş paneli alanını

$I_{et}$  : Panel üzerine düşen toplam güneş ışığı [76]

#### PVsyst Simulasyon Programı

PVsyst programı FV sistemlerde tasarım ve sistem analizleri yapılması amacıyla kullanılan bir programdır. Koordinatlarıyla belirtilen herhangi bir yerin; güneşin gün içerisinde doğuşu ve batışına kadarki hareketleri ve gölgelenme durumlarının da izlenebildiği On-Grid ve Off-Grid FV sistemler program yardımıyla tasarlanabilmektedir. 3 boyutlu sistem analizleri yapılabildiği gibi programın arşivlerinde kayıtlı panel ve diğer donanımların seçilmesiyle FV sistemde günlük aylık ve yıllık periyotlarda enerji üretim miktarları izlenebilmektedir.

#### Hioki 3360-21 Power Logger Cihazı

Hioki Power Logger cihazı; Elektrik/elektronik devrelerinde, sistemin akım, gerilim, güç, harmonik spektrumları vb. istenilen tüm elektriksel büyüklüklerin ölçülebilmesi ve sonuçların anlık değer ve grafiksel olarak kaydedilmesini sağlamaktadır. Seri haberleşme portu sayesinde kaydedilen verileri bilgisayara aktarılabilir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Aydınlatma sistemlerinde tüketilen enerji miktarı, sistemde daha verimli aydınlatma elemanları ve akıllı sistemler kullanılarak azaltılabilmektedir. Ayrıca tüketilen enerjinin bir kısmının veya tamamının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasıyla aydınlatma için harcanan enerji maliyetlerinin sıfırlanması mümkündür.

Bu bölümde; Şanlıurfa bölgesine ait mevcut durum verilir ve akabinde sistem üzerinde bazı fizibilite çalışmaları değerlendirilmiştir.

### 2.1. Şanlıurfa İlinin Mevcut Durumu

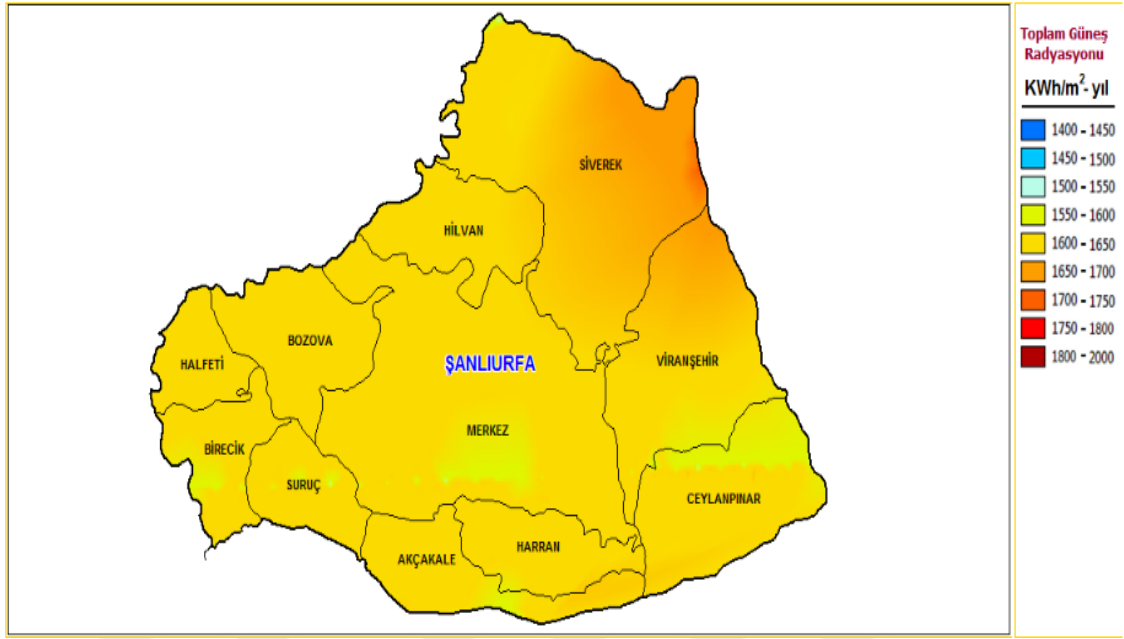
#### Güneş Enerjisi Potansiyeli

Şanlıurfa, Güneydoğu Anadolu Bölgesi Orta Fırat bölümünde yer almaktadır. 18.765 km<sup>2</sup> lik yüz ölçümüne sahip olup bu haliyle Türkiye de yüz ölçümü olarak en büyük 7. İldir. 2017 yılı verilerine göre Nüfus yoğunluğu 102/km<sup>2</sup> dir. Büyük çoğunluğu düzlüklerinden oluşmakta olup ilin %60,4 lük bölümü platolardan oluşmaktadır [78], [79], [80].

Şanlıurfa yaklaşık 3.000 saatlik güneşlenme süresi ve 1.600 kWh/m<sup>2</sup>-yıl yıllık güneşlenme radyasyon değerine sahiptir.

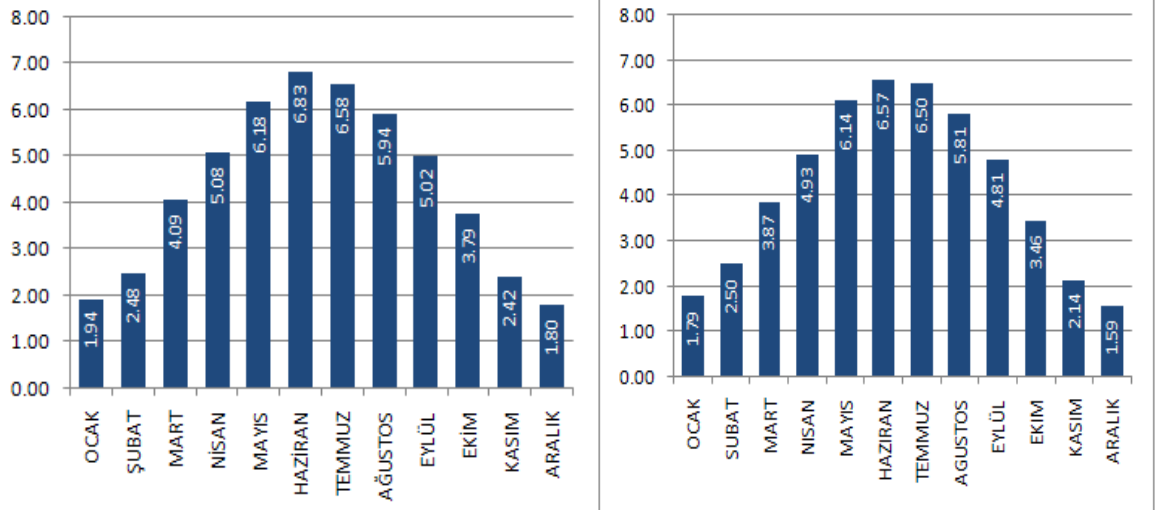
Şanlıurfa'nın güneş enerji potansiyel haritası aşağıdaki şekilde görülmektedir.

Şekil 59. da Şanlıurfa iline ait güneş enerji potansiyeli görülmektedir.



Şekil 59. Şanlıurfa güneş enerjisi potansiyel atlası [81].

Şekil 60. da Şanlıurfa ve Türkiye'nin aylık ortalama radyasyon değerleri görülebilmektedir.



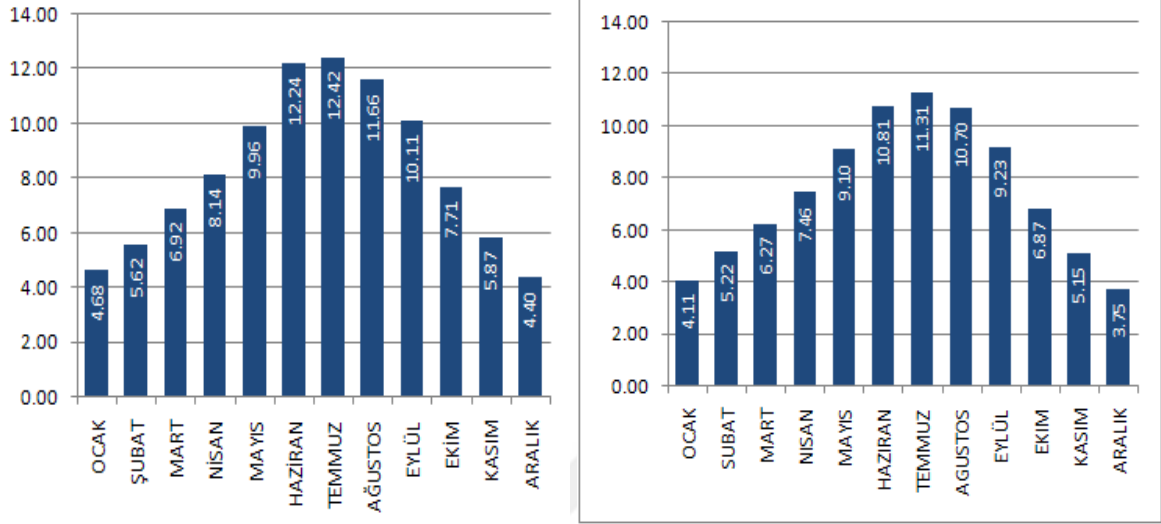
a) Şanlıurfa kWh/m<sup>2</sup>-gün ışıma değerleri.

b) Türkiye kWh/m<sup>2</sup>-gün ışıma değerleri.

Şekil 60. Aylık Ortalama kWh/m<sup>2</sup>-gün ışıma değerleri [82], [90].



Şekil 61 de de Şanlıurfa ve Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süreleri görülmektedir.

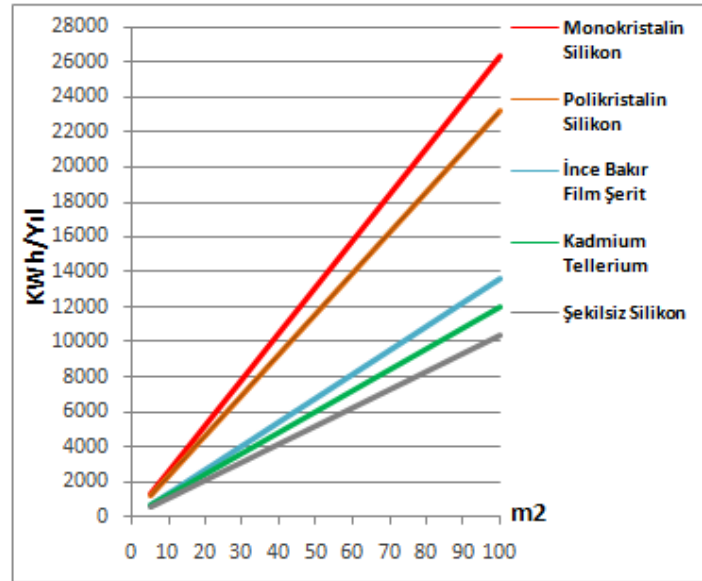


a) Şanlıurfa güneşlenme Süreleri

b) Türkiye güneşlenme Süreleri

Şekil 61. Ortalama Güneşlenme Süreleri (Saat) [83], [90].

Şekil 62. de Şanlıurfa'da farklı FV panel türleri ile yıllık yaklaşık olarak üretilebilecek enerji miktarları görülebilmektedir.



Şekil 62. Şanlıurfa FV tipi-alan-üretilebilecek enerji (KWh-Yıl) [84]

## 2.2. Aydınlatma Sistemlerinde Verimliliğin Arttırılması Çalışmaları

Bu bölümde; aydınlatma sisteminin mevcut durumu üzerinde 5 farklı metot uygulanarak sonuçlar analiz edilmiştir.

Analiz 1 de, Mevcuttaki YBSB armatürlü aydınlatma sisteminin gücünün tespit edilmesi ve Enerji verimliliğinin arttırıcı LED sistemlerinin kullanımının fizibilite hesabı yapılmıştır.

Analiz 2 de, LED yenilenebilir enerji teknolojilerinin akıllı aydınlatma sistemleriyle beraber kullanılmasının fizibilite çalışmaları yapılmıştır.

Analiz 3 de, Mevcuttaki YBSB armatürlü aydınlatma sisteminin gücünün tamamının FV sistemle karşılanmasının fizibilite hesabı yapılmıştır.

Analiz 4 de, LED e dönüştürülen aydınlatma sisteminin gücünün tamamının FV sistemle karşılanması fizibilite hesabı yapılmıştır.

Analiz 5 de, LED+Akıllı Aydınlatma Sistemi gücünün tamamının FV sistemle karşılanması fizibilite hesabı yapılmıştır.

Analiz 1: Mevcut Sistemin Durumunun ve Sistemde LED Dönüşümü Yapılmasının İncelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde; Şanlıurfa ilinde merkez ve bağlı ilçelerinde mevcuttaki çevre aydınlatma direklerinde bulunan YBSB armatürlerin sayıları ve güçleri tespit edildi. Daha sonra mevcuttaki armatürlerin ışık akıları dikkate alınarak yaklaşık aydınlık seviyesini sağlayacak LED armatür güç değerleri seçilerek, güç ve maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Dedaş Şanlıurfa İl Müdürlüğünden alınan verilere göre Şanlıurfa merkez ve ilçelerinde; sokaklarında, ana, ara ve çevre yolarında yaklaşık olarak 38.500 adet armatür bulunmaktadır. Mevcutta bulunan armatürlerin yaklaşık sayıları ve 1 saatlik tüketim miktarları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. Tabloda bulunan ışık akısı, etkinlik değeri ve ömür verileri için çoğunlukla kullanılan aydınlatma markasının katalog değerleri dikkate alınmıştır. Tablo 19. da YBSB armatürlü sokak aydınlatma sisteminin mevcut durumu görülmektedir.

Tablo 19. Şanlıurfa ili YBSB sokak aydınlatma bilgileri YBSBL [85].

Armatür Gücü	Lamba (adet)	Işık Akısı (Lm)	Işık Etkinliği (Lm/W)	Ömür (Saat)	Saatlik Tüketilen Enerji (kWh)
100 W	10.500	9.500	95	10.000-15.000	1.050 kWh
150 W	24.500	14.000	93	10.000-15.000	3.675 kWh
250 W	3.500	25.000	100	10.000-15.000	875 kWh
SAATLİK TÜKETİLEN TOPLAM ENERJİ(Psaatlik)					5.600 kWh
YILLIK TÜKETİLEN TOPLAM ENERJİ(10x365xPsaatlik)					20.440.000 kWh

\* Etkinlik faktörü balast kaybı dikkate alınarak hesaplanmıştır.

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

Tablo 19. dan görüldüğü üzere 2017 yılında mevcut sokak aydınlatması için (Yıl boyunca günlük ortalama 10 saat aydınlatma yapıldığı varsayıldığı durumda) günlük yaklaşık olarak 56.000 kWh, yıllık ise 20.440.000 kWh enerji tüketilmiştir. Tüketilen bu enerji bedeli olarak günlük (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafında yayınlanan 01.01.2017 tarihinden itibaren geçerli olan Perakende Tek Zamanlı kWh Enerji Bedeli 0,19558TL, Aydınlatma kWh dağıtım bedeli 0,115911TL dir. Bu durumda aydınlatma için 1 kWh enerji bedeli 0,311491 TL olmaktadır.) 17.443,5 TL yıllık ise 6.366.876,04 TL maliyet oluşmaktadır. Tablo 20. de tüketilen enerji bedeli görülmektedir.

Tablo 20. YBSB aydınlatma sisteminde tüketilen enerji maliyetleri

Saatlik Tüketilen Enerji (kWh)	Yıllık Tüketilen Enerji (kWh)	kWh Enerji Bedeli (TL)	Günlük Tüketilen Enerji Bedeli (TL)	Yıllık Tüketilen Enerji Bedeli (TL)
5.600	20.440.000	0,311491	17.443,5	6.366.876,04

Şanlıurfa ilinde merkez ve bağlı ilçelerinde mevcut çevre aydınlatma direklerinde bulunan 100, 150, 250 W güçlerindeki yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürlerin, ışık akısı değerini ve aydınlık seviyesini yaklaşık olarak karşılayabilen 65, 100 ve 150 W güçlerinde LED armatürler ile değiştirilmesi durumunda toplam güç değerleri ve 1 saatlik

tüketim miktarları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. Tabloda bulunan ışık akısı, etkinlik değeri ve ömür verileri için sodyum armatürlerinin ışık akısı değerini yaklaşık olarak karşılayabilen aydınlatma markasının katalog değerleri dikkate alınmıştır. Tablo 21. de LED dönüşümü yapılması durumunda sistemin tüketim bilgileri görülmektedir.

Tablo 21. LED armatür özellikleri ve sistemin toplam gücü [87].

Armatür Gücü (W)	Lamba (adet)	Işık Akısı (Lm)	Işık Etkinliği (Lm/W)	Ömür (Saat)	Saatlik Tüketilen Enerji (kWh)
65	10.500	8.515	131	60.000-100.000	683
100	24.500	13.200	132	60.000-100.000	2.450
150	3.500	19.800	132	60.000-100.000	525
SAATLİK TÜKETİLEN TOPLAM ENERJİ					3.658
YILLIK TÜKETİLEN TOPLAM ENERJİ(10x365xPsaatlik)					13.351,700

Tablo 21. den görüldüğü üzere Şanlıurfa ilinde merkez ve bağlı ilçelerinde mevcut YBSB armatürlerin LED armatürlere dönüştürülmesi durumunda 2017 yılında günlük (Yıl boyunca günlük ortalama 10 saat aydınlatma yapıldığı varsayıldığı durumda) yaklaşık olarak 36.580 kWh, yıllık ise 13.351,700 kWh enerji tüketilmiş olacaktır. LED armatürler tarafından tüketilecek olan bu enerji bedeli olarak günlük (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu(EPDK) tarafında yayınlanan 01.01.2017 tarihinden itibaren geçerli olan Perakende Tek Zamanlı kWh Enerji Bedeli 0,19558TL, Aydınlatma kWh Dağıtım Bedeli 0,115911TL dir. Bu durumda aydınlatma için 1 kWh enerji bedeli 0,311491 TL olmaktadır.) 11.394,34 TL yıllık ise 4.158.365,91 TL maliyet oluşmaktadır. Tablo 22. de sistemde tüketilen enerji maliyeti görülmektedir.

Tablo 22. LED Aydınlatma Sisteminde Tüketilen Enerji Bedeli

Saatlik Tüketilen Enerji (kWh)	Yıllık Tüketilen Enerji (kWh)	kWh Enerji Bedeli (TL)	Günlük Tüketilen Enerji Bedeli (TL)	Yıllık Tüketilen Enerji Bedeli (TL)
3.658	13.351,700	0,311491	11.394,34	4.158.365,91

Tablo 19 ve 21 Karşılaştırıldığında toplam gücün yaklaşık olarak %34,68 azaldığı görülmektedir. Buda bir yılda 7.090.125 kWh elektrik enerjisi ve 2.208.510,13 TL parasal tasarrufu ifade etmektedir. Enerji tasarrufu açısından bakıldığında LED armatür kullanımının avantajlı olduğu söylenebilir.

Enerji tasarrufunun yanında her iki armatürün birim maliyetleri üzerinden yatırım maliyeti analizi de yapılması gerekmektedir. Her iki armatürün ortalama birim maliyetleri Tablo 23 ve 24 'te verildiği gibidir.

Tablo 23. Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı armatürlerin birim fiyatları ve maliyetleri

Lamba Güçleri (W)	Birim Adet	Birim Fiyat (TL)*	<b>Toplam (TL)</b>
100	10.500	150	1.575.000
150	24.500	180	4.410.000
250	3.500	180	630.000
<b>TOPLAM TUTAR</b>			<b>6.615.000</b>

Tablo 24. LED armatür birim fiyatları.

Lamba Güçleri (W)	Birim Adet	Birim Fiyat (TL)	<b>Toplam (TL)</b>
65	10.500	80	1.680.000
100	24.500	100	4.900.000
150	3.500	200	1.400.000
<b>TOPLAM TUTAR</b>			<b>7.980.000</b>

Tablo 25. Analiz 1 karşılaştırma tablosu

Armatür Tipi	Yıllık Tüketilen Enerji (kWh)	Yıllık Enerji Maliyeti (TL)	Yatırım Maliyeti (TL)	Tasarruf Edilen Enerji Miktarı (kWh)	Tasarruf Edilen Enerji Bedeli (TL)	Tasarruf Oranı (%)	LED Amorti Süresi (Yıl)
YBSB Aydınlatma	20.440.000	6.366.876		7.088.300	2.208.510	34,68	3.61
Led Aydınlatma	13.351.700	4.158.365	7.980.000				

LED armatür ile YBSB armatürlerin yatırım maliyetleri incelendiğinde; ilk yatırım zamanında LED armatürlerin yatırım maliyetlerinin geleneksel olarak kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürlerin maliyetlerine yaklaştığı görülmektedir.

Bakım, malzeme ve işçilik maliyetleri dikkate alınmadan mevcutta bulunan tüm YBSB armatürlerin LED armatüre dönüştürülmesi durumunda, sistemde gerçekleşen enerji tasarrufu miktarından sistemin yaklaşık olarak 3,61 yılda kendini amorti edeceği görülmektedir.

Dağıtım şirketi tarafından aydınlatma sistemi için yapılan bakım, malzeme ve işçilik maliyetleri dikkate alınmamıştır. Ancak LED teknolojileri uzun ömürlü olması, çalışma şartlarına dayanıklı olmasından dolayı nadiren bakım ihtiyacı olmaktadır. Bu yönünden geleneksel olarak kullanılan aydınlatma sistemlerine göre daha avantajlı durumdadır.

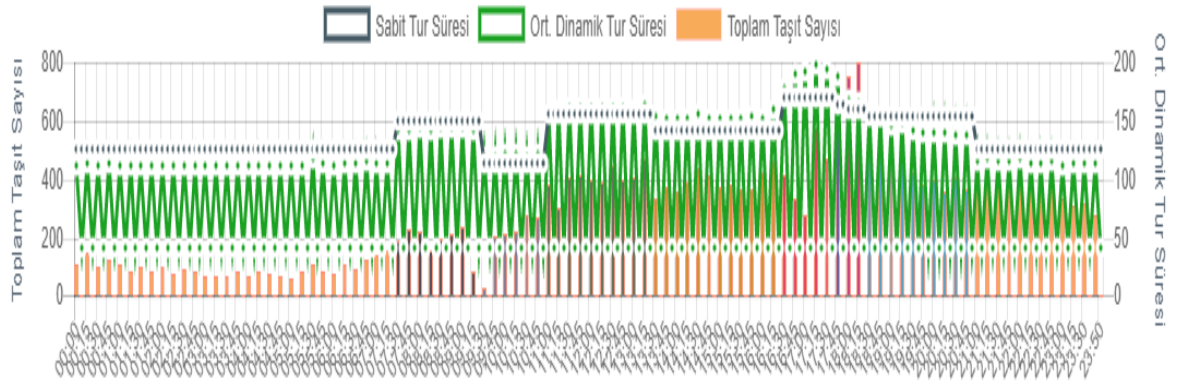
#### Analiz 2: LED Sistemine Akıllı Aydınlatma Sistemi Eklenmesinin İncelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde; Şanlıurfa ilinde merkez ve bağlı ilçelerinde mevcut YBSB armatürlerin LED armatürlere dönüştürüldükten sonra aydınlatma sistemine Akıllı Aydınlatma uygulamalarının eklenmesi durumunda gerçekleşmesi muhtemel tasarruf miktarı incelenecektir.

Analiz 1 de yapılan hesaplamalar neticesinde Şanlıurfa ili merkez ve bağlı ilçelerinde bulunan armatürlerin LED aydınlatmaya dönüştürülmesi durumunda tüm sistemin saatlik 3.658 kWh, günlük 36.580 kWh enerji tükettiği hesaplanmıştır. Akıllı aydınlatma sistemleri temelde aynı metotlarla işlevlerini yerine getirmektedir. Bu sistemler arasında temel ayrışma veri aktarım ve haberleşme yöntemlerinin farklı olmasıdır. Analiz 2 de Hesaplamalar yapılırken sistemin ne şekilde veri aktardığı ve haberleştiği vb. konuları hesaba katılmayacaktır.

Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Dairesi Başkanlığı'ndan 3 farklı kavşağın trafik durum tabloları alınarak incelenmiştir. Bu tablolarda 15 er dakika aralıklarla ölçüm yapılarak bu süre aralığında kavşaklardan geçen araç sayıları görülebilmektedir. Bu tablolarda yapılan inceleme neticesinde; araç yoğunluğunun akşam saatleri 17.00-21.00 aralığında maksimum seviyede olduğu bu saatlerden sonra trafik yoğunluğunu azalmaya başladığı gece 00.00 dan sonra ise minimum seviyeyi aldığı, gündüz saatlerinde ise trafiğin saat 06.00 dan itibaren artmaya başladığı görülmektedir. Tablo 63. Tablo 64. Tablo 65. de farklı kavşakların trafik durumları görülebilmektedir.

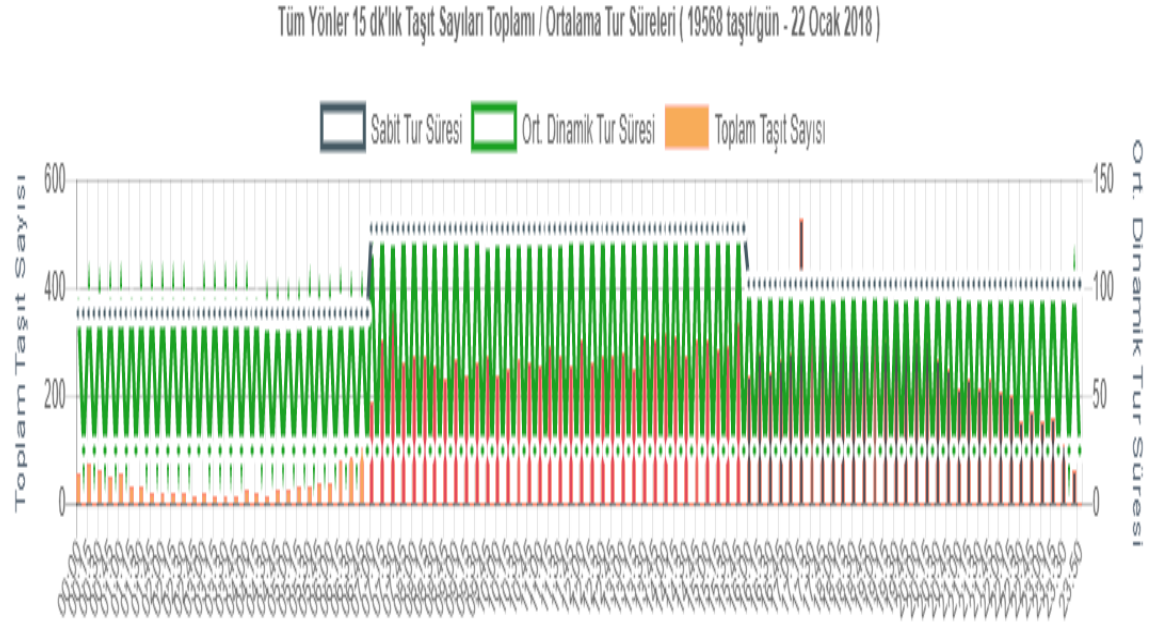
Tüm Yönler 15 dk'lık Taşıtları Toplamı / Ortalama Tur Süreleri ( 27301 taşıt/gün - 22 Ocak 2018 )



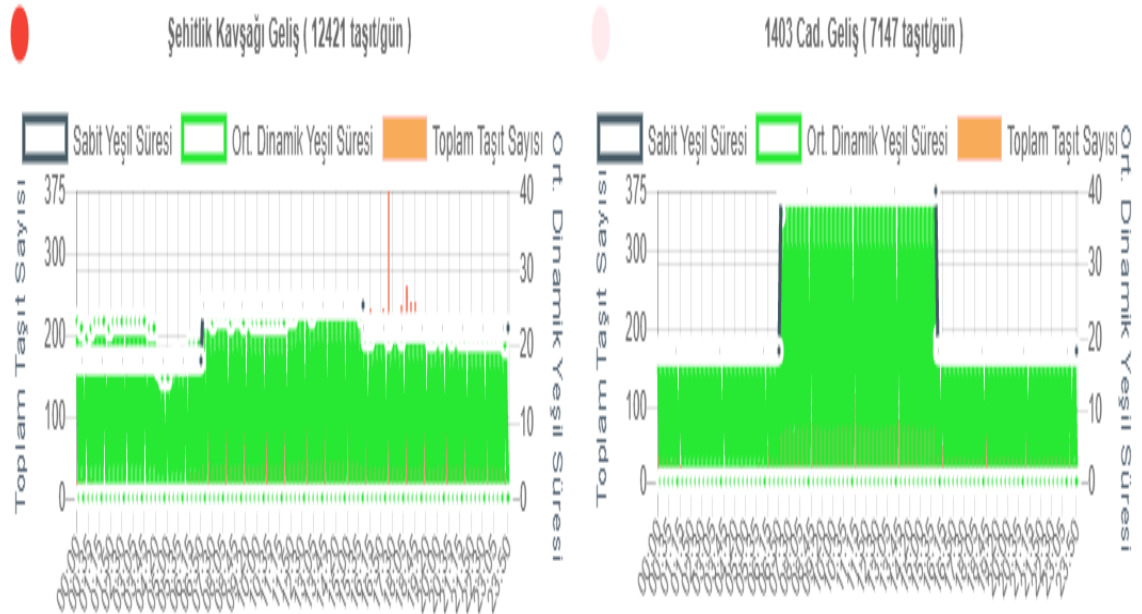
Yönlere Göre 15 dk'lık Taşıtları Toplamı / Ortalama Yeşil Süreleri



Şekil 63. Abide park kavşağı trafik Durumu



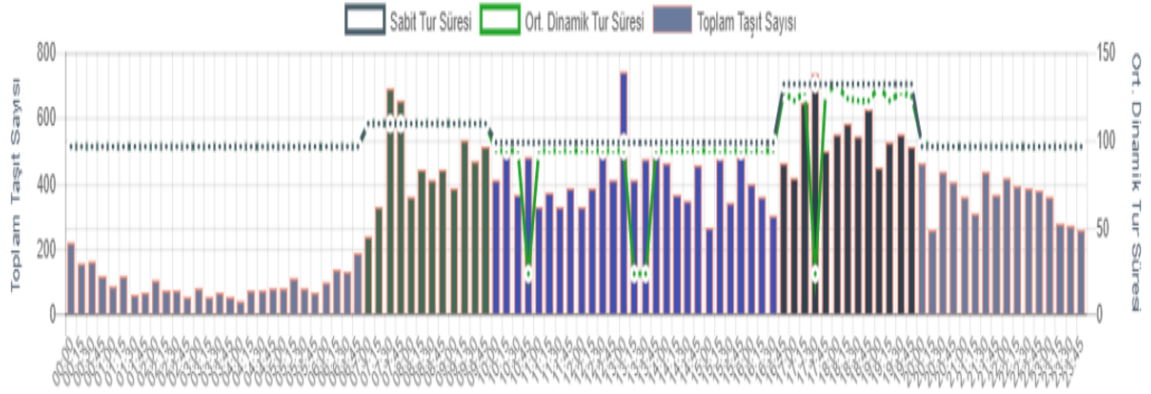
Yönlere Göre 15 dk'lık Taşıtları Toplamı / Ortalama Yeşil Süreleri



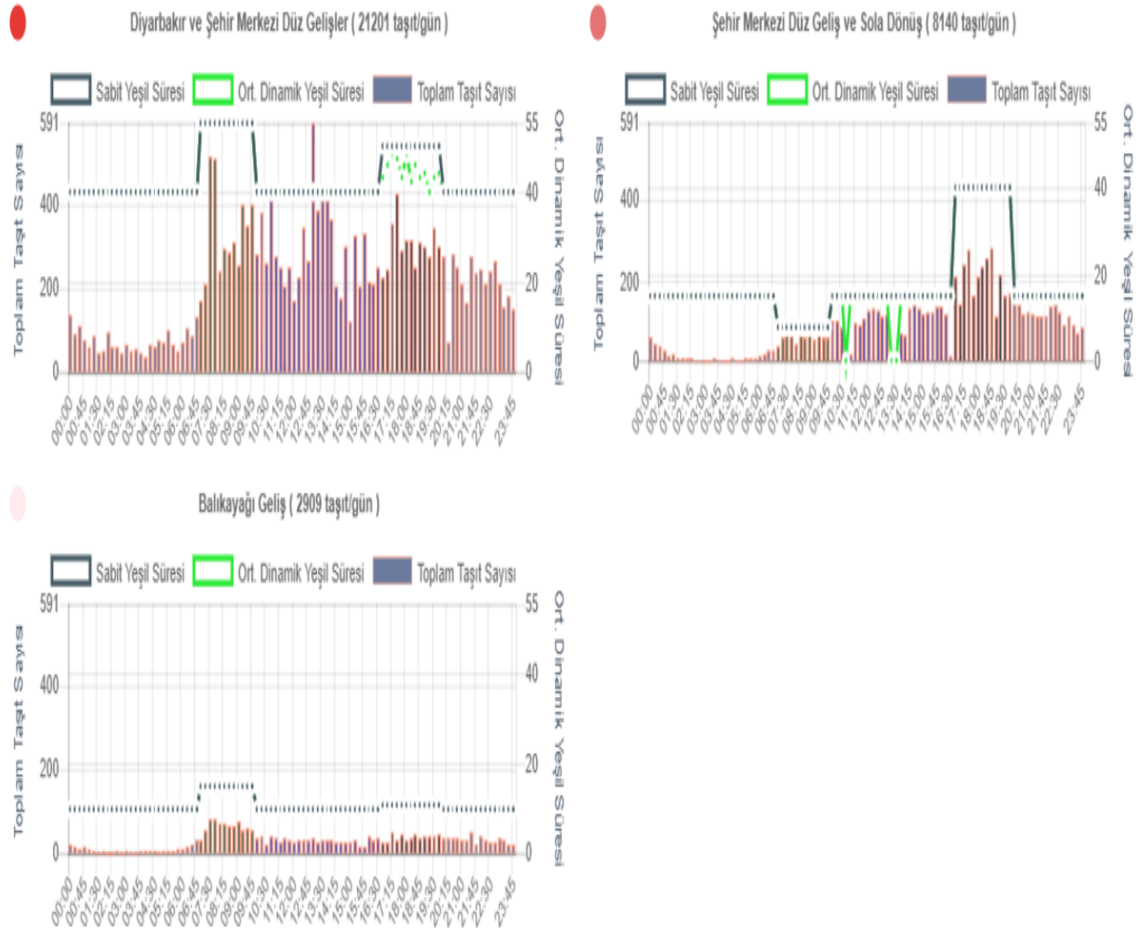
Şekil 64. SSK kavşağı Trafik Durumu



Tüm Yönler 15 dk'lık Taşıtların Toplamı / Ortalama Tur Süreleri ( 32250 taşıt/gün - 22 Ocak 2018 )



Yönelere Göre 15 dk'lık Taşıtların Toplamı / Ortalama Yeşil Süreleri



Şekil 65. Balık Ayağı kavşağı Trafik Durumu

Şanlıurfa için en uzun gece en kısa gün tarihi olan 21 Aralık gün dönümü tarihinde güneş doğuş saati:07.35, batış saati:17.11 olup gece süresi yaklaşık 14 saat olmaktadır. Ancak doğuş ve batış saatlerinden yaklaşık olarak 0,45 dakika önce ve sonra aydınlatma ihtiyacı olmamaktadır. Bu durumda 12,5 saat aydınlatmaya ihtiyaç bulunmaktadır. En kısa gece en uzun gün tarihi olan 21 Haziran gün dönümü tarihinde güneş doğuş saati: 05.05, batış saati:19.49 olup gece süresi yaklaşık 9 saat olmaktadır. Ancak doğuş ve batış saatlerinden yaklaşık olarak 45 dakika önce ve sonra aydınlatma ihtiyacı olmamaktadır. Bu durumda 7,5 saat aydınlatmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Yıl boyunca ortalama olarak 10 saat aydınlatma ihtiyacı olduğu görülmektedir. [88]

Hesaplama kolaylığı sağlaması amacıyla yaz ayında ve 19.00-05.00 saatleri aralığında aydınlatma yapıldığı varsayılarak işleme devam edersek; Sokak aydınlatmalarının başladığı saatten insanların geceleri yoğun olarak dışarıda oldukları saatler olan 19.00-00.00 zaman aralığında sistemin %100, insan yoğunluğunun minimum olduğu 00.00-04.00 saatleri aralığında %50, güneş doğmadan 1 saat önce 04.00-05.00 saatleri aralığında ise %100 çalıştığı varsayıldığı durumunda (Yaz ve kış dönemlerine göre aydınlatma saatleri değişkenlik gösterecektir.) tüketimler aşağıdaki şekilde olacaktır. Tablo 26. da AŞAS nin seçilen senaryo için tüketim miktarı görülmektedir.

Tablo 26. Akıllı Aydınlatma Sistemi Enerji Tüketimi

LED Saatlik Tüketilen Enerji Miktarı			3.658 kWh
LED Günlük Tüketilen Enerji Miktarı			36.580 kWh
Günlük Ortalama Çalışma Süresi			10 Saat
Çalışma Saatleri	Çalışma Süresi	% Çalışma Oranı	Tüketim Miktarı (kWh)
19.00-00.00	5 saat	100	18.290
00.00-04.00	4 saat	50	7.316
04.00-05.00	1 saat	100	3.658
AKILLI SİSTEM GÜNLÜK TOPLAM TUTAR			29.264

Analiz 1 de YBSB armatürlerin LED armatürlere dönüştürülmesi durumunda 2017 yılında LED'li aydınlatma sisteminin günlük yaklaşık olarak 36.580 kWh tüketeceği hesaplanmıştı. Tablodan görüldüğü üzere LED'li sisteme akıllı aydınlatma uygulaması

eklenmesi durumunda 2017 yılında günlük yaklaşık olarak 29.264 kWh, yıllık ise (Yıl boyunca günlük ortalama 10 saat aydınlatma yapıldığı varsayıldığı durumda) 10.681.360 kWh enerji tüketilmiş olacaktır. Akıllı aydınlatma sistemi eklenen LED'li aydınlatma sistemi tarafından tüketilecek olan günlük enerji bedeli (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu(EPDK) tarafında yayınlanan 01.01.2017 tarihinden itibaren geçerli olan Perakende Tek Zamanlı kWh Enerji Bedeli 0,19558TL, Aydınlatma kWh Dağıtım Bedeli 0,115911TL dir. Bu durumda aydınlatma için 1 kWh enerji bedeli 0,311491 TL olmaktadır.) 9.115,47 TL yıllık ise 3.327,147,51 TL maliyet oluşmaktadır.

Tablo 27. Akıllı aydınlatma sistemi tüketilen enerji bedeli

Günlük Tüketilen Enerji (kWh)	Yıllık Tüketilen Enerji (kWh)	kWh Enerji Bedeli (TL)	Günlük Tüketilen Enerji Bedeli (TL)	Yıllık Tüketilen Enerji Bedeli (TL)
29.264	10.681.360	0,311491	9.115,47	3.327,147,51

Akıllı Aydınlatma sistemi (33.060 adet direk bulunan; Merkezi kontrol birimi, Saha kontrol birimi, Aydınlatma kontroller ünitesi, Driverler, GPRS,Wifi vb Haberleşme ünitesi) için maliyet yaklaşık olarak 7.700.000 TL olarak tespit edilmiştir. Bu durumda LED+AŞAS maliyeti (7.980.000+7.700.000 TL) 15.680.000 TL olmaktadır. Böylece sistemin kendini 5,16 yılda kendini amorti edeceği görülmektedir.

Tablo 28. de LED sistemine AŞAS eklenmesi durumu ile YBSB armatürlü sistem ve LED sistemlerin karşılaştırılması görülmektedir

Tablo 28. Analiz 2 karşılaştırma tablosu

Armatür Tipi	Yıllık Tüketilen Enerji (kWh)	Yıllık Tüketilen Enerji Maliyeti (TL)	Yatırım Maliyeti (TL)	Tasarruf Edilen Enerji Miktarı (kWh)	Tasarruf Edilen Enerji Bedeli (TL)	Tasarruf Oranı (%)	Yaklaşık Amorti Süresi (Yıl)
YBSB Aydınlatma	20.440.000	6.366.876,04					
LED Aydınlatma	13.351,700	4.158.365,91	LED 7.980.000	7.088.300	2.208.510	34,68	3,61
Analiz 2 LED+Smart (Analiz 1 LED e Göre Kıyas)	10.681.360	3.327,147,51	AŞAS 7.700.000	2.670.340	831.786	20	
Analiz 2 (Analiz 1 İlk Duruma Göre Kıyas)	10.681.360	3.327,147,51	LED+AŞAS 15.680.000	9.758.640	3.039.728	47,74	5,16

Tablo 28. den görüldüğü üzere LED'li sisteme akıllı aydınlatma uygulaması eklenmesi durumunda toplam gücün LED'li sisteme (Analiz 1) göre yaklaşık olarak %20 daha azaldığı görülmektedir. Buda bir yılda 2.670.340 kWh elektrik enerjisi ve 831.786,88 TL parasal ek tasarrufu ifade etmektedir. AŞAS sistemi maliyeti yüksek olduğunda LED sistemine eklenmesi durumunda amorti süresi uzun olmaktadır.

YBSB armatürlerin LED armatürlere dönüştürülmesi ve akıllı aydınlatma uygulaması eklenmesi durumunda toplam gücün ilk duruma göre yaklaşık olarak %47,74 oranında azaldığı görülmektedir. Buda bir yılda 9.758.640 kWh elektrik enerjisi ve 3.039.728,53 TL parasal tasarrufu ifade etmektedir.

Analiz 2 de akıllı aydınlatma sisteminde örnek bir aydınlatma senaryosu hazırlanarak hesaplama yapılmıştır. İhtiyaca göre farklı çalışma saatlerine göre senaryolar türetilmesi mümkündür. Ayrıca sisteme hareket sensörleri, varlık sensörleri vb algılayıcılar eklenerek lokal olarak farklı senaryolarda kontrollü aydınlatma istemi gerçekleştirilmesi mümkündür. Aydınlatma gücünün %40-50 lere düşürülmesi durumunda ortam karanlık olmayacak loş bir ortam oluşmuş olacaktır. Böyle ortamda oluşan hareketlilikler fark edilecek güvenlik açısından da zafiyet olmayacaktır.

### Analiz 3: YBSB Aydınlatma Sistemi Enerji Tüketiminin FV Sistemlerle Karşılanması Durumunun İncelenmesi

Şanlıurfa merkez ve ilçelerinde; sokaklarında, ana, ara ve çevre yolarında kullanılan mevcut aydınlatma sisteminin tamamının enerjisinin (YBSB armatürlü haliyle) FV sistemlerden karşılanması durumunda ne kadarlık bir yatırım yapılması gerektiği ve bunun geri dönüş süresi analiz edilecektir.

1.12.5. Aydınlatma sistemlerinde FV sistemlerin kullanımı bölümünde irdelenen yöntemlerden 3. yöntemin diğer uygulamalara göre daha kolay inşa edilebilmesi, sistemde depolama üniteleri olmadığından aynı güçteki diğer uygulamalara göre maliyeti daha ekonomik olması, üretilen/tüketilen enerjinin ölçülmesinin daha kolay olması, panellerin ve diğer donatıların temizlik ve bakımlarının daha kolay ve ekonomik olmasından dolayı Analiz 3-4-5 de bu yöntem tercih edilecektir.

Mevcut durumda; Şanlıurfa merkez ve ilçelerinde; sokaklarında, ana, ara ve çevre yolarında kullanılan aydınlatma sisteminin 1 yıllık enerji ihtiyacının da 20.440.000 kWh olduğu bulunmuştu.

Pvsyst programı yardımıyla aydınlatma sisteminin ihtiyacı olan enerji miktarını karşılayacak FV sistemin analiz yapılmış ve aşağıda gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Programa Şanlıurfa'nın enlemi  $37.16^{\circ}$ , boylamı  $38.80^{\circ}$ , yüksekliği 514m, eğim  $30^{\circ}$ , azimut açısı  $0^{\circ}$ , paneller polikristal (Nominal 250 Wp, 60 hücreli ), invertörler çalışma gerilimi 300-950V V nominal gücü 50kWac. Doğal soğutma, paneller yere montaj ve yıllık üretim değeri olarak 20.440 MWh olacak şekilde veriler programa girildi.

Programdan; tesisin 11.436 kWp gücünde olacağı, yıllık enerji kazancının 20.440 MWh olacağı, 1 kWp panel gücüne karşılık 1.787 kWh/kWp enerji üretiminin olacağı, panel alanının 74.425 m<sup>2</sup> gölgelenme alanları dahil toplan alanın yaklaşık 150.000 m<sup>2</sup> olacağı, invertörlerin 175 adet olacağı. panellerin 23 seri, 1989 paralel olarak toplam 45747 olacağı verileri alınmıştır.

Tablo 29. da FV santralden aylara göre elde edilecek günlük ve aylık enerji miktarları görülmektedir.

Tablo 29. Aylara göre tüm tesisten günlük-aylık olarak elde edilen enerji

	Gl. horiz. kWh/m <sup>2</sup> .day	Coll. Plane kWh/m <sup>2</sup> .day	System output kWh/day	System output kWh
Jan.	2.28	3.63	34895	1081756
Feb.	3.09	4.47	42985	1203570
Mar.	4.47	5.55	53335	1653375
Apr.	5.66	6.14	59054	1771627
May	6.84	6.73	64659	2004416
June	7.83	7.28	69954	2098613
July	7.68	7.30	70124	2173851
Aug.	7.22	7.50	72059	2233836
Sep.	5.79	6.92	66545	1996360
Oct.	4.18	5.79	55617	1724141
Nov.	2.90	4.65	44676	1340283
Dec.	2.25	3.89	37360	1158172
Year	5.03	5.83	56000	20440000

### Maliyet Analizi

1 MW gücünde FV santral (ENH maliyeti hariç) yaklaşık olarak 1.050.000 USD (Harran Üniversitesinde kurulmakta olan 5,3 MW lık santralin ihale bedelinden yaklaşık olarak elde edilmiştir.) ye mal olmaktadır. Kurmamız gereken 11,4 MW lık tesisimizin maliyeti ise 11,97 MUSD(USD/TL kuru 4 TL) 47,88 MTL olmaktadır. Tüm tesisimizin enerjisi yenilenebilir enerjiden karşılanması durumunda daha önceki durumda ödediğimiz enerji maliyeti artık ödenmeyecektir. Yıllık 6.366.876,04 TL para tasarrufu yapılmış olacaktır. FV sistemlerin faydalı ömrü 25 Yıldır. Bu süre içerisinde verimi bir miktar düşmekte ancak yüksek verimde üretime devam etmektedir.

Tablo 30. Kurulacak FV sistemin maliyet analizi

FV Santral Maliyeti (TL)	Üretilen Enerji (kWh)	FV Sistemden Üretilen Enerji Tutarı (TL)	Amorti Süresi (Yıl)
47.880.000	20.440.000	6.366.876,04	7,52

Tablo 30. dan görüldüğü üzere; YBSB aydınlatma sisteminde yıllık 6.366.876,04 TL Enerji bedeli ödenecekti ancak FV sistem uygulanması durumunda sistem için 47.880.000

TL yatırım yapılması gerekmektedir. Yeni durumda FV sistem kendini yaklaşık olarak 7,52 yılda amorti edecektir. Sonraki yıllarda aydınlatma enerjisi için herhangi bir ücret ödenmeyecektir. Enerjinin tamamı FV sistemden karşılanacaktır. Dolaylı olarak 6.366.876,04 TL kazanç sağlanmış olacaktır.

#### Analiz 4: LED Aydınlatma Sistemi Enerji Tüketiminin FV Sistemlerle Karşılanması Durumunun İncelenmesi

Bu yöntemde 3.yöntemde olduğu gibi LED aydınlatma sisteminin tükettiği enerjinin merkezi On-Grid FV santralden karşılanması durumu incelenecektir. Ancak burada tüm armatürlerin enerji verimliliği kapsamında LED armatüre dönüştürülmesinden sonra ortaya çıkan yeni tüketim miktarına(13.351,700 kWh) göre FV santral hesaplamaları yapılacaktır.

Pvsyst programı yardımıyla Analiz 1 de incelenen LED'li aydınlatma sisteminin ihtiyacı olan enerji miktarını karşılayacak FV sistemin analiz yapılmış ve aşağıda gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Programa Şanlıurfa'nın enlemi  $37.16^{\circ}$ , boylamı  $38.80^{\circ}$ , yüksekliği 514m, eğim  $30^{\circ}$ , azimut açısı  $0^{\circ}$ , paneller polikristal (Nominal 250 Wp, 60 hücreli ), invertörler çalışma gerilimi 300-950V V Nominal gücü 50kWac. Doğal soğutma, paneller yere montaj ve yıllık üretim değeri olarak 13.541 MWh olacak şekilde veriler programa girildi.

Programdan; tesisin 7.576 kWp gücünde olacağı, yıllık enerji kazancının 13.541 MWh olacağı, 1 kWp panel gücüne karşılık 1.787 kWh/kWp enerji üretiminin olacağı, panel alanının  $50.508 \text{ m}^2$  gölgelenme alanları dahil toplan alanın yaklaşık  $101.000 \text{ m}^2$  olacağı, invertörlerin 175 adet olacağı. Panellerin 21 seri, 1443 paralel olarak toplam 30303 olacağı verileri alınmıştır. Programdan elde edilen tablolar aşağıda verildiği şekildedir. Tablo 31. de FV santralden aylara göre elde edilecek günlük ve aylık enerji miktarları görülmektedir.

Tablo 31. Aylara göre tüm tesisten günlük-aylık olarak elde edilen enerji

	Gl. horiz. kWh/m <sup>2</sup> .day	Coll. Plane kWh/m <sup>2</sup> .day	System output kWh/day	System output kWh
Jan.	2.28	3.63	23117	716637
Feb.	3.09	4.47	28476	797336
Mar.	4.47	5.55	35333	1095321
Apr.	5.66	6.14	39122	1173659
May	6.84	6.73	42835	1327877
June	7.83	7.28	46343	1390279
July	7.68	7.30	46456	1440123
Aug.	7.22	7.50	47737	1479862
Sep.	5.79	6.92	44085	1322539
Oct.	4.18	5.79	36845	1142201
Nov.	2.90	4.65	29597	887905
Dec.	2.25	3.89	24750	767260
Year	5.03	5.83	37099	13541000

### Maliyet Analizi

1 MW gücünde FV santral (ENH maliyeti hariç) yaklaşık olarak 1.050.000 USD (Harran Üniversitesinde kurulmakta olan 5,3 MW lık santralin ihale bedelinden yaklaşık olarak elde edilmiştir.) ye mal olmaktadır. Kurmamız gereken 7,5 MW lık tesisimizin maliyeti ise 7,875 MUSD (USD/TL kuru 4 TL) 31,5 MTL olmaktadır. Analiz 1 de tüm armatürlerin LED e dönüştürülmesi maliyeti 7.980.000 TL olarak hesaplanmıştır. Bu durumda LED+FV Santral toplam maliyet 39.480.000 TL olmaktadır. Tüm tesisimizin enerjisi yenilenebilir enerjiden karşılanması durumunda Yıllık 6.366.876,04 TL para tasarrufu olmaktadır. Bu durumda;

Tablo 32. LED + FV maliyet analizi

FV Santral Maliyeti (TL)	LED'e Dönüşüm Maliyeti (TL)	LED+FV Santral Toplam Maliyet (TL)	FV Sistemden Yıllık Üretilen Enerjinin Bedeli (TL)	Amorti Süresi (Yıl)
31.500.000	7.980.000	39.480.000	4.158.365	6,2

Tablo 32. den görüldüğü üzere; YBSB aydınlatma sisteminde yıllık 6.366.876,04 TL Enerji bedeli ödenecekti ancak LED+FV sistem uygulanması durumunda sistem için



39.480.000 TL yatırım yapılması gerekmektedir. Yeni durumda sistem kendini yaklaşık olarak 6,2 yılda amorti edecektir. Sonraki yıllarda aydınlatma enerjisi için herhangi bir ücret ödenmeyecektir. Enerjinin tamamı FV sistemden karşılanacaktır. Dolaylı olarak yıllık 4.158.365,914 TL kazanç sağlanmış olacaktır.

#### Analiz 5 Akıllı Aydınlatma Sistemi Enerji Tüketiminin FV Sistemlerle Karşılanması Durumunun İncelenmesi

Burada tüm armatürlerin enerji verimliliği kapsamında LED armatüre dönüştürülmesinden sonra sisteme Akıllı Aydınlatma uygulamaları eklenmesiyle ortaya çıkan yeni sistemdeki yeni tüketim miktarına (10.681.360 kWh) göre Analiz3 ve Analiz 4 dekine benzer On-Grid FV santral hesaplamaları yapılacaktır.

Pvsyst programı yardımıyla Analiz 2 de incelenen LED+Akıllı aydınlatma sisteminin ihtiyacı olan enerji miktarını karşılayacak FV sistemin analiz yapılmış ve aşağıda gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Programa Şanlıurfa'nın enlemi  $37.16^{\circ}$ , boylamı  $38.80^{\circ}$ , yüksekliği 514m, eğim  $30^{\circ}$ , azimut açısı  $0^{\circ}$ , paneller polikristal (Nominal 250 Wp, 60 hücreli ), invertörler çalışma gerilimi 300-950V V Nominal gücü 50kWac. Doğal soğutma, paneller yere montaj ve yıllık üretim değeri olarak 10.681,360 kWh olacak şekilde veriler programa girildi.

Programdan; tesisin 5.979 kWp gücünde olacağı, yıllık enerji kazancının 10.681,360 kWh olacağı, 1 kWp panel gücüne karşılık 1.787 kWh/kWp enerji üretiminin olacağı, panel alanının 38905 m<sup>2</sup> gölgelenme alanları dahil toplan alanın yaklaşık 79.000 m<sup>2</sup> olacağı, invertörlerin 92 adet olacağı. Panellerin 22 seri, 1087 paralel olarak toplam 23914 adet olacağı verileri alınmıştır. Programdan elde edilen tablolar aşağıda verildiği şekildedir.

Tablo 33. de FV santralden aylara göre elde edilecek günlük ve aylık enerji miktarları görülmektedir.

Tablo 33. Aylara göre tüm tesisten günlük-aylık olarak elde edilen enerji

	Gl. horiz. kWh/m <sup>2</sup> .day	Coll. Plane kWh/m <sup>2</sup> .day	System output kWh/day	System output kWh
Jan.	2.28	3.63	18255	565911
Feb.	3.09	4.47	22466	629046
Mar.	4.47	5.55	27875	864137
Apr.	5.66	6.14	30849	925471
May	6.84	6.72	33769	1046846
June	7.83	7.28	36561	1096841
July	7.68	7.29	36622	1135278
Aug.	7.22	7.50	37662	1167516
Sep.	5.79	6.92	34767	1042996
Oct.	4.18	5.79	29068	901123
Nov.	2.90	4.65	23363	700877
Dec.	2.25	3.89	19526	605319
Year	5.03	5.83	29264	10681360

### Maliyet Analizi

1 MW gücünde FV santral (ENH maliyeti hariç) yaklaşık olarak 1.050.000 USD (Harran Üniversitesinde kurulmakta olan 5,3 MW lık santralin ihale bedelinden yaklaşık olarak elde edilmiştir.) ye mal olmaktadır. Kurmamız gereken 5,98 MW lık tesisimizin maliyeti ise 6,279 MUSD (USD/TL kuru 4 TL) 25,116 MTL olmaktadır. Analiz 2 de tüm armatürlerin LED e dönüştürülmesi maliyeti 7.980.000 TL bulunmuştu. Aydınlatma sistemi (33.060 adet direk bulunan; Merkezi Kontrol Birimi, Saha Kontrol Birimi, Aydınlatma kontroller Ünitesi, Driverler, GPRS,Wifi vb Haberleşme ünitesi) için maliyet yaklaşık olarak 7.700.000 TL olarak tespit edilmiştir. Bu durumda LED+AŞAS+FV Santral toplam maliyet 44.085.000 TL olmaktadır. Tüm tesisimizin enerjisi yenilenebilir enerjiden karşılanması durumunda Yıllık 6.366.876,04 TL para tasarrufu yapılacaktır. Bu durumda;

Tablo 34. LED+AŞAS+FV Maliyet Analizi

FV Santral Maliyeti (TL)	LED'e Dönüşüm Maliyeti (TL)	Akıllı Şehir Aydınlatma Sistemi Maliyeti (TL)	LED+AŞAS+ FV Santral Toplam Maliyet (TL)	FV Sistemden Yıllık Üretilen Enerjinin Bedeli (TL)	Yaklaşık Amorti Süresi (Yıl)
28.405.000	7.980.000	7.700.000	44.085.000	3.327,147,51	6,92

Tablo 34. den görüldüğü üzere; YBSB aydınlatma sisteminde yıllık 6.366.876,04 TL Enerji bedeli ödenecekti ancak LED+AAS+FV sistem uygulanması durumunda sistem için 44.085.000 TL yatırım yapılması gerekmektedir. Yeni durumda sistem kendini yaklaşık olarak 6,92 yılda amorti edecektir. Sonraki yıllarda aydınlatma enerjisi için herhangi bir ücret ödenmeyecektir. Enerjinin tamamı FV sistemden karşılanacaktır.

Görüldüğü üzere aydınlatma sistemine LED ve AŞAS eklenmesi durumunda Aydınlatma için tüketilen enerji miktarı azalmaktadır. Buna bağlı olarak kurulması gereken FV santral gücü ve kurulum maliyeti de azalmaktadır. Bu durumda sistemin amorti süresi de kısalmaktadır. Son durumda tüketilen enerji miktarı ilk duruma göre yaklaşık olarak %47,74 azaldığı görülmektedir. Tüketim neredeyse yarıya kadar düşmektedir.

### 2.3. Harmonik Ölçüm Çalışmaları

Bu bölümde; aydınlatma sisteminde kullanılan 100W, 150W ve 250 W YBSB armatürler ve LED dönüşümü için planlanan 70W, 100W ve 150 W LED armatürlerin şebekeye bağlanması durumlarında akım, gerilim, güç faktörü, harmonik değerleri Harran Üniversitesi GAP YENEV (GAP Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği) Merkezi laboratuvarlarında test edilerek sonuçlar kayıt altına alınarak analiz edilmiştir.

Yapılan çalışma 5 adımda gerçekleştirilmiştir.

Adım 1: Şebekenin mevcut durumu ölçülerek grafikler alınmıştır.

Adım 2: Şebekeye 100W YBSB armatür bağlanması durumunda şebekede oluşan değişimler ölçü cihazıyla incelenerek sonuçlar kayıt altına alınmıştır.

Adım3: Şebekeye 150W YBSB armatür bağlanması durumunda şebekede oluşan değişimler ölçü cihazıyla incelenerek sonuçlar kayıt altına alınmıştır.

Adım 4: Şebekeye 250W YBSB armatür bağlanması durumunda şebekede oluşan değişimler ölçü cihazıyla incelenerek sonuçlar kayıt altına alınmıştır.

Adım 5: Şebekeye 70W LED armatür bağlanması durumunda şebekede oluşan değişimler ölçü cihazıyla incelenerek sonuçlar kayıt altına alınmıştır.

Adım 6: Şebekeye 100W LED armatür bağlanması durumunda şebekede oluşan değişimler ölçü cihazıyla incelenerek sonuçlar kayıt altına alınmıştır.

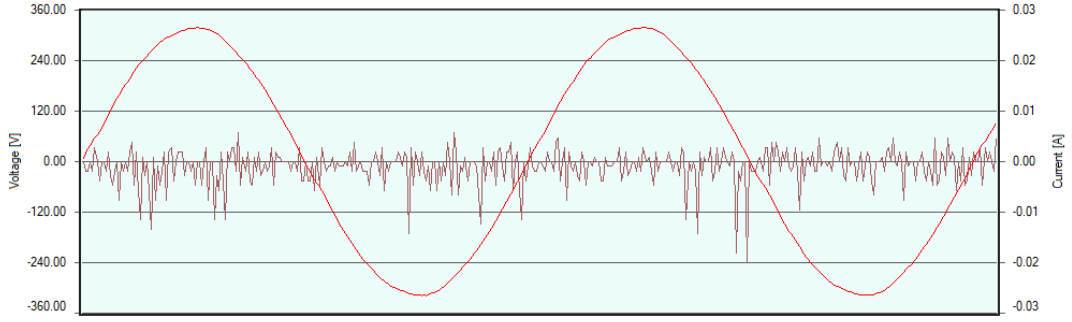
Adım 7: Şebekeye 150W LED armatür bağlanması durumunda şebekede oluşan değişimler ölçü cihazıyla incelenerek sonuçlar kayıt altına alınmıştır.

Analizler yapılırken ölçümler tek faz üzerinde yapılmıştır. Şebeke gerilimi 220V, Frekans 50 Hz olarak alınmıştır. Akım değeri görülebilmesi amacıyla grafik 5 kat büyütülmüştür. Ölçüm aralığı 1 saniye yani dakikada 60 değer alınacak şekilde ayarlanmıştır. Ölçümler yaklaşık 6 dakika olarak gerçekleştirilmiştir.

#### Adım 1: Şebekenin Mevcut Durumunun Ölçümlerinin Alınması

Çalışmanın bu bölümünde; aydınlatma armatürleri sisteme bağlanmadan önce, şebekenin mevcut durumu ölçü cihazıyla ölçümler alınarak incelenecektir. Bunun için 2 dakika boyunca ölçümler alınarak şebekenin durumu takip edilmiştir. Ölçümde çalışma boyunca gerilimin 223,9-224,2 V aralığında dalgalandığı görülmüştür. Şekil 66. - 67. - 68. de Şebekenin elektriksel durumunun ölçülen grafikleri görülmektedir.

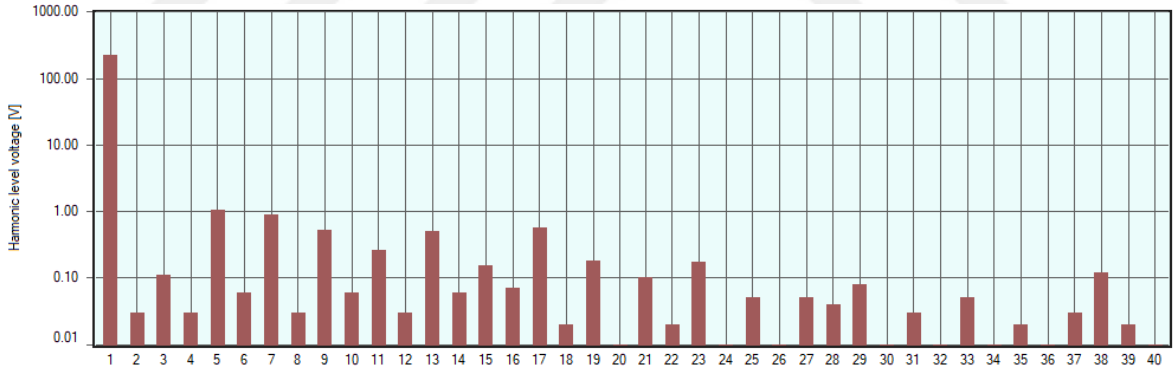
## Akım-Gerilim Dalga Formları



Şekil 66. Akım-Gerilim dalga formları

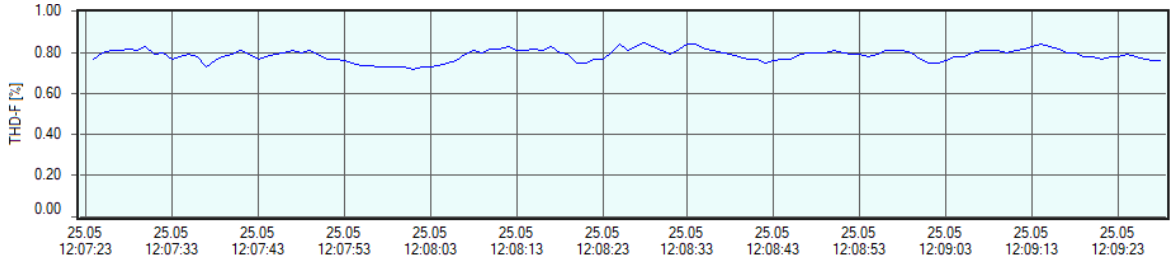
Şebekede yük olmamasına rağmen harmoniklerden kaynaklı akım grafiğinin mevcut olduğu görülmektedir.

## Gerilim Harmoniği Grafiği



Şekil 67. Gerilim harmoniği grafiği

### THD (Toplam Harmonik Bozulma) Grafiği



Şekil 68. THD grafiği

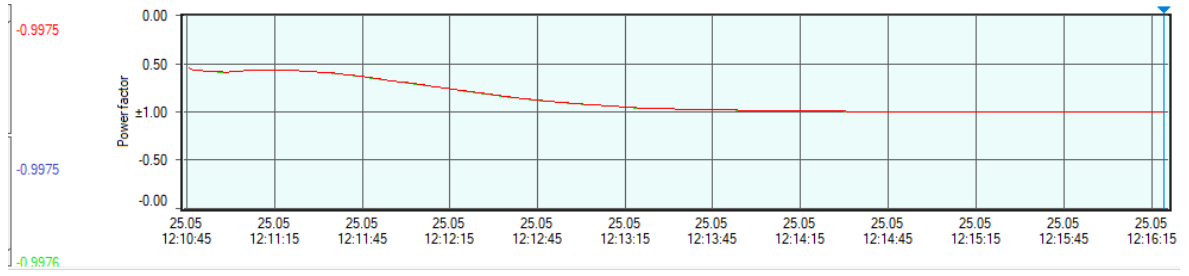
### Adım 2: Şebekeye 100W YBSB Armatür Bağlanması Durumu Ölçümlerinin Alınması



Şekil 69. Şebekeye 100W YBSB armatür bağlanması bağlantıları

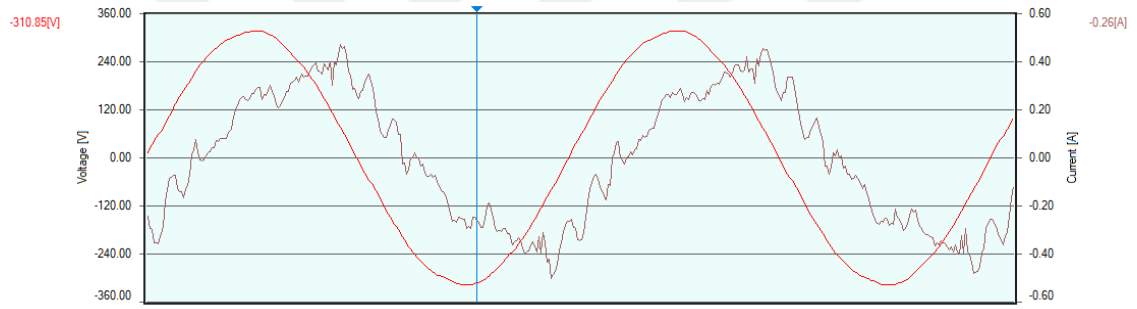
Çalışmanın bu bölümünde; 100 W YBSB armatürün sisteme bağlanması durumunda şebekede gerçekleşecek olan değışimler ölçü cihazıyla ölçümler alınarak incelenecektir. Bunun için yaklaşık 6 dakika boyunca ölçümler alınarak şebekenin durumu takip edilmiştir. Ölçümde çalışma boyunca gerilimin 222,61-223,61 V, aralığında dalgalandığı görülmüştür. Şekil 70. - 71. - 72. de Şebekenin elektriksel durumunun ölçülen grafikleri görülmektedir.

## Power Factor Grafiği



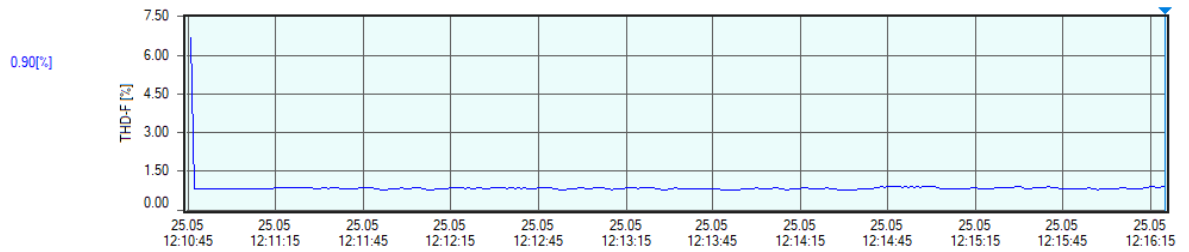
Şekil 70. Power factor grafiği

## Akım-Gerilim Dalga Formları



Şekil 71. Akım-Gerilim dalga formları

## THD Grafiği

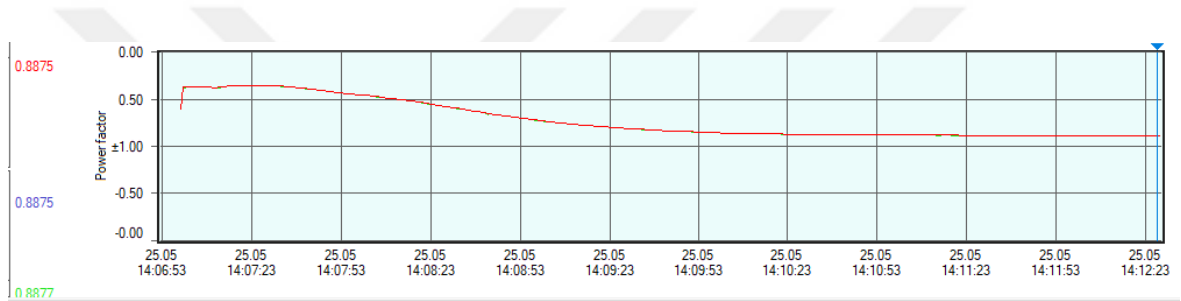


Şekil 72. THD Grafiği

### Adım 3: Şebekeye 150W YBSB Armatür Bağlanması Durumu Ölçümlerinin Alınması

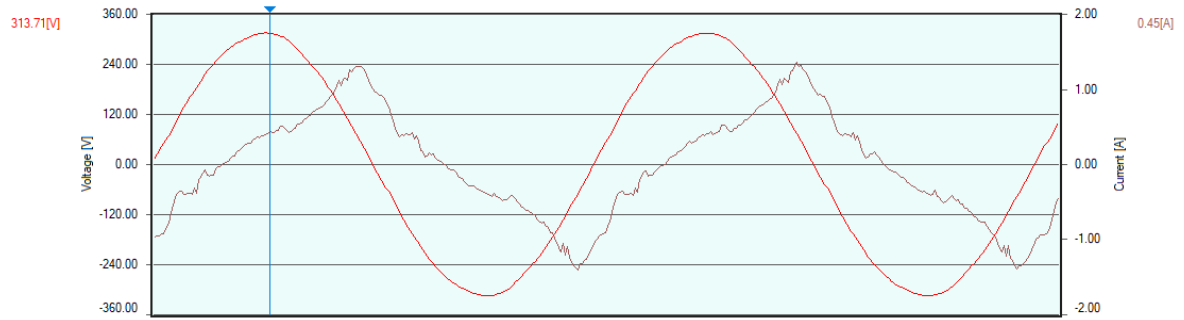
Çalışmanın bu bölümünde; 150 W YBSB armatürün sisteme bağlanması durumunda şebekede gerçekleşecek olan değişimler ölçü cihazıyla ölçümler alınarak incelenecektir. Bunun için yaklaşık 6 dakika boyunca ölçümler alınarak şebekenin durumu takip edilmiştir. Ölçümde çalışma boyunca gerilimin 217,57-221,88 V aralığında dalgalandığı görülmüştür. Şekil 73. - 74. - 75. de Şebekenin elektriksel durumunun ölçülen grafikleri görülmektedir.

Power Factor grafiği



Şekil 73. Power factor grafiği

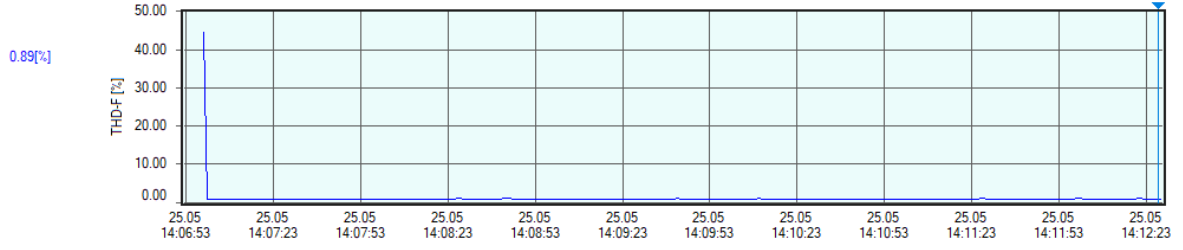
Akım-gerilim dalga formları



Şekil 74. Akım-gerilim dalga formları



### THD grafiği

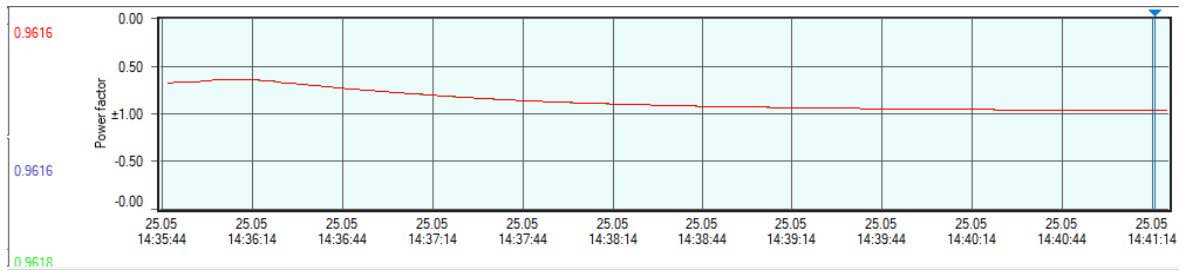


Şekil 75. THD grafiği

### Adım 4: Şebekeye 250W YBSB Armatür Bağlanması Durumu Ölçümlerinin Alınması

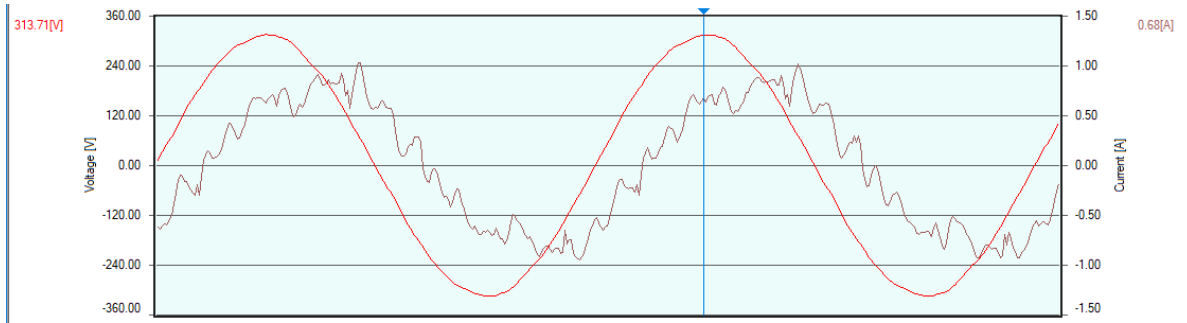
Çalışmanın bu bölümünde; 250 W YBSB armatürün sisteme bağlanması durumunda şebekede gerçekleşecek olan değışimler ölçü cihazıyla ölçümler alınarak incelenecektir. Bunun için yaklaşık 6 dakika boyunca ölçümler alınarak şebekenin durumu takip edilmiştir. Ölçümde çalışma boyunca gerilimin 220,94-222,15 V aralığında dalgalandığı görülmüştür. Şekil 76. - 77. - 78. de Şebekenin elektriksel durumunun ölçülen grafikleri görülmektedir.

### Power Factor grafiği



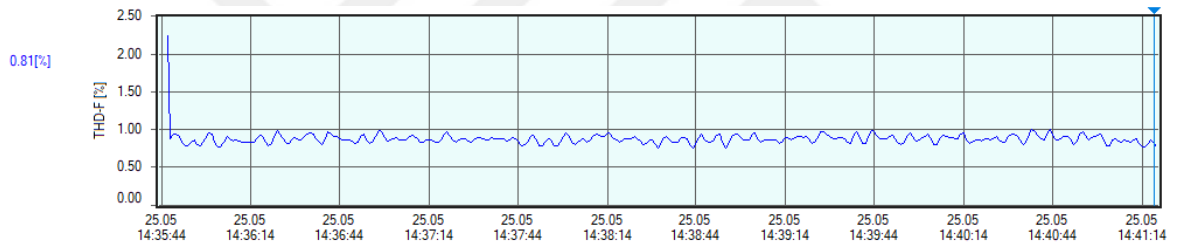
Şekil 76. Power factor grafiği

## Akım-Gerilim dalga formları



Şekil 77. Akım-Gerilim dalga formları

## THD grafiği



Şekil 78. THD grafiği

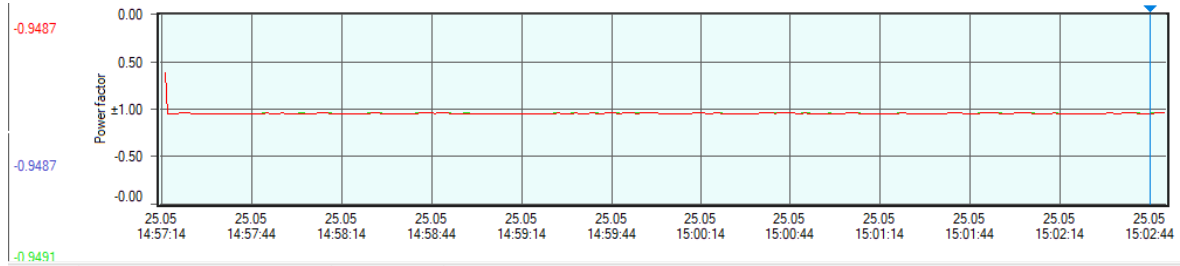
### Adım 5: Şebekeye 70 W LED Armatür Bağlanması Durumu Ölçümlerinin Alınması



Şekil 79. Şebekeye 70 W LED armatür bağlanması

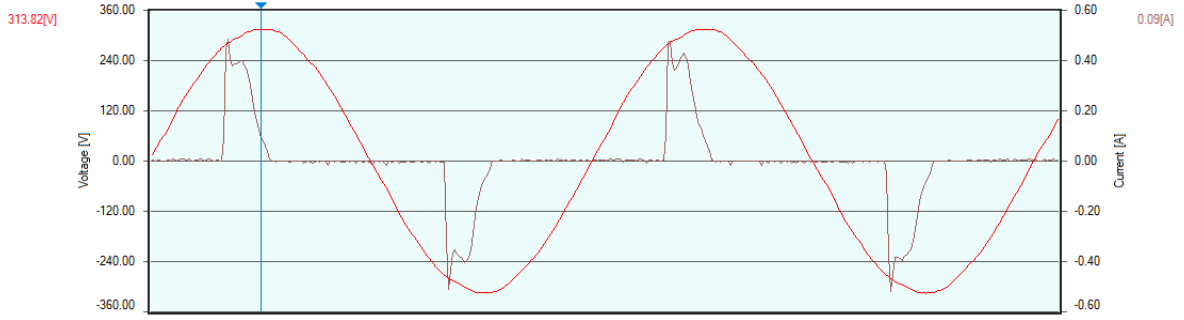
Çalışmanın bu bölümünde; 70 W LED armatürün sisteme bağlanması durumunda şebekede gerçekleşecek olan değişimler ölçü cihazıyla ölçümler alınarak incelenecektir. Bunun için yaklaşık 6 dakika boyunca ölçümler alınarak şebekenin durumu takip edilmiştir. Ölçümde çalışma boyunca gerilimin 221,47-222,53 V aralığında dalgalandığı görülmüştür. Şekil 80. - 81. - 82. de Şebekenin elektriksel durumunun ölçülen grafikleri görülmektedir.

#### Power Factor grafiği



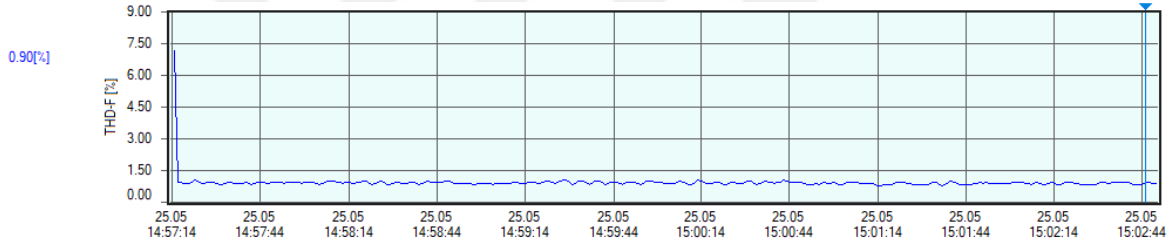
Şekil 80. Power factor grafiği

## Akım-Gerilim dalga formlar



Şekil 81. Akım-Gerilim dalga formlar

## THD grafiği

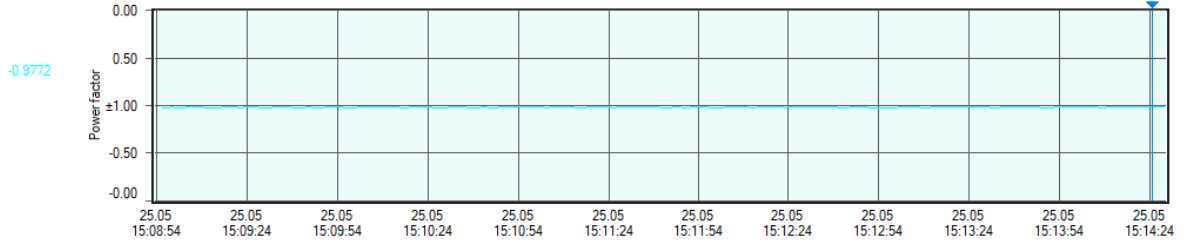


Şekil 82. THD grafiği

## Adım 6: Şebekeye 100 W LED Armatür Bağlanması Durumu Ölçümlerinin Alınması

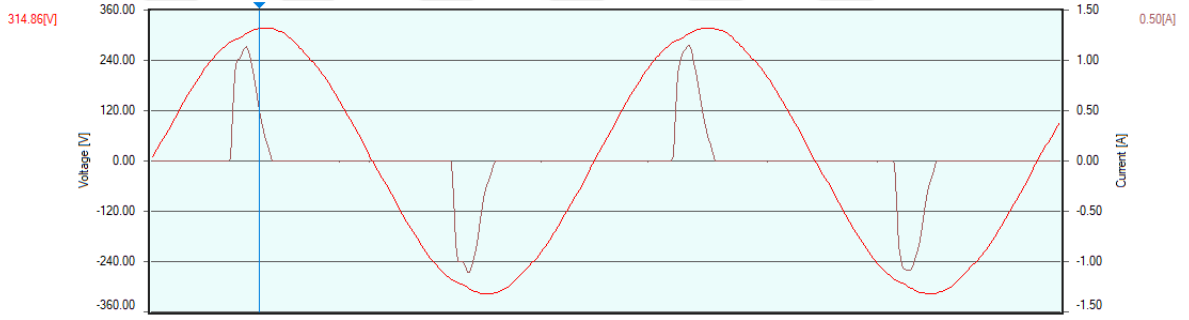
Çalışmanın bu bölümünde; 100W LED armatürün sisteme bağlanması durumunda şebekede gerçekleşecek olan değişimler ölçü cihazıyla ölçümler alınarak incelenecektir. Bunun için yaklaşık 6 dakika boyunca ölçümler alınarak şebekenin durumu takip edilmiştir. Ölçümde çalışma boyunca gerilimin 221,44-222,98 V aralığında dalgalandığı görülmüştür. Şekil 93. - 84. - 85. de Şebekenin elektriksel durumunun ölçülen grafikleri görülmektedir.

## Power Factor grafiği



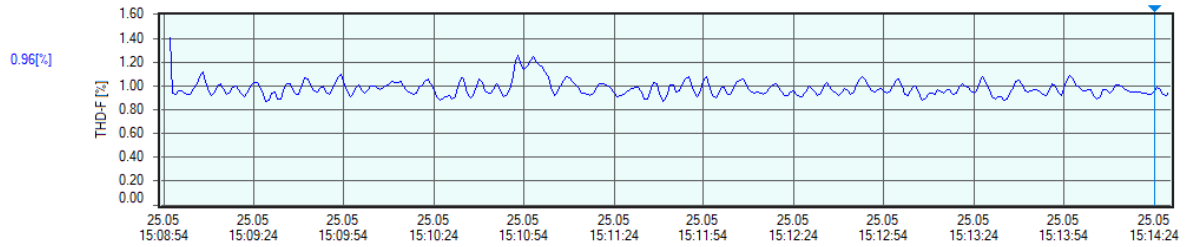
Şekil 83. Power Factor grafiği

## Akım-Gerilim dalga formları



Şekil 84. Akım-Gerilim dalga formları

## THD grafiği

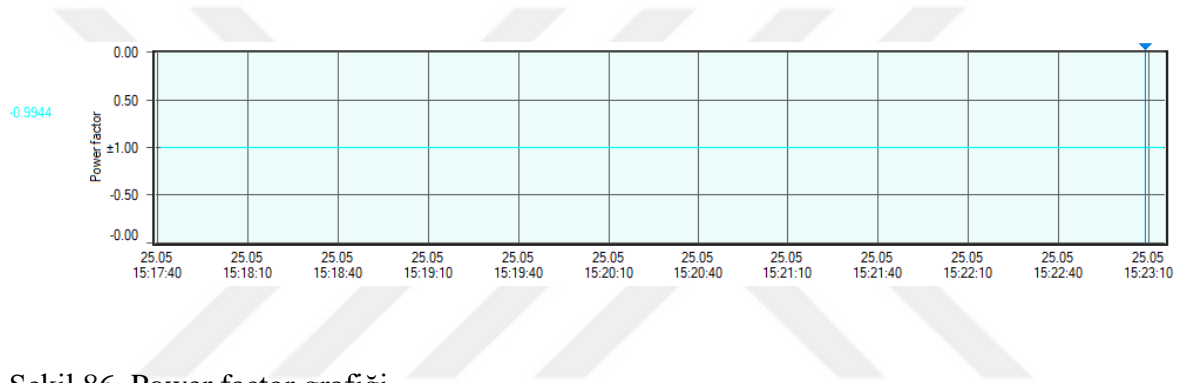


Şekil 85. THD grafiği

### Adım 7: Şebekeye 150 W LED Armatür Bağlanması Durumu Ölçümlerinin Alınması

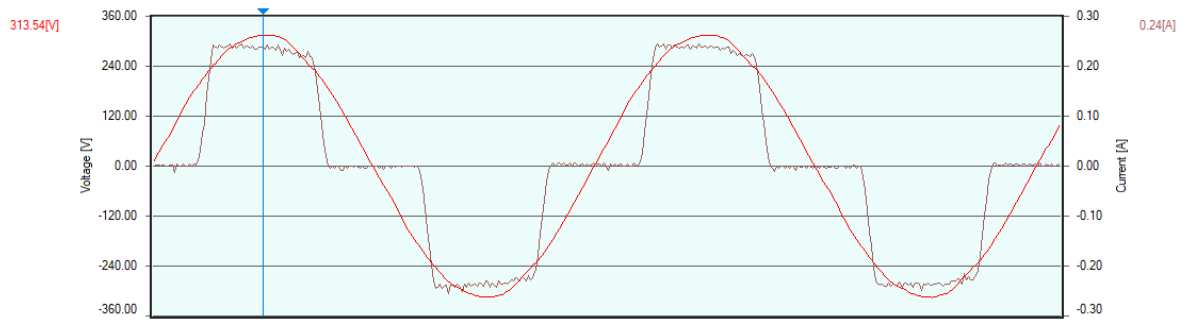
Çalışmanın bu bölümünde; 150W LED armatürün sisteme bağlanması durumunda şebekede gerçekleşecek olan değişimler ölçü cihazıyla ölçümler alınarak incelenecektir. Bunun için yaklaşık 6 dakika boyunca ölçümler alınarak şebekenin durumu takip edilmiştir. Ölçümde çalışma boyunca gerilimin 221,68-222,93 V aralığında dalgalandığı görülmüştür. Şekil 86. - 87. - 88. de Şebekenin elektriksel durumunun ölçülen grafikleri görülmektedir.

#### Power Factor grafiği



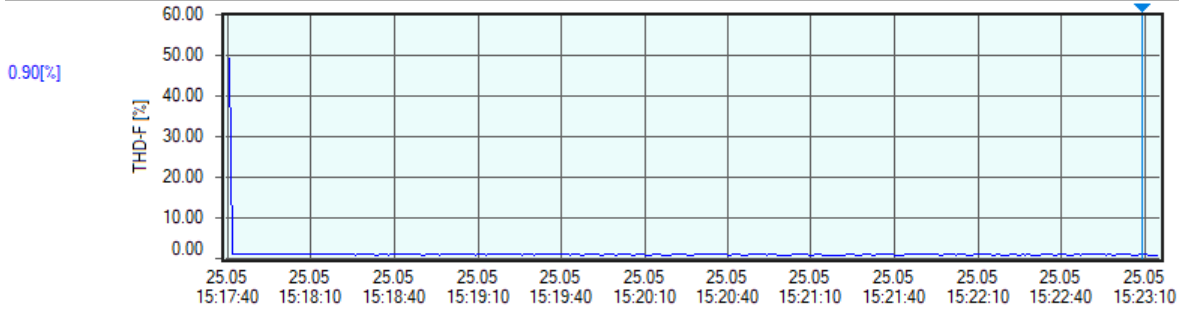
Şekil 86. Power factor grafiği

#### Akım-Gerilim dalga formları



Şekil 87. Akım-Gerilim dalga formları

## THD grafiği



Şekil 88. THD grafiği

Şekil 89 da ölçüm için kullanılan armatürler görölmektedir.

## Ölçüm Yapılan Armatürler



Şekil 89. Ölçüm yapılan armatürler



### 3. SONUÇLAR

Yapılan 5 farklı analiz çalışması incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

Tablo 35 de YBSB, LED ve LED+AŞAS aydınlatma sistemlerinin, enerji tüketimleri ve maliyetleri görülmektedir.

Tablo 35. Armatür dönüşümleri, tasarruf ve maliyet tablosu

Armatür Tipi	Yıllık Tüketilen Enerji (kWh)	Yıllık Tüketilen Enerji Maliyeti (TL)	Yatırım Maliyeti (TL)	Tasarruf Edilen Enerji Miktarı (kWh)	Tasarruf Edilen Enerji Bedeli (TL)	Tasarruf Oranı (%)	Yaklaşık Amorti Süresi (Yıl)
YBSB Aydınlatma	20.440.000	6.366.876,04					
LED Aydınlatma	13.351,700	4.158.365,91	LED 7.980.000	7.088.300	2.208.510	34,68	3,61
Analiz 2 LED+Smart (Analiz 1 LED e Göre Kıyas)	10.681.360	3.327,147,51	AŞAS 7.700.000	2.670.340	831.786	20	
Analiz 2 (Analiz 1 İlk Duruma Göre Kıyas)	10.681.360	3.327,147,51	LED+AŞAS 15.680.000	9.758.640	3.039.728	47,74	5,16

Tablo 36. Aydınlatma Sistemlerine FV sistem eklenmesi durumu analiz tablosu

FV Eklenen Çalışmalar	Yıllık Tüketim kWh	FV Santral Gücü MW	Maliyet MTL	Amorti Süresi
Analiz 3 YBSB	20.440.000	11,4	47,88	7,52 Yıl
Analiz 4 LED	13.351.700	7,5	39,480	6,2 Yıl
Analiz 5 LED+ASAŞ	10.681.360	5,98	44,085	6,92 Yıl

Analiz 1 den; Şanlıurfa ili merkez ve bağlı ilçelerinde bulunan YBSB armatürlerinde aydınlatma için yıllık tüketilen enerji 20.440.000 kWh ve enerji tüketim bedeli 6.366.876,04 TL bulunmuştu. YBSB armatürlerin LED armatüre dönüştürülmesi durumunda, yıllık tüketilen enerji 13.351.700 kWh ve enerji tüketim bedeli 4.158.365,91 TL olmaktadır. Bu durumda enerji tüketimi yıllık %34,68 azalmakta ve 2.208.510,13 TL parasal tasarruf elde edilmektedir. Bu durumda yapılan tasarruf ile LED sistemi kendini yaklaşık olarak 3,61 yılda amorti etmektedir.

Analiz 2 den; LED dönüşümü yapıldıktan sonra sisteme akıllı aydınlatma uygulamaları eklenmesi durumunda, sistemin yıllık tüketilen enerji miktarı 10.681.360 kWh ve enerji tüketim bedeli 3.327.147,51 TL olmaktadır. Bu durumda enerji tüketimi ilk duruma göre %47,74 azalmakta ve 3.039.728,53 TL parasal tasarruf edilmektedir. Bu durumda yapılan tasarruf miktarı ile sistem kendini 5,16 yılda amorti etmektedir.

Analiz 3 den; YBSB armatürlerinde harcanan enerjinin tamamının Güneş panelleri ile karşılanması durumunda kurulması gereken 11,4 MW lık FV santralin maliyeti 47,88 MTL ve sistemin kendini amorti etme süresi 7,52 yıl olmaktadır.

Analiz 4 den; LED e dönüştürülen aydınlatma sistemin enerjisinin FV santral ile karşılanması durumunda LED dönüşümünden kaynaklanan enerji tasarrufuna bağlı olarak FV santralin gücü buna paralel olarak yatırım maliyeti de düşmektedir. Bu durumda LED dönüşüm ve 7,5 MW lık FV santralin (31.500.000) toplam maliyeti 39.480.000 TL olmaktadır. Bu durumda sistem kendini 6,2 yılda amorti etmektedir.

Analiz 5 den; LED dönüşümü yapıldıktan sonra sisteme Akıllı aydınlatma uygulamaları eklenmesinden sonra tüketilen Elektrik enerjisini FV santral ile karşılanması durumunda toplam yatırım maliyeti 44.085.000 TL olmakta ve sistemin amorti süresi 6,92 yıl olmaktadır.

Yapılan incelemeler neticesinde geleneksel olarak kullanılan YBSB aydınlatma sistemlerine LED armatür dönüşümü yapılması ve Akıllı şehir aydınlatma uygulamaları eklenmesi durumunda yüksek oranlarda enerji tasarruflarının gerçekleşebileceği ayrıca amorti sürelerinin kısa olmasından dolayı yatırım yapılabilir duruma olduğu anlaşılmaktadır. Aydınlatmada gerçekleştirilen tasarruf miktarının artması çevrenin korunmasına da katkı sağlayacak olmasının yanı sıra tüketilen enerjinin %70 ini çeşitli fosil kaynaklar şeklinde ithal eden ülkemizin ithalat miktarının azaltılmasına da katkı sağlayacaktır.

Ancak bilindiği gibi Şanlıurfa Türkiye'nin en yüksek yaz sıcaklıklarına sahip ilidir. Ayrıca LED armatürlerin aydınlatma verimliliği sıcaklıklar arttıkça düşmektedir. Bu durumda LED ler için soğutma sistemlerinin çok iyi tasarlanması gerekmektedir. İyi ısı yönetimi gerçekleştirilmeyen LED sistemlerinde beklenen tasarruf miktarı gerçekleşmeyeceği gibi israf denebilecek yüksek yatırım maliyeti karşı karşıya kalınmış olacaktır.

#### Akım, Gerilim, Harmonik Testleri Sonucunda

Çalışma boyunca görülen gerilim değerlerinin az da olsa birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin şebekede olan dalgalanmalar ve incelenen armatürlerdeki harmonik değerlerden kaynaklandığı düşünülebilmektedir.

YBSB armatür gücü arttıkça THD değerinin de düştüğü görülmektedir. Bu durumda harmonik bozulmanın etkisinin arttığı anlaşılmaktadır.

Akım değerlerinin ilk anda çok küçük te olsa kararsızlık gösterdiği görülmektedir.

THD değerleri her armatür için farklı % değerlerde kararlı duruma geçmektedir.

Grafiklerden YBSB armatürlerin akım değerlerinin kesintiye uğramadığı faz kayması ile sürekli olduğu ama LED akımının doğrultma işleminden dolayı sisteme tetikleme etkisi yaparak daha fazla harmonige sebep olmaktadır.

70 W ve 100 W LED armatürlerin akım grafiklerinin birbirleriyle benzerlik gösterdiği görülmüştür. Armatürün verimliliği; LED in kalitesi, driver verimi ve kullanılan diğer parçaların elektriksel özelliklerine bağlıdır. Akım değerlerinin yakın olması armatür veriminden kaynaklandığı görülmektedir.

Ölçümlerde tekli armatürlerle inceleme yapıldığından grafiklerde elektriksel değerlerin değişimleri minimal düzeyde görülmektedir. Yüzlerce adetten oluşan aydınlatma sistemlerinde LED aydınlatmanın, şebekede elektriğin sinusoidal yapısını yani enerjinin kalitesini bozacak kadar fazla etkiye sahip olacaktır. Bunun sonucunda şebekeye bağlı diğer kullanıcıların zarar görme olasılığı artacaktır. Bu sebeple LED aydınlatma sistemlerinde güç faktörü düzeltmeli LED driverlerin kullanılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

#### 4. KAYNAKLAR

1. Yeğın E.M., Bilgin M.Z., Kocaeli Bölgesi Sokak Aydınlatmalarında Led Armatür Kullanımının Enerji Verimliliği Ve Maliyetine Etkisi, Kocaeli Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Yerleşkesi, İzmit/Kocaeli
2. Sönmezocak T., Aydınlatma Led Kaynaklarının Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri
3. Kılıç A., Kentsel Dış Mekanlarda Led Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi Üzerine Örnek Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013
4. Ahmadi M., Verimli Led’li Sokak Aydınlatma Sistemi, Yüksek Lisans Seminar Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2014 Enstitüsü, İstanbul, 2015.
5. Erdem S. Aydınlatma Mühendisliğinde İleri Yöntemlerle Çözüm Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 2007.
6. Yavuz C., Şehir Aydınlatmacılığı, Işık Kirliliği ve Aydınlatmada Enerji Verimliliği, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2004
7. Onaygil S., Aydınlatmada Enerji Verimliliği, LED’li yol aydınlatması uygulamaları, Güneydoğu Enerji Formu, Gaziantep, 2015.
8. Arias M., Lamar D. G., Sebastian J., Balocco D. ve Diallo A. A., High-Efficiency LED Driver Without Electrolytic Capacitor for Street Lighting, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 49, Issue: 1, Jan.-Feb. 2013
9. Eser O., Aydınlatma Sistemlerinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013
10. Eley Associates142, Lighting Fundamentals Handbook, Minna Street -San Francisco, CA 9410.
11. Onaygil S., "TEDAŞ Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri", TEDAŞ Yayınevi, Ankara, 55, 2005.
12. Ongun A., Yol Aydınlatma Tesisatlarının Tasarımlarında Optimum Çözüm Kriterlerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
13. Özkaya, M., “Aydınlatma Tekniği”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 291, 1994.
14. Çelik K., Enerji Verimliliği İçin Bir Merkezden Kontrollü Sokak Aydınlatma Sisteminin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2016
15. Akbulut M., Gül Ö., Led’li Isık Kaynaklarının Karakteristiklerini Belirlemeye Yönelik Ölçmeler, İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469 Maslak, İstanbul

16. Thermal management of high-power LEDs,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_management\\_of\\_high-power\\_LEDs](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_management_of_high-power_LEDs) 10 Kasım 2017
17. Bayrak T., Bilgin M.Z., Alboyacı B., Gaz Desarjlı Aydınlatma Armatürleri ile LED Aydınlatma Armatürlerinin Meydana Getirdikleri Harmonikler Açısından Kıyaslanması, ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, Aralık 2012
18. Adak S., Elektrik Tesislerinde Oluşan Harmonikler, Ders Notu, Mardin Artuklu Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Nisan, 2010
19. Çoban K.O. Aydınlatma Elemanlarının Verimliliği ve Enerji Kalitesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Ocak 2010
20. Onaygil S., Güler Ö. ve Erkin E., Yol Aydınlatması Tesisatlarında Armatür Fotometrik Değerlerinin Önemi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Ayazağa Yerleşkesi, 34469, Maslak, İstanbul
21. Technical Report, The Selection of Lighting Classes for Road Lighting, CR 13201-1, 2004
22. Onaygil S., Güler Ö. ve Erkin E., Yol Aydınlatmalarında Led Kullanımı, İTÜ Enerji Enstitüsü, Enerji Planlaması ve Yönetimi Anabilim Dalı, 34469, Maslak, İstanbul.
23. M. Castro, A.J. Jara ve F.G. Skarmeta, Smart Lighting Solutions for Smart Cities, 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2013.
24. J. F. De Paz, J. Bajo, S. Rodríguez, G. Villarrubia ve J.M. Corchado, Intelligent system for lighting control in smart cities, Information Sciences, 241-255, 2016.
25. Toy F. Led Tabanlı Yol Aydınlatma Armatürleri İçin Optik Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 2015.
26. Özgöçmen A., Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 2007
27. Gemicioğlu A. G., Türkiye’de Enerji Verimliliği Açısından Pv Sistemlerin Performansının Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2011.
28. Düzenli A., Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2010.
29. Keskinel S. Enerji Verimliliği Kapsamında Binalarda Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Uygulamalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul 2015
30. Nguyen T., Smithsonian, <https://www.smithsonianmag.com/innovation/clever-smart-street-lamps-light-up-only-when-needed-180948279/>, 05 Şubat 2018
31. <http://chicagoinfrastructure.org/initiatives/smartlighting/>, Chicago Smart Lighting Project, 5 Ocak 2018.
32. <https://www.voltimum.com.tr/haberler/dunyanin-en-buyuk-sokak-aydinlatma>, Dünyanın En Büyük Sokak Aydınlatma Sistemi, 5 Ocak 2018.

33. <https://pldturkiye.com/los-angeles-sokaklarinda-philipsin-akilli-sistemi/>, Los Angeles Sokaklarında Philips'in Akıllı Sistemi, 5 Ocak 2018.
34. <https://www.cnet.com/news/glow-in-the-dark-smart-highway-opens-in-the-netherlands/>, Glow-İn-The-Dark 'Smart' Highway Opens İn The Netherlands, 5 Ocak 2018.
35. <http://www.copcap.com/invest-in-greater-copenhagen/investment-opportunities/smart-urban-lighting-in-greater-copenhagen>, Smart Urban Lighting İn Greater Copenhagen, 5 Ocak 2018.
36. [http://www.yegm.gov.tr/duyurular\\_haberler/h\\_2014\\_led\\_pilot\\_projeler.aspx](http://www.yegm.gov.tr/duyurular_haberler/h_2014_led_pilot_projeler.aspx), Led Pilot Projeleri, 5 Ocak 2018
37. Başaran L.C., Sezer M ve Koçak F.K., Kent Parkları Ve Organize Sanayi Bölgeleri Örneklerinde Dış Aydınlatmalar İçin Akıllı Kontrol Sistemleri Ve Enerji Tasarrufu Uygulamaları, Icsig İstanbul 2014, 8/9 Mayıs 2014, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 84 - 90.
38. <http://basaksehir-livinglab.com/BLL/wp-content/uploads/2017/02/TAMARA.pdf>, Akıllı Şehirler, 5 Ocak 2018.
39. <http://www.elektrikport.com/sektor-rehberi/enerji-tasarrufu-icin-akilli-sokak-lambalari/2087#ad-image-0>, Enerji Tasarrufu İçin Akıllı Sokak Lambaları, 5 Ocak 2018.
40. <http://www.ledportali.com/delta-electronics-frankfurtta-akili-led-aydinlatma-cozumlerini-sergiledi/>, Delta Electronics, Frankfurt'ta Akılı LED Aydınlatma Çözümlerini Sergiledi, 5 Ocak 2018
41. Şamioğlu S., Akıllı Aydınlatma Nedir, <https://www.akillisebekeler.com/2016/12/20/akilli-aydinlatma-teknik-bilesenleri/>, 5 Ocak 2018.
42. Kaya Y. Bulut Temelli Adli Bilisim, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Bilgi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2016
43. P. Mell ve T. Grance, The NIST Definition of Cloud Computing, NIST Natural Institute of Standards and Technology (2010)
44. Yüksel E., Uzaktan Ölçüm İçin Zigbee Mimarisi Kullanan Sistem Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010
45. Bakır H., Fotovoltaik Sistem Entegreli Akıllı Şebeke İçin Zigbee Aygıtları İle Enerji Kontrolü Ve İzlemenin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016
46. <http://tr.rsdelivers.com/campaigns/microsites/lorawan>, Lorawan Nedir, 5 Ocak 2018
47. Işıkdoğan F., Powerline Communication Data Communication Dersi Sunum Raporu, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2009
48. <http://320volt.com/pir-passive-infrared-sensor-algilayici-sensorler/>, Passive Infrared sensor, Ocak 2018.
49. <http://www.teknokoliker.com/2011/12/fotodirenc.html>, Foto Direnç (LDR) Nedir, 5 Ocak 2018.

50. Şahin Ö., Ultrasonik ve Infrared Sensörler Kullanılarak Uzaklık Ölçümü, <http://www.otomasyondergisi.com.tr/arsiv/yazi/60-ultrasonik-ve-infrared-sensorler-kullanilarak-uzaklik-olcumu>, 5 Ocak 2018.
51. Karagöl E.T., Kavaz İ., Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, Siyaset, Ekonomi Ve Toplum Araştırmaları Vakfı (Seta), Nisan 2017 Sayı: 197.
53. Dünya Enerji Konseyi Türk milli Komitesi, Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi, 2009.
54. <http://1.bp.blogspot.com/-A1LFXFICQ4g/UbZIMWItNYI/AAAAAAAAABEE/qWkEcTawpCI/s1600/DNI+world+map.jpg>, Nisan 2018
55. <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>, (07.02.2010), Nisan 2018
56. Aktacir M. A. ve Işiker Y., Yenilenebilir Enerji Kaynakları Laboratuvarı, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa
57. Girgin M.H., Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw’lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul 2011
58. Boztepe M., Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
59. Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS.), Planning And Installing Photovoltaic Systems : A Guide For Installers, Architects, And Engineers, Library Of Congress Cataloging-In-Publication Data, 2008, ISBN-13: 978-1-84407-442-6
60. Ajder A., Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011
61. <http://enerjienstitusu.com/turkiye-kurulu-elektrik-enerji-gucu-mw/>, Nisan 2018
62. Deniz E., Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar, Akademi Enerji, İzmir
63. Düzenli A., Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2010.
64. [http://www.ledlight-solar.com/menu\\_detay.asp?id=5001](http://www.ledlight-solar.com/menu_detay.asp?id=5001), Nisan 2018
65. <http://ledsolaraydinlatma.com/36-watt-gunes-enerjili-solar-sokak-aydinlatma-diregi/>, Nisan 2018
66. <https://www.amisoshaber.com/guncel/samsuna-akilli-aydinlatma-h14512.html>, Nisan 2018
67. <http://www.powerenerji.com/gunes-enerjili-aydinlatma-sokak-cadde-solar-lamba-fiyatlari.html>, Nisan 2018
68. <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/plastic-pe-led-curbstone-colors-road-kerb-rgb-led-lighting-kerb-60446951842.html>, Nisan 2018
69. <https://turkish.alibaba.com/p-detail/solar-powered-led-strip-lights-led-cat-eye-road-marker-solar-led-road-light-60129230089.html>, Nisan 2018

70. <http://www.gunesenerjisifirmalari.gen.tr/gunes-enerjili-trafik-ikaz-levhalari.html>, Nisan 2018
71. <http://www.yeniakit.com.tr/foto-galeri/gunes-enerjili-bisikletle-dunyayi-geziyor-5409>, Nisan 2018
72. <https://khosann.com/gunes-enerjili-karayollari-saydam-gunes-paneli-dosenen-e-otoyollar-enerji-santrallerinin-yerini-alacak/>, Nisan 2018
73. <http://www.evdelektrik.com/fransa-yollara-gunes-paneli-dosuyor/>, Nisan 2018
74. P. N. Cheremisinoff ve W. C. Dickinson, Solar Energy Technology Handbook, Part A Engineering Fundamentals, 270 Madison Avenue, New York, 865p.
75. Şenpınar A., Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması, Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler Myo Endüstriyel Elektronik Programı, Elazığ, 2006
76. Küçükgöze O.M. ve Kaya M., Erzincan İli İçin 50 kW Kurulu Gücünde Bir Güneş Enerji Santralinin Maliyet Analizi, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
77. Abuşka M. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları” Ders Notları, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa
78. <http://www.sanliurfa.gov.tr/genel-bilgiler>, Nisan 2018
79. A18 <http://www.sanliurfa.bel.tr/icerik/24/2/nufus>, Nisan 2018
80. <https://www.nufusu.com/il/sanliurfa-nufusu>, Nisan 2018
81. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/63.aspx>, Nisan 2018
82. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/63.aspx>, Nisan 2018
83. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/63.aspx>, Nisan 2018
84. A26 <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/63.aspx>, Nisan 2018
85. Pelsan-Lyon Yol ve Cadde Armatürü, Nisan 2018
86. A24 Pelsan-Lyon Yol ve Cadde Armatürü, Nisan 2018
87. Pelsan-Rio, Nisan 2018
88. A27 <https://www.havaturkiye.com/weather/maps/city>, Nisan 2018
89. <http://enerjiinstitutusu.com/turkiye-kurulu-elektrik-enerji-gucu-mw/>, Nisan 2018
90. YEGM (Aralık.2017)



## ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Şanlıurfa'da doğdu. İlkokulu Süleyman Şah İlk Öğretim Okulu, Ortaokulu Merkez Orta Okulu ve lise öğrenimini Şanlıurfa Anadolu Lisesinde tamamladı. 2002 yılında İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde başlayıp 2006 yılında mezun oldu. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. İngilizce okuma ve yazmayı intermediate seviyesinde bilmektedir.

