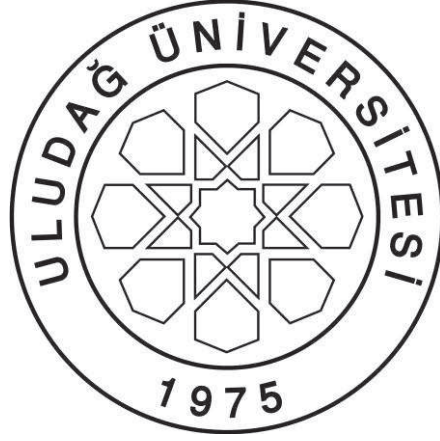




T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN GÜNEŞ TAKİP MEKANİZMASININ TASARIMI

Ercan MASTAR

Doç. Dr. Kadir ÇAVDAR

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BURSA – 2011

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Ercan MASTAR tarafından hazırlanan “Güneş Panelleri İçin Güneş Takip Mekanizmasının Tasarımı” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Kadir ÇAVDAR

Başkan : Doç. Dr. Kadir ÇAVDAR
Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ
Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih KARPAT
Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN

Enstitü Müdürü

../../.... (Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

28.09.2011

İmza

Ercan MASTAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN GÜNEŞ TAKİP MEKANİZMASININ TASARIMI

Ercan MASTAR

Uludağ Üniveristesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doc. Dr. Kadir ÇAVDAR

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için birçok metod vardır ve bunların arasında dünyada en yaygın kullanılan yöntem fotovoltaik paneller ile elektrik üretimidir. Fotovoltaik panellerin elektrik üretim verimliliğini arttırabilmek için güneş panellerini güneşin doğrultusunda hareket ettiren sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerin dönüş eksenine, serbestlik derecesine göre ve bulunduğu coğrafi bölgeye göre verimlilikleri değişmektedir. Ortalama güneş takip sistemleri %25 ile %40 arası verimlilik kazandırmaktadır.

Bu çalışmada güneş takip sistemlerinin kullanıldığı diğer teknolojiler, takip sistemlerinin sınıflandırılması, ekonomik getirileri ve pazardaki yaşam döngüsünün bağlı olduğu etmenler üzerine durulmuştur. Örnek bir fotovoltaik güneş takip sisteminin tasarımı yapılarak bu sistemin sabit fotovoltaik sistemle enerji üretimi ve yatırım maliyetleri açısından karşılaştırılması yapılmış ve yatırım geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Bu çalışmanın, güneş enerjisinden elektrik eldesi için yapılacak yatırımlarda yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: tasarım, güneş takip sistemi, yatırım analizi, mekanizma analizi

2011, vi+120 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

SOLAR TRACKER MECHANISM DESIGN FOR SOLAR MODULE

Ercan MASTAR

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine Engineering

Supervisor: Doc. Dr. Kadir ÇAVDAR

There is a many method for the solar energy producing and most used method between of them is producing electricity with photovoltaic modules. For the increase the photovoltaic modules efficiency, the system moving to direction of the sun is used. The systems efficiency changes according to rotating axis, degree of the freedom and geographical location. Solar trackers average efficinecy gain is between %25 and %40.

In this study, other technologies is used tracker, classification of the trackers, economical advantage and depending factors of the life cycle is insisted on. With a sample photovoltaic solar tracker is designed, between fixed photovoltaic system and tracked system was compared in terms of energy producing and investment cost and resturn of investment time was calculated. This study will be mentor for the investment done for achieving the solar electricity that to be thought.

Key words: design, solar tracker systems, feasibility analysis, mechanism analysis

2011, vi+120 page

ÖNSÖZ

Sürdürülebilir enerji kaynaklarının çevreye zarar veren kaynaklarının yerini hızla almaya başladığı günümüzde güneş en önemli kaynaktır. Bu amaçla güneşten enerji elde etme amacı ile bir çok çalışma yapılmaktadır.

Bu çalışmada da güneşten elektrik elde etme amacı ile düzenlenen sistemlerin verimini arttırmak amacı ile düşünülen güneş takip sistemleri üzerinde durulmaktadır. Özellikle bu alanda yatırım yapacaklar için çalışmanın yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Ercan MASTAR

28.09.201

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. GÜNEŞ	4
2.2. BİR ALTERNATİF ENERJİ KAYNAĞI OLARAK GÜNEŞ	4
2.3. TÜRKİYE VE GÜNEŞ ENERJİSİ	5
2.4. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI	6
2.4.1. Aydınlatma uygulamaları	6
2.4.2. Isınma – ısıtma uygulamaları.....	6
2.4.3. Elektrik üretim uygulamaları	8
2.4.4. Fotovoltaik Teknoloji.....	9
2.4.5. Güneş Enerjisi Santralleri	14
2.5. GÜNEŞ ENERJİSİ PİYASASI	21
2.5.1. Küresel pazar.....	21
2.5.2. Türkiye pazarı	23
2.5.3. Küresel pazarın gelecek öngörülleri.....	24
2.5.4. Güneş takip sistemleri pazarı.....	25
2.5.5. Destekleyici tarifelerin (Feed in Tariff) güneş takip sistemi piyasasına etkisi.....	30
2.5.6. Göze teknolojisinin güneş takip sistemlerinin pazarına etkisi	31
2.5.7. Güneş Takip Sistemi Pazarının Geleceği	31
2.5.8. Satın almayı etkileyen kilit faktörler (Key Buying Factors – KBF)	32
2.5.9. Müşteri teknik talepleri.....	34
2.6. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ YATIRIM ANALİZİ	34
2.7. PİYASADAKİ MEVCUT GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ VE ÜRETİCİLERİ	36
2.7.1. FV için takip sistemi üretenler.....	36
2.7.2. CSP için takip sistemi üretenler.....	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM	40
3.1. MATERYAL.....	40
3.1.1. Güneş takip sistemleri.....	40
3.1.2. Güneş takip sistemlerinin sınıflandırılması	41
3.1.3. Aktuatörler	49
3.1.4. Güneş takip sisteminin verimi	50
3.1.5. Güneş takip sistemlerinde bakımı ve garanti periyodları.....	54
3.1.6. Güneş takip sistemlerinin yatırım geri dönüş süresine etkisi	55
3.1.7. Güneş Takip Sistemlerinin Enerji Geri Dönüş Süresi.....	56
3.1.8. Güneş takip sistemlerinin optimizasyonu	61
3.1.9. Güneş takip sisteminin hareketi	62
3.1.10. Mekanik yapı türleri.....	76
3.1.11. Güneş takip sistemi tasarımı	78
3.2. YÖNTEM	85
4. BULGULAR.....	96
5. SONUÇ	116
KAYNAKÇA	119

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1. Türkiye Güneş Haritası -----	5
Şekil 2. 1 kW Kurulu Güçten Toplam Solar Elektrik Üretimi -----	6
Şekil 3. Panel Tiplerine Göre Alan Gereksinimleri-----	9
Şekil 4. Güneş Evi Aydınlatma Sistemi - Batı Bengaldeş, Hindistan -----	10
Şekil 5. Fotovoltaik sistem temel oluşum -----	10
Şekil 6. Bond modeli, Stuart, Martin, Muriel, & Corkish, 2007-----	11
Şekil 7. Güneş pilinin yapısal gösterimi -----	12
Şekil 8. Güneş Pilinin Akım Gerilim Eğrileri -----	13
Şekil 9. Güneş pili çalışma karakteristik eğrileri (Akyol ve Kılıç 2010) -----	13
Şekil 10. Güneş Pilinin Akım Gerilim Eğrisi (Çalıköğlu ve Özdemir 2010) -----	14
Şekil 11. Şebeke Bağlantı Tipine Göre Güneş Enerjisi Sistemlerinin Sınıflandırılması -----	15
Şekil 12. Şebeke bağlantılı fotovoltaik santral güç akış diyagramı -----	16
Şekil 13. Evsel uygulamalarda kullanılan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem güç akış diyagramı (Çalıköğlu ve Özdemir 2010). -----	17
Şekil 14. Şebeke ile bağlantılı sistemler (Anonim 2004)-----	17
Şekil 15. Solar Güç Kulesi-----	19
Şekil 16. Parabloki Oluklu Odaklayıcı Solar Güneş Santrali-----	20
Şekil 17. Fotovoltaik pazarın 1998-2008 yılları arasında küresel olarak tarihi gelişimi (Çalıköğlu ve Özdemir 2010) -----	22
Şekil 18. Fotovoltaik pazarın 2000–2013 arası yıllık küresel büyüme oranları ve tahminleri (Çalıköğlu ve Özdemir 2010) -----	23
Şekil 19. Güneş Enerjisi Kurulu Kapasite Gelecek Tahminleri-----	25
Şekil 20. Güneş Enerji Sistemlerinin 2020 Yılına Kadarki Kurulum Projeksiyonları-----	26
Şekil 21. 4 MW Kurulu Gücündeki Güneş Takip Sistemli Güç Santrali, İspanya. [Takip Sistemi: Poulek Solar Co Ltd)-----	27
Şekil 22. Optimum Açılı Yüzayda Yılın En Kötü Ayında Saatteki Alınan Solar Enerji Miktarı (SunWize Technologies) -----	28
Şekil 23. Batı Eyaleti Richmond Dolaylarında Wastewater Bölgesinde Premier Power Tarafından Kurulan Uygulaman -----	29
Şekil 24. Güneş Takip Sistemi Boyut Sınıflandırması -----	34
Şekil 25. Ray Tracker Firması Tarafından British Telecom Birleşik Amerika Genel Merkez Binası Otoparkına Yapılan Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi Uygulaması. (Appleyard 2009) -----	37
Şekil 26. Güneş Paneli Üzerine Düşen Işınım -----	40
Şekil 27. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi [Güneş Takip Sistemi: Concentrix Solar]-----	42
Şekil 28. Polar Tek Eksenli Takip Sistemi-----	43
Şekil 29. Azimuth Tek Eksenli Takip Sistemi -----	44
Şekil 30. Yatay Tek Eksenli Takip Sistemi-----	44
Şekil 31. Polar Çift Eksenli Takip Sistemi-----	45
Şekil 32. Azimuth Çift Eksenli Takip Sistemi -----	45

Şekil 33. Harici İki Yüzlü Güneş Takip Sistemi-----	46
Şekil 34. Takip Sistemi Sensör Yerleşimleri soladan sağa: Ayırıcı, Açılı Montaj, Yönlendirici	47
Şekil 35. Sonsuz Dişli Aksiyal Rulmanlı Redüktör-----	49
Şekil 36. Lineer Aktuatör -----	50
Şekil 37. 1kWp Fotovoltaik Kurulu Güç İle Optimum Açılı Tek Eksenli Takip Sisteminin Ürettiği Enerjinin Avrupa Haritası Üzerinde Gösterimi -----	52
Şekil 38. Avrupa Haritası Üzerinde Optimum Açılı Tek Eksenli Takip Sisteminin Optimum Açılı Sabit Sisteme Göre Verim Değişiminin Gösterilmesi (Huld 2006) -----	52
Şekil 39. Avrupa Haritası Üzerinde Çift Eksenli Takip Sisteminin Optimum Açılı Tek Eksenli Takip Sistemine Göre Verim Değişiminin Gösterilmesi (Huld 2006) -----	53
Şekil 40. Beş Farklı Bağlantı Tipi Ve Sabit Bağlatılı FV Sistemin Enerji Üretim Değerlerinin Birbiri İle 5 Farklı Lokasyonda Karşılaştırması (Huld 2006) -----	54
Şekil 41. Sabit Kurulu Sistem İle Güneş Takip Sistemlerinin Santral Maliyetlerinin Karşılaştırması -----	55
Şekil 42. Wp başına kurulum maliyetine göre Güneş Elektiriği Maliyeti grafiği -----	55
Şekil 43. Güneş Takip Sistemlerinin Ürettiği enerjinin Üretim Kurulum ve Faydalanma, Kullanma Arasındaki Akış Şeması -----	57
Şekil 44. İki Eksenli Güneş Takip Sisteminin Enerji Geri Dönüş Süresinin Enleme Göre Değişimi (Perpiñan ve ark. 2008) -----	59
Şekil 45. Yatay K-G Eksenli Güneş Takip Sisteminin Enerji Geri Dönüş Süresinin Enleme Göre Değişimi (Perpiñan ve ark. 2008)-----	60
Şekil 46. Sabit Sisteminin Enerji Geri Dönüş Süresinin Enleme Göre Değişimi (Perpiñan ve ark. 2008) -----	60
Şekil 47. C. Alexandru'nun Sanal Güneş Takip Sistemi Prototipi-----	62
Şekil 48. Sanal Güneş Takip Sisteminin Günlük Hareket İçin Kontrol Sistemi (Alexandru ve Pozna 2009) -----	63
Şekil 49. FV Sistemin Enerji Üretimi -----	64
Şekil 50. FV Sistemin Enerji Tüketimi (Alexandru ve Pozna 2009)-----	64
Şekil 51. FV Sistemin Verimi -----	64
Şekil 52. FV Sistem Enerji Üretimi-----	65
Şekil 53. FV Sistem Enerji Tüketimi -----	65
Şekil 54. FV Sistem (Alexandru ve Pozna 2009)-----	65
Şekil 55. Tek Eksenli Azimut Takip Sistemindeki Güneş Işını Açılıları -----	66
Şekil 56. Yaz Gün Dönümünde Direkt Güneş Işınımının Değişimi -----	67
Şekil 57. Yaz Gün Dönümünde Sabit Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi -----	68
Şekil 58. Yaz Gün Dönümünde Tek Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi. -----	68
Şekil 59. Yaz Gün Dönümünde İki Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.-----	69
Şekil 60. Yaz Gün Dönümünde Üç Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.-----	69
Şekil 61. Yaz Gün Dönümünde Dört Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi. -----	70

Şekil 62. Sanki Ekvatorial Güneş Takip Sisemi Üzerine Gelen Güneş Işınlarnın Şematik Gösterimi (Diaconescu ve ark. 2008). -----	71
Şekil 63. Yaz Gün Dönümünde Direkt Güneş Işınımının Değişimi -----	72
Şekil 64. Yaz Gün Dönümünde Saat Açısının Değişimi-----	72
Şekil 65. Yaz Gün Dönümünde Sabit Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi -----	73
Şekil 66. Yaz Gün Dönümünde Tek Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi. -----	73
Şekil 67. Yaz Gün Dönümünde İki Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.-----	74
Şekil 68. Yaz Gün Dönümünde Üç Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.-----	74
Şekil 69. Yaz Gün Dönümünde Dört Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi. -----	75
Şekil 70. Yaz Gün Dönümünde Fotovoltaik Panelin Saat Açısının Ve Etki Açısının Değişimi. -----	75
Şekil 71. Tek Kolonlu Yapı-----	76
Şekil 72. V kolonlu Güneş Takip Sistemi -----	77
Şekil 73. Paralel Konstrüksiyonlu Yapı-----	78
Şekil 74. Güneş Takip Sisteminin Yandan Görünüşü -----	79
Şekil 75. Güneş Takip Sisteminin Önden Görünüşü-----	80
Şekil 76. Güneş Takip Sisteminin Üstten Görünüşü-----	81
Şekil 77. Güneş Takip Sistemi Bileşenleri -----	81
Şekil 78. Ana Direk-----	82
Şekil 79. Üst Taşıyıcı Karkas -----	83
Şekil 80. Ana Mafsal Grubu -----	83
Şekil 81. Fotovoltaik Modül-----	84
Şekil 82. Güneş Açıları (Şenpınar 2006) -----	86
Şekil 83. Eğik ve Yatay Düzlemlere Gelen Extraterrestrial Güneş Radyasyonu Hesabı İçin (Atagündüz 1989)-----	86
Şekil 84. Eğim Açısı, δ -----	87
Şekil 85. Yılın Farklı Zamanlarındaki Dünyanın Yörüngesi Ve Deklinasyonu (Şenpınar 2006) -----	87
Şekil 86. Deklinasyon ve Saat Açısı Tanımı İçin-----	89
Şekil 87. Yerkürenin Enlem Dairelerinin Tanımı İçin (Atagündüz 1989)-----	90
Şekil 88. Yerel Alan Saat Meridyeni -----	92
Şekil 89. Zenit ve Nadir Noktalarının Tanımı İçin -----	93
Şekil 90. Güneş Yükseklik Açısı ve Zenit Açısı Tanımı İçin-----	94
Şekil 91. ASCE 7-05'e göre Rüzgar Yüklerinin Gösterimi -----	96
Şekil 92. Rüzgarın Geliş Yönü ve Mafsal Noktalarının Gösterimi-----	98
Şekil 93. İndirgenmiş Kuvvet Gösterim -----	99
Şekil 94. Rüzgarın yarattığı moment -----	100
Şekil 95. 21 Aralık Günü Bursanın Güneş Açıları -----	104
Şekil 96. 21 Haziran Bursa'nın Güneş Açıları-----	105

Şekil 97. Bursa'nın gün uzunluğu grafiği-----	106
Şekil 98. Bursa İli İçin Güneş Doğuş Ve Batış Saatlerinin Gün Sayısına Göre Değişimi -----	106
Şekil 99. Bursa'nın Gün Uzunluğu Ve Güneş Açılarının Toplam Taradıkları Açısıl Alanların Gün Sayısına Göre Değişimleri-----	107
Şekil 100. Bursa İçin Gün Uzunluğuna Göre Kırmızı Çizgi 0,5 Saatlik Aralarla, Mavi Çizgi 1'er saatlik Aralarla Hareket Etmek Suretiyle Her Bir Adımda Taranan Zenit Açısı Miktarının Güne Göre Değişimi -----	108
Şekil 101. Bursa İçin Gün Uzunluğuna Göre Kırmızı Çizgi 0,5 Saatlik Aralarla, Mavi Çizgi 1'er saatlik Aralarla Hareket Etmek Suretiyle Her Bir Adımda Taranan Azimuth Açısı Miktarının Güne Göre Değişimi-----	109
Şekil 102. Bursa İli İçin Farklı Senaryolara Göre Adım Sayısının Gün Sayısına Göre Değişimi Değişimleri -----	110
Şekil 103. Sabit ve İki Eksenli Takip Sistemlerin Bursa İli İçin Enerji Üretim Eğrilerinin Gösterimi-----	111
Şekil 104. Aktuatörlerin Aylara Göre Enerji Tüketimi -----	113
Şekil 105. İki Eksenli Takip Sisteminin Ürettiği Enerji, Net Ürettiği Enerji Ve Hareketi Esnasında Tükettiği Enerji-----	114
Şekil 106. Sabit Optimum Açılı Fotovoltaik Sisteme Göre İki Eksenli Takipli Fotovoltaik Sistemin Enerji Üretim Faklı Ve İki Eksenli Takip Sisteminin Verimi-----	115
Şekil 107. İki Eksenli Takip Sisteminin Satış Fiyatının Pasta Grafiği -----	116
Şekil 108. İki Eksen Takip Sisteminin Toplam Malzeme Maliyetinin Kırılımı-----	117

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1. IEA, Avrupa Birliği Komisyonu ve Greenpeace'in toplam kurulu kapasite tahminleri -----	25
Çizelge 2. FV panel ve Takip Sisteminin Watt Başına Maliyetleri (Lindberg ve Mäki 2010) --	35
Çizelge 3. Aktif Sensörlü ve Kronolojik Takip Karşılaştırma -----	48
Çizelge 4. Avrupa'nın bölgelerine göre iki eksenli takip sistemlerinin optimum açılı sabit sisteme göre verimlerinin değişimleri (Trojek 2008)-----	51
Çizelge 5. Proje içerisinde yer alan sabit ve takip sistemleri için konstrüksiyonların teknik özellikleri -----	57
Çizelge 6. 1 kWp kurulu güçteki güneş takip sistemindeki ana bileşenler ve bu bileşenlerin için gerekli enerji miktarları. (Perpiñan ve ark. 2008) -----	59
Çizelge 7. Gün Sayısının Hesaplanması (D =Ayın hangi günü olduğu. Eğer atık yıl ise L=1, yoksa L=0)-----	88
Çizelge 8. Rüzgar Hız Basıncı - Kuvveti Hesap Tablosu-----	97
Çizelge 9. Dengeleme Momenti Hesap Tablosu-----	98
Çizelge 10. Aktuatörlerin Adım Sayısına Göre Enerji Tüketimi -----	112
Çizelge 11. Yatırım Geri Dönüş Özet Tablo-----	117

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi yüz yıllardır insanoğlunun kullanımında, insanlığa hizmet etmektedir. İlk çağlardan başlayıp modern çağlara geldiğimiz bu günlere değin güneş enerjisi hep insanın en önemli birincil enerji kaynağı olmuştur.

Türkiye güneş enerjisi değerleri açısından çok verimli bir ülkedir. Güneş ışıma değerleri açısından bakıldığında İspanya'dan sonra Avrupa'nın en iyi değerlere sahip ikinci ülkesi Türkiye'dir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, ülkemizde yılda metrekare başına 1100 kWh' lik güneş enerjisi potansiyelinin olduğunu göstermektedir (Altın 2004). Bu potansiyel henüz tam olarak değerlendirilemese de özellikle yapılan son yasal düzenlemeler ile bu alanda gelişmeler hızla artmaktadır. Bu alanda en çok rastlanan uygulama güneş kollektörleri ile sıcak su eldesidir. Bu ürünler ve teknoloji halk arasında da yer etmiş ve güvenilirlik sağlamıştır ve böylece kendi sanayisini de oluşturmuştur. Sıcak su kollektörlerinin imalatı ciddi boyutlarda iş ve istihdam yaratmış hatta bazı firmalar Avrupa pazarına tanınır olmuş ve diğer ülkelere ihracat yaparak kalitesini bu ülkelerde sergileme olanağı bulmuşlardır.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi ülkemizde henüz çok yeni bir kavramdır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi diğer gelişmiş ülkelerde uzun yıllardır kullanılan bir yöntem iken Türk halkı sadece güneş enerjisinden elektrik üreten ürünlerle belirli kurumların tanıtım amaçlı kurulumlarında ve bazı enstitülerin bilimsel çalışma merkezlerindeki kurulumlarda kısıtlı bir şekilde tanışmıştır. Türk güneş enerjisi sektörü (sıcak su kollektörleri hariç) ilginç bir şekilde iç piyasadaki hareketlenmeden değil dış piyasadaki hareketlilikten etkilenecek gelişmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımına yönelik ilk kanun 2005 yılında çıkartılmış ve 2010 yılının sonunda son düzenlemelerle mevcut halini almıştır. Son yapılan düzenlemelerde yerli piyasanın teşvikine yönelik yerli katkı payları cetveli oluşturulmuştur (Bk 5346. Sayılı Kanun). Bu cetvelde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimine yönelik cihazların, yerli piyasadan alınması durumunda devletin bu kaynaklardan elektrik üretimine verdiği teşvik miktarına ilave yerli katkı payı ilaveleri bulunmaktadır. Bu yerli katkı payı ilave yerli güneş enerjisi sanayisinin oluşması ve varolan sanayinin gelişmesi için olumlu bir adımdır. Unutulmamalıdır ki bu gün güneş enerjisi teknolojisi anlamında teknolojik

olarak ileri olan ülkelerin sanayileri teşvik mekanizmaları sayesinde mevcut duruma ulaşmıştır.

Türk güneş enerjisi sektörü bakir ve gelişmeye açık bir sektördür. Bu nedenle son yıllarda sanayide ve akademik çevrede bu konu üzerine yapılan çalışmaların sayısı artmıştır. İleride sıcak su kolektörleri sektöründeki başarılı durumun diğer güneş enerjisinden elektrik üreten teknolojilerde de gelişeceği şüphesizdir.

Türk makina sektörü yıllardır arttırdığı kalitesi ile şu an bulunduğu konum itibari ile Türk sanayisinin lokomotifidir. Türk makina sanayisi tecrübesi ile güneş enerjisi sektöründe bazı bileşenlerin imalatını mevcut kapasitesi ile yapabilecek konumdadır. Bu bileşenlerden bazıları fotovoltaik, konsantre fotovoltaik, konsantre solar termal ve diğer uygulamalar için güneşi takip eden montaj konstrüksiyonlarıdır. Bu çalışmada, bu konstrüksiyonlar “güneş takip sistemleri” olarak anılacaktır.

Bu çalışmada, güneş takip sistemlerinin sınıflandırılmasına yapılmıştır. Kapsamlı bir literatür araştırması ile halen mevcut kırkın üzerinde güneş takip sistemi üreticisinin ürünlerinin incelenmesi yapılmıştır.

Fotovoltaik güneş takip sistemi üreticileri, güneş takip sistemlerinin fotovoltaik güneş dizisinin enerji üretim verimini %20-%40 arttırdığını iddia etmektedir. Güneş takip sistemlerinin enerji üretim verimliliği, sabit ve optimum açılı bir fotovoltaik güneş dizisini, güneşin pozisyonuna göre hareket ettirildiğinde sabit sisteme göre hareketli sistemin elde ettiği enerji artışının oranıdır. Verim değeri özellikle fotovoltaik güneş takip sistemleri için ekonomik olarak hayati önem taşımaktadır. Çalışmada takip sistemlerinin ekonomik risklerinden ve avantajlarından da detaylı olarak bahsedilmiştir.

Çalışmada tek kolonlu çift eksenli 117 m² yüzey alanına sahip ve kronolojik takip sistematiği kullanan bir fotovoltaik güneş takip sistemi tasarımı yapılmış olup sistemdeki eyleyicilerin (actuators) kuvvet ve güç hesapları verilmiştir. Hareket tipi olarak adım adım hareket düşünülmüş ve enerji üretim eğrileri bu sistematiğe göre verilmiştir.

Sistemin üretebildiği enerji değerleri hesaplandıktan sonra mali hesap öngöröleri ile yatırım geri dönüş süresi hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın, güneş enerjisinden elektrik eldesi için yapılacak yatırımlarda yol gösterici olacağı düşünölmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Güneş

Güneş ışığı şeklinde güneş'ten yayılan enerji, fotosentez yoluyla Dünya üzerindeki hayatın hemen hemen tamamının var olmasını sağlar ve dünya'nın iklimiyle hava durumunun üzerinde önemli etkilerde bulunur.

Güneşin yüzey sıcaklığı 5500 °C ve çekirdeğinin sıcaklığıysa 15,6 milyon °C'dir. Güneşten çıkan enerjinin 2 milyonda 1'i yeryüzüne ulaşır. Güneş'in üç günde yaymış olduğu enerji, dünyadaki tüm petrol, ağaç, doğalgaz, vb. yakıta eşdeğerdir. Güneş ışınları 8,44 dakikada yeryüzüne ulaşır (Anonim 2011).

2.2. Bir Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Güneş

Güneş enerjisi veya Güneş erkesi, Güneş ışığından enerji elde edilmesine dayalı teknolojidir. Güneşin yaydığı ve dünyamıza da ulaşan enerji, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıyım enerjisidir. Güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Dünya atmosferinin dışında güneş ışıyımının şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1370 W/m² değerindedir; ancak yeryüzünde 0-1100 W/m² değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

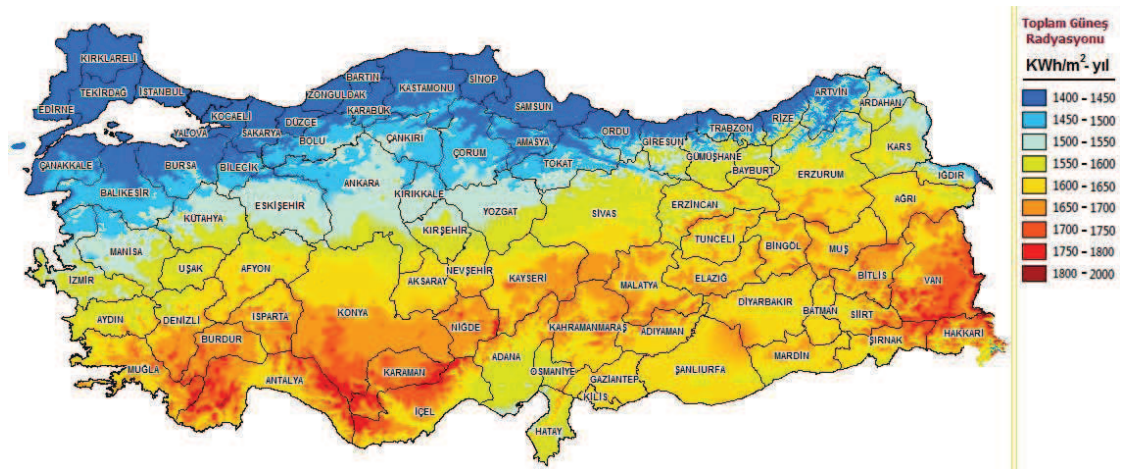
Dünyanın yörüngesi üzerinde, uzayda, birim alana ulaşan güneş ışınları, güneşe dik bir yüzey üzerinde ölçüldükleri zaman 1,366 W/m²'dir. Bu değer güneş enerjisi sabiti olarak da anılır. gezegen Atmosfer bu enerjinin %6'sını yansıtır, %16'sını da sönümler ve böylece deniz seviyesinde ulaşılabilen en yüksek güneş enerjisi 1,020 W/m²'dir. Bulutlar gelen ışımayı, yansıtma suretiyle yaklaşık %20, sönümleme suretiyle de yaklaşık %16 azaltırlar. Sağdaki resim 1991 ve 1993 yılları arasında uydu verilerine dayanarak, elde edilebilen ortalama güneş enerjisinin W/m² cinsinden

gösterimidir. Örneğin Kuzey Amerika'ya ulaşan güneş enerjisi $125-375 \text{ W/m}^2$ arasında değişirken, günlük elde edilebilen enerji miktarı, $3-9 \text{ kWh/m}^2$ arasında değişmektedir. Bu değer, elde edilebilecek mümkün en yüksek değer olup, güneş enerjisi teknolojisinin sağlayacağı en yüksek değer anlamına gelmez. Örneğin, fotovoltaik (güneş pili) panelleri, bugün için yaklaşık %15'lik bir verime sahiptirler. Bu nedenle, aynı bölgede bir güneş paneli, 19 ile 56 W/m^2 ya da günlük $0,45-1,35 \text{ kWh/m}^2$ enerji sağlayacaktır (Anonim 2011).

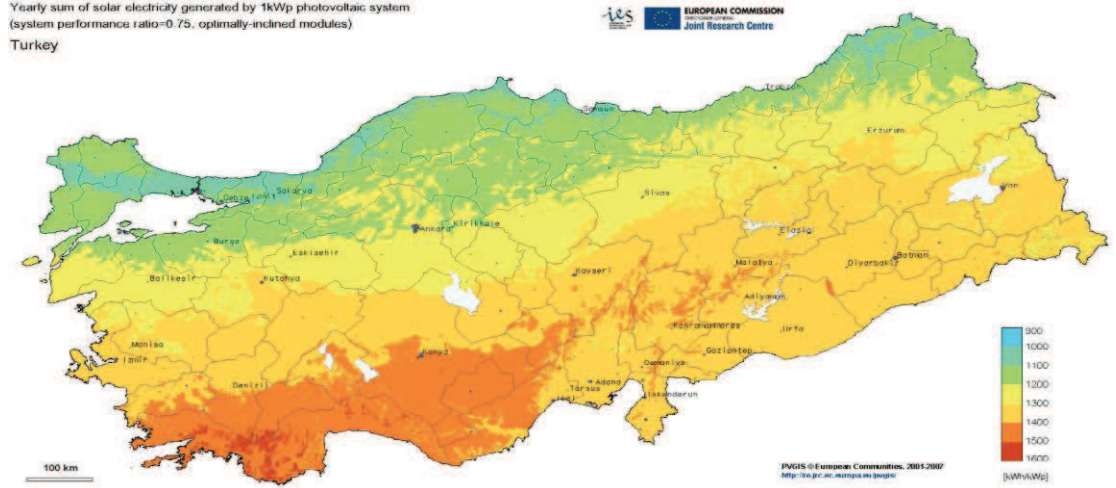
2.3. Türkiye ve Güneş Enerjisi

Türkiye dünya üzerinde $36^{\circ}-42^{\circ}$ kuzey enlemleri ve $26^{\circ}-45^{\circ}$ doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Türkiye'nin yıllık ortalama güneş Işınımı $1303 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ (Şekil 1), ortalama yıllık güneşlenme süresi ise 2623 saattir. Bu rakam günlük $3,6 \text{ kWh/m}^2$ güce, günde yaklaşık $7,2$ saat, toplamada ise 110 günlük bir güneşlenme süresine denk gelmektedir. $9,8$ milyon TEP (ton eşdeğer petrol) ısı uygulamalara olmak üzere yıllık $26,2$ milyon TEP enerji potansiyeli mevcuttur. Yılın 10 ayı boyunca teknik ve ekonomik olarak ülke yüzölçümünün %63'ünde ve tüm yıl boyunca %17'sinden yararlanabilir. Termal güneş enerjisi kullanım miktarı 2007 verilerine göre Türkiye'de ki kurulu güç 7.105 MW ve $10.150.000 \text{ m}^2$ 'dir. Bu sıralama içinde Türkiye 10 milyon m^2 kurulu güneş kolektörleri ile son derece iyi bir yerde bulunmaktadır.

Fotovoltaik güneş enerjisi kullanım miktarı 2009 verilerine göre 4 MW değerine ulaşmış bulunmaktadır (Anonim 2011).



Şekil 1. Türkiye Güneş Haritası



Şekil 2. 1 kW Kurulu Güçten Toplam Solar Elektrik Üretimi

Bir bölgenin yüksek güneş radyasyon değerine sahip olması o bölgeden o oranda yüksek elektrik üretileceği anlamına gelmez (Şekil 2).

2.4. Güneş Enerjisi Uygulamaları

Güneş ışınlarından yararlanmak için pek çok teknoloji geliştirilmiştir. Bu teknolojilerin bir kısmı güneş enerjisini ışık ya da ısı enerjisi şeklinde direk olarak kullanırken, diğer teknolojiler güneş enerjisinden elektrik elde etmek şeklinde kullanılmaktadır (Anonim 2011).

2.4.1. Aydınlatma uygulamaları

Aydınlatma uygulamaları direkt güneş ışığından yararlanarak belirli mahalleri aydınlatma prensibine dayanır. En bilinen iki uygulama fiber optik kablo ile ve yansıtıcı sistemler kullanılarak ışığın taşınmasıdır. Arada hiçbir çevrim olmadığı için aydınlatma uygulaması olarak verimli bir yöntemdir.

2.4.2. Isınma – ısıtma uygulamaları

Güneş enerjili sıcak su sistemleri, suyu ısıtmak için güneş ışınlarından yararlanır. Bu sistemler evsel sıcak su ya da bir alanı ısıtmak için kullanılabildiği gibi çoğunlukla bir

havuzu ısıtmak için kullanılır. Bu sistemler çoğunlukla bir termal güneş paneli ile bir depodan oluşur. Güneş enerjili su ısıtıcıları üç grupta toplanır.

- Aktif sistemler, suyun ya da ısı transfer sıvısının çevirimi için pompa kullanırlar.
- Pasif sistemler suyun ya da ısı transfer sıvısının devrini doğal çevirim ile sağlarlar.
- Kütle sistemleri su tankının doğrudan güneş ışığı ile ısınmasını amaçlarlar.

Yaygın güneş enerjisi uygulamaları şunlardır:

Düzlemsel güneş kolektörleri: Ülkemizde de çok yaygın olarak kullanılan, evlerde sıcak su elde etmede kullanılan sistemlerdir.

Yek-odaklı güneş enerjisi santralleri: Bunlarda, doğrusal, çanak şeklinde ya da merkezi bir odağa yönlendirilmiş dev aynalar kullanılarak, odak noktasında çok yüksek sıcaklıkta ısı elde edilir. Genellikle elektrik üretiminde kullanılır. Ancak henüz bir yaygınlık kazanamamışlardır.

Vakum Tüplü Güneş Enerjisi Sistemleri: Vakum tüplü güneş enerjisi kolektörleri: iç içe geçmiş 2 adet silindirik cam tüpün ısı yolu ile birbirine bağlanması ve bu işlem sırasında arasındaki havanın alınması ile üretilir. Dış silindirik tüpün yüzeyine düşen Güneş ışınları aradaki havasız ortamdan geçerek iç kısımdaki silindirik tüpün yüzeyinde absorbe edilmesi ile çalışır. Arada madde olmadığından dolayı sadece ışıma ile ısınan sistem suyu dış hava sıcaklığından bağımsızdır.

Güneş ocakları: Çanak şeklinde ya da kutu şeklinde güneş ısını toplayan yapılardır. Gelişmekte olan ülkelerde daha yaygın kullanılır.

Trombe duvarı: Sandviç şeklinde cam ve hava kanalları ile paketlenmiş bir pasif güneş enerjisi sistemidir. Güneş ışınları gün boyunca, duvarın altında ve üstünde yer alan hava geçiş boşluklarını tahrik ederek, doğal çevirim ile termal kütleyi ısıtırlar. Gece ise trombe duvarı biriktirdiği enerjiyi ışıma yolu ile yayar.

Geçişli hava paneli: Aktif güneş enerjili ısıtma ve havalandırma sistemidir. Termal güneş paneli gibi davranan, güneşe bakan delikli (perfore) bir duvardan oluşur. Panel, binanın havalandırma sistemine ön ısıtma uygular. Ucuz bir yöntemdir. %70'e kadar verime ulaşılabilir.

Araştırmaya konu olmuş, ancak yaygınlaşamamış bazı ısıtma güneş enerjisi teknolojileri
Güneş Havuzları: Havuza atılan tuzların yardımı ile dip tarafta sıcaklık elde edilir. Bunlar daha çok deneysel sistemler olarak kalmışlar, bir yaygınlık gösterememişlerdir.

Güneş Bacaları: Bir binanın zemininde toplanan ısı, yüksek ve dar bir bacaya yönlendiğinde, bacada kurulu türbini çalıştırır. Bu da, deneysel aşamada kalmış güneş enerjisi türlerinden biridir.

Su Arıtma Sistemleri: Bunlar da bir çeşit havuz sistemidir. Havuzun üstüne eğimli cam kapak yerleştirilir, buharlaşan su tuzdan arınarak bu kapakta yoğunlaşır. Ürün kurutma sistemleri.

2.4.3. Elektrik üretim uygulamaları

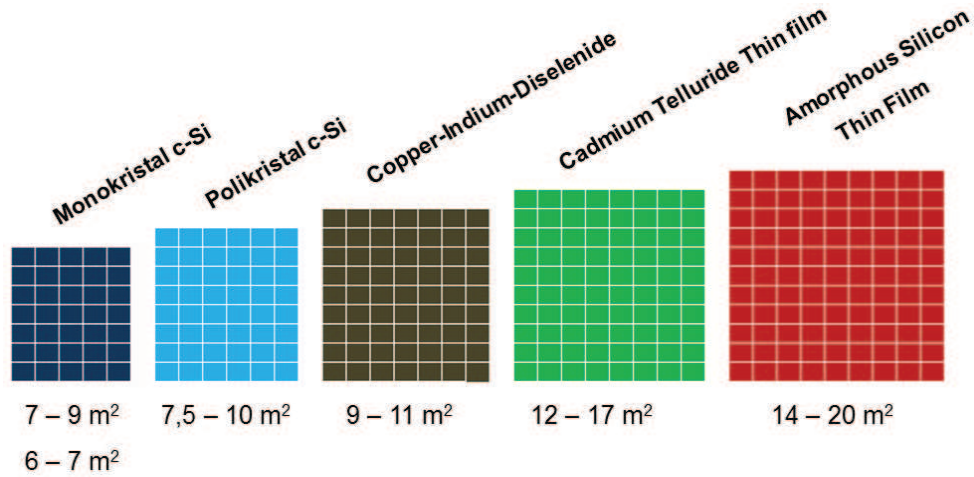
Güneş ışınlarından elektrik üretimi iki farklı metotla gerçekleştirilir; yarı iletken materyaller ve ısıyla çalıştırılan motorlar. Yarı iletken metot, Fotovoltaik, en çok benimsenmiş olanıdır. Diğer teknolojiler hala deneme ve sınamaya süreçlerini çeşitlendirmektedir ve ticari olarak ne kadar iyi uygulanabileceği belirsizdir (Lindberg ve Mäki 2010).

2.4.4. Fotovoltaik Teknoloji

1 W_{peak} güneş hücresi yılda enlem ve bulutluluğa bağlı olmak kaydıyla 800 ila 2000 Wh arası elektrik enerjisi üretir, (Anonim 2004).

Bugün fotovolataik bir çok çeşit panel tipi vardır. Bu tiplerin bazıları hala laboratuvar araştırması aşamasında kalmışken bazıları ise ticari olarak pazarda yer bulmuştur. Bu panel çeşitlerinden pazarda en çok yer bulan fotovoltaik panel tipi kristalin panellerdir. Kristalin paneller de kendi içerisinde ikiye ayrılır; mono kristal ve poli kristal. Mono ve poli kristal panellerin malzeme ve üretim farklılıkları vardır. Mono kristal adından da anlaşılacağı gibi tek kristal siliyondan üretilirken. Poli kristal gözeler ise kristal parçalarından üretilmektedir. Mono kristal, poli kristal göze göre daha pahalı ve daha verimlidir. Örneğin $1kW_p$ mono kristal panel yaklaşık 6 ila 9 m^2 arası alana gereksinim duyarken poli kristal panel ise 7,5 ila 10 m^2 arası alana ihtiyaç duyar.

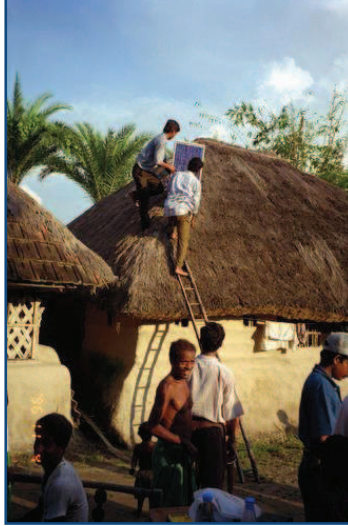
Kristalin göze teknolojisinin yanında ince film teknolojisi de fotovoltaik pazarında adından söz ettirmektedir. İnce film teknolojisi içerisinde bir çok türü barındırır. İnce film panellerin verimlilikleri kristalin panellere göre çok daha düşüktür ve bu sebepten dolayı daha fazla alan gereksinimleri olmaktadır. Şekil 3’de çeşitli panel tiplerinin alan gereksinimleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Panel Tiplerine Göre Alan Gereksinimleri

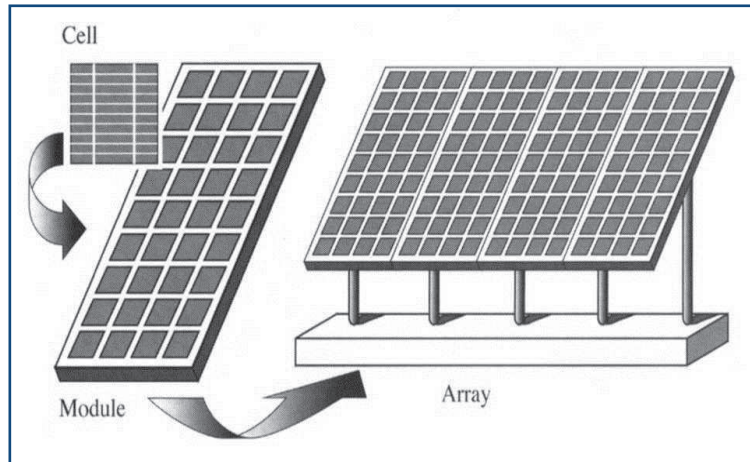
Fotovoltaik sistemlerin avantajları:

- Güvenilirlik
- Basitlik
- Modülerlik
- İmaj
- Sessizlik.



Şekil 4. Güneş Evi Aydınlatma Sistemi - Batı Bengaldeş, Hindistan

Fotovoltaik sistemlerin en küçük yapı birimi hücredir. Hücrelerin birleştirilmesi ile modüller oluşur. Modüllerin birleşmesi ile diziler meydana gelir.



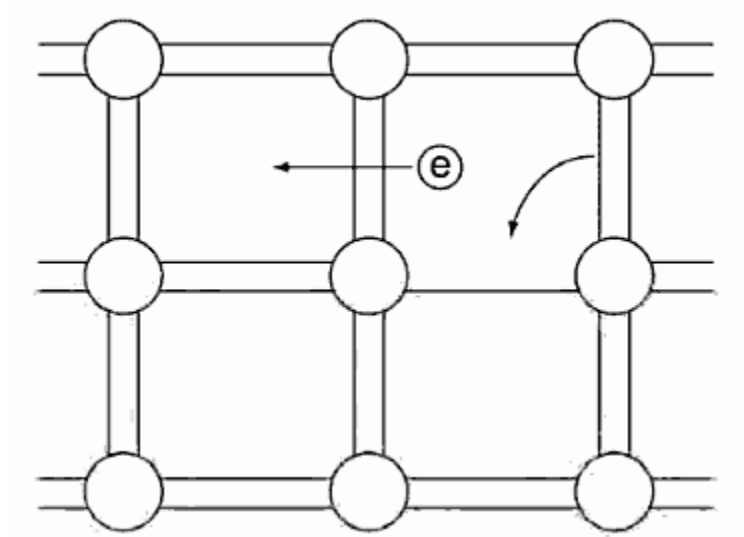
Şekil 5. Fotovoltaik sistem temel oluşum

Fotovoltaik bu n en yaygın güneş enerji teknolojisidir. İlk fotovoltaik cihaz fizikçi Edmond Becquerel tarafından 1839'da ortaya atılmıştır. Fotovoltaik gözelerin fiyatları son yıllarda oldukça hızlı bir d     sergiledi. G zelerin maliyetleri etkileyen ana kalem malzeme maliyetleri olac ı tahmin edilmektedir.

Fotovoltaik g zeler yarı iletken malzemelerden üretilmektedir. G zeler düşük sıcaklıklar mevcut olduğunda yalıtkan gibi davranırlar ama yüksek sıcaklıklarda iletken davranışı gösterirler. Bu teknoloji iki model ile ihaz edilebilir: Ba  modeli (Bond Model) ve Bant Modeli (Band Model)

Ba  modeli durumunda düşük sıcaklıklarda ba lar bozulmamı tır. Ama sıcaklık yükselince ba lar kırılır ve elektronlar serbest hareket etmeye ba lar. Bu hareket iki şekilde gerçekleşir: ( ekil 6) (Lindberg ve M ki 2010)

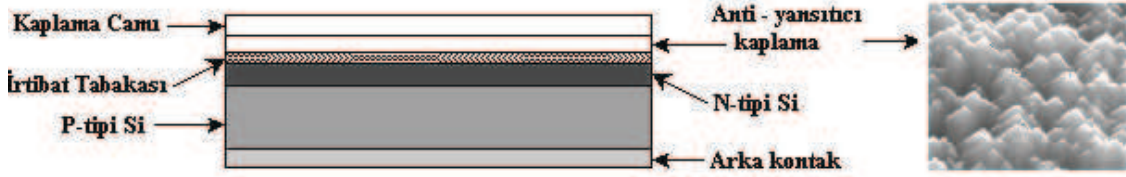
1. Kırılan ba daki elektron hareket için serbest kalır.
2. Biti ik ba daki elektronlar hareket için serbest kalır.



Şekil 6. Bond modeli, Stuart, Martin, Muriel, & Corkish, 2007

Band Modelinde ise, yarı iletkenlerde çekirdekten en uzakta bulunan değerlik elektronlarının bulunduğu enerji düzeyi ile bu elektronların bulunabileceği bir sonraki enerji düzeyi arasında bulunan enerji düzeyi yasak enerji bantı olarak adlandırılmaktadır. Güneş ı ı ındaki fotonlar, elektronların yasak enerji bant aralığını

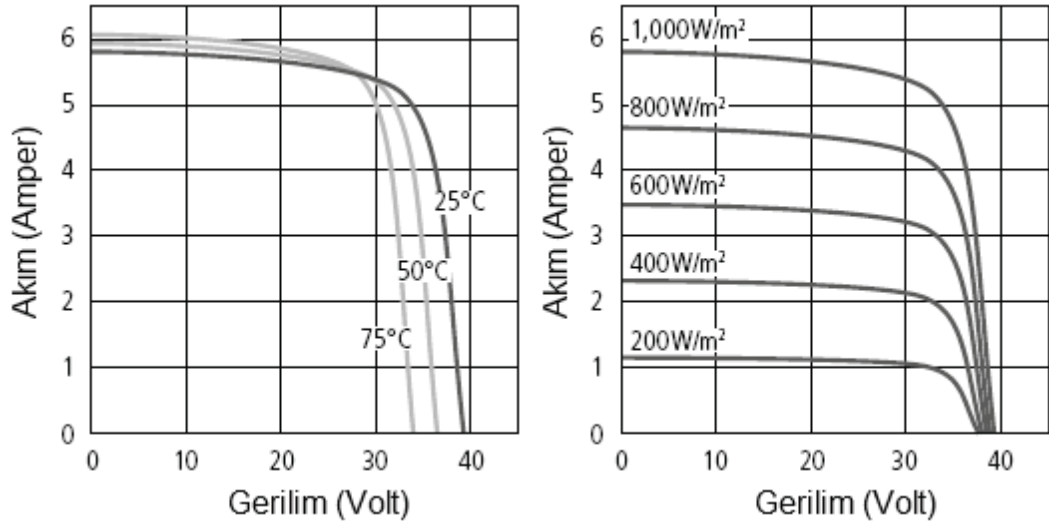
aşması için gerekli enerjiyi sağlar. Şekil 7’de güneş pilinin yapısal gösterimi verilmiştir (Akyol ve Kılıç 2010).



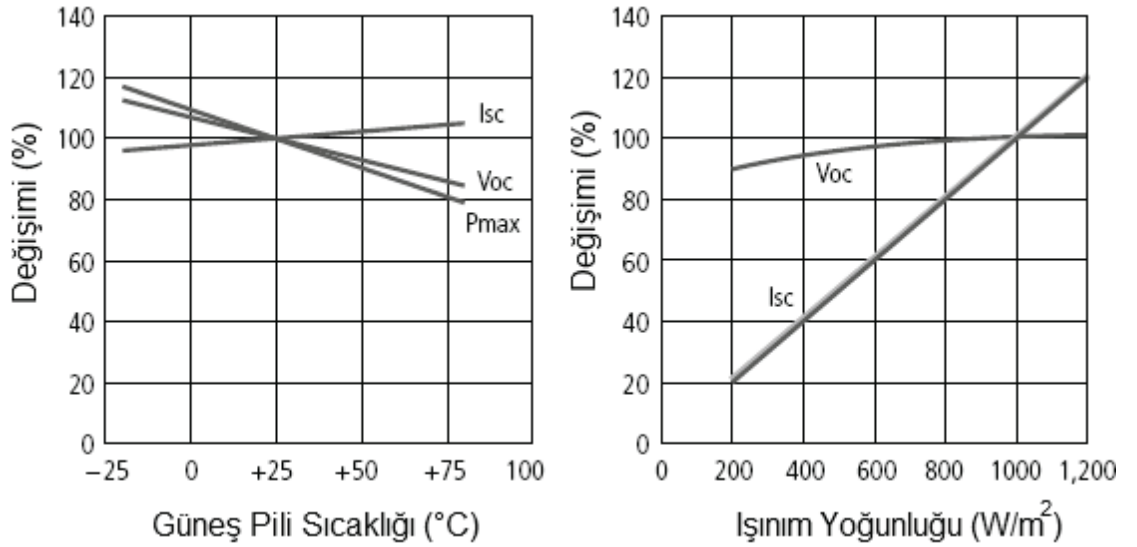
Şekil 7. Güneş pilinin yapısal gösterimi

Değerlik bandında 4 elektronu bulunan silisyum yarı iletkeni 3 elektronlu bor ile katkılandırılırsa bağ oluşturmamış bir boşluk oluşacaktır. Eğer silisyum 5 elektronlu fosfor ile katkılandırılırsa bağ kurmak isteyen bir elektron dışarıda kalacaktır. P ve N tipi yarı iletkenler temas ettirildiğinde N tipindeki fazla elektronlar P tipindeki boşlukları dolduracaktır. Böylece temas yüzeyinin N tipi katmanı pozitif, P tipi katmanı ise negatif yüklenecek ve bir elektriksel alan oluşacaktır. Bu elektrik alanının büyüklüğü, kullanılan yarı-iletkenlere ve yarı iletkenlerin katkılanmalarına bağlı olur. P-tipi yarı-iletkende üzerine ışık düşmesi sonucu iletkenlik bandına çıkarılmış elektronlar, hızla n-tipi bölgeye çekilirler. Bu biçimde birbirlerinden ayrılmış elektronlar, bir dış devre akması sağlanırsa elektrik enerjisi üretilmiş olacaktır. Geri yansıtmayı engelleyici silikon nitrat bir kaplama ile daha yüksek oranda güneş ışınımının yutulması sağlanmakta ve pil verimi artmaktadır. Ön kontak, yani irtibat tabakası gölgelenmeyi en az indirebilmek için ızgara şeklindedir (Akyol ve Kılıç 2010).

Güneş panellerinin çalışma karakteristiği farklı güneş ışınımı değerlerinde ve farklı pil çalışma sıcaklıklarında çizilen Akım-Gerilim eğrileri ile gösterilmektedir. Şekil 8’de 170 W maksimum güç üretebilen tek kristal yapıdaki, 72 adet seri bağlı güneş pilinden oluşan panelinin standart test koşullarındaki Akım-Gerilim grafikleri ile pil sıcaklığı ve ışınım yoğunluğun kısa devre akımına (I_{sc}), açık devre voltajına (V_{oc}), maksimum panel gücüne (P_{max}) yüzdesel olarak etkisi verilmiştir. Panelin ürettiği akım, ışınım yoğunluğu ile doğru orantılı olarak azalmaktadır. Işınım yoğunluğunun 1000 W/m^2 ’den 200 W/m^2 düşmesi durumunda açık devre voltajı da % 10 oranında azalmaktadır. Pil çalışma sıcaklığının artması ise akımı artırırken, gerilimi ve panel gücünü düşürmektedir (Akyol ve Kılıç 2010).



Şekil 8. Güneş Pilinin Akım Gerilim Eğrileri

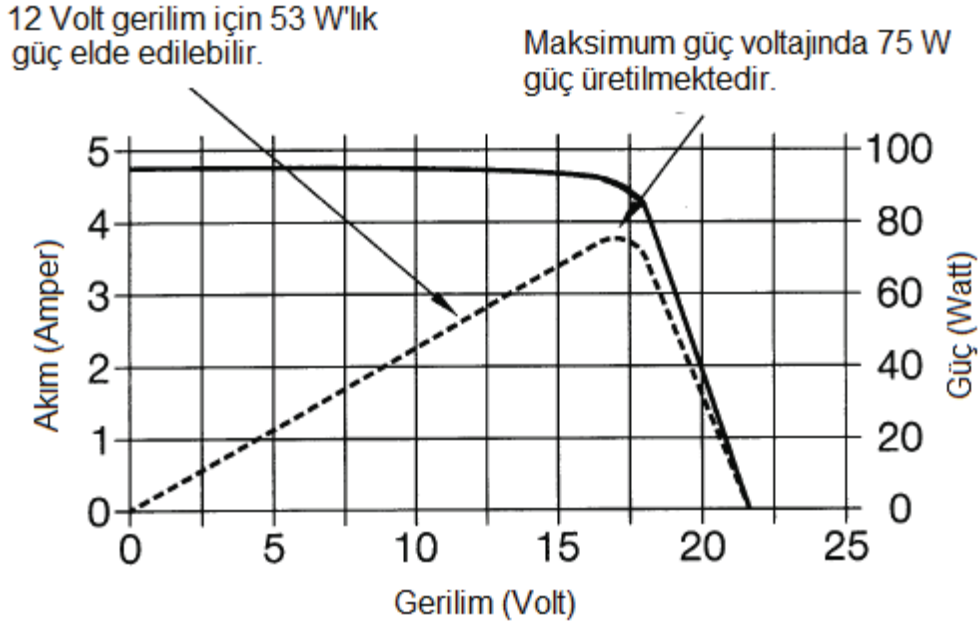


Şekil 9. Güneş pili çalışma karakteristik eğrileri (Akyol ve Kılıç 2010)

Maksimum Güç İzleme Ünitesi (MPPT – Maximum Power Point Tracker)

Şekil 10'te standart test koşullarındaki örnek bir güneş pilinin voltaj-akım eğrisi verilmiştir. Güneş pilinden çekilebilecek akım belli bir gerilimin üzerine çıktığında hızlı bir şekilde düşer. Düşmenin başladığı dirsek bölgesi panelin maksimum güç ürettiği gerilim değerini verir. Şekildeki panel için maksimum güç voltajı 17 Volttur ve panel bu gerilim değerinde 75 W güç üretebilmektedir. Eğer panel doğrudan 12 Voltluk bir aküye bağlanırsa, panel çalışma gerilimi de 12 Volt olur ve paneldeki güç üretimi 53

W' a düşer. MPPT cihazı, saniyenin altındaki aralıklarla akım ve gerilim örnekleri alarak, maksimum gücün elde edildiği noktayı belirler ve panelin maksimum güç gerilimde çalışmasını sağlar (Akyol ve Kılıç 2010).



Şekil 10. Güneş Pili Akım Gerilim Eğrisi (Çalikoğlu ve Özdemir 2010)

2.4.5. Güneş Enerjisi Santralleri

Güneş enerjisi santrallerinin sınıflandırılması Şekil 11'de verilmiştir.

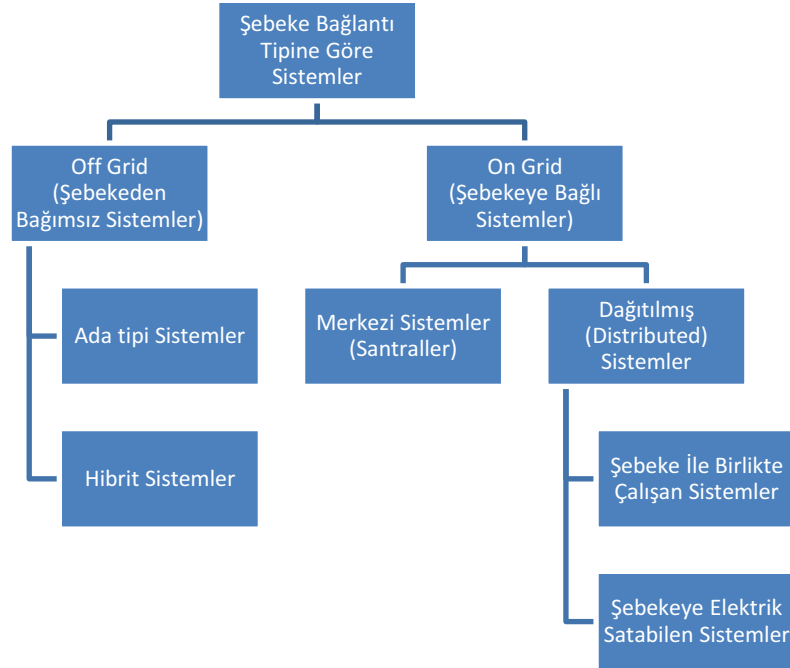
Off Grid (Şebekeden Bağımsız Sistemler)

Şebeke elektriğinin olmadığı noktalarda elektrik enerjisi sağlamak amacı ile kurulan sistemlerdir. Bu sistemlerde üretilen enerji Doğru akım olduğundan ve güneşin olmadığı zamanlarda kullanım olacağından dolayı Akülerde depolanır. Akülerde depolanan enerji direk Doğru akım (12, 24, 48 V DC) ile çalışan cihazları besleyecek ise herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanıma verilebilir. Ancak çalıştırılmak istenen cihazlar Şebeke Elektriğine uygun olan Alternatif akım ile çalışıyor ise bir inverter (evirici) vasıtası ile 220 Volt AC akıma çıkarılarak kullanılır.

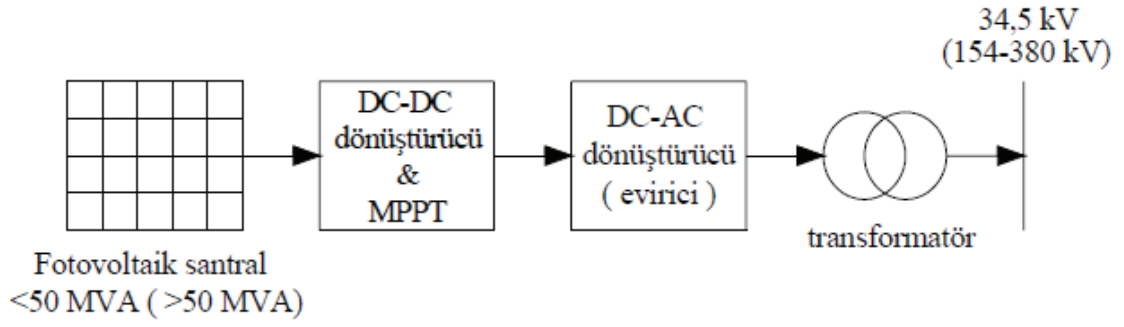
On Grid (Şebeke İle Bağlantılı Sistemler)

Şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sistemleri ana olarak merkezi ve dağıtılmış olarak iki şekilde tasarlanabilir.

Merkezi Sistemler yani elektrik üretim santrali olarak kullanılan, sadece şebekeyi besleyen sistemlerde, bağlantı noktası sistemin kurulu gücüne göre değişiklik göstermektedir. Kurulu gücü, 50 MW'a kadar olan sistemler 34,5 kV dağıtım hattı gerilim seviyesinden, 50 MW üzeri olanlar ise 154 kV veya 380 kV iletim hattı gerilim seviyesinden şebekeye bağlanırlar. Bu sistemin en önemli avantajı, üretilen enerjinin depolanma ihtiyacının olmamasıdır. Bu sayede, akü ve şarj kontrol cihazı masrafları ortadan kalkmaktadır. Şekil 12'te elektrik üretim santrali olarak kullanılan sistemlerin güç akış diyagramı görülmektedir (Çalıkoglu ve Özdemir 2010).



Şekil 11. Şebeke Bağlantı Tipine Göre Güneş Enerjisi Sistemlerinin Sınıflandırılması

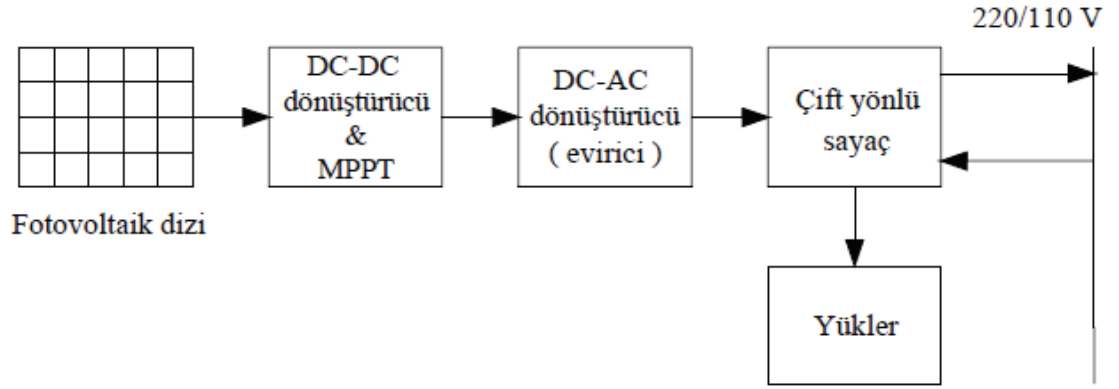


Şekil 12. Şebeke bağlantılı fotovoltaik santral güç akış diyagramı

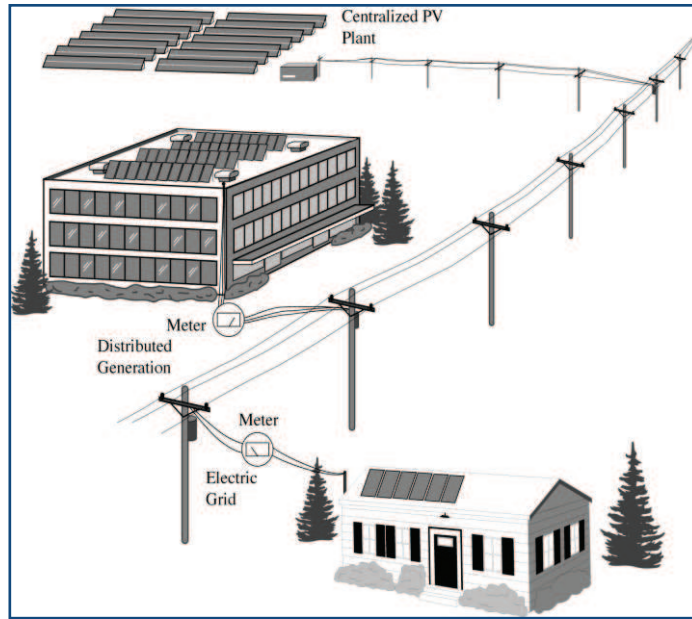
Dağıtılmış Sistemlerde ikiye ayrılır. Bu sistemlerde üretilen doğru akım, evirici aracılığıyla alternatif akıma çevrilerek doğrudan şebekeyi besleyebileceği gibi, eviriciden sonra çift yönlü sayaç kullanılarak hem çeşitli yükler beslenebilir hem de üretilen fakat kullanılmayan fazla enerji şebekeye verilebilir.

A) Şebeke İle Birlikte Çalışan Sistemler Bu sistemlerde akü gerekli olmayıp üretilen enerji uygun inverter (evirici) yardımı ile direk ihtiyaca yönelik 220 Volt enerji üretir. Aynı zamanda şebeke elektriği de sisteme bağlı bulunup güneşin yetersiz kaldığı ihtiyaçlarda takviye yapabilecektir.

B) Şebekeye Elektrik Satabilen Sistemler Bu sistemlerde akü gerekli olmayıp üretilen enerji uygun inverter (evirici) yardımı ile şebeke hattına verilir. Bu sistemde, çift yönlü sayaç kullanılarak, üretilen ve tüketilen enerji kaydedilir. Böylelikle, üretim ve tüketim miktarları arasındaki fark belirlenir. Bu farka göre, fatura ödemenin yanı sıra gelir elde etmekte mümkün olur. Net ölçüm, elektrik tedarik şirketleri ve müşteriler arasında, özel bir ölçüm ve faturalandırma sözleşmesidir. Bu programlar, küçük ölçekli yenilenebilir enerji sistemlerini teşvik etmekte, yenilenebilir enerji sistemlerinin çalışmadığı zamanlarda, şebekeden müşterilere her zaman güvenilir bir enerji kaynağı temin etmekte ve elektrik üreten sistemlere ekonomik ve çevresel anlamda önemli avantajlar sağlamaktadır (Çalıkoğlu ve Özdemir 2010).



Şekil 13. Evsel uygulamalarda kullanılan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem güç akış diyagramı (Çalikoğlu ve Özdemir 2010).



Şekil 14. Şebeke ile bağlantılı sistemler (Anonim 2004)

Konsantre güneş enerjisi santralleri

Konsantre güneş enerji santralleri üçe ayrılır:

- Konsantre termal güneş enerjisi santralleri (CST)
- Konsantre fotovoltaik güneş enerjisi santralleri (CPV)
- Konsantre termal-fotovoltaik güneş enerji santralleri (CPT)

Konsantre Termal Güneş Enerjisi Santralleri (CST)

Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi alanında pek çok farklı teknoloji bulunmaktadır. Bunlardan sadece parabolik oluklu ayna, güneş enerjisi piyasasında büyük bir etki yaratmıştır. Diğer teknolojiler henüz kayda değer bir şekilde uygulanmamıştır (Lindberg ve Mäki 2010).

Stirling Motoru Teknolojisi

Stirling motorunun başlıca avantajı herhangi bir ısı kaynağıyla çalıştırılabilir olmasıdır. Bu motorları çalıştırmak için güneş enerjisi ve biyogaz gibi geniş bir yelpazede enerji kaynaklarının varlığı söz konusudur. 70'li yıllarda dahi güneşten elektrik elde etmede Stirling motorlarından faydalanılmıştır. Fakat oldukça karışık destek sistemi yüzünden maliyeti yüksek olmuştur ve hala (elektrik üretimi/ maliyet) payı açısından incelenmektedir. Ocak 2010'da Tessera Solar ve Stirling Enerji Sistemi (SES), SES tarafından oluşturulan Stirling-Dish sisteminden faydalanarak iki solar santralin kurulumunu tamamlamıştır.

Stirling motoru ısı transferi boyunca gas genişlemesi ve sıkışmasına prensibine dayanır. Gaz ya da sıvı, ısının sisteme transfer edilmesiyle genişler. Bu genişleme pistonu harekete geçirir. Daha sonra fazla ısı, soğutma ünitesiyle sistemden dışarı çıkarılır. Orada birçok piston ve gaz/sıvı yapılandırması bulunur fakat fonksiyonun temel prensibi aynıdır.

Doğal olarak, Güneş enerjisi uygulamalarında ısı kaynağı Güneş'tir. Güneş, parabolik bir ayna kullanılarak motorun ısı eşanjörüne yansıtılır. Örneğin; 80 m²'lik aynaların 800-900°C ısı oluşturma kapasitesi vardır (Lindberg ve Mäki 2010).

Güç Kulesi Teknolojisi

Güç kuleleri düzenli rankin çevrimi üzerinde çalışan türbinden yararlanarak elektrik üretirler. Isınılama kulenin tepesine yerleştirilen ısı toplayıcısına odaklanmıştır. (Şekil 15) Odaklanma çift eksen takip cihazlarıyla donatılmış yüzlerce ya da binlerce aynayla gerçekleştirilir.

Isı toplayıcısı ısıyı yüksek ısıda erimiş olan tuza transfer eder. Bu eriyik daha sonra türbinleri çalıştıran kızgın bir buhar oluşturarak ısıyı suya aktaran ısı eşanjörü vasıtasıyla transfer edilir.

Parabolik Oluklu Ayna Teknolojisi

Parabolik oluklu ayna teknolojisi en çok kabul gören ikinci güneş enerjisi teknolojisidir. Yakın gelecek için tasarlanan pek çok özelliği bulunmaktadır. İspanya’da 34 Amerika’da 29 parabolik oluklu ayna yapım aşamasındadır. (Photon International, 2009)



Şekil 15. Solar Güç Kulesi

Teknoloji aynı zamanda elektrik üretimi için geleneksel rankin çevrim türbininden faydalanmaktadır. Güneş ışınımı parabolik aynalarla sıvıyı transfer eden bir boruya odaklandırılır. Kollektörlerin, sistemin çalışma süresi etkinliğini artırmak için tek

eksenli takipçileri vardır. İzleme kuzeyden güneye yerleştirilmiş bir eksen etrafında gerçekleşir. Bu güneşi doğudan batıya takip etme olanağı sağlayacaktır.

Isıtılmış sıvı, toplanan ısıyı türbin ya da türbinlerin çalıştırılmasını sağlayan kızgın buharı üreten ısı dönüştürücülerine transfer eder.



Şekil 16. Parabloki Oluklu Odaklayıcı Solar Güneş Santrali

Konsantre Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralleri (CPV)

Spire şirketinin kurucusu Roger G. Little'a göre, malzeme maliyeti, yakın gelecekte fotovoltaik hücre üretim maliyetine yön verecektir. Bu maliyetin azaltılması bir anlamda güneş ışımasının daha küçük fotovoltaik hücreler üzerinde yoğunlaştırılmasını ifade eder. Bu küçük, yüksek verimli hücreler daha pahalıdır ama aynı zamanda teorik olarak % 40 verimlilik içerir. Yalnız bu değerlere ancak laboratuvar testlerinde ulaşılabilmektedir (Lindberg ve Mäki 2010).

Güneş ışınları bir lensten faydalanılarak hücre üzerine odaklandırılır. Bu hücreler, daha geniş spektrumlu bir güneş ışını yakalamak için üçlü bağlantı (triple junction) tasarımını kullandığı için daha karmaşık ve pahalıdır. Konsantre Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralleri (CPV) bugün büyük bir pazar payına sahip değildir, ama watt başına fiyatı, teknolojiye sürekli gelişmeler sayesinde günden güne düştüğü için bu durumun değişmesi beklenmektedir.

Çünkü güneş küçük bir alana odaklandırılmalıdır. Bu tür teknolojiler makul güvenilirlikteki çift eksenli takip sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Gerekli güvenilirlik büyük ölçüde yoğunlaştırıcı sistemin tasarımına bağlıdır.

Isı, fotovoltaik hücreleri olumsuz etkiler. Verimlerinin düşmesinin yanı sıra ömürlerini de kısaltır. Işıma, (radyasyon) küçük hücreler üzerinde yoğunlaştırıldığı ve hücrelerin ısınıp artırdığı için bu konu çok önemlidir. Çünkü ileride sistemin maliyetinin artmasına sebep olacak olan faal ya da pasif bir soğutma sistemine ihtiyaç duyulması şeklinde karşımıza çıkar (Lindberg ve Mäki 2010).

2.5. Güneş Enerjisi Piyasası

Güneş enerjisi piyasası analizleri, küresel piyasayla birlikte piyasada önemli rol oynayan firmalar ve piyasada etki yaratan başlıca satın alma unsurlarına odaklanmaktadır.

2.5.1. Küresel pazar

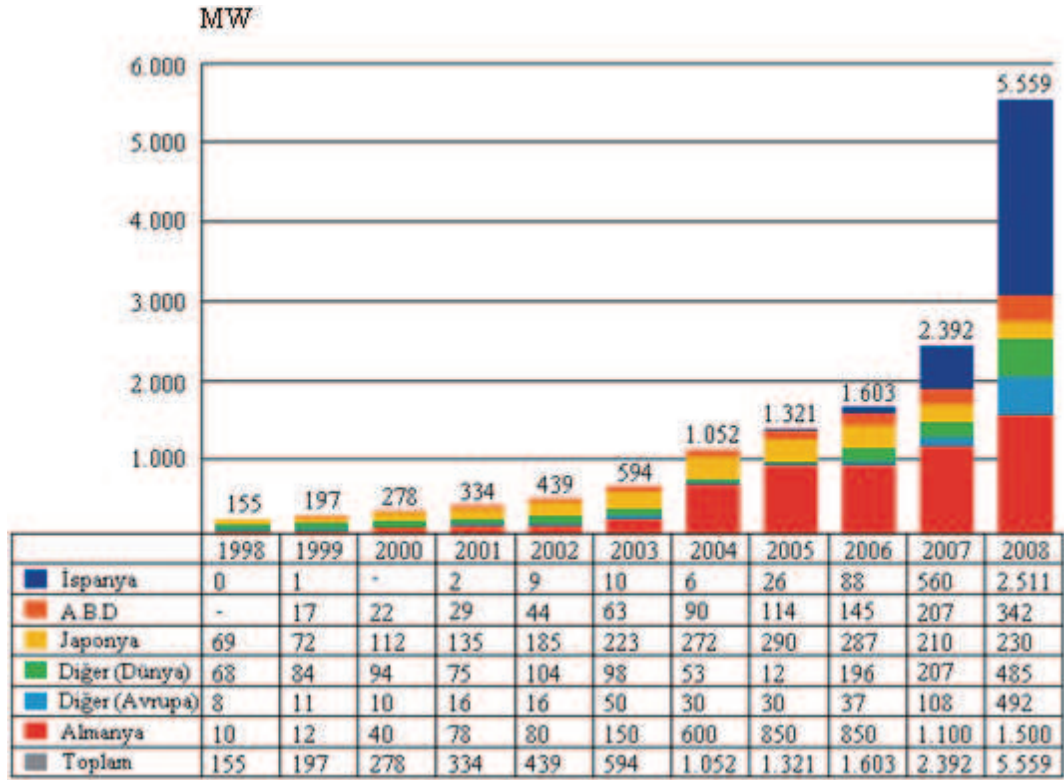
Küresel güneş enerjisi piyasası fotovoltaik güneş teknolojisi tarafından yönlendirilmektedir. Diğer dört büyük teknoloji Konsantre Fotovoltaik, Parabolik oluklu ayna, Güç kuleleri ve güneş enerjisi yoğunlaştırıcı Stirling motorudur.

Aynı zamanda piyasaya şu iki ülke hakimdir:

- Almanya
- İspanya

Fotovoltaik güç sistemi kurulumları son yıllarda büyük artışlar göstermiştir. 2008 yılında fotovoltaik pazarı, önceki yıllara oranla önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Bu ilerlemenin en önemli nedeni, İspanya'nın fotovoltaik endüstrisindeki payını büyük oranda artırması olmuştur. 2007 yılında 560 MW fotovoltaik güç sistemi kurulan İspanya'da, 2008 yılında 2511 MW sistem kurulmuştur. 2008 yılı için, İspanya haricinde diğer ülkelerde de önemli gelişmeler yaşanmıştır. Almanya'da 1500 MW, Amerika'da 342 MW, Japonya'da 230 MW'lık fotovoltaik güç sistemi kurulmuştur. Bu

gelişmelerle, 2008 yılında, toplam fotovoltaik kurulu gücü 5.559 MW olmuştur. Şekil 17’de fotovoltaik güç sistemlerinin 1998-2008 yılları arasında ülkelere göre tarihi gelişimi görülmektedir.

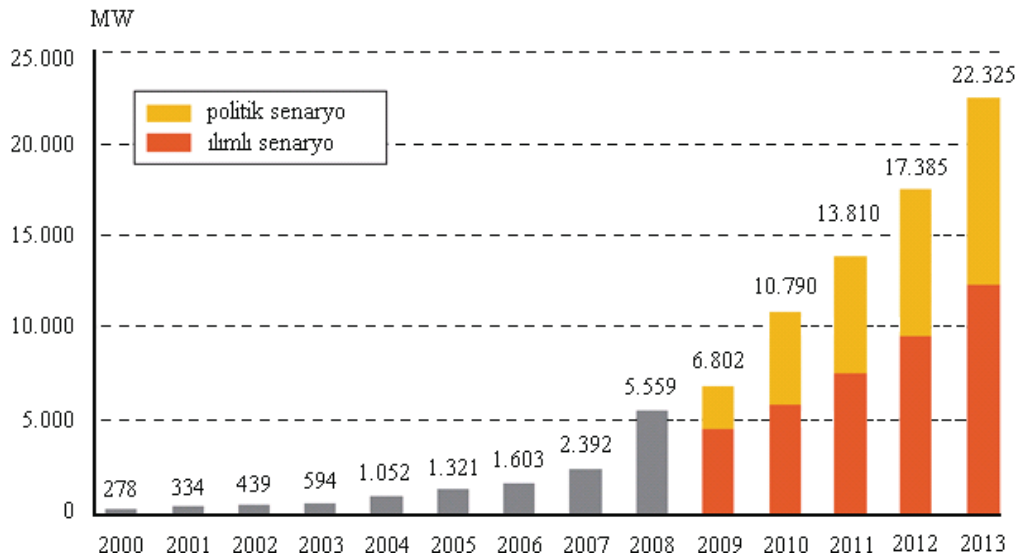


Şekil 17. Fotovoltaik pazarın 1998-2008 yılları arasında küresel olarak tarihi gelişimi
(Çalikoğlu ve Özdemir 2010)

2009 yılında ise, Avrupa’da kurulan fotovoltaik güç sistemi istatistiklerine göre; Almanya’da 3800 MW fotovoltaik sistem kurulmuştur. İtalya ise, 730 MW ile gelecek vaat eden önemli ülkeler arasına girmiştir. Çek Cumhuriyeti’nde 411 MW fotovoltaik sistem kurulmasına rağmen, sürdürülebilir olmayan destek programları nedeniyle 2011 yılı için küçülme beklenmektedir. 2009 yılında güçlü bir siyasi isteklilik nedeniyle 292 MW sisteme sahip olan Belçika, ilk on ülke arasına girmeyi başarmıştır. Belçika’yı 185 MW ile Fransa izlemiştir. İspanya, içinde bulunduğu ekonomik kriz sebebiyle 2008 yılındaki büyük çıkışını sürdüremeyerek 2009 yılında 69 MW seviyesinde kalmıştır. Ayrıca, Almanya toplamda yaklaşık 10 GW sistem gücü ile dünya liderliğini sürdürmektedir (Çalikoğlu ve Özdemir 2010).

2009 yılında Avrupa dışında ise, dünya pazarında üçüncü ülke olan Japonya’da, 484 MW sistem kurulmuştur. Etkili siyasi destek nedeniyle Japonya önemli bir büyüme potansiyeline sahiptir. Amerika’da ise 475 MW sistem kurulmuştur. Çin ve Hindistan’da var olan önemli potansiyel sebebiyle önümüzdeki beş yıl içinde önemli ilerlemeler beklenmektedir. Kanada ve Avustralya pazarında da 2009 yılında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bununla birlikte, Brezilya, Meksika, Fas, Tayvan, Tayland ve Güney Afrika gelecek vaat eden ülkeler arasında görülmektedir (Çalıkoğlu ve Özdemir 2010).

Şekil 18’de ise, 2000-2013 yılları arasındaki fotovoltaik pazarın büyüme oranları ve tahminlerine ait senaryolar görülmektedir (Çalıkoğlu ve Özdemir 2010).



Şekil 18. Fotovoltaik pazarın 2000–2013 arası yıllık küresel büyüme oranları ve tahminleri (Çalıkoğlu ve Özdemir 2010)

2.5.2. Türkiye pazarı

Türkiye, elektrik enerjisini, kömür, doğal gaz, akaryakıt, jeotermal ve son zamanlarda rüzgar enerjisi ve hidroelektrik santraller gibi sistemlerle üretmektedir. Diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında bu büyük enerji talebi için fotovoltaik sistemlerin henüz önemli bir katkısının olmadığı görülmektedir.

Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyelinin 1015 kWsaat olduğu tahmin edilmektedir ve bu miktar, şu andaki elektrik tüketiminden 5700 kat daha fazladır.

2011 yılının başı itibari ile güneş enerjisi kullanım yönetmeliği ve 2011 yılının ortaları itibari ile de teşvik kanunu çıkmıştır fakat kanundaki teşvik miktarı henüz yatırımcıyı heveslendirecek düzeyde değildir. Kanundaki en önemli nokta yerli imalatı destekleyen maddelerin bulunmasıydı. Bu maddeler Türk yerli güneş enerjisi sanayisini bu alanda çalışma teşvik etmeye yönelik bir girişimdir.

Türk güneş enerjisi pazarı yeni yeni şekillenmeye başlamaktadır. Önümüzdeki yıllarda Pazar kendi eğilimlerini bize gösterecektir.

2.5.3. Küresel pazarın gelecek öngörülleri

Güneş enerjisi rekabeti arttıran Amerika, Çin ve Hindistan gibi devasa yeni pazarlarda büyümeye devam edecektir. Bugünün piyasa liderleri Almanya ve İspanya'nın da büyümeye devam etmesi beklenmekte ancak yeni pazarlar gerekli olan tüm coğrafi ve politik fırsatlara sahip olduklarından yakın bir gelecekte yeni kapasite liderleri olacaklardır (Lindberg ve Mäki 2010).

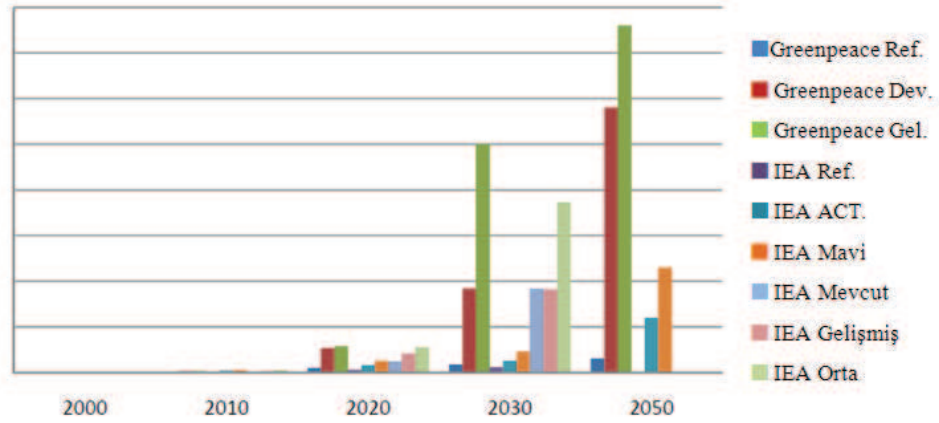
Solar enerjinin gelişimine dair öngörü de bulunmak adına Uluslararası Enerji Kurumu, Greenpeace ve Avrupa komisyonunun bulunduğu tahminler aşağıda özetlenmiştir.

Tahmin edildiği gibi, tüm senaryolar, güneş enerjisi piyasası için sürekli artan bir büyüme göstermektedir. En iyimser senaryo 2050 yılına kadar halihazırda kurulu güneş enerjisi kapasitesini hayret verici şekilde 3,8 Trilyon watt öngörmesine karşın, piyasadaki iyimser ve beklenmedik büyümeleri de aklından çıkarmamalı. Örneğin; Prometheus enstitüsü 2005 yılında, piyasanın 2010 yılında 10 Gw yükseleceğini tahmin ettiğinde, çok iyimser olarak görülmüştü ama tahmin ettikleri gibi de oldu.

Enerji piyasasındaki büyüme, yüksek oranda Satın almada temel etkenler alt başlığında belirtilen politik, teknik ve ticari faktörlerden etkilenmiştir.

Çizelge 1. IEA, Avrupa Birliği Komisyonu ve Greenpeace'in toplam kurulu kapasite tahminleri

Yıl ve Kapasite	2000 [GW]	2010 [GW]	2020 [GW]	2030 [GW]	2050 [GW]
Greenpeace (Referans Senaryo)	1	10	50	86	153
Greenpeace (Devrim Senaryosu)	1	21	270	920	2900
Greenpeace (Gelişmiş Senaryo)	1	21	290	1500	3800
IEA Referans Senaryo	1	10	30	60	-
IEA ACT Haritası	1	22	80	130	600
IEA Mavi Harita	1	27	130	230	1150
Avrupa Komisyonu (Mevcut)	1	8	125	920	-
Avrupa Komisyonu (İleri)	1	21	211	912	-
Avrupa Komisyonu (Orta)	1	25	278	1864	-

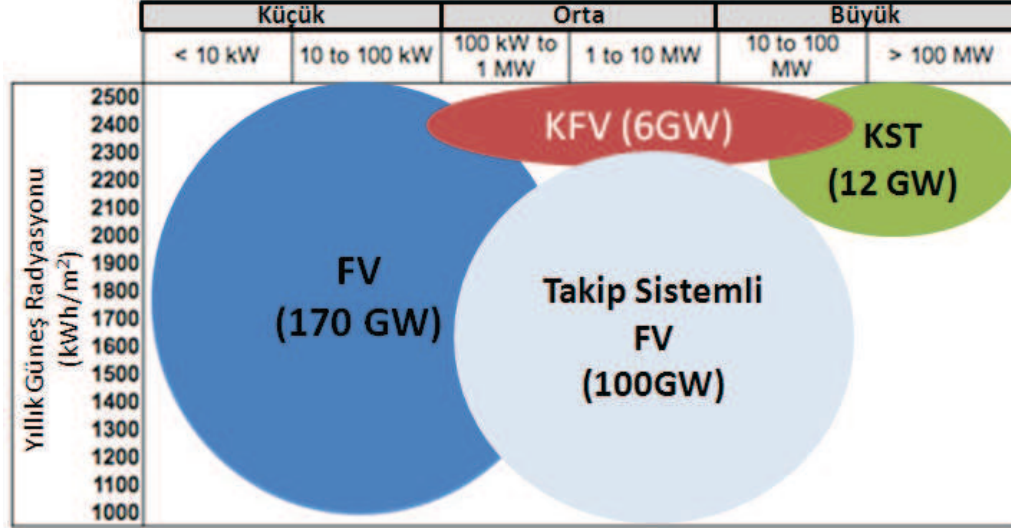


Şekil 19. Güneş Enerjisi Kurulu Kapasite Gelecek Tahminleri

2.5.4. Güneş takip sistemleri pazarı

Güneş takip sistemleri pazarı direkt olarak güneş enerjisi pazarının gelişimiyle bağlantılıdır. Fotovoltaik panellerin çalışabilmesi için takipçiye ihtiyaç duymaması ancak, Heliostat, Stirling ve çoğu CPV sistemlerinin takipçiler olmaksızın

çalışamamasından dolayı, çeşitli teknolojilere göre piyasayı oluşturan etmenler değişkenlik gösterir.



Şekil 20. Güneş Enerji Sistemlerinin 2020 Yılına Kadarki Kurulum Projeksiyonları

Şekil 20’de güneş enerjisi sistemlerinin kurulum boyutları ve kurulacağı bölgenin radyasyon değerlerine göre 2020 yılına kadarki projeksiyonu verilmiştir. FV fotovoltaik teknolojiyi, KfV konsantre fotovoltaik teknolojiyi (CPV) ve KST’de konsantre solar termal teknolojiyi (CST) temsil etmektedir.

Fotovoltaik paneller konusunda, takip sistemleri son beş yılda çok büyük bir gelişim göstermiş ve bu durum aynı zamanda çok çeşitli takip sistemi çözümleri ve teknolojilerinin gelişmesini sağlamıştır. Ancak, Fotovoltaik modüller çalışmak için herhangi bir takipçiye ihtiyaç duymadıklarından dolayı, PV pazarında takip sistemleri büyük bir sorunla karşı karşıya gelirler. Bu demektir ki, takip sistemine ihtiyaç duyması sebebiyle üretilen yükseltilmiş enerji miktarı, sadece daha çok panel alımıyla kıyaslandığında, takip sisteminin maliyetinden daha büyük bir kar sağlamalıdır.

Fotovoltaik takip sisteminin rekabet gücü Fotovoltaik panel fiyatlarının ani düşüşünden dolayı olumsuz yönde etkilenmiştir. Fiyatlardaki düşüş, takip sistemlerinde yatırımı makul duruma getirmek için, takipçi fiyatlarının da düşmesine sebep olmuştur.

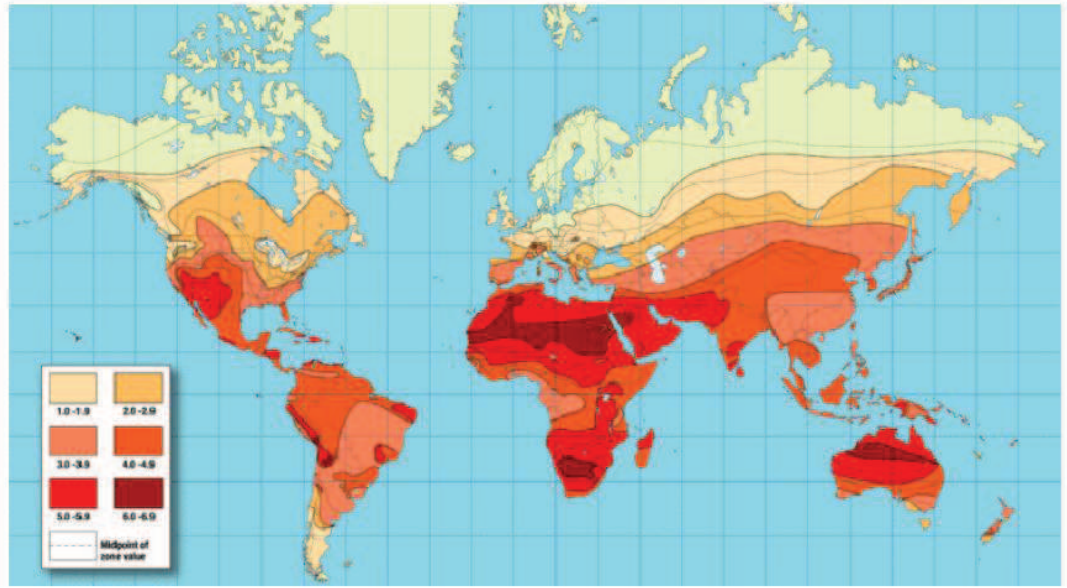
Fotovoltaik pazarında takip sistem gereksinimleri uygulamalara göre oldukça değişkenlik gösterir. Büyük, açık alan güneş enerji çiftlikleri için olan takip sistemleri, daha küçük, ticari çatı üstü kurulumlar için olanlardan çok farklıdır.



Şekil 21. 4 MW Kurulu Gücündeki Güneş Takip Sistemli Güç Santrali, İspanya. [Takip Sistemi: Poulek Solar Co Ltd)

Diğer ayrıcalıklı teknolojiler için takip sistemi piyasası, takip sistemi gerekli olmaya başladığından bu yana bambaşka bir anlam ifade etmektedir. Bu tabiki piyasanın geneli için oldukça iyidir, ama rakiplere karşı maliyet/verim kıyaslaması her zaman büyük bir önem arz etmektedir (Wang 2008).

Heliostat, Stirling ve CPV pazarı çoğunlukla geniş güneş parklarıdır. Stirling ve Heliostat teknolojileri çalışabilmeleri için ayrıca minimum miktarda güneş aydınlatmasına [W/m²] ihtiyaç duyar. Bu teknolojiler için en ilgi çekici pazar, ABD, İspanya, Afrika, Hindistan ve Avustralya'nın güneşi yoğun bir şekilde alan bölgeleridir. Heliostat, Stirling ve CPV takipçi pazarı ve Fotovoltaik takip sistemi pazarı arasında çok değişiklik gösteren teknik yönlerden birisi hassasiyet gereksinimidir. Fotovoltaik için takip sisteminin hassasiyeti gerçekten sorun değildir. Ancak, Heliostat, Stirling ve CPV yüksek duyarlılık gerekir, aksi takdirde sistem düzgün çalışmaz çok önemli bölümler yanlış yönlendirilmiş ısı yüzünden zarar görebilir (Lindberg ve Mäki 2010).



Şekil 22. Optimum Açılı Yüzayda Yılın En Kötü Ayında Saatteki Alınan Solar Enerji Miktarı (SunWize Technologies)

Takip sistemi alanında büyümeyle alakalı beklentilere rağmen takip sistemi gelişmeleri Fotovoltaik sektörünün daha büyük bir ekonomiye sahip oluşundan kaçınılmaz olarak etkilenebilmektedir ve bu durum devam eden ekonomik kriz yüzünden de iyice perçinlenmektedir. Bu tür kurulumların daha yüksek kapital maliyetleri, düşük güvenilirlikten geriye kalan anlayış ve beraberinde projeler için daha fazla risk alınmasını gerektirmesi riskten kaçınan günümüz ekonomik koşullarında takip takip sistemi gelişimi için finansman sağlamayı daha da zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda yürütülmekte olan işlemler ve bakım ücretleri de daha fazladır (Appleyard 2009).

Çalışmayı etkileyen daha pek çok etken vardır. Takip sistemlerinin kurulumuna teşvikte ana unsur olan silikon bazlı modüllerin maliyeti, geniş çaplı üretimlerde beklentilere karşılık veremediğinden yatırımın getirisini yükseltmek için modüllerin verimliliğinin en üst düzeye çıkarılması o kadar da kritik bir rol oynamamaktadır. Eğer tesis yeterince büyükse, daha büyük bir alanı tamamen sabit modüllerle kaplamak uygun fiyata gelebilir. İnce film sektörünün büyüme oranının takip sistemi piyasasını yıpratma potansiyeli de mevcuttur. İşin mantığı, daha düşük verimle ince film modüller, daha

fazla takip sistemine ihtiyaç duyarlar bu da projenin maliyetini arttırmaktadır (Appleyard 2009).

Birkaç şirket takipçi gelişiminin farkında olduklarını dile getirmektedir. Kalifornia El Dorado Hills'in güneş sistemi kurucusu Premier Power'ın başkan vekili Miguel de Anquin zemine monte edilmiş ticari projelerin yaklaşık yüzde 70inin takipçiye sahip olduğunu söylemektedir. Bu sadece 4 yıl önce oldukça küçük bir proje havuzunun yalnız %20-30 una karşılık gelmektedir. Batı Eyaleti Richmond dolaylarında Wastewater Bölgesinde Premier Power tarafından kurulan uygulamanın bir resmini aşağıda görebilirsiniz.(Bknz. Şekil 23) (Kho 2009)



Şekil 23. Batı Eyaleti Richmond Dolaylarında Wastewater Bölgesinde Premier Power Tarafından Kurulan Uygulaman

Zaragozalı İspanyol takip sistemi üreticisi ADES in uluslar arası pazarlama müdürü Maria Lahuerta Antoune, geçen sene dünyanın en büyük Solar piyasası olan Almanya'yı geride bırakan İspanya'da, takipçi projelerin 2006 pazarının önemsiz bir bölümünü oluştururken 2008'deki yeni projelerin belki de yüzde 25-30'larını oluşturduğunu hesap etmektedir (Kho 2009).

Düşük panel fiyatları takip sistemlerini daha az ilgi çekici kılabilir. Mesele şudur; eğer panel fiyatları çok fazla düşerse sabit panellerle daha fazla alan kaplamak panelleri hareket ettirmek kadar uygun fiyata mal olabilir (Kho 2009).

2.5.5. Destekleyici tarifelerin (Feed in Tariff) güneş takip sistemi piyasasına etkisi

Şirketler büyümenin büyük çoğunluğunu farklı hükümet politikalarına bağlamaktadır. İspanyada destekleyici tarifelerin (feed-in tariff) güneş elektriği için yüksek fiyat önermesi 2007’de piyasayı hareketlendirdi. 400MW programı çatıya montajlanan sistemlerle, Watt başına daha ucuz olan yere montajlı ve takip sistemi kullanan sistemler arasındaki farkı ortaya koymadı. Proje planlamacıları projelerinin ürettiği enerjiye göre ödeme aldığı için her panelden daha fazla kWh üretecek şekilde genişlemeye çalışmak adına takip sistemlerine dönmüşlerdir.

Aynı zamanda California otomatik iskonto sistemini devreye almış ve bu aşamada birçok proje için avantaj oluşturmuştur, Temel Düşünce solar fiyatlarını giderek konvansiyonel elektrik fiyatlarıyla rekabet haline gelmesini sağlamaktır. İndirimlerin düşmesi şunu ifade eder; yeni solar proje liderleri kar elde etmeye devam etmek için düşük maliyetle kapasite artırmanın yolunu bulmalıdır. Bu durum onları takip sistemlerine doğru itecektir.

2006’da teşvik programı başladığında firmalar yatırımlarının geri dönüşü için takip sistemi kullanma ihtiyacı duymamışlardı, bunun yerine daha çok denenmiş-bilinen teknolojileri kullandılar. Şimdi, indirimler düştükçe yatırımdaki geri dönüş süresini tutturman için biraz risk almak gerekiyor (Kho 2009)

Açık farkla en geniş takip sistemi pazarı olan FV takip sistemi piyasası FIT ve teşvikleriyle körüklenmiştir. FIT solar enerjiyi yüksek fiyata satmayı temin eder ve takip sistemlerine büyük avantaj sağlar. Takip sistemleri en iyi yaklaşımla %40 verimlilik artışı sağlar. Yüksek enerji fiyatıyla takip sistemlerinin geri ödemesi kolaylıkla yapılabilir. FIT’lerin Almanya ve İspanya’da düşürülmesi konuşuluyor. Bu durum takip sistemi piyasası için gerçek bir sınav niteliği taşımaktadır (Lindberg ve Mäki 2010).

2.5.6. Göze teknolojisinin güneş takip sistemlerinin pazarına etkisi

Takip sistemleri ince film solar projeleri için finansal bir anlam teşkil etmemektedir. İnce film paneller watt başına kapasite açısından bakıldığında kristalin modüllere göre daha fazla yer kaplarlar, bu da daha fazla takip sistemi ve takip sistemlerinin göreceli maliyetini projenin kalanı için artıracak anlamına gelmektedir (Kho 2009).

2.5.7. Güneş Takip Sistemi Pazarının Geleceği

Takip sistemi pazarının konvansiyonel panellerden konsantre FV panellere doğru kayacaktır. Konsantre FV, hücreyle kaplı olan alandan alanın alabileceğinden daha fazla güneş ışını toplayabilmek için ayna veya mercekler kullanarak güneş ışığını hücrelere odaklar. Düz panellerden daha fazla güneş ışığına ihtiyaç duyarlar, bu da daha fazla tam takip sistemi çalışması demektir. Takip sistemleri CPV üzerinde geleneksel sistemlerden daha fazla etkiye sahiptir, çünkü iyi bir panel verimsiz bir takip sistemiyle de üretebilirken, çok verimli bir CPV kötü bir takip sistemiyle bir şey üretemez.

Tabii ki birçok teknolojisi gelişme fazında olan CPV, piyasanın küçük bir parçasıdır. Fakat Lahuerta'ya göre hassasiyet sensörlü CPV takip sistem geliştirmesini tamamlayan ADES CPV'nin takip sistemleri piyasasında büyük bir potansiyel şansı vardır. Lahuerta "Bugüne kadar takip sistemleri endüstrideki çirkin ördekti" der. Şimdi CPV sebebiyle bir şeyler değişiyor. İnsanlar takip sistemlerinin CPV başarısındaki anahtar olduğunu anlıyor. Endüstrinin önemli bir parçası oluyoruz (Kho 2009).

İki genel trend vardır: Yüksek verimli modüllerin kullanımı ile takip sistemlerinin yaşayabilirliğini arttırılır, fakat modül fiyatları düşerse takip sistemleri daha az geçerli olur. İkincisi ise, eğer takip sistemleri fiyatları aynı kalırsa yatırımda daha büyük pay oluşturur. Takip sistemli PV sistemlerinin ekonomik yaşamı gelecekte daha zor olacaktır (Trojek 2008).

Takip sistemlerini fotovoltaik pazarda modül fiyatlarının düşmesi geleceğini kötü yönde etkilemektedir. Kristalin göze teknolojisine göre ince film teknolojisinin Wp başına maliyeti daha düşüktür. Bu nedenle ince film teknolojisinin yaygınlaşması takip sistemi

piyasaının daralmasına neden olacaktır. Bunun yanında mevcut piyasa rakamları ve yapılmış projeksiyonlara bakıldığında ince film modüllerin kullanımı kristalin modüllerin kullanımını geçmemektedir.

2.5.8. Satın almayı etkileyen kilit faktörler (Key Buying Factors – KBF)

Bir ürünü geliştirmek ve satabilmek için hangi faktörlerin müşterinin tercihini etkilediğini anlamak önemlidir. Hatta müşterinin ilgilendiği ve ürünleri karşılaştırırken göz önünde bulundurduğu faktörleri tespit etmek daha da önemlidir.

Solar takip cihazı piyasasında satın alma faktörleri öncelikli şu dört teknolojiye bağlı olarak değişir. Bu teknolojiler:

- Fotovoltaik
- Helyostat
- Stirling Motoru ve Çanak (Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi)
- Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik (CPV)

Her bir teknolojiadaki unsurlara açık bir şekilde dikkat çekmek için öncelikli dört teknolojinin her birine uygun tablolar oluşturuldu. Bu tablolar ilgili pazarlama piyasasındaki solar takip cihazını etkileyen satın alma unsurlarını ortaya çıkarır ve etmenlerin tahmini sıralamasını verir. Ayrıca etmenler üç kategoride sınıflandırılmıştır.

- Ticari
- Teknolojik
- Siyasal

Tarife garantisi: Tarife garantisi bir kurumun, yenilenebilir enerji üreticilerinin kendi işletme bölgelerinde yetkili kişiler tarafından belirlenmiş ve belli bir süre için garanti edilen (genellikle 20 yıl) elektriği satın almaları için gerekli zorunlulukları kapsar. Tarife garantisi, solar parklara yatırım yapan kuruluşlara yatırımlarının karşılığını alacaklarını garanti ettiği için Solar piyasasının dünya çapınca gelişmesindeki en önemli unsurdur.

Yardım ödenekleri (Feed in Tariff): Devletin sağladığı ödenekler güneş parklarındaki yatırımları daha karlı hale getirebildiği için solar piyasada büyük bir etkiye sahip önemli unsurlardır.

Enerjide dışa bağımsızlığı sağlama isteği: Enerjide dışa bağımsızlığı sağlamadaki politik istem solar enerji için garanti tarifeleri ve ödeneklerinin hibe edilmesinde önde gelen siyasi unsurlardan biridir.

Kamuoyunun görüşü: Kamuoyunun solar enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları hakkındaki görüşü de solar enerjiye siyasi yatırımları sağlayan başlıca etmenlerdendir.

Üretilen enerji ile güneş takip sistemini fiyatlarının karşılaştırılması: Kâr, yatırımın getirisinin hesaplanmasında temel ilke olduğu için güneş takip sisteminin fiyatı, elektrik üretiminden elde edilen karla karşılaştırıldığında çok önemli bir satın alma unsurudur. Örneğin; eğer güneş takip sistemi enerji üretimini %40 arttırıyorsa, güneş takip sistemi maliyeti yeni panel alımıyla karşılaştırıldığında panel kurulum ücretinden ve panel fiyatının %40'ından daha az olmalı. Elbette bazen bir binaya ya da araziye daha fazla panel yerleştirmenin mümkün olmadığında toplam yer de sorun oluşturmaktadır. Böyle durumlarda takip cihazlarına yatırım yapmak bu tesisin enerji üretimini arttırmada tek çözüm olarak görülebilir (Lindberg ve Mäki 2010).

Ürün kalitesi: Takip cihazında öngörülen kalite de satın almada büyük bir rol oynar. Bu sistemlerin tahmini 20-25 yıl ömrü vardır. Ürün tasarımı bu tür dayanıklılıkları göstermelidir.

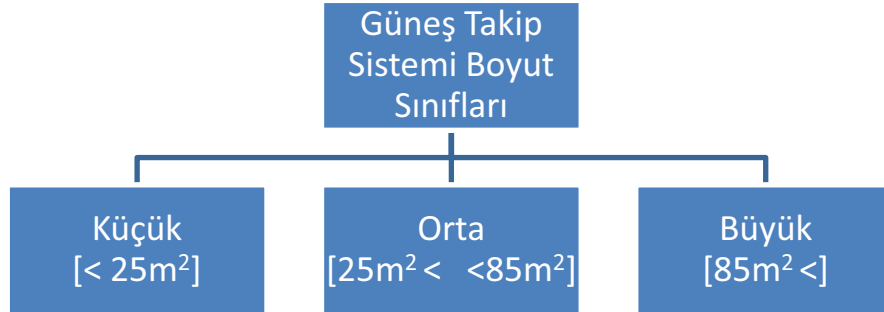
Verim oranı artışı: Optimum açılı sabit fotovolatik sisteme göre verim, fotovoltaiik takip sistemlerini kullanmaya teşvik eden yaygın bir ölçüttür. Müşterilerin takip cihazlarını kolayca karşılaştırabilmelerini sağlaması yönüyle önemlidir. Takip cihazından alınan Fotovoltaiik sistemin verim artış oranı, takip cihazının hareket edebildiği açı aralığına ve hassasiyete bağlıdır.

2.5.9. Müşteri teknik talepleri

Müşterinin genel taleplerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Güneş Enerjisi Teknolojileri: Güneş panelleri, Heliostat, Stirling Sistemler
- Mercekli güneş Panelleri, Ayna yada çanak boyutu, Sistemin istenilen enerji üretimi
- Güneş izleyicisinin takip aralığı (Azimut Açısı, Eğim)
- Güneş İzleyicisinin dayanabileceği maksimum rüzgar hızı
- Fiyat performans oranı

Müşterinin 70m² güneş paneline sahip güneş izleyicisine ihtiyacı varsa orta boy güneş takip sistemi seçilir. Orta boy güneş takip izleyici 25-85 m² güneş paneli alanı ve 20m/s üzerindeki rüzgar hızlarında çalışabilecek şekilde optimize edilmiştir. En uygun aktüatörün seçilerek, çubuk veya kol geometrisi gibi düşünülerek ölçülendirilir. Doğru malzeme kullanılarak ağırlık minimize edilerek optimizasyon yapılır (Lindberg ve Mäki 2010).



Şekil 24. Güneş Takip Sistemi Boyut Sınıflandırması

2.6. Güneş Takip Sistemi Yatırım Analizi

Basit yatırım hesaplaması için; Çift eksenli en büyük boy güneş izleyicisinin fiyatı € 2742'dur ve bu güneş izleyicisi üzerine 134 W/m² gücündeki kristalin fotovoltaik modüller konulabilmektedir. 100 m² güneş paneli alanı için maksimum enerji üretimi 13,4 kW'tır. Bu da bize güneş izleyicisinin watt başına maliyetinin 0,2 €/W olduğunu

göstermektedir ve bugün için en ucuz güneş paneli watt başına maliyeti 1,44 €/W'dır. Çift eksenli güneş takip sistemleri, güneşi takip ederek güneş panellerinin enerji üretiminde %40 lık bir artış sağlarlar. Güneş izleyicisi yatırımın Watt başına maliyetini 0,2 €/W yükseltir ki bu değer fotovoltaik güneş paneli Watt başına maliyetinin sadece %14'ü kadarını oluşturur (Lindberg ve Mäki 2010).

Aşağıdaki tablo, üç farklı boyuttaki güneş izleyici sisteminin Watt başına maliyetlerini göstermektedir.

Çizelge 2. FV panel ve Takip Sisteminin Watt Başına Maliyetleri (Lindberg ve Mäki 2010)

Boyut	Küçük	Orta	Büyük
Takip Sistemi Satış Fiyatı	€ 1 157	€ 2 048	€ 2 742
Takip Sistemi Panel Alanı	25 m ²	85 m ²	100m ²
Takip Sistemi Verim	40%	40%	40%
Takip Sistemi Enerji Üretimi	3,4 kW	11,4 kW	13,4 kW
FV Panel Fiyatları	1,44 €/W	1,44 €/W	1,44 €/W
Toplam Panel Fiyatı	€ 4 896	€ 16 416	€ 19 296
Takip Sistemi Fiyatı	0,34 €/W	0,18 €/W	0,20 €/W
Takip Sistemi / Panel Fiyatı	23,6%	12,5%	13,9%
Maliyet Verimliliği	16,4%	27,5%	26,1%

Çizelge küçük boy güneş takip sistemi alırken enerji üretiminin %40 arttığını buna karşılık sistemin fiyatının sadece 23.6 % arttığını göstermektedir. Orta boy güneş izleyicisi maliyeti 12.5 % arttırmıştır ve büyük boy güneş izleyicisi en geniş panel alanına sahip olduğu için maliyeti 13.9 % arttırmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi orta boy güneş takip sistemi en uygun maliyetler ile karşımıza çıkmaktadır.

2.7. Piyasadaki Mevcut Güneş Takip Sistemleri ve Üreticileri

Bugün piyasada; tek ve çift eksenli, $5m^2$ ile $400 m^2$ arasında değişen güneş izleyicilerinin üretimini ve satışını yapan bir çok firma bulunmakta. Yani pazardaki güneş izleyisi kaynağının oldukça geniş olduğu söylenebilir.

Piyasadaki geleneksel ve en yaygın bulunan tek eksenli takip sistemleri aksiyal rulmanlı sonsuz dişli redüktörlü aktuatörleri kullanmaktadır ve çift eksenliler de ise azimuth hareketi için aksiyal rulmanlı sonsuz dişli redüktörlü aktuatörü ve yükseklik hareketin için lineer aktuatör kullanılmaktadır.

2.7.1. FV için takip sistemi üretenler

Tek Eksenliler:

Mecasolar geliştirdiği tek eksenli takip sistemiyle İspanya ve Yunanistan'da oldukça iyi bir pazar yakalamıştır. Mecasolar'ın açıklamasına göre tasrladıkları azimutal tek eksenli takip sisteminin benzerlerine göre %5 daha fazla enerji üretmektedir. Sabir sistemlerle karşılaştırıldığında ise %28 verim atışını yakalamışlardır.

Mecasoların geliştirdiği bu tek eksenli takip sistemini ana avantajı eğim açısının 25° 'den 35° 'ye kadar ayar imkanı tanınmasıdır. Böylece sezonluk açı değişimi yapılabilmektedir. Her takip sistemi $12kW_p$ kurulu güce sahiptir. Toplam yüzey alanı $90m^2$ 'dir. Sistem $130km/saat$ 'lik rüzgar hızına dayanabilmektedir. Her takip sistemi kendi astronomik programına sahiptir. Enerji tüketimi yıllık $40kWh$ 'i geçmemektedir. 2010 sonunda Mecasolar 200MW kapasiteye tek eksenli, çift eksenli ve sabit sistemler beraber olmak üzere ulaşmıştır.

Alman a+f-a firmasının Sky Carrier takip sistemi dikkat çeken bir diğer tek eksenli takip sistemidir. Modül yüzey alanı $247m^2$, toplam yüksekliği 30.5m, 8,1 metre genişliği ile büyük takip sistemleri sınıfında bulunmaktadır. Sky Carrier $33kW_p$ toplam kurulu güç sistemin üstüne monte edilebilir.

Sun Carrier takip sistemi ekvator ile 30° enlem bölgeleri arasında çalışması için tasarlanmıştır. Bu bölgelerde kimi zaman güneş yükseklik açısı 90°'lere kadar çıkabilmektedir. Bu sistemin sabit sisteme göre verimi %25'dir.

Sun Carrier takip sisteminin tahrik sisteminde planet dişli redüktörlü ve zincir dişli iki elektrik motoru bulunmaktadır. Firma yetkililerinin açıklamalarına göre bu sistem neredeyse bakıma hiç ihtiyaç duymayacak şekilde tasarlanmıştır.

Yine a+f-a firmasının benzer tasarıma sahip bir başka tek eksenli ürünü de 287m² yüzey alanına sahip ve üstüne toplam kurulu gücü 40kW_p olabiliyor. Bu takip sistemi ortalama yılda 3500kWh elektrik üretebiliyor (Appleyard 2009).

Ray Tracker firması daha çok bina üstü entegre ve şehir içi uygulamalar üstüne yoğunlaşmış bir firmadır. Genelde tek ksenli takip sistemleri çift eksenlilere göre daha az alan ihtiyacı duyar bu nedenle bina entegre uygulamaları için tercih sebebidir. Şekil 25'de Ray Tracker firmasının Amerika'da yaptığı bir uygulamanın görüntüsünü verilmiştir.



Şekil 25. Ray Tracker Firması Tarafından British Telecom Birleşik Amerika Genel Merkez Binası Otoparkına Yapılan Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi Uygulaması. (Appleyard 2009)

Çift Eksenliler:

Solon Movers'in 2005 yılında piyasaya çıkışından bu yana dünya genelinde 10.000'den fazla kurulu sistemi bulunmakta. Bu arada ADES, Mecasolar, Solon, Titan gibi benzerleri ile birlikte, 150 MW lık hala kullanımda olan sistemi ile bu tür sistemlerin en büyük üreticilerindendir.

Örneğin, Titan Tracker SA, güneş izleyicilerinin mevsimsel güneş açısı değişiminin etkisini azaltmak için maksimum yüksekliği ayarlanabilir, iki yeni güneş izleyicisi modeli geliştirdi.

Bu modeller solar parklarda konuşlandırılmak üzere tasarlanmıştır. 125km/saat rüzgar hızına hangi pozisyonda olursa olsun dayanabilecektir. Maksimum güneş paneli yüzey alanı 124 m²'dir. Titan Trackers, 40°enlemi bölgesinde sabit sisteme göre %45 verim artışını idda etmektedir. Sistemin güvenilirliğinin ise sabir sistemler ile aynı olduğunu ve proje süresince yaşam çevrimini sürdürebilecektir.

ADES, Yunanistandaki ilk projesini çift eksenli takip sistemi ile yaparak duyurmuştur. Yeni geliştirdikleri bu çift eksenli takip sistemi ile yüksek enerji yoğunluğunu (1MW/3,7Hektar) yakalamışlardır (Appleyard 2009).

2.7.2. CSP için takip sistemi üretenler

SENER Şirketi merkezi kule alıcılarının, canak – stirling ve konsantre fotovoltaiik santrallerin ihtiyaçlarını karşılayan yüksek hassasiyete sahip patentli iki eksenli takip sistemleri tasarlayıp, geliştirmektedir.

Titan ayrıca İspanya'nın Castilla-La Mancha Bölgesindeki Konsantre Fotovoltaiik Sistemler Enstitüsünde (ISFOC) çift eksenli takip sistemi kullanan Konsantre fotovoltaiik sistemini devreye aldı. Firma alana kurulan ünitelerin 0.01° den daha yüksek doğruluk sağladığını ve dünya çapında en doğru ve en güvenilir güneş izleyicisi olduğunu idda etmektedir.

Çift eksen güneş izleyicileri, yüksek konsantrasyonlu FV, termal kule (CSP) ve çanak-stirling sistem üretimine ve pazarlamasına yoğunlaşan Titan, sistemlerini piyasaya sürüldüğü ilk yıl İspanya’da sistemlerden 15 MW’dan daha fazla sistem kurmuştur. Ağustos 2008 de devreye alınan ve 128 çift eksenli güneş takip izleyicisinin bulunduğu, Katalonyanın en büyük güneş tarlası projesini içeren birkaç büyük proje bunu takip etmiştir. Flixte kurulu 12 MW lık sistem, ispanyadaki en büyük çift eksenli izleyicili güneş tarlalarından biridir (Appleyard 2009).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Güneş takip sistemleri

Fotovoltaik üzerine yapılan tüm çalışmaların ana fikri yatırım geri dönüş süresini azaltmaya yöneliktir. Bu da ancak üretim verimliliğini artırarak gerçekleştirilebilir. Üretim verimliliğinin arttırılması da ancak panelin üzerine düşen ışıının şiddetinin arttırılması ile oluşur.

Fotovoltaik modüllerin üzerine düşen güneş ışığının radyasyon değeri, güneş ışığının fotovoltaik modüllerin normali ile yaptığı açının kosinüs'ü ile hesaplanmaktadır yani güneş ışığı modüllerin üzerine dik açıyla düştüğü sürece üretim azami olmaktadır. Bu durum, güneşi takip ederek güneş ışınlarını devamlı dik alınmasını sağlayan bir sistemin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur.

İlk izleme ünitesi 1962 yılında, *Finster* tarafında tamamen mekanik olarak tasarlanmıştır. Bundan 1 yıl sonra Saavedra, otomatik elektronik kontrol ünitesine sahip bir mekanizma geliştirmiş ve *Eppley* ışıının ölçerini yönlendirmek için kullanmıştır (Roth ve ark. 2005)



Şekil 26. Güneş Paneli Üzerine Düşen Işıının

Tüm izleyici sistemlerin ana fonksiyonu, harekete 1 yada 2 serbestlik derecesi sağlamaktır. Bu hareketin amacı, sisteme ışının istenen doğrultuda gelmesini sağlamaktadır.

3.1.2. Güneş takip sistemlerinin sınıflandırılması

Wikipedia tek eksenli izleyicilerin sınıflandırılmasını şu şekilde yapmıştır:

- Yatay Eksenli Güneş İzleyici(HSAT)
- Düşey Eksenli Güneş İzleyici (VSAT)
- Eğik Eksenli Güneş İzleyici(TSAT)
- Kutup Hizalı Güneş İzleyici(PASAT)

Ancak bu terimlere çoğu makalede izleme yöntemlerini tartışırken rastlanmaz. Bir makalede yıllık toplam radyasyonda, 5° eğim açılı TSAT , HSAT a göre %10; HSAT, VSAT a göre %15; PASAT, HSAT a göre %10 artış sağladığından bahsedilmektedir.

Güneş takip sistemleri, serbestlik eksenli sayısına, dönüş ekseninin konumuna ve güneş takip sistematığına göre sınıflandırılır.

Serbestlik Eksenli Sayısına Göre Sınıflandırma:

Tek eksenli

Çift eksenli

A. Tek Eksenli Takip Sistemleri

Tek eksenli izleyici sistemler Güneş enerjili sistemler için azimut ya da dikey hareketlerinden birini gerçekleştirir. Tek eksenli hareketin tercih sebebi de bazen monte edildiği alandaki serbest alandır. Örneğin parabolik oluklu sistemler azimuth açısı takibi yaparken çoğu çatı uygulaması fototvoltaik sistem yer kısıtlılığı sebebiyle sadece yükseklik açısı takibi yapmaktadır.



Şekil 27. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi [Güneş Takip Sistemi: Concentrix Solar]

Tek eksenli Güneş izleyicileri, enerji üretim performansını arttırmanın ve ticari güneş sistemlerini ekonomikleştirmenin en basit yoludur. Basit ekipmanlar kullanılarak performansın önemli arttırılabilir. İzleyici sistem üreticisi RayTracker, sistemlerinin enerji verimliliğini sabit açılı sistemlere göre %23, düz modüllere göre %38 fazla olduğunu kanıtlamıştır.

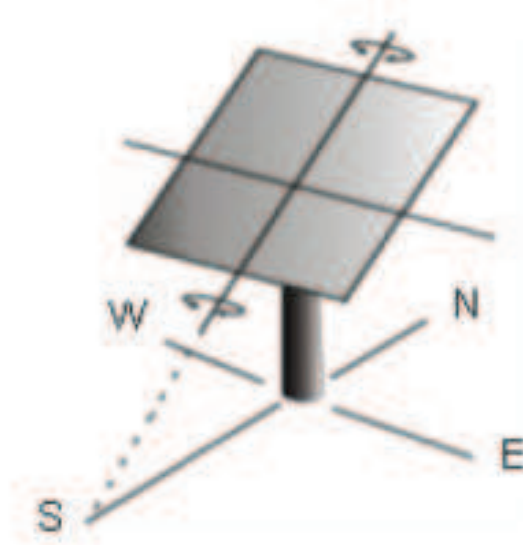
Çift eksenli sistemler tek eksenlilere göre enerji verimliliğinde ek avantaj sağlarken, bakım masrafları ve montaj zorluğu nedeniyle dezavantaja sahiptir. Tek eksenlilere göre hataya müsait olan hareketli daha çok parça içerir. Ayrıca genelde tek eksenli izleyiciler daha az profile sahiptir, daha hafiftirler. Hatta bazen çift eksenli izleyicilerinin yarısı kadar olabilir (Appleyard 2009).

B. Çift Eksenli Takip Sistemleri

Çift eksenli izleyici sistemler yükseklik ve azimut eksenlerinin her ikisinde de harekete izin verir. Bu izleyici sistemler yüksek yeterlilikte doğruluğa sahip komponentler kullanılarak en iyi performansı sağlar.

Dönüş Ekseninin Konumuna Göre Sınıflandırma:

Güneş takip sistemleri mafsallı eksenlerine göre de sınıflandırılır. Tek eksenli takip sistemleri de polar, yatay ve azimut olarak sınıflandırılır, çift eksenli takip sistemleri ise azimut ve polar olarak ikiye ayrılır.



Şekil 28. Polar Tek Eksenli Takip Sistemi

Polar tek eksenli takip sistemleri panel yüzeyi güneşe doğru eğimli ve panel alanının ağırlık merkezinden geçen bir eksenle döndürülerek azimut açısı takip ettirilir. Sistemin geometrisi gereği panel azimut açısı hareketini yaparken yükseklik açısında kısmen takip eder. Bu nedenle enerji üretim değerleri açısından bakıldığında diğer tek eksenli takip sistemleriyle karşılaştırıldığında polar tek eksenli takip sistemlerinin performansı yüksektir.



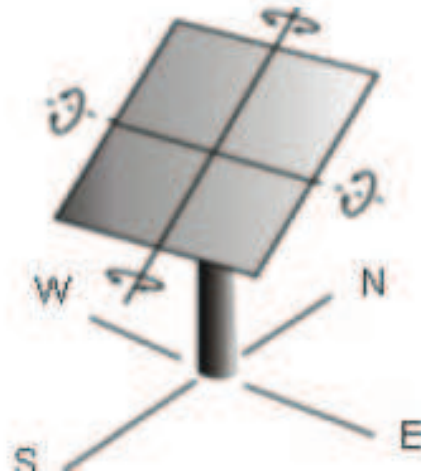
Şekil 29. Azimuth Tek Eksenli Takip Sistemi

Azimuth tek eksenli takip sistemleri, panellere eğim açısı verilmiş bir konstrüksiyon üzerinde yere dik bir eksende döndürülerek çalışır. Bu tip tek eksenli takip sistemleri büyük panel alanları söz konusu olduğunda daha çok öne çıkar.



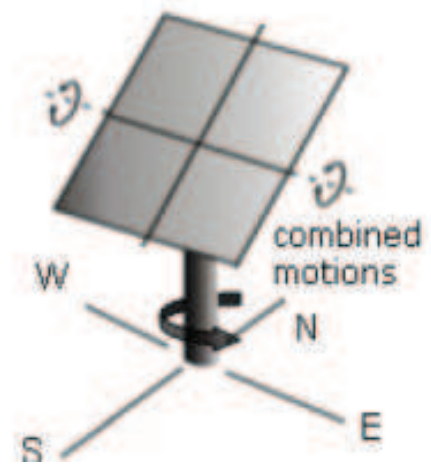
Şekil 30. Yatay Tek Eksenli Takip Sistemi

Yatay eksenli takip sistemleri yere yatay bir eksen etrafında panellerin döndürülerek çalışır. Bu tip takip sistemleri yükeklik açısının 90° 'lere yaklaştığı bölgelerde yani ekvatorial bölgelerde ($0^\circ - \pm 30^\circ$) kullanılır. Yapı olarak çoklu hareket ettirilmeye uygundur. Tek motor ile birçok fotovoltaiik diziye aynı anda çalıştırılabilir.



Günlük sadece kendi etrafında döner. Yıllık hareketi aynı anda değil, ara ara kontrol sisteminden veya algılayıcılardan aldığı komutla güneşin mevsimsel değişimine ayak uydurarak yapar.

Şekil 31. Polar Çift Eksenli Takip Sistemi



Gün içinde hem kendi etrafında hem mevsimsel harekete göre iki eksen de sürekli hareket eder dolayısı ile kontrol edilmesi daha karmaşıktır.

Şekil 32. Azimuth Çift Eksenli Takip Sistemi

Güneş Takip Sistematiğine Göre Sınıflandırma:

Genelde küçük projelerde güneş ışığına duyarlı sensörler kullanılırken, büyük projelerde farklı zamanlarda izleyicinin durması gereken noktaya karar vermek için GPS kullanılır.

A. Pasif Sensörlü Takip

Bazı şirketler enerji ve maliyet açısından daha verimli izleyiciler yapmaya çalışmaktadırlar. Örneğin Avusturalya daki Portasol izleyicileri, güneşe yönelmek için gün içindeki ısı değişimlerine bağlı olarak çalışan hidrolik pasif takip sistemleri geliştiriyor. Şirket izleyicilerin Herhangi bir elektorink ekipman, motor ve dişli kutusu kullanmadığı için elektrik tüketmediğini belirtmektedir (Kho 2009).

Verilecek ilk karar Pasif yada Aktif izleyici arasında yapılacak seçimdir. Pasif izleyiciler sistemi hareket ettirmek için sıkıştırılmış sıvının düşük kaynama noktasını kullanırken, aktif izleyiciler motor, dişli kutusu ve ya hidrolik aksam kullanır ve enerji

tüketirler. Güneş ısısının yarattığı gaz basıncını kullanan pasif sistemler enerji tüketmez fakat gün ışığını yakalamakta daha yetersizdir (Appleyard 2009).

B. Aktif Sensörlü Takip

Aktif izleyici sistemlerin 3 ana çeşidi vardır:

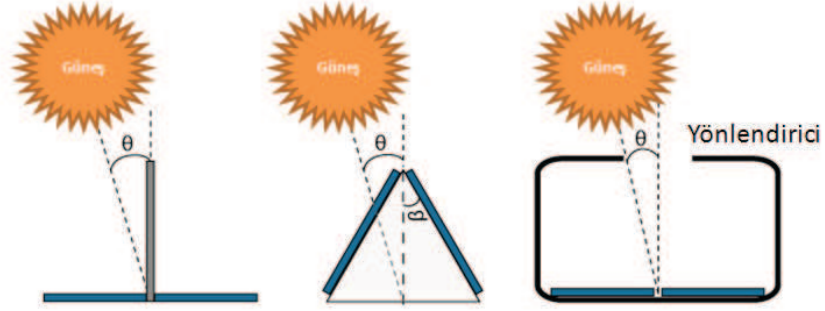
- Harici iki yüzlü güneş pilli sistem,
- Elektro optik sistem
- Mikroişlemcili/bilgisayarlı sistem.

Harici iki yüzlü güneş pilli sistem, 3 aktif sistemin arasında en basitidir. Harici iki yüzlü güneş pilli sistem döner eksenli izleyiciye sabitlenmiştir ve çift taraflı ana güneş panel yüzeyine diktir. Sensör hücresi direk olarak motora bağlıdır, genelde de DC elektrik motordur. Güneş hareket ettiğinde, sensördeki fark açısı artar, güneş panel yüzeyi ve motoru hareket ettirme için gerekli enerji üretilir. Örneğin Poulek ve Libra sistemlerinin $\pm 5^\circ$ toleransla enerjinin %95 ini toplayabildiğini deklare etmiştir. Bu örneği Şekil 33’de görebilirsiniz (Catarius ve Christiner 2010).



Şekil 33. Harici İki Yüzlü Güneş Takip Sistemi

Elektrooptik sistemler diğerk bir göreceli basit sistemlerdir. Tipik 2 fotodirenç ve PV hücre, tek eksenli sistem için sensör olarak kullanılır. Bu Sensörler birbirine yakın olarak derinlemesine, hesaplanan açıyla eğik olarak konumlandırılır veya hizalayıcı kullanılır. Böylece 2 sensör arasında gerilim ve akım farkı yaratılır.(Şekil 34) (Catarius ve Christiner 2010)



Şekil 34. Takip Sistemi Sensör Yerleşimleri soladan sağa: Ayırıcı, Açılı Montaj, Yönlendirici

Dirençlerin, kondansatörlerin, yükselteçlerin, mantık kapılarının, diyotların ve transistörlerin kombinasyonu ile karşılaştırma ve sürücü devresi yapılır. Aydınlanma miktarının fazla olduğu sensöre göre yön değiştiren ve motora gücünü veren sürücü devre karşılaştırma devresinin çıkış sinyali ne göre çalışır. (Catarius ve Christiner 2010)

C. Kronolojik Takip

Kronolojik takip sistemi doğrudan güneşin yıl içerisinde ve gün içerisindeki hareketine bağlıdır. İleriki bölümlerde açıklanacak olan güneş açıları hesabı ile bir coğrafi bölgenin konumuna göre hesaplanır. Güneş takip sisteminde bu hesapları yapan bir işlemci bulunur bu işlemciye giriş bilgisi olarak sabit değer olarak bulunan bölgenin enlem ve boylam değerleri girilir. Değişken olarak da saat bilgisini RTC (Real Time Clock) ‘dan alınır.

Aktif Sensörlü Takip - Kronolojik Takip Karşılaştırması

Aktif sensörlü takip ile denlemler kullanan ve güneş ile yer arasındaki vektörel ilişkilerin bilindiği kronolojik takip sistematığı arasındaki seçim beraberinde iki sistem için de zayıf noktalar ve güçlü yanlar arasında da seçim yapılması gerekliliğini getirir.

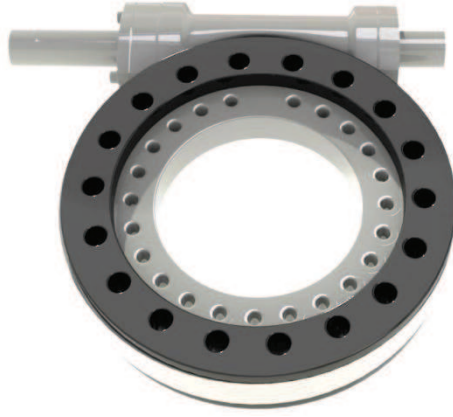
Çizelge 3. Aktif Sensörlü ve Kronolojik Takip Karşılaştırma

Aktif Sensörlü Takip		Kronolojik Takip	
Güçlü Yanlar	Zayıf Yanlar	Güçlü Yanlar	Zayıf Yanlar
Her zaman güneş ışığının en parlak noktasına yönelir.	Değişimlere karşı çok hassastır. Yaprak, kuş pisliği ve toz gibi yabancı maddeler çalışmasını etkiler.	Hassasiyet denklemlerden dolayı çok yüksektir. (0,00003°' hassasiyetlere kadar çıkabilir)	Gün içerisindeki hizalama hataları fark edilmez.
-	Parlak noktayı ararken ürettiğinden daha fazla enerji tüketebilir.	Bir işlemci bir çok takip sisteminin hareketini kontrol edebilir.	Yağmur, takip sisteminin çevresindeki yerlere çok etkilediğinde manuel kalibrasyon gerektirebilir.
-	Her takip sistemi için bir işlemci gerektirir.	Asla güneşin açısal yörüngesinden dışarıya çıkmaz.	-

3.1.3. Aktuatörler

A. *Sonsuz dişli redüktörlü aktuatör*

Sonsuz dişli redüktörlü aktuatör yüksek hız ve yüksek redüksiyon sağlayabilir. Takip sistemlerine en uygun özelliklerinden birisi yüksek redüksiyon özelliği diğeri ise otoblokaj özelliğidir. İdeal bir güneş takip sistemi hem çok yavaş hareket hem de ivmeden minimum etkilenmeye ihtiyaç duyar. (Catarius ve Christiner 2010)



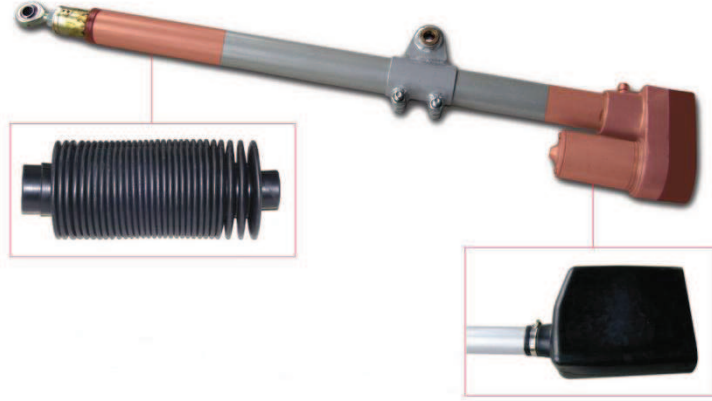
Şekil 35. Sonsuz Dişli Aksiyal Rulmanlı Redüktör

Sonsuz dişli redüktörler takip sistemlerinde genellikle azimuth hareketi için kullanılmaktadır. Redüktör kolaylıkla takip sisteminin ortasındaki ana direğe yerleştirilebilir. Sonsuz dişli redüktör gres ile bakıma ihtiyaç duymaz. Bazı çalışmalarda lineer aktuatörlerle karşılaştırıldığında lineer aktuatörlere göre daha pahalı olacağı beklenmektedir. (Şekil 35)

B. *Lineer Aktuatör*

Lineer aktuatörler takip sistemlerinde genellikle yükseklik açısını hareket ettirmek için kullanılır. Bazı takip sistemi üreticileri hem azimuth hemde yükseklik açısını hareket ettirebilmek için lineer aktuatör kullanmışlardır. Lineer aktuatörlerin sonsuz dişli redüktörlü aktuatöre göre en büyük avantajı fiyat avantajıdır. Yüksek hassasiyette

çalışabilir. Dezavantajı ise programlaması ve kullanımının çok kompleks olmasıdır (Şekil 36).



Şekil 36. Lineer Aktuatör

3.1.4. Güneş takip sisteminin verimi

Takip sistemli fotovoltaik dizilerin verim denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\varepsilon = \frac{(E_T - E_F) - E_C}{E_F} > 0 \quad (3.1)$$

ET takip sistemli fotovoltaik dizi tarafından üretilen enerji, EF sabit aynı güçteki fotovoltaik dizinin ürettiği enerji, EC ise takip sisteminin panelleri hareket ettirirken tükettiği enerjidir.

Takip sistemlerinin verimleri bulunduğu bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Örnek olarak aşağıdaki tablodanda göreceğiniz üzere Avrupanın kuzeyinde çift eksenli takip sistemlerinin optimum açılı sistemlere göre verimleri 40 ila 60 arası değişmektedir. Güneyinde bu değer 30 ila 40 arasında değişmektedir. Batı ve Orta Avrupada ise 20 ila 30 arası değişmektedir.

Tablodanda görüldüğü gibi 60° enlemin üstünde çift eksenli takip sistemlerin verimleri daha yüksek oluyor. Ama bu durum kolaylıkla açıklana bilir. Yaz günleri çok uzun ve güneş öğle vaktinde bile çok aşağılardadır. Takip sistemi gelen ışınımı dik bir açıyla almakla kalmaz aynı zamanda uzun gün doğumu ve batımı aşamasından da yararlanır (Trojek 2008).

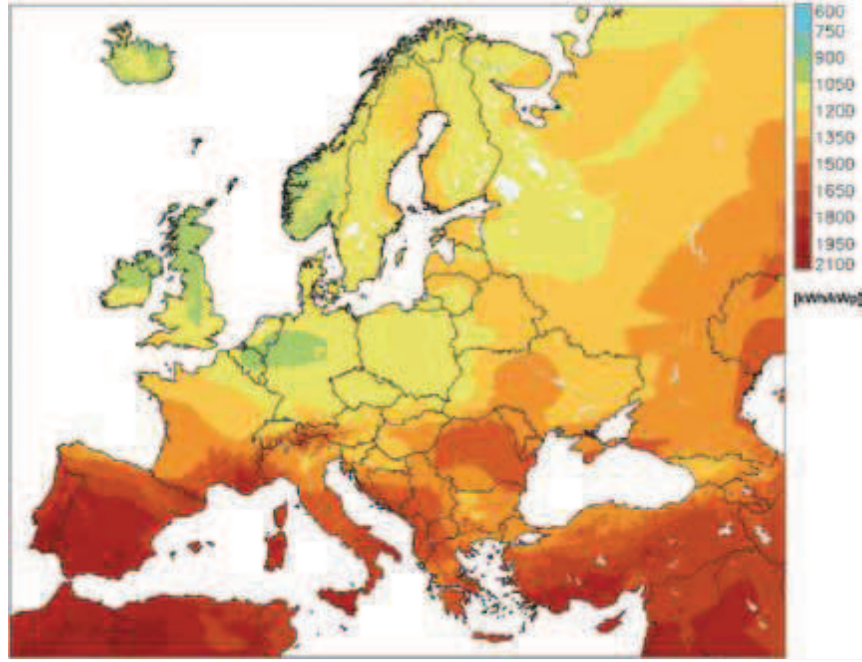
Çizelge 4. Avrupa'nın bölgelerine göre iki eksenli takip sistemlerinin optimum açılı sabit sisteme göre verimlerinin değişimleri (Trojek 2008)

Bölge	Enerji üretim artışı
Kuzey Avrupa (60°'nin üstü)	40 – 60
Güney Avrupa	30 – 40
Batı ve Orta Avrupa	20 – 30

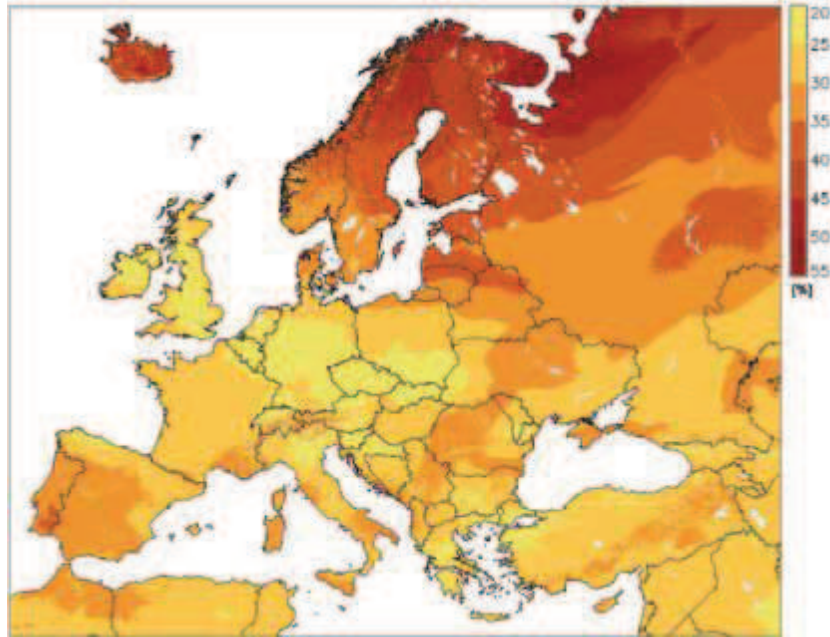
Thomas Huld'un Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi'nde yaptığı çalışma farklı tracker türlerinin verim açısından karşılaştırması üzerinedir. Çalışmada 5 farklı güneş takip sistemi baz alınmıştır. Bunlar:

- Yatay eksenli doğu – Batı hareketli
- Yatay eksenli kuzey – güney hareketli
- Optimum açılı dik eksenli
- Eğimli Optimum Açılı Kuzey – Güney Hareketli
- Çift Eksenli

Aşağıdaki haritada görüldüğü gibi optimum açılı tek eksenli bir takip sisteminin enerji üretim değerlerinin en yüksek olduğu noktalar Avrupanın güney bölgeleridir. Aynı şekilde sabit FV sistemi de olsaydı aynı koyu bölgeler (enerji üretimi yüksek bölgeler) hemen hemen aynı olacaktı. Harita üzerinde optimum açılı tek eksenli takip sisteminin sabit sisteme göre verim değişiminin gösterilmesi daha anlamlı olacaktır.

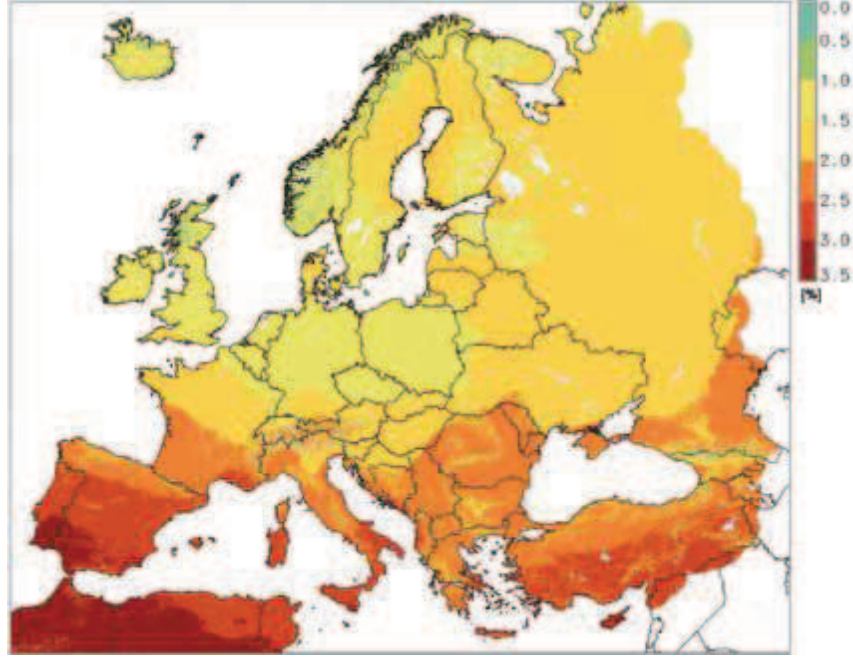


Şekil 37. 1kWp Fotovoltaik Kurulu Güç İle Optimum Açılı Tek Eksenli Takip Sisteminin Ürettiği Enerjinin Avrupa Haritası Üzerinde Gösterimi



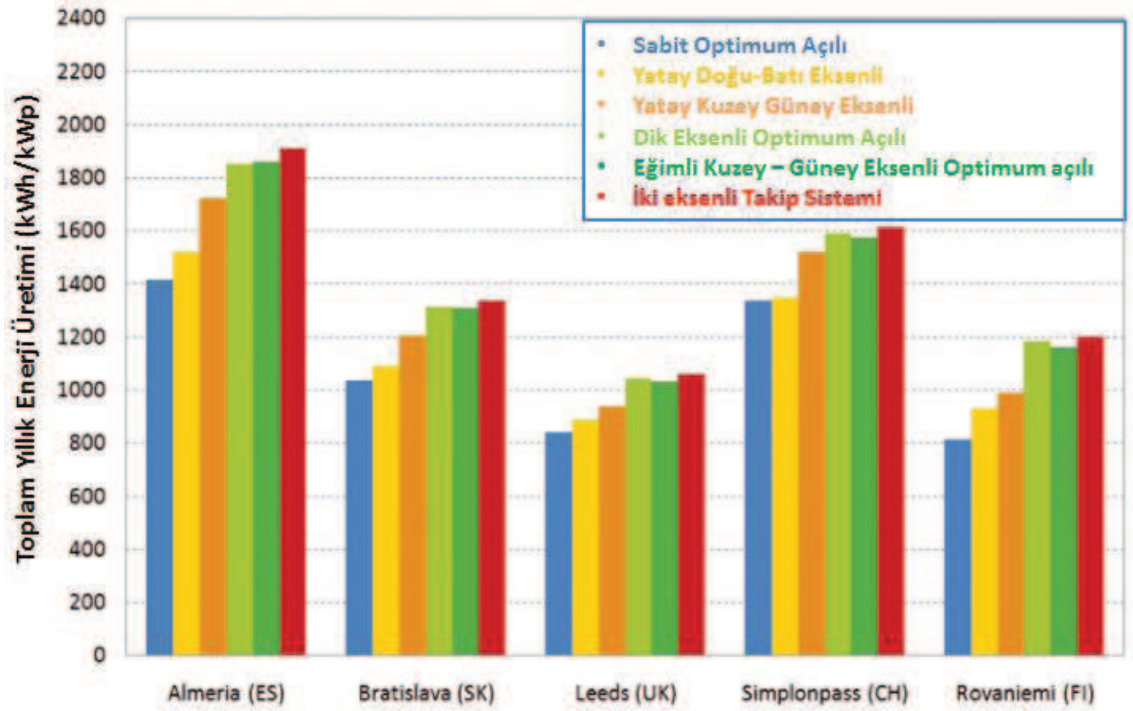
Şekil 38. Avrupa Haritası Üzerinde Optimum Açılı Tek Eksenli Takip Sisteminin Optimum Açılı Sabit Sisteme Göre Verim Değişiminin Gösterilmesi (Huld 2006)

Yukarıdaki harita bize gösteriyor ki zenit açısının gün içerisinde diğer bölgelere göre büyük olduğu bölgelerde (Avrupanın Kuzeyi) takip sistemine güney bölgelere göre daha çok ihtiyaç duyuyor.



Şekil 39. Avrupa Haritası Üzerinde Çift Eksenli Takip Sisteminin Optimum Açılı Tek Eksenli Takip Sistemine Göre Verim Değişiminin Gösterilmesi (Huld 2006)

Avrupa haritası üzerinde çift eksenli takip sisteminin optimum açılı tek eksenli takip sistemine göre veriminin değişimini gösteren haritada çift eksenli takip sisteminin açıkça tek eksenli takip sistemine göre fazla ürettiği görülmektedir. Avrupanın tüm bölgelerinde tek eksenli takip sistemine göre verimi yüksektir. Fakat verim yeterince yüksek değildir. Dikkatlice bakıldığında en yüksek verim %3-3,5 ile güney avrupada görülmektedir. Orta Avrupa ise %1,5-2' dir.



Şekil 40. Beş Farklı Bağlantı Tipi Ve Sabit Bağlatılı FV Sistemin Enerji Üretim Değerlerinin Birbiri İle 5 Farklı Lokasyonda Karşılaştırması (Huld 2006)

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi optimum açılı tek eksenli takip sistemi ile eğimli kuzey – güney hareketli tek eksenli takip sistemi üretim değerleri çift eksenli takip sistemine oldukça yakın değerler göstermektedir. (Huld 2006)

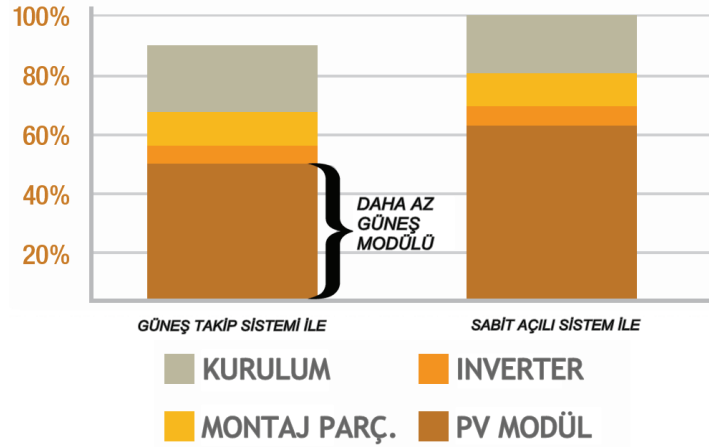
3.1.5. Güneş takip sistemlerinde bakımı ve garanti periyodları

Takip sistemlerinin bakım maliyetleri temel olarak sisteminin çalışma esnasındaki güvenilirliğine bağlıdır. Modern takip sistemlerinin hareketi oranı oldukça düşüktür. Dişliler yüksek basınç altında çalışmamaktadır. Sistemler günde ancak bir tur dönebiliyor ve bu da 20 yılda sadece 7300 devire eş değerdir. Bir araç transmisyonu bu değeri sadece 5 km yol alınca yakalamaktadır.

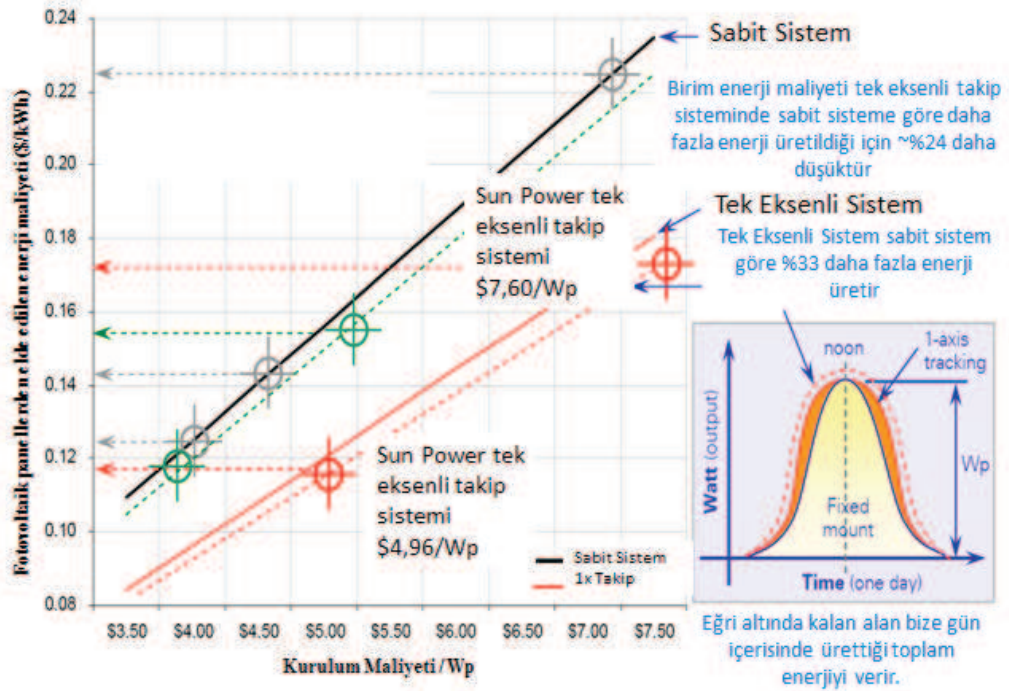
Control sistemleri sık hata ortaya çıkaran kaynaklardır. Bu elemanların elektriksek güvenlik ve kabileyetlerinin dayanım testlerinin yapılmış olması gerekiyor. Tedbirli yatırımcılar imalatçının ne tür bir garanti verdiğine, parçaya mı işçiliğe mi garanti verdiğine dikkat etmelidir. Normal garanti periyodları 5 ile 10 yıl arası değişmektedir (Trojek 2008).

3.1.6. Güneş takip sistemlerinin yatırım geri dönüş süresine etkisi

Güneş takip sistemleri santral yatırımlarının geri dönüş süresini düşüren bir faktördür. Aynı enerji miktarını üretebilecek biri güneş takip sistemi diğerde sabit açılı iki santralin kurulum maliyetleri karşılaştırıldığında ise güneş takipli santralin daha düşük maliyetlere kurulduğu görülmektedir.



Şekil 41. Sabit Kurulu Sistem İle Güneş Takip Sistemlerinin Santral Maliyetlerinin Karşılaştırması



Şekil 42. Wp başına kurulum maliyetine göre Güneş Elektirliği Maliyeti grafiği

İzleyici sistemiyle %30 daha yüksek enerji çıkışı alabiliyor. Böylelikle %24 daha düşük enerji maliyetlerini yakalanabiliyor. Grafik üzerinde de görüldüğü gibi çift eksenli takip sistemi kullanımı ile enerji birim maliyetleri arasındaki ciddi değişimler göstermektedir. Örneğin \$5/Wp kurulum maliyeti baz alındığında tek eksenli takip sistemi olan bir sistemin birim enerji maliyeti \$0,118/kWh olarak okunurken, sabit sistemin birim enerji maliyeti ise \$0,150/kWh olarak okunmaktadır.

3.1.7. Güneş Takip Sistemlerinin Enerji Geri Dönüş Süresi

Enerji geri dönüş süresi, güneş panellerinin üretilmesi için tüketilen enerji miktarının aynısını güneş panellerinin üretebileceği süredir. (Anonim 2011)

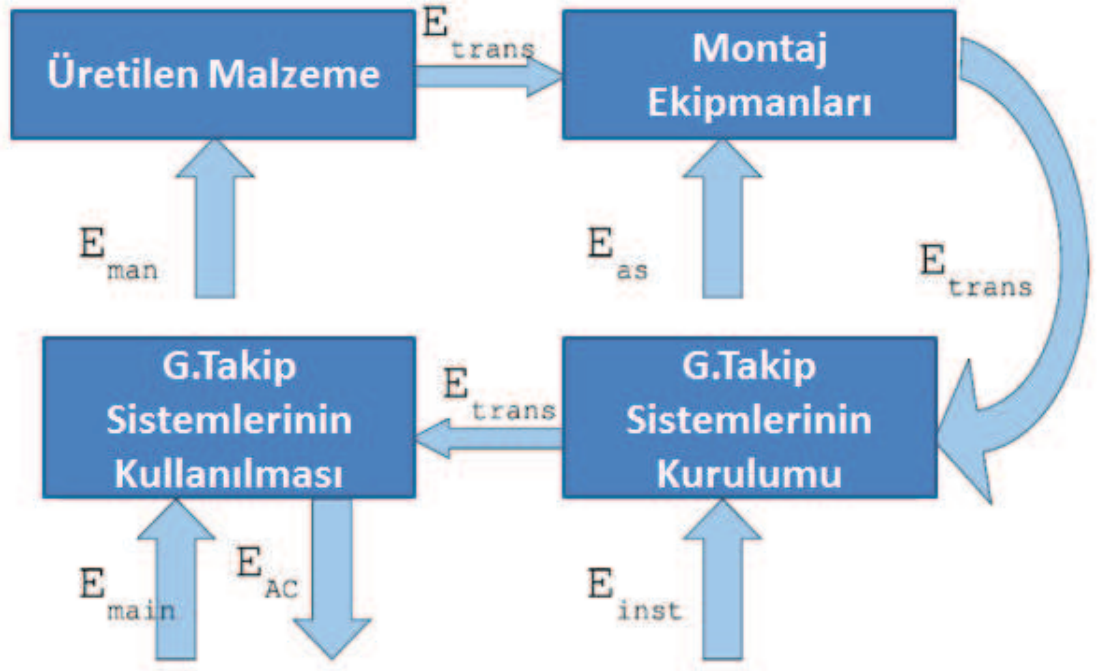
Yatırım değerlendirmesi yapıldığında :

$$Yatırım\ Geri\ Dönüş\ Süresi = \frac{Toplam\ Maliyet}{Toplam\ Kazanılan\ Para} \quad (3.2)$$

Eşitliği ile yatırdığınız paranın ne kadar sürede geri kazanacağınızı hesaplayabilirsiniz. Enerji geri dönüş süresi yeniklenebilir enerji ve fosil enerji kaynakları karşılaştırılırken kullanılır. Enerji geri dönüş süresinin hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılır. (Wild-Scholten 2009)

$$Enerji\ Geri\ Dönüş\ Süresi = \left(\frac{Harcanan\ Enerji}{Kazanılan\ Enerji} \right) / Yıl \quad (3.3)$$

Şekil 43'de güneş takip sistemlerinin ürettikleri elektrik enerjisinin; üretim, kurulum ve faydalanma, kullanma arasındaki akış şeması verilmiştir. Dağıtma, parçalama ve geri dönüşüm bu çevrimde belirtilmemiştir. EMAN enerji üretimi için gerekli malzemeyi, EAS, ana parçaların montajı için gerekli olan enerjiyi, EINST, kurulum ve başlangıç sırasındaki enerjiyi, EMAN, sistemin bakımı için gerekli olan enerjiyi, ETRANS, proje malzemelerinin ve sistem parçalarının taşınmasına harcanan enerjiyi, EAC, güneş takip sistemlerinin çalışma döngüsü sırasında ürettikleri enerji anlamına gelmektedir (Perpiñan ve ark. 2008).



Şekil 43. Güneş Takip Sistemlerinin Ürettiği enerjinin Üretim Kurulum ve Faydalanma, Kullanma Arasındaki Akış Şeması

Çizelge 5. Proje içerisinde yer alan sabit ve takip sistemleri için konstrüksiyonların teknik özellikleri

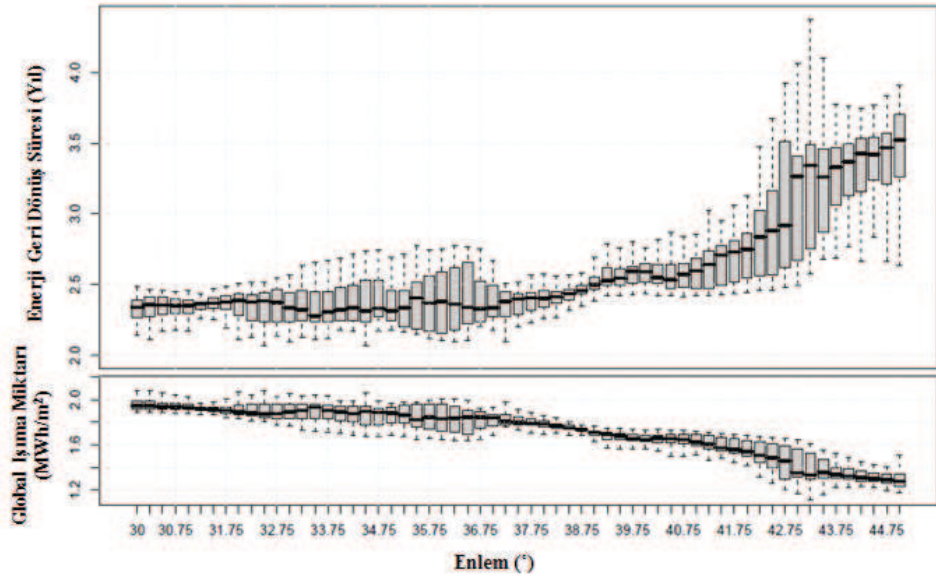
	Isotrack25	Ades6f22m	Yatay K-G	Sabit
FV Güç (kWp)	27,32	27,32	59,62	1
Konstrüksiyon Ağırlığı (kg)	7150	7500	10464	128,13
Takip Mekanizmasının Ağırlığı (kg)	210	180	100	0
Beton Temel Hacmi (m3)	38,85	18,00	32,51	1
Çelik Temel Hacmi (m3)	0,49	0,19	0,34	0
Yıllık Enerji Tüketimi (kWh/yıl)	13	7	4	0

2 farklı çift eksenli takip sistemi (Isotrack25 ve Ades6f22m) bu proje kapsamında kurulmuştur. İki takip sisteminin kurulu güçleri aynıdır fakar tükettikleri enerjiler farklıdır. Isotrack25'in PV modülleri için destek konstrüksiyonu 23,9 m. genişlik ve 9,6 m. uzunluktadır. Çelik konstrüksiyonun toplam ağırlığı (silindirik direk dahil) 7 150 kg dır. Bu konstrüksiyonun direği boru biçimindedir. (5 m. yükseklik and 1,5 m. çap). Bu kolon kare yapıdaki zemine oturur. (6 m. genişlik, 6 m. uzunluk and 0,8 m yükseklik). Mekanizmanın yıllık enerji harcaması yaklaşık 13 kWh/yıl'dır.

Ades6f22m'in PV modülleri için destek konstrüksiyonu 23 m.genişlik and 10,5 m. uzunluğundadır. Direğin içi boş çelikten boru bir konstrüksiyondur. (1,8 m. yükseklik and 1,4 m. çap). Bu boru kare yapıdaki zemine oturur. (6 m. genişlik, 6 m. yükseklik and 0,5 m yükseklik). Çelik konstrüksiyonun toplam ağırlığı (modül destek konstrüksiyonu, kollar ve kolon) 7 500 kg dır. Azimut hareket için gerekli olan tracker mekanizması kolonun üstüne entegre edilmiştir. Bu mekanizmanın yıllık enerji harcaması yaklaşık 7 kWh/yıl dır.

Yatay, Kuzey-Güney tracker sistemi için olan tasarım, güneş takip sistemi üreticisi olan İspanyol firması Jupasaya tarafından üretilmiştir. Bu takip sisteminin bir versiyonu Toledo alanında kurulmuştur. Bu takip sistemi 2,7 m yüksekliğinde ve 4,8 m genişliğinde ayrıca 12,9 metre uzunluğundadır. Metal konstrüksiyonunun toplam ağırlığı 10 465 kg dır. Bu sistem için 10 temel, 2 tanesi uc noktalarda (her biri 2,8 m³), biri merkezde (3,6 m³), ve 6 adet orta noktalarda (her biri 2,6 m³) konumlandırılmıştır. Takip sistemi mekanizması, zincir ile şebekeye bağlanmış bir elektrik motorundan tahrik alır. Mekanizmanın yıllık enerji harcaması yaklaşık 4 kWh/yıl'dır. Sabit sistemlerin ağırlığı 128,13 kg/kWp'dir. Taşıyıcı yapı çelik konstrüksiyon ve 1 m³/kWp beton temel gereklidir. (Perpiñan ve ark. 2008)

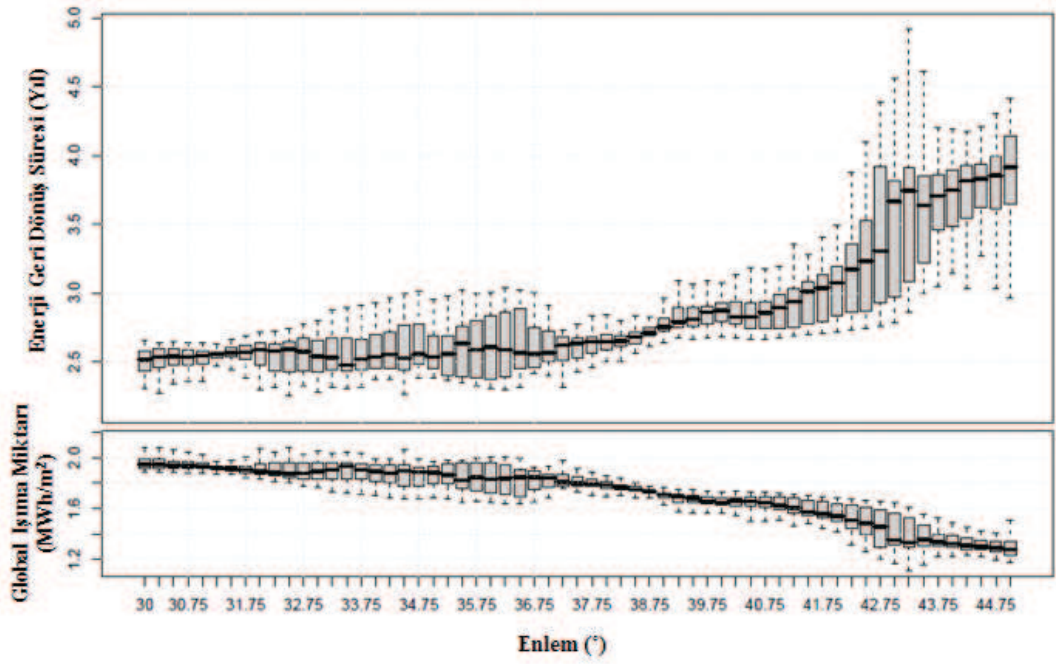
Şekil 44'de iki eksenli bir güneş takip sisteminin enerji geri dönüş süresinin enleme göre değişimini göstermektedir. Şeklin altındaki alan yatay global ışıınım miktarının yıllık değerini referans alarak göstermektedir.



Şekil 44. İki Eksenli Güneş Takip Sisteminin Enerji Geri Dönüş Süresinin Enleme Göre Değişimi (Perpiñan ve ark. 2008)

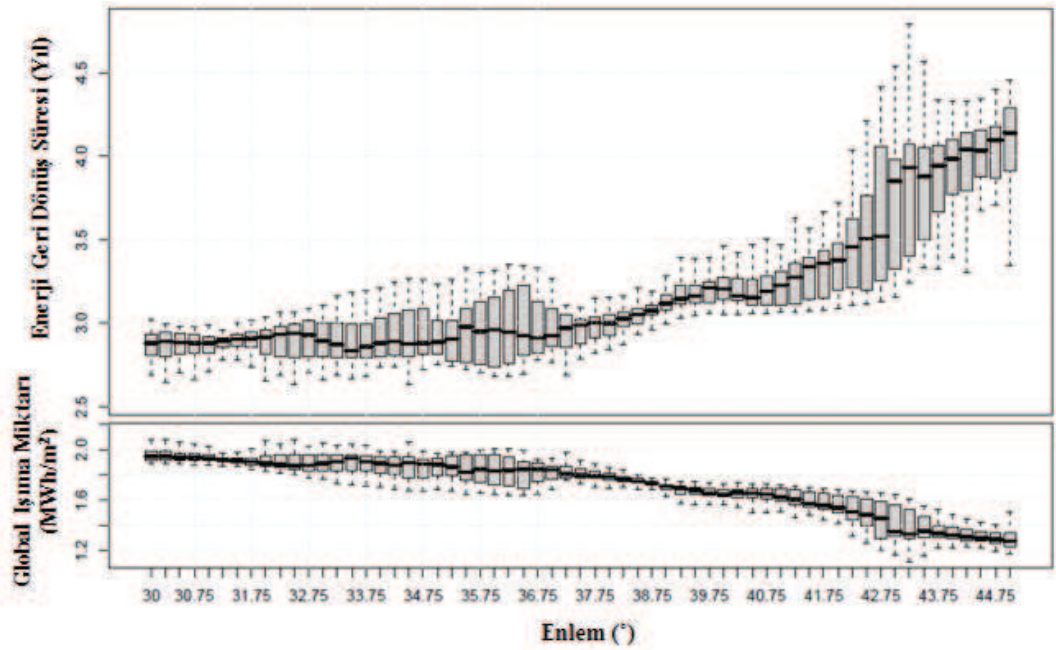
Çizelge 6. 1 kWp kurulu güçteki güneş takip sistemindeki ana bileşenler ve bu bileşenlerin için gerekli enerji miktarları. (Perpiñan ve ark. 2008)

	Çift Eksenli		Yatay K-G		Sabit	
Bileşenler	(MJ_p/kW_p)	(%)	(MJ_p/kW_p)	(%)	(MJ_p/kW_p)	(%)
Modül	41 819	69,54%	41 819	78,67%	41 819	81,99 %
Destek Konstrüksiyonu	9 329	15,51%	6 108	11,49%	4 459	8,74%
Takip Mekanizması	248	0,41%	58	0,11%	0	0%
Temel (Çelik)	3 371	5,61%	1 536	2,89%	0	0%
Temel (Beton)	2 445	4,07%	1 281	2,41%	2 352	4,61%
Taşıma	1 339	2,23%	900	1,69%	1 037	2,03%
Inverter	1 091	1,81%	1 091	2,05%	1 091	2,14%
Kablolama	497	0,83%	364	0,68%	248	0,49%
Toplam	60 140	100%	53 157	100%	51 005	100%



Şekil 45. Yatay K-G Eksenli Güneş Takip Sisteminin Enerji Geri Dönüş Süresinin Enleme Göre Değişimi (Perpiñan ve ark. 2008)

Şekil 45’de iki eksenli bir güneş takip sisteminin enerji geri dönüş süresinin enleme göre değişimini göstermektedir. Şeklin altındaki alan yatay global ışıınım miktarının yıllık değerini referans alarak göstermektedir.



Şekil 46. Sabit Sisteminin Enerji Geri Dönüş Süresinin Enleme Göre Değişimi (Perpiñan ve ark. 2008)

Şekil 46’de iki eksenli bir güneş takip sisteminin enerji geri dönüş süresinin enleme göre değişimini göstermektedir. Şeklin altındaki alan yatay global ışıyım miktarının yıllık değerini referans alarak göstermektedir.

3.1.8. Güneş takip sistemlerinin optimizasyonu

Güneş takip sistemi optimizasyonu kolay bir işlem değildir. bu işe başlandığında çok fazla sayıda dikkat edilmesi gereken husus ortaya çıkmaktadır. Görüşlerin teknolojik düzeyine odaklanan bu hususlar aşağıda listelenmiştir. Aşağıda bulunan üç alanda optimum çözümler bulunur: (Kvasznicza ve Elmer 2006)

1. Mekanik konstrüksiyon
2. Elektriksel ekipmanlar
3. Elektronik ve kontrol programı

Araştırma esnasında, aşağıda listelenmiş sorular optimizasyon esnasında göz önüne alınmalıdır.

1. Tek kolonlu ya da paralel kolonlu yapı tipi
2. Bir ya da iki hareket motoru?
3. Işık sensörü olacak mı ya da olmayacak mı?
4. Hareket eden yapıyı besleyen enerji kaynağı otonom mu olacak yoksa yardımcı bir kaynak olacak mı?
5. En parlak noktaya göre mi hareket edecek yoksa takvime göre mi?
6. Sürekli hareket mi edecek yoksa adım adım mı?
7. Tüm yıl kış da dahil çalışacak mı?

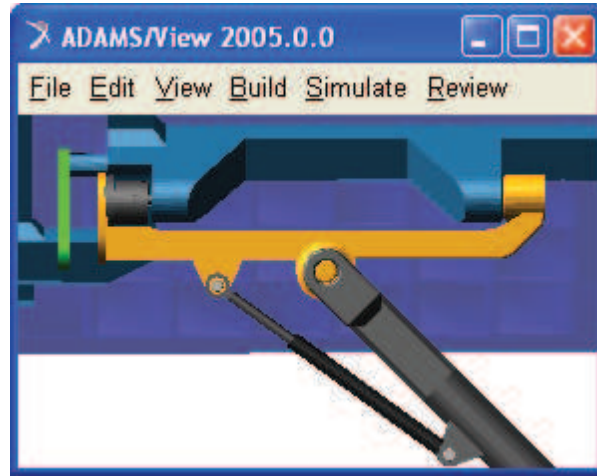
3.1.9. Güneş takip sisteminin hareketi

Güneş takip sistemleri gün içerisinde güneşi iki şekilde takip edebilir:

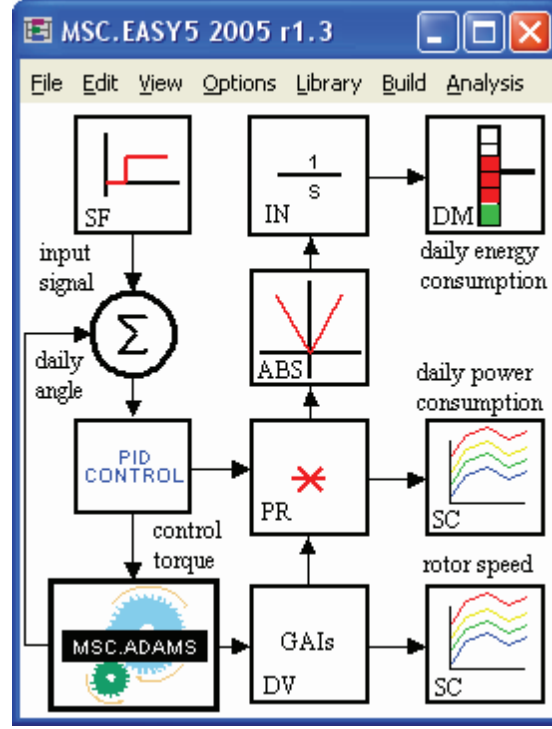
- Sürekli (Continuous)
- Adım – Adım (Step by step)

Güneşi izleyen bu mekanizmalar çalışırken ek güce ihtiyaç duyarlar ve toplam sistemin verimliliği açısından bakıldığında sürekli izleme hareketi yerine adım adım güneşin izlenmesi ile daha yüksek verimlilik elde edilecektir. Bunun yanında sürekli hareket, sistemin hareketinin çok çok yavaş olması sebebiyle çok büyük aktarma oranları gerektireceğinden mekanik zorluklarda ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda adım adım hareketin verime olan etkisi üzerine literatürdeki bazı çalışmalara çalışmamızda değinmekte yarar vardır.

C. Alexandru yapmış olduğu çalışmasında, çift eksenli bir güneş takip sistemini CATIA ile katı CAD modellemesini yapmış C&C (EASY5&ADAMS/Controls) ile de control sisteminin modellemesini yaparak MBS (ADAMS/View) ile fotovoltaiik güneş takip sisteminin optimizasyon, analiz ve simülasyonunu yapmıştır.



Şekil 47. C. Alexandru'nun Sanal Güneş Takip Sistemi Prototipi

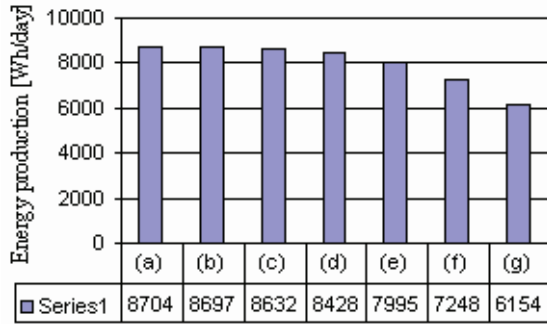


Şekil 48. Sanal Güneş Takip Sisteminin Günlük Hareket İçin Kontrol Sistemi
(Alexandru ve Pozna 2009)

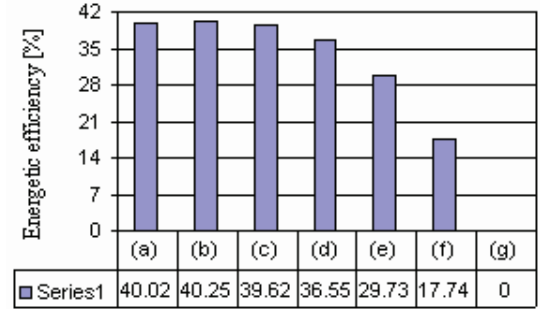
Fotovoltaik paneller hiç durmadan sabahdan akşama kadar yada adım adım hareket edebilir. Genellikle adım adım harekette adımlar birer saatte bir olur. Saat açısı gün doğduğunda -90° , gün battığında ise $+90^\circ$ olur. Maksimum solar radyasyonun elde edilmesi düşünüldüğünde bu açısal alanın takip edilmesi gerekmektedir ancak bu durumda ise motorların çalışma süresi çok uzun olacaktır (Alexandru ve Pozna 2009).

Çalışmada ilk olarak optimum açısal alanın belirlenmesi için aşağıdaki örnek açısal alanlar seçilmiş ve panellerin hareketi kesintisiz olarak simülasyon yapılmıştır:

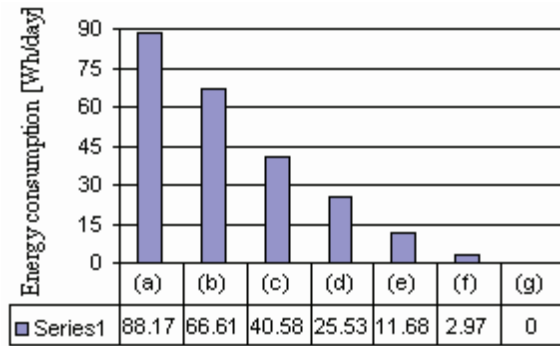
- $\beta^* \in [-90^\circ, +90^\circ]$
- $\beta^* \in [-75^\circ, +75^\circ]$
- $\beta^* \in [-60^\circ, +60^\circ]$
- $\beta^* \in [-45^\circ, +45^\circ]$
- $\beta^* \in [-30^\circ, +30^\circ]$
- $\beta^* \in [-15^\circ, +15^\circ]$
- $\beta^* = 0$ sabit panel. (β^* panelin saat açısı)



Şekil 49. FV Sistemin Enerji Üretimi



Şekil 51. FV Sistemin Verimi



Şekil 50. FV Sistemin Enerji Tüketimi

(Alexandru ve Pozna 2009)

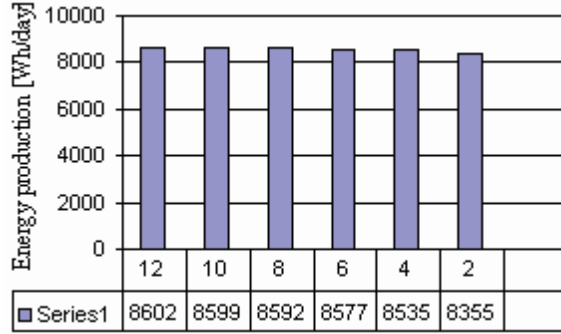
İlk yapılan simülasyon sonuçlarına göre Şekil 49’de örnek açısız alanlara göre FV sistemin enerji üretim grafiği, Şekil 50’de ise FV sistemin enerji tüketimi ve Şekil 51’de ise üretim ve tüketim değerlerine göre sistemin verim grafiği verilmiştir. Bu grafiklere göre en iyi enerji üretimi ve minimum motor hareket zamanına göre $\beta^* \in [-60^\circ, +60^\circ]$ açısız alanı, optimum açısız alan olarak görülmüştür.

Ardından, optimum açısız alanın içerisinde minimum motor hareket süresini yakalamak adım adım (step by step) hareket edilmelidir. En uygun adım adım hareketin simülasyonunu yapabilmek için optimum açısız alana göre örnek adım sayıları türetilmiştir. Bunlar:

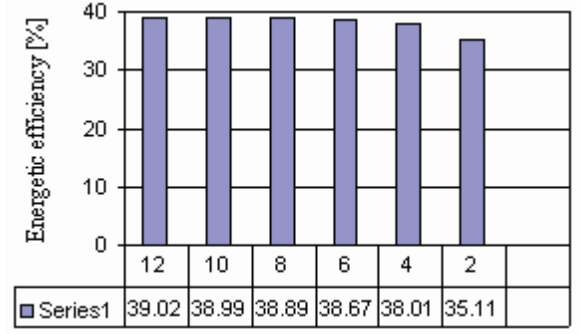
- 12 steps ($\Delta\beta^*=10^\circ$)
- 10 steps ($\Delta\beta^*=12^\circ$)
- 8 steps ($\Delta\beta^*=15^\circ$)

- 6 steps ($\Delta\beta^*=20^\circ$)
- 4 steps ($\Delta\beta^*=30^\circ$)
- 2 steps ($\Delta\beta^*=60^\circ$)

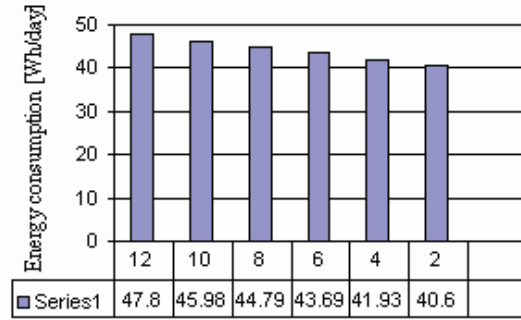
Simülasyon yapılırken her örnekte, her adımdaki açısal hız $10^\circ/\text{dak}$ olarak alınmıştır.



Şekil 52. FV Sistem Enerji Üretimi



Şekil 54. FV Sistem (Alexandru ve Pozna 2009)



Şekil 53. FV Sistem Enerji Tüketimi

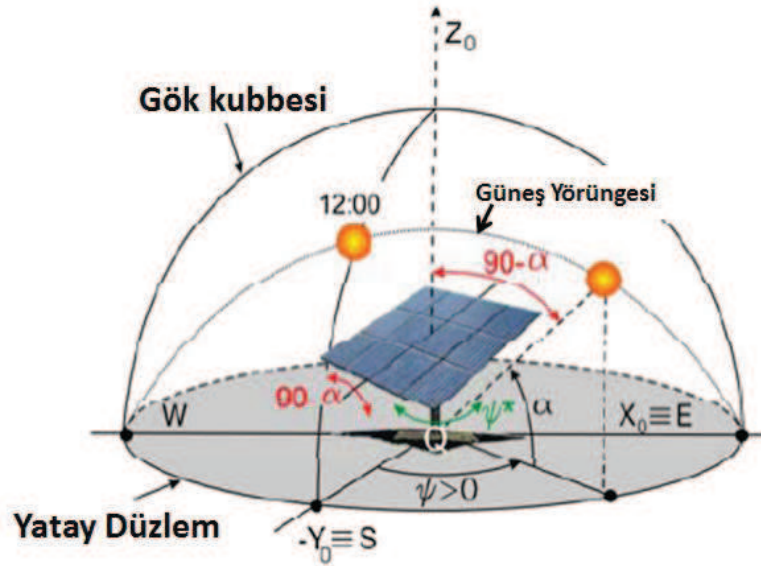
Adım adım hareketin sürekli hareketten daha az enerji tüketceği düşünülürken grafiklerdeki sonuçlar bizi yanıltıyor. Şekil 53'deki adım adım hareket halindeki enerji tüketim değerleri, Şekil 50'de c şikkındaki optimum açısal alandaki sürekli hareket halindeki enerji tüketim değerinden yüksek çıkmıştır. Bu durumu C. Alexandru, motorların kalkış ve duruş anlarındaki yüksek enerji gereksinimlerine bağlamaktadır.

Sonuç olarak Şekil 54'da, 10 adımın en uygun adım sayısı olduğu da görülmektedir. (Alexandru ve Pozna 2009)

I.Visa'nın çalışması da ekvatorial bölgede çalışan bir tek eksenli azimut güneş takip sisteminin farklı adım açıları ile hareket ettirilmesinin enerji üretimi üzerindeki etkisi

üzerinedir. Çalışmanın ekvatorial bölgede yapılmasının amacı mevsimsel güneş yükseklik açısı değişiminin minimize edilerek güneşin gün içerisindeki açısal değişim (ω) üzerine odaklanmak istenmesidir.

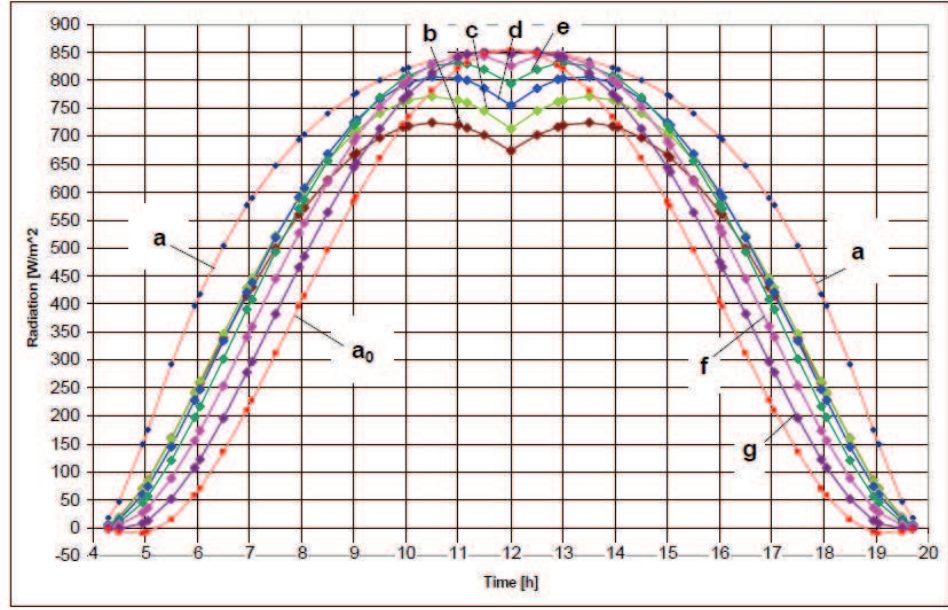
Güneş açısı değişkenlerinden (sürekli değişkenler: ω , δ ; and γ , β) takip sistemi açıları değişkenlerinin birbirinden ayırt edilebilmesi için güneş takip sistemi açılarının bağıntılarındaki değişkenler yıldız ile işaretlenmiştir (ω^* , δ^* and γ^* , β^*). Böylece γ ve β büyüklüklerinin yaklaşık değerleri γ^* ve β^* olarak betimlenmiştir. Güneş takip sisteminin açısal yardeğişimi sürekli olduğu zaman $\gamma^* = \gamma$ ve $\beta^* = \beta$ olacağı da açıkça görülmektedir.



Şekil 55. Tek Eksenli Azimut Takip Sistemindeki Güneş Işını Açıları

Ψ azimut açısı olarak tarif edilmiştir. ψ^* ise takip sisteminin yapacağı açısal hareketi temsil eder.

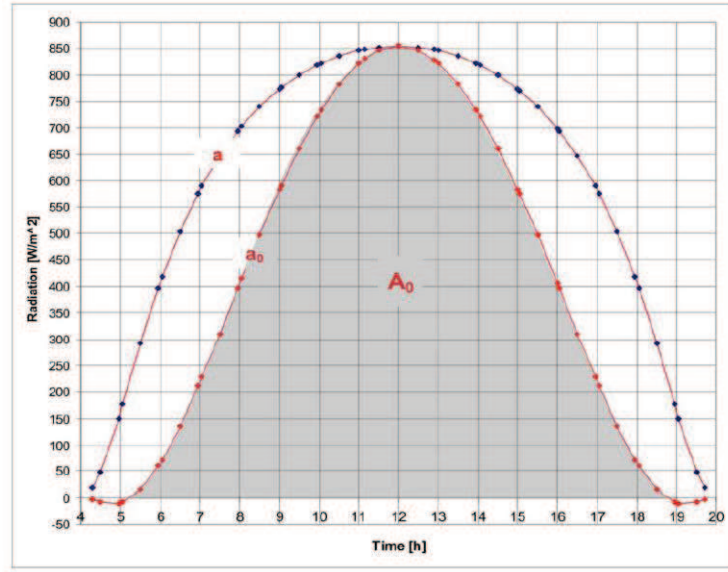
Hesaplamalar gün dönümü tarihine (N=172, 21 Haziran), $\phi = 45^\circ$ Kuzey enleminde bulunan bir bölgeye ve $\alpha^* = 68^\circ$ panel yükseklik açısına göre yapılmıştır.



Şekil 56. Yaz Gün Dönümünde Direkt Güneş Işınımının Değişimi

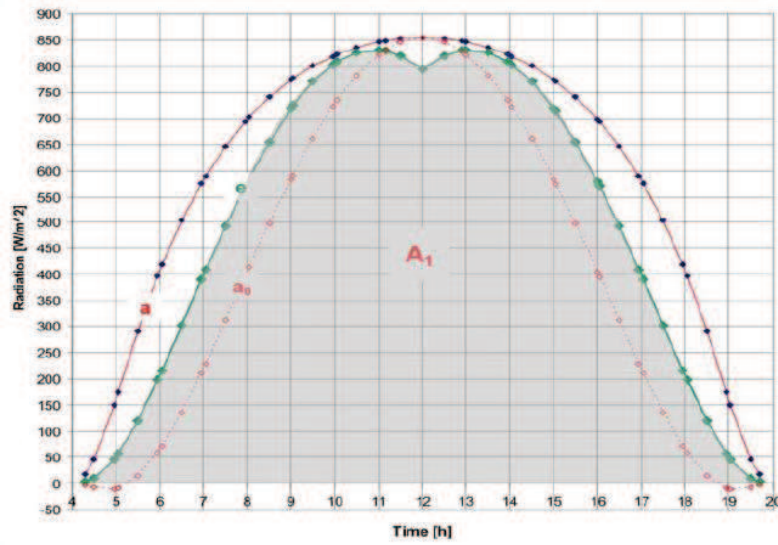
Şekil 56'da mevcut güneş radyasyonu a_0 çizgisi $\psi^* = 0^\circ$ yani sabit fotovolatik panel, b çizgisi $\psi^* = \pm 120^\circ$, c çizgisi $\psi^* = \pm 100^\circ$, d çizgisi $\psi^* = \pm 80^\circ$, e çizgisi $\psi^* = \pm 60^\circ$, f çizgisi $\psi^* = \pm 40^\circ$, g çizgisi $\psi^* = \pm 20^\circ$ durumlarını temsil etmektedir.

Takip sistemi sadece öğle vaktinde tek adımlı hareket yaptığında e çizgisi yani $\psi^* = \pm 60^\circ$ durumu maksimum enerji diğer durumlara göre daha fazla enerji ürettiği görülmüştür.



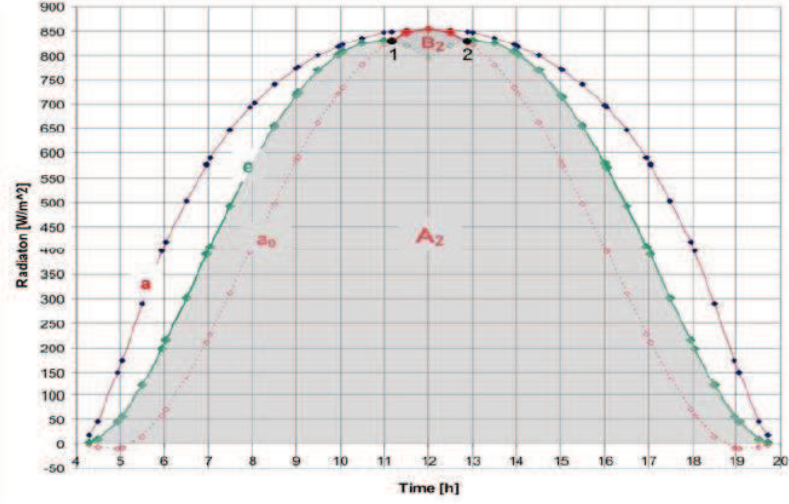
Şekil 57. Yaz Gün Dönümünde Sabit Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi

Yine aynı şekilde Şekil 56'daki gibi a çizgisi mevcut güneş radyasyonunu, a_0 çizgisi $\psi^* = 0^\circ$ yani sabit fotovoltaik paneli temsil ediyor. a_0 çizgisinin altında kalan A_0 alanı ise sabit açılı panel ile gün içerisinde üretilebilen toplam enerjiyi temsil ediyor.



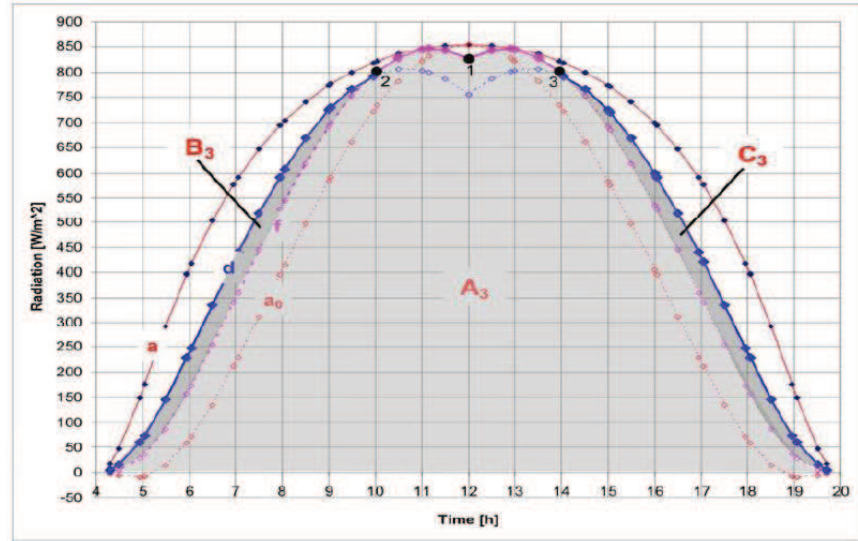
Şekil 58. Yaz Gün Dönümünde Tek Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.

Şekil 58’de sistem tek adımlı hareket yapmıştır. A1 alanı, e çizgisi ($\psi^* = \pm 60^\circ$) altında kalan alanı temsil ediyor. Güneş panelinin tek adımla hareket etmesiyle sabit güneş paneline göre enerji kazancı, A1-A0 alanına tekabül eden enerji olarak hesaplanabilir.



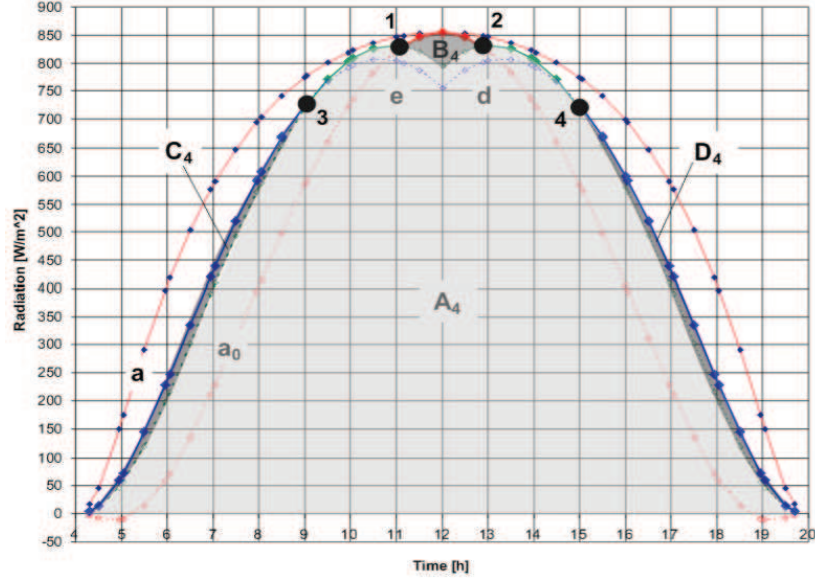
Şekil 59. Yaz Gün Dönümünde iki Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.

Şekil 59’de takip sistemi iki adımlı hareket yapmıştır ve gün sonunda elde ettiği toplam enerji (B_2+A_2) olmuştur.



Şekil 60. Yaz Gün Dönümünde Üç Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.

Şekil 60’de sistem 3 adımlı hareket yapmıştır. Gün sonunda elde edilen toplam enerji d ve f çizgilerinin altında kalan alan ($A_3+B_3+C_3$)’e eşittir. B_3 ve C_3 alanları d ve f çizgilerinin arasında kalan alanlardır ve eşittirler.

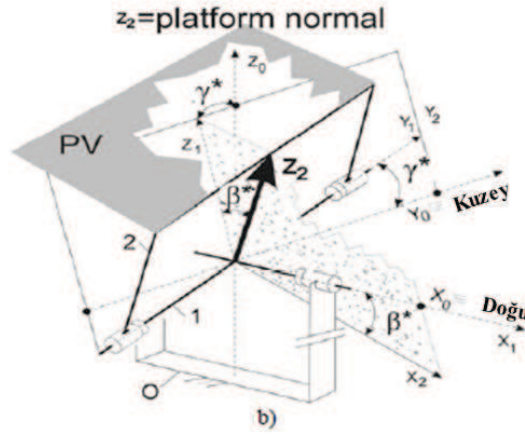


Şekil 61. Yaz Gün Dönümünde Dört Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.

Şekil 61’de Tek eksenli azimut güneş takip sistemi gün içerisindeki hareketini 4 adımla tamamlamıştır. Gün sonunda elde ettiği toplam enerji ($A_4+B_4+C_4+D_4$)’dür.

Sonuç olarak çalışmadan görülmektedir ki adım sayısı sıfırdan yani hareketsiz panel durumundan 1 adıma çıktığında kazandırdığı enerji her zaman 1 adımın üstündeki adım sayılarının kazandırdığı enerji miktarından fazla olacaktır. Bu durumda önemli olan adım sayısını bir attırdığınızda arttırdığınız bu son adımın kazandırdığı enerjinin aktuatörlerin tükettiği enerji miktarından fazla olmasıdır. Optimum adım sayısı son adım sayısının kazancının tüketimden fazla olduğu noktadır. (Visa ve ark. 2008)

D. Diaconescu’nun çalışması ise **I.Visa**’nın çalışmasının devamı niteliğindedir. D. Diaconescu, sanki ekvatorial bir tek eksenli güneş takip sistemini saat açısına göre adımlandırma yaparak sistemin adım sayısının artışına verdiği cevabı incelemiştir.



Şekil 62. Sanki Ekvatorial Güneş Takip Sisemi Üzerine Gelen Güneş Işınlının Şematik Gösterimi (Diaconescu ve ark. 2008).

Güneş açısı değişkenlerinden (sürekli değişkenler: ω , δ ; and γ , β) takip sistemi açıları değişkenlerinin birbirinden ayırt edilebilmesi için güneş takip sistemi açılarının bağıntılarındaki değişkenler yıldız ile işaretlenmiştir (ω^* , δ^* and γ^* , β^*). Böylece γ ve β büyüklüklerinin yaklaşık değerleri γ^* ve β^* olarak betimlenmiştir. Güneş takip sisteminin açısal yardeğişimi sürekli olduğu zaman $\gamma^* = \gamma$ ve $\beta^* = \beta$ olacağı da açıkça görülmektedir (Diaconescu ve ark. 2008).

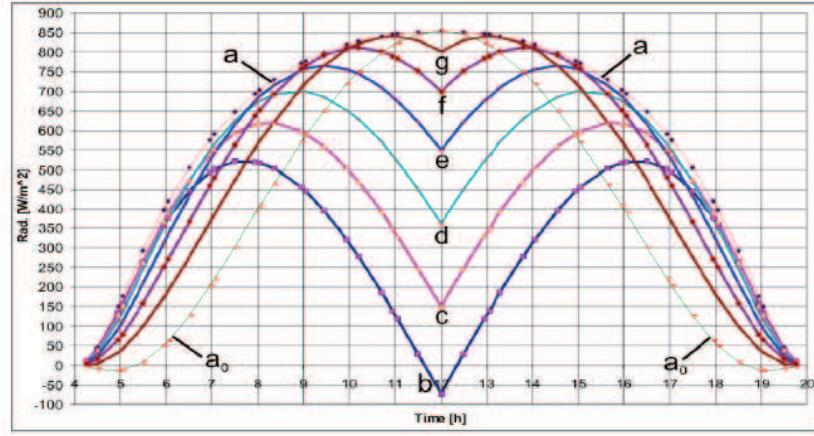
Panel üzerine gelen ışınların panel normali ile yaptığı açıya etki açısı denilmektedir. Etki açısının sürekli değişkenler ve güneş takip sisteminin değişkenleri ile tarif edilmiş denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\cos u = \sin \beta \cos \beta^* \cos(\gamma - \gamma^*) + \sin \beta \sin \beta^* \quad (3.4)$$

Panelin üstüne düşen toplam direkt radyasyona R_d dersek, panelin alabildiği direkt radyasyon miktarını (R_{dr}) aşağıdaki eşitlik ile göstere biliriz:

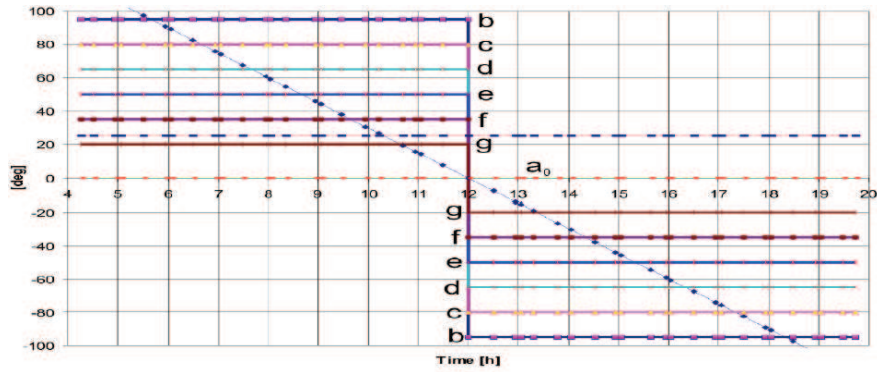
$$R_{dr} = R_d \cdot \cos u \quad (3.5)$$

Hesaplamalar gün dönümü tarihine (N=172, 21 Haziran), $\phi = 45^\circ$ Kuzey enleminde bulunan bir bölgeye ve $\alpha^* = 68^\circ$ panel yükseklik açısına göre yapılmıştır.

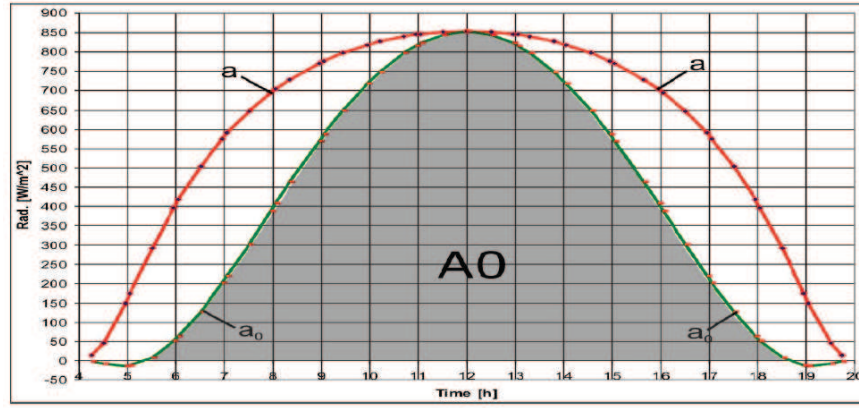


Şekil 63. Yaz Gün Dönümünde Direkt Güneş Işınımının Değişimi

Şekil 63' da a çizgisi, mevcut güneş radyasyonunu; a_0 çizgisi, sabit paneli ($\omega^* = 0^\circ$); b çizgisi, $\omega^* = \pm 95^\circ$; c çizgisi, $\omega^* = \pm 80^\circ$; d çizgisi, $\omega^* = \pm 65^\circ$; e çizgisi, $\omega^* = \pm 50^\circ$; f çizgisi, $\omega^* = \pm 35^\circ$; g çizgisi $\omega^* = \pm 20^\circ$ durumlarını temsil etmektedir. Örneğin b çizgisi, $\omega^* = \pm 95^\circ$ durumunda çalışan bir sistemi ele alalım. Sistem sadece öğle vaktinde hareket etmekte ve öğleden önce $\omega^* = 95^\circ$ ve öğleden sonra $\omega^* = -95^\circ$ konumunda bulunmaktadır. Şekil 64'de a 'dan g'ye kadar tüm varyasyonların saat açısı değişimleri görülmektedir.

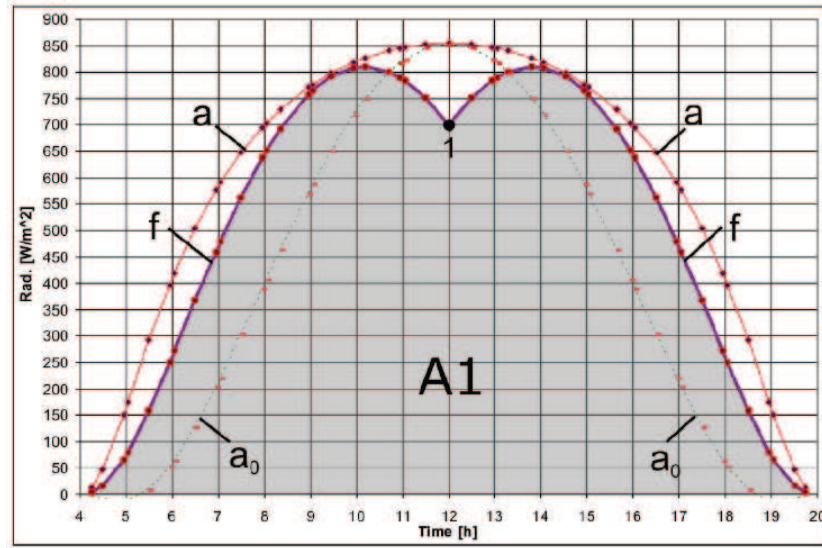


Şekil 64. Yaz Gün Dönümünde Saat Açısının Değişimi



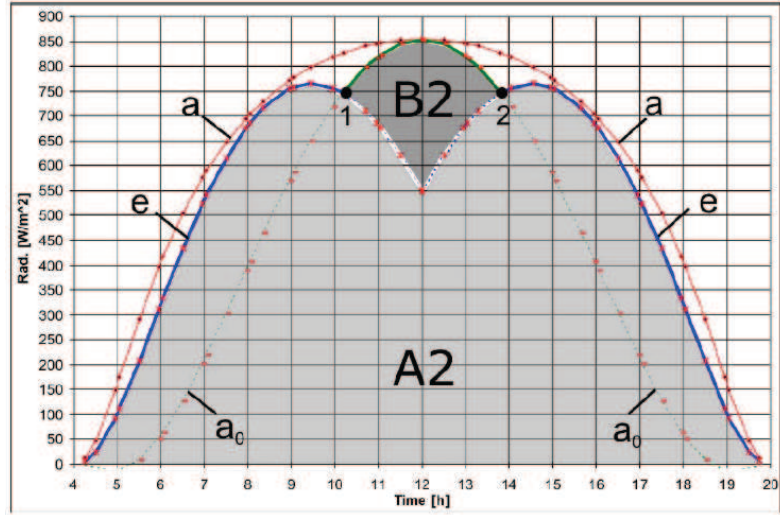
Şekil 65. Yaz Gün Dönümünde Sabit Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi

Şekil 65’de sabit açılı sistem için gün içinde toplam ürettiği enerji miktarı gösterilmektedir. Sabit açılı sistem A_0 alanı kadar gün içerisinde enerji üretmektedir.



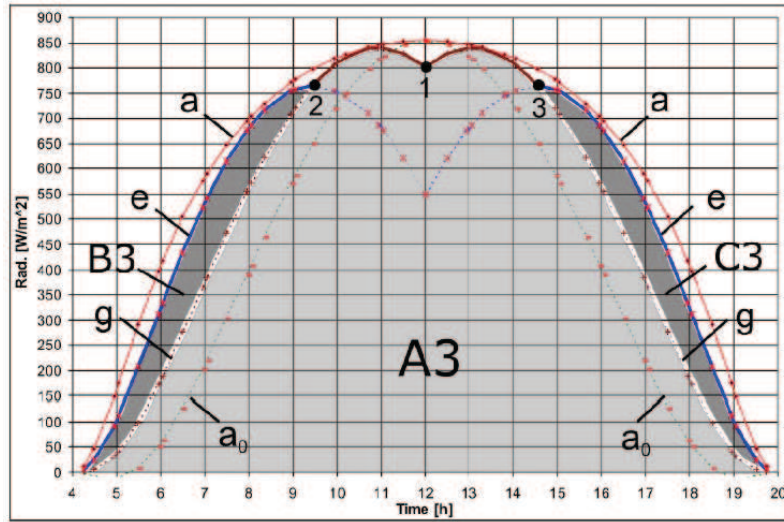
Şekil 66. Yaz Gün Dönümünde Tek Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.

Şekil 66’da tek adımlı hareket eden bir sanki ekvatorial takip sisteminin gün içerisindeki toplam enerji üretimi gösterilmiştir. tek adımlı hareket ile yani sadece öğle vaktinde pozisyon değiştirerek f çizgisinin altındaki toplam alan A_0 kadar enerji üretmiştir.



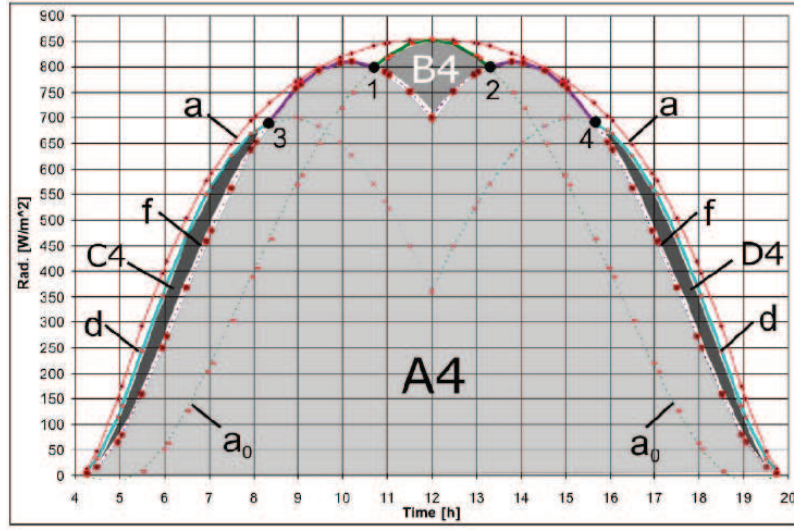
Şekil 67. Yaz Gün Dönümünde İki Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.

Şekil 67’de sistem iki adımlı hareket etmiştir. Sistemin gün içerisinde ürettiği toplam enerji e ve a_0 çizgilerinin altında kalan alanların toplamına yani (A_2+B_2) ’ye eşittir. İki adımlı hareket tek adımlı harekete göre yaklaşık olarak B_2 kadar kazanç getirmiştir.



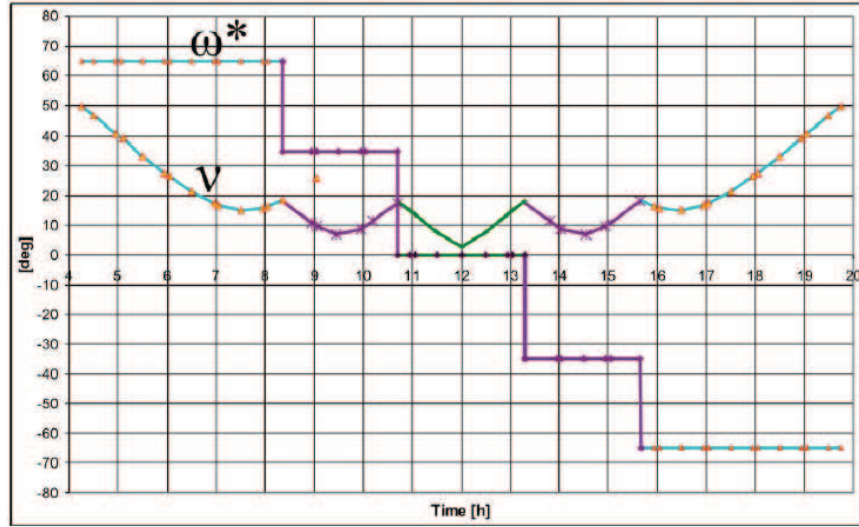
Şekil 68. Yaz Gün Dönümünde Üç Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.

Şekil 68’de 3 adımlı hareket sonucu takip sistemi e ve g çizgilerinin altında kalan alan $(A_3+B_3+C_3)$ kadar gün içerisinde enerji üretmiştir.



Şekil 69. Yaz Gün Dönümünde Dört Adımlı Hareket Yapan Güneş Paneline Gelen Direkt Güneş Işınımının Değişimi.

Şekil 69’de son olarak sistem 4 adımlı hareket ettirilmiştir ve güneş takip sistemi toplamda gün içerisinde (A4+B4+C4+D4) kadar enerji üretmiştir.



Şekil 70. Yaz Gün Dönümünde Fotovoltaik Panelin Saat Açısının Ve Etki Açısının Değişimi.

Şekil 70’de 4 adımlı hareket yapan bir takip sisteminin saat açısı ve etki açısı değişiminin grafiği verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi ilk ve son adım arasındaki alanda etki açısında ciddi bir düzelme söz konusudur.

Sonuç olarak tek sayılı adımlı hareketlerde öğle vaktinde kazanç düşerken çift sayılı adımlı hareketlerde ise öğle vaktinde kazanç artmaktadır.

I.Visa'nın çalışmasında olduğu gibi bu çalışmada da adım sayısı sıfırdan yani hareketsiz panel durumundan 1 adıma çıktığında kazandırdığı enerji her zaman 1 adımın üstündeki adım sayılarının kazandırdığı enerji miktarından fazla olmaktadır. Böylece optimum adım sayısı, tüketim eşiğini aşmayan son adım sayısıdır.

3.1.10. Mekanik yapı türleri

Güneş takip sistemlerinin mevcutta üç farklı konstrüksiyon tipi bulunmaktadır, bunlar aşağıda listelenmiştir. Her bir yapı tipinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

- Tek kolonlu yapı
- V kolonlu yapı
- Paralel Yapı

A. Tek Kolonlu Yapı



Şekil 71. Tek Kolonlu Yapı

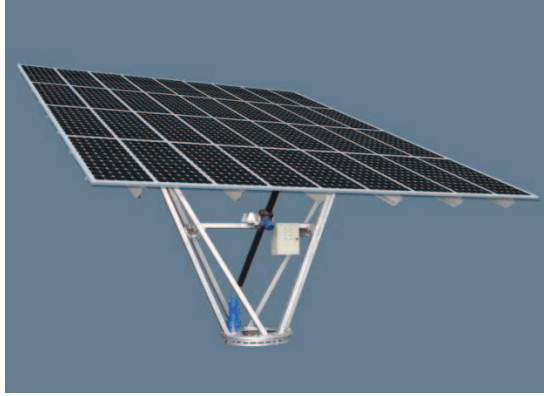
Mevcutta piyasadaki birçok güneş takip sistemi bu şekildedir.

Bu yöntemin avantajları,

- Basit bir mekanik yapısı vardır.
- Sadece paneller hareket ettirilir. Bu nedenle enerji tüketimi düşüktür.
- Paneller birbirini gölgelemez.

Bu yöntemin dezavantajları,

- Yüksek rüzgar yüklerinden etkilenir.
- Yüksek konstrüksiyona sahiptir. Bu nedenle yıldırım koruma için ekstra bedel ödemeniz gerekiyor.

B. V kolonlu Yapı

Şekil 72. V kolonlu Güneş Takip Sistemi

Bu yöntemin avantajları,

- Rijit ve sağlam yapıdır.
- Rüzgar yüküne karşı hassasiyeti yoktur.
- Büyük panel alanları hareket ettirilebilir.

Bu yöntemin dezavantajları,

- Tüm yapı berberce hareket ettirildiği için enerji tüketimi fazladır.

C. Paralel Yapı



Şekil 73. Paralel Konstrüksiyonlu Yapı

Bu yöntemin avantajları,

- Basit mekanik konstrüksiyonu vardır.
- Rüzgar yüküne karşı hassasiyeti yoktur.
- Yapı çok yüksek değildir bu nedenle yıldırım korumasına ihtiyaç duymaz.

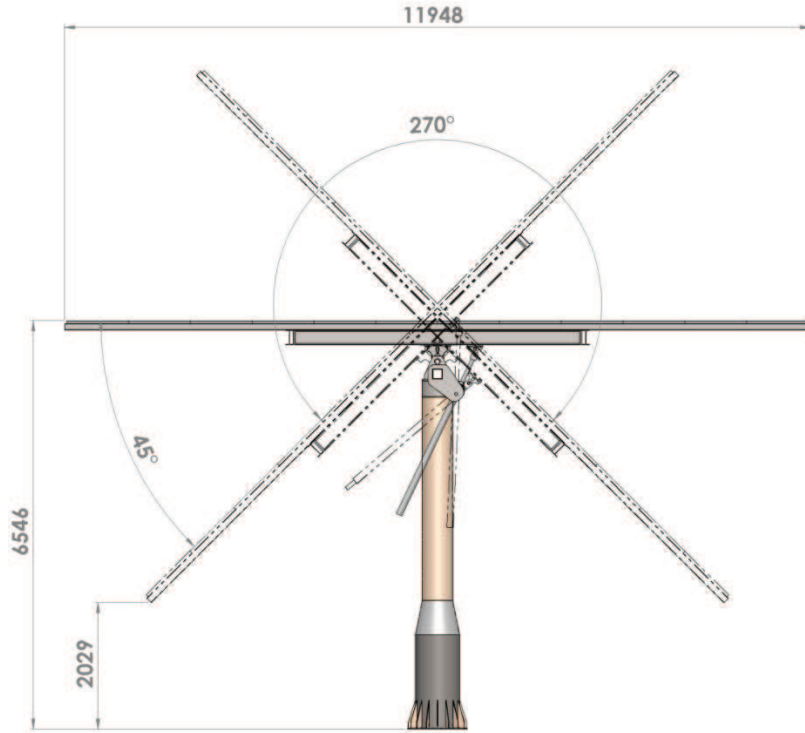
Bu yöntemin dezavantajları,

- Dönüş hareketini sağlayan yapı çok komplekstir.
- Bir çok panel sabahları ve akşamları birbirini gölgeler.

3.1.11. Güneş takip sistemi tasarımı

Güneş takip sistemi tasarımında yapacağımız konstrüksiyona karar verirken ilk olarak düşünülecek konu yüzey alanı olacaktır. Yüzey alanı seçimi yaparken aslında takip sisteminin kullanılacağı yeri yani açık sahada mı yoksa bina üstü entegre uygulaması mı olacağına karar veririz. Bina üstü entegre uygulamalarda büyük panel alanları istisnai durumlar dışında uygulanabilir değildir. Sistemin tek ve çift eksenli olması konusuna gelindiğinde belki de daha işin başında sistemin çift eksenli olması gerektiğini biliyor olacaksınız. Örneğin konsatre fotovoltaiik veya stirling motoru uygulaması için takip sistemi yapacaksanız kesinlikle sisteminiz çift eksenli olmak durumundadır. Fotovoltaiik teknoloji için tek eksenli, çift eksenli veya sabit kurulu sistem düşünülebilir. Fotovoltaiik

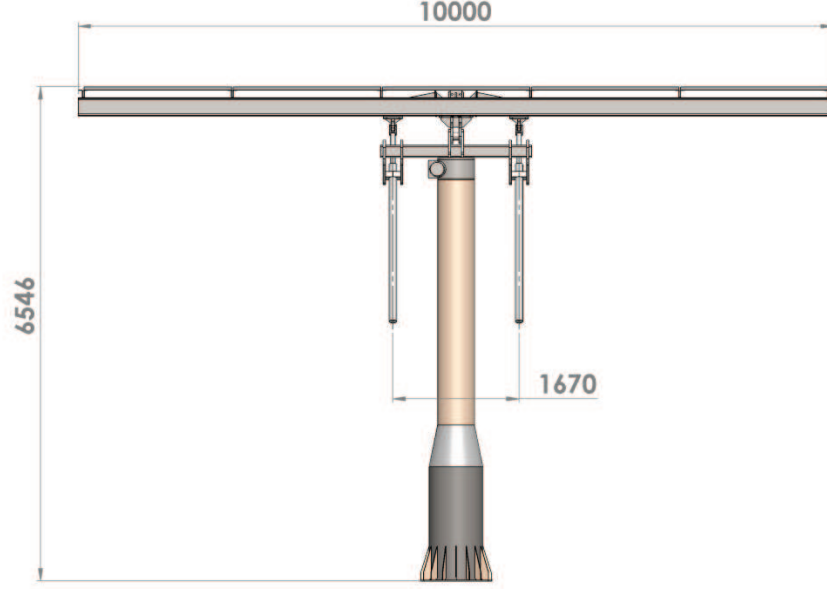
teknolojide takip sistemini tercih sebebi kılan konulara bundan daha önceki bölümlerde değinilmiştir. Tek veya çift eksen kararı alındıktan sonra sistemin tek veya çift olmasına göre uygulanabilecek konstruksiyon örnekleri arasında avantaj ve dezavantaj durumuna göre seçim yapılır. Konstrüksiyon seçiminde en belirleyici konulardan birisi aktüatörlerin seçimi olacaktır. Lineer aktüatörler ve sonsuz vidalı redüktörlü motorlar en çok kullanılan tiplerdir. Aktüatör çiftlerinin belirlenmesinden sonra üst taşıyıcı karkas tasarımı yapılmalıdır. Üst taşıyıcı karkas tasarımı aktüatör gücünü en çok etkileyen parametrelerdendir. Üst taşıyıcı karkası olabildiğince hafif ve bir o kadar da rijit yapılmalıdır. Üst taşıyıcı karkasın üstündeki esnemeler takip sisteminin verimini olumsuz yönde etkileyecektir. Güneş takip sistemi üzerinde tek MPPT kartı kullanılacağı için sistem üzerindeki en verimsiz panel hangisi ise tüm sistemin verimi o kadar olacaktır.



Şekil 74. Güneş Takip Sisteminin Yandan Görünüşü

Güneş takip sistemlerinin kurulduğu bölgelerde tarım ve hayvancılık uygulamaları sistemler kurulduktan sonrada yapılabilmektedir. Bu nedenle bir güneş takip sistemi tasarlarlarken sistemin yaptığı maksimum açıda yerden yüksekliğinin çok önemi vardır.

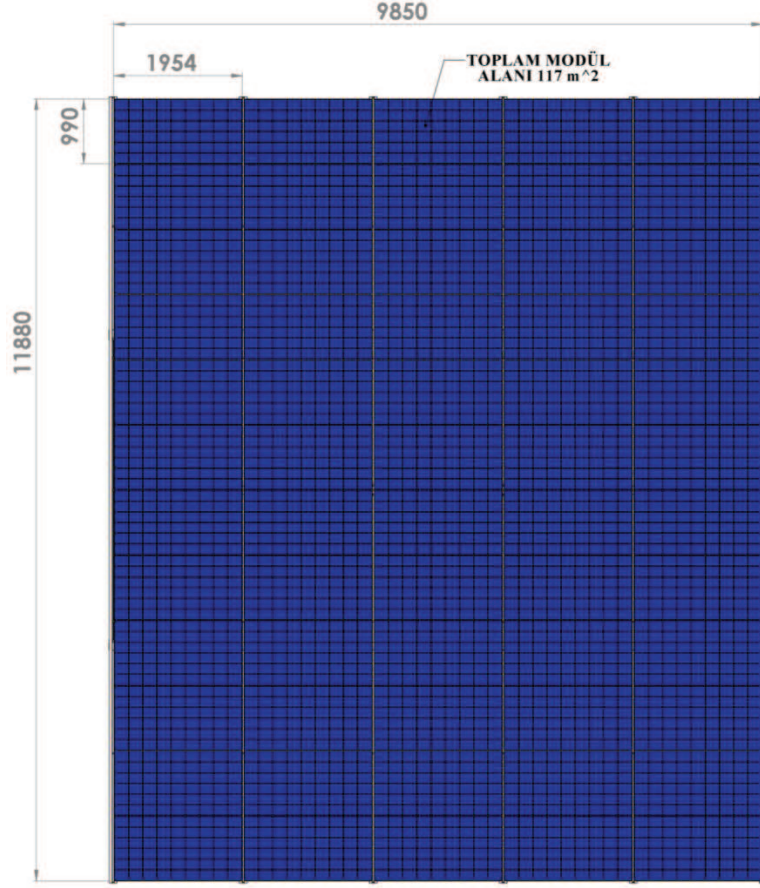
Tasarlanan sistemde 45° açı yaptığında yerden yüksekliği ~2m olmaktadır. Bu yükseklik bir insanın altından eğilmeden rahatlıkla geçebileceği ve hayvanların da panellere zarar veemeyeceği bir yüksekliktir.



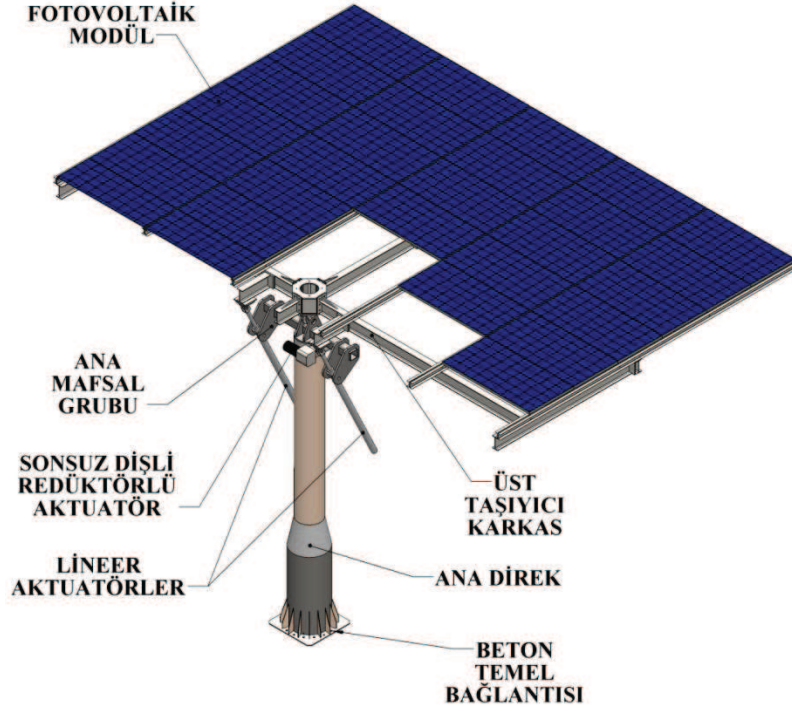
Şekil 75. Güneş Takip Sisteminin Önden Görünüşü

Şekil 75’de güneş takip sisteminin önden görünüşü üzerinde lineer aktuatörlerin yerleşim ölçüsü ve toplam panel alanının genişliği gösterilmiştir. iki lineer aktuatör ile daha rijit bir yapı sağlanmıştır.

İki eksenli güneş takip sisteminin toplam modül alanı 117m²’dir. Toplam kurulu güç modülün verimliliğine göre değişiklik gösterebilir. Bazı bölgelerde rüzgar direncinin risk oluştuğu durumlarda panel alanından 2 yada 3 modül çıkartılarak rüzgar direncinin düşürülmesi sağlanmaktadır. Bazı güneş takip sistemlerinde ise panel alanının şeklini panel dizilimleri ile oynayarak dikdörtgenden daha oval bir şekle benzeterek yine rüzgar etkisinin azaltılması sağlanmıştır.

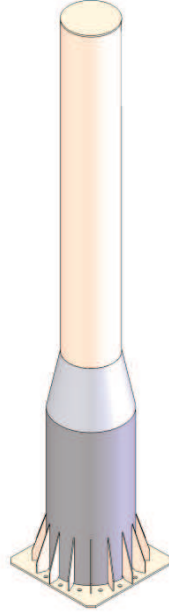


Şekil 76. Güneş Takip Sisteminin Üstten Görünüşü



Şekil 77. Güneş Takip Sistemi Bileşenleri

Şekil 77’da sistemin ana bileşenleri gösterilmiştir. Güneş takip sistemi kurulacağı sahada öncelikle beton bir temel üzerine oturtulmalıdır. Beton temelin içerisine ana direk parçasının bağlanacağı saplamalar önceden gömülmüş olmak durumundadır. Daha sonrasında ana direk parçası bu saplamalar vasıtası ile beton temele bağlanabilir. Bazı durumlarda özellikle çok rüzgarlı bölgelerde beton temel ile ana direk arasına titreşim sönümleyici takozlarda konulmaktadır. Ana direk grubunun üzerine aksiyal rulmanlı sonsuz dişli redüktörlü bir aktuatör yerleştirilir. Aktuatörün olabildiğince yukarıda yani ağırlık merkezine yakın yasalarlanması önemlidir, aksi taktirde eğilme momentini yüksek mertebelerde mağruz kalacaktır. Sonsuz işli redüktörün üzerine ana mafsal parçası yerleştirilir. Bu parça lineer aktuatörleri ve üst taşıyıcı karkası üzerinde taşımaktadır. Bu nedenle yüksek önem arz etmektedir. Üst taşıyıcı karkasın hareketini iki lineer aktuatör sağlamaktadır. Bu lineer aktuatörlerin çalışma esnasında senkronizasyonu çok önemlidir. Senkronizasyon ve mafsal merkezleri arasındaki delik hassasiyetleri yeterli derecede olmas ise konstrüksiyon üzerinede gereksiz gerilimlere sebebiye verebilir.



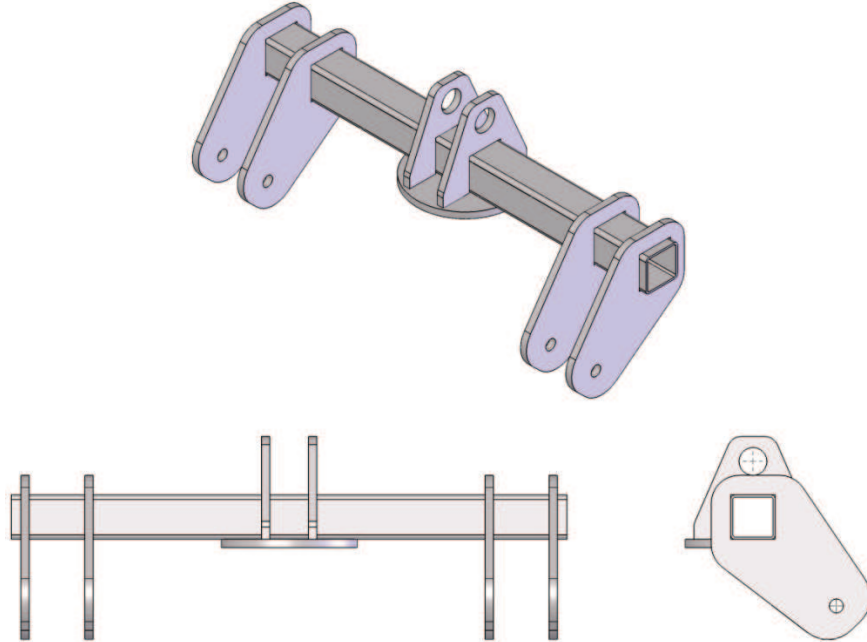
Şekil 78. Ana Direk

Ana direk gurubunun toplam ağırlığı 687 kg’dır ve tamamı St37 malzeme çelikten kaynaklı konstrüksiyon ile imal edilmesi düşünülmüştür. Kaynak işleminden sonra galvaniz kaplanması ön görülmüştür.



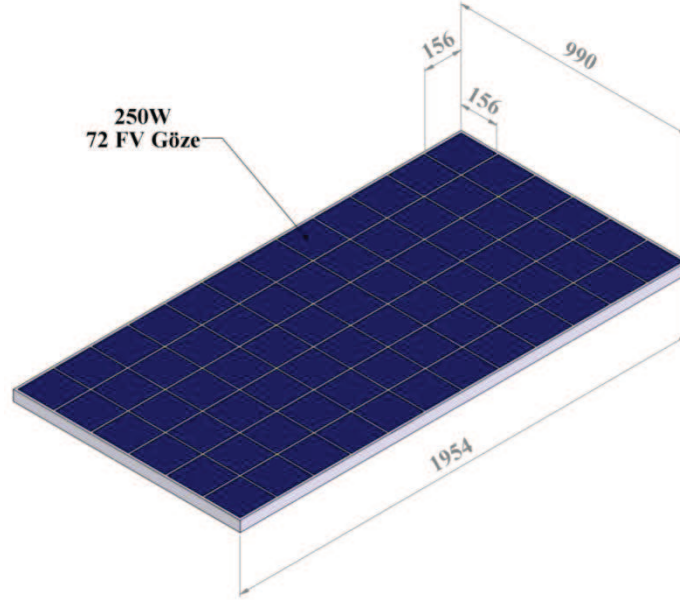
Şekil 79. Üst Taşıyıcı Karkas

Üst taşıyıcı karkas grubu 2 467 kg St37 çelik malzemeden üretilmiştir. Gruptaki malzemeler I profil, C profil ve muhtelif boylardaki plakalardan oluşmaktadır. Grup içerisinde bir çok alt grup bulunmaktadır. Alt gruplar birbirine cıvatalı bağlantı ile bağlanmaktadır. Alt grupların hepsi kaynaklı konstrüksyon ile birleştirildikten dış ortamın korozif etkisine karşı sonra galvaniz ile kaplanmaktadır.



Şekil 80. Ana Mafsal Grubu

Ana mafsall grubunun tamamı kaynaklı konstrüksyondur, cıvatalı bağlantı bulunmamaktadır. Lineer aktuatörlerin bağlandığı kulakların kutu profile bağlantısında kuvveti hem şekil bağı ile hemde kaynak ile taşıtmak istenmiştir. Ana mafsall grubu 334 kg St 37 malzemedan oluşmaktadır.



Şekil 81. Fotovoltaik Modül

Tasarımda kullanılan fotovoltaik modülün dış çerçeve boyutları 990 x 1954 ve bir modülün ağırlığı 28kg'dır. Modül gücü 250Wpeak'dir. Güneş takip sisteminin üstünde toplam 60 adet fotovoltaik modül bulunmaktadır. Toplam güç 15kWp'dir. Toplam panel ağırlığı ise 1 680kg'dır.

3.2. Yöntem

Güneş Açıları

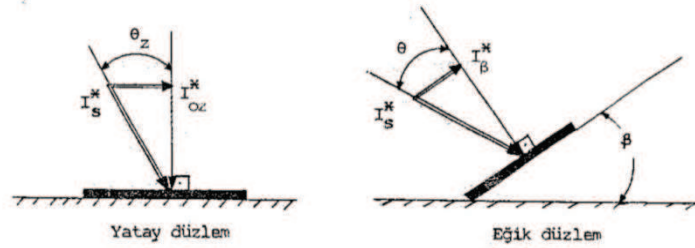
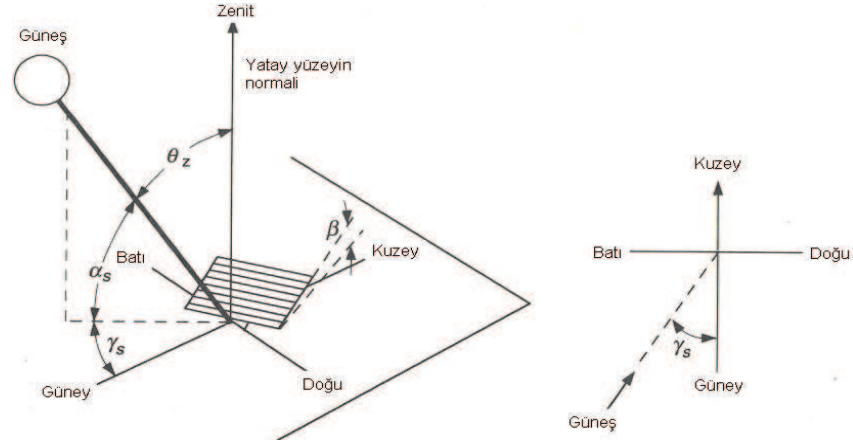
Bulunduğumuz bölgenin coğrafik şartlarına (enlemine-boylamına) göre güneşin izlediği yörünge farklılık gösterir (Cheremisinoff, Dickinson, 1980). Örneğin; güneşin hareketi sırasında ekvatora olan mesafesi ile kutuplara veya aradaki herhangi bir bölgeye olan mesafesi değişik olacaktır. Bu da, gün içinde zamana bağlı olarak güneşin konumunun değişeceğini gösterir. Aynı zaman diliminde farklı coğrafik yerler farklı açılarla güneşlenmeye maruz kalacaklardır.

Dünya, güneş yörüngesi üzerinde 23, 45° eğimli olarak dönmektedir. Bu eğim, güneşin yaz ayları süresince bulut içerisinde kışa göre daha yük-sek konumda olmasını sağlamaktadır(Cheremisi-noff, Dickinson, 1980). Bu, yaz aylarında gündüz saatlerinin uzamasına ve kış aylarında da gündüz saatlerinin daha kısa olmasına sebep olmaktadır.

Bir yıl içerisindeki güneş ışığı saatleri, yani güneşin doğuşu ve batışı arasındaki saatler dünyanın her yerinde aynıdır. Kutuplara yakın bölgeler daha uzun kış gecelerine ve aynı zamanda daha uzun yaz günlerine sahiptir.

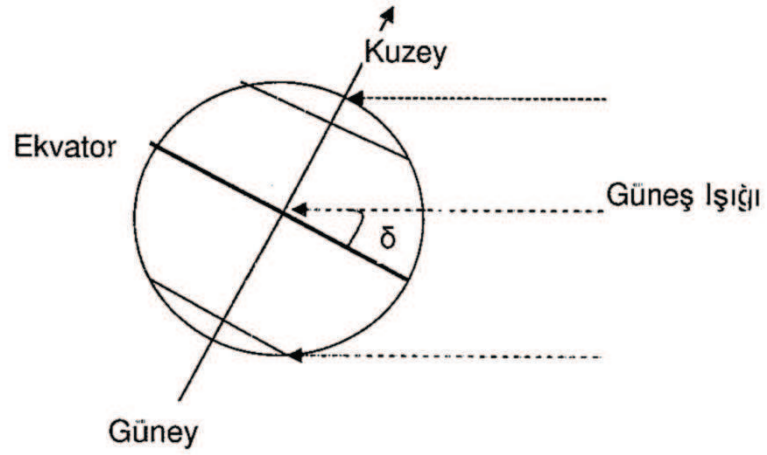
Verilen herhangi bir zamanda, yeryüzünde herhangi bir yerde, verilen, yatay ile eğimi herhangi bir değer alan ve herhangi bir yöne bakan eğik bir düzleme gelen direkt güneş radyasyonu aşağıda Benford ve Boch'e göre verilen bağıntı ile hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \cos \delta \cdot \sin \varnothing \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \varnothing \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \varnothing \cdot \\ & \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \varnothing \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned} \quad (3.6)$$



θ : Eğik düzlemin normali ile direkt güneş radyasyonu arasındaki açıdır ve güneş geliş açısı olarak adlandırılır.

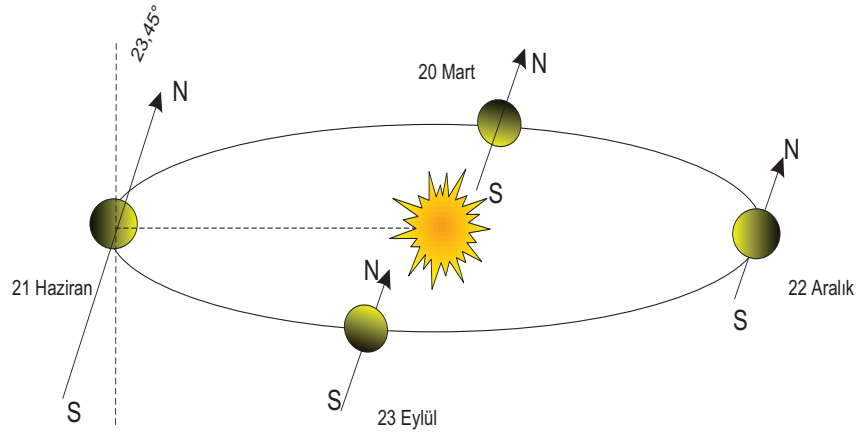
δ : Gökürenin ekvator düzlemine göre güneşin açısal yüksekliğini verir ve buna deklinasyon denir. Şekil 84 Deklinasyon açısı (Eğim Açısı) 21 Hazirandaki $+23,45^\circ$ maksimum değeri ile 21 Aralıktaki $-23,45^\circ$ minimum değeri aralığında değişir. Şekil6. 21 Mart ve 21 Eylüldeki iki ekinoks zamanı sıfırdır.



Şekil 84. Eğim Açısı, δ

Deklinasyon açıları astronomlar tarafından ölçülür ve bu ölçülen değerlere göre literatürde birçok bağıntılar verilmiştir. Bunlardan, ölçülen değerlere en yakın değerler veren bağıntı Cooper'ın empirik denklemdir:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{284+n}{365}\right) (^{\circ}) \quad (3.7)$$



Şekil 85. Yılın Farklı Zamanlarındaki Dünyanın Yörüngesi Ve Deklinasyonu (Şenpınar 2006)

Çizelge 7. Gün Sayısının Hesaplanması (D =Ayın hangi günü olduğu. Eğer atık yıl ise $L=1$, yoksa $L=0$)

Ay	n
Ocak	$n = D$
Şubat	$n = D + 31$
Mart	$n = D + 59 + L$
Nisan	$n = D + 90 + L$
Mayıs	$n = D + 120 + L$
Haziran	$n = D + 151 + L$
Temmuz	$n = D + 181 + L$
Ağustos	$n = D + 212 + L$
Eylül	$n = D + 243 + L$
Ekim	$n = D + 273 + L$
Kasım	$n = D + 304 + L$
Aralık	$n = D + 334 + L$

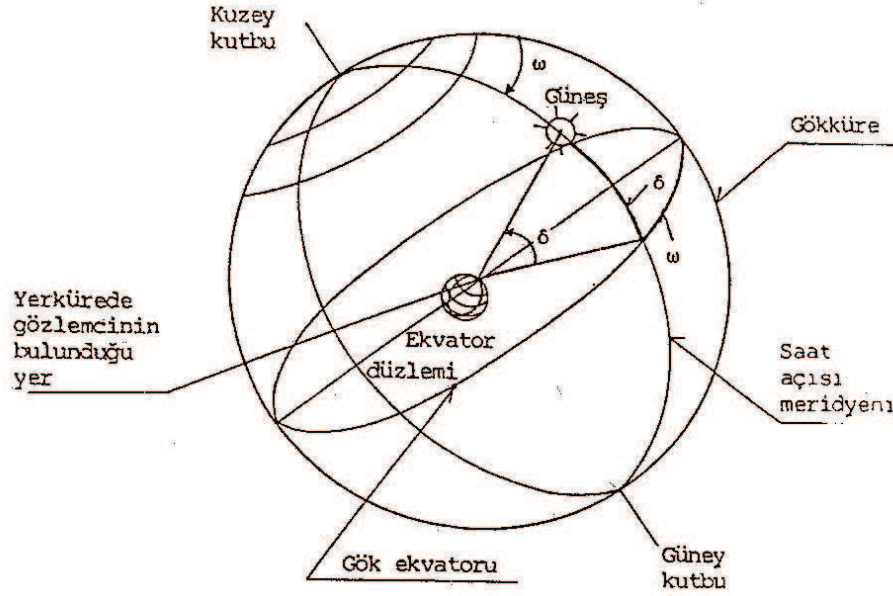
Eşitlik 3.7’ de n yıl içindeki gün sayısıdır, n ’in değeri Çizelge 7’den kolaylıkla hesaplanabilir (İbrahim 2006). Şekil 6 ‘da yerkürede gözlemcinin bulunduğu yer, gökkürenin kutupları ve ekvator düzlemi, saat açısı meridyeni, yayı ve deklinasyon açısı ve yayı, ekvator düzlemi koordinat elemanları olarak verilmiştir. Şekil 86’den görüleceği üzere, gök kutuplarından ve güneşin gökkubede zahiren bulunduğu yerden geçen gök meridyeni üzerinde, güneş ile bu meridyenin ekvatoru kestiği nokta arasında kalan yay parçası deklinasyon açısını verir.

β : Eğik düzlemin yatay ile yaptığı açıdır ve $0^\circ < \beta < 180^\circ$ değerlerini alabilir. $\beta > 90^\circ$ ’nin anlamı eğik düzlemin normali aşağıya doğru bakar ve yatay düzlemi gösterir.

γ : Eğik düzlemin normalinin yatay düzlem üzerine projeksiyonu alındığında bu doğrunun yatay düzlem içinde, seçilenreferans noktasına göre, güney yönünü gösteren doğru ile arasındaki açıdır ve eğik düzlemin yatay düzlem içinde konumunu verir. Güneye bakan bir eğik düzlem için $\gamma=0^\circ$ ‘dir. Güneyden doğuya doğru, kuzeye kadar negatif (-) ve güneyden batıya doğru, kuzeye kadar pozitif (+) alınır, yani $-180^\circ < \gamma < +180^\circ$ değerlerini alır. Literatürde “yüzey azimutu olarak adlandırılır,

ω : Saat açısı olarak tanımlanır, her 15° bir saate eşdeğerdir. Yerkürenin kendi eksenini etrafından dönmesinden kaynaklanır. Güneş öğlesinde $\omega = 0^\circ$ dir. Güneşin yıl boyunca, yerküre üzerindeki gözlemcinin konumuna göre, ufuk düzlemi koordinatlarında güneş yükseklik açısı h en büyük değerini aldığı andaki güneş öğlelerini birleştiren rasidin meridyeni boyunca $\omega = 0^\circ$ olduğundan, saat açısının sayılmasına rasidin meridyeninden başlanırsa, ekvator düzlemi koordinat sisteminde, gök kutuplarından ve gözlemcinin güneşi gökkürede gördüğü andaki bulunduğu yerden geçen saat dairesi meridyeni arasındaki açısal fark olarak verilir, Şekil 86. Öğleden evvel negatif (-), öğleden sonra pozitif (+) olarak alınır. (Atagündüz 1989)

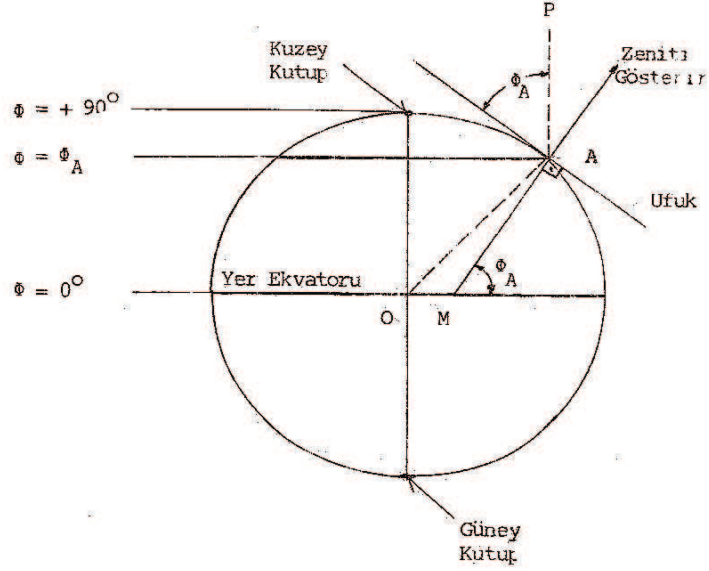
$$\omega = 15 \cdot (12 - t_s) \quad (3.8)$$



Şekil 86. Deklinasyon ve Saat Açısı Tanımı İçin

Φ : Coğrafi enlem dairesidir. Yerküre üzerinde herhangi bir yerde bulunan gözlemcinin olduğu yerde, yerküreye teğet olan bir düzlem alınırsa ve düzleme gözlemcinin olduğu noktada dik olan bir doğru düşünülüğünde (bu doğru, eğer yerküre bir geometrik küre olmuş olsaydı, kürenin merkezini gözlemcinin bulunduğu noktaya birleştiren yarıçap doğrultusunda olacak idi) bu doğrunun yerkürenin ekvator düzlemi ile yaptığı açı, gözlemcinin bulunduğu yerin enlem dairesidir. Şekil 87. Ancak yerküre geometrik bir küre değildir, bir “geoid” dir. Onun için, gözlemcinin bulunduğu

yerdeki teğet düzleme dik olan doğru, yer kürenin merkezinden geçmez, Şekil 87. Gözlemcinin bulunduğu yerden yerküre eksenine (yerkürenin kuzey kutbunu güne kutbuna birleştiren doğru) paralel bir doğru çizildiğinde, teğet düzlem ile bu doğru arasındaki açı da o yerin enlem açısı Φ' ye eşittir.



Şekil 87. Yerkürenin Enlem Dairelerinin Tanımı İçin (Atagündüz 1989)

Eşitlik 4 'ün basitleştirildiği bir çok durum vardır. Bunlardan bazıları şöyledir:

1. Durum – Dikey Yüzeyler

Dikey yüzeyler için $\beta = 90^\circ$ ve denklem 3.6'nın son hali:

$$\cos \theta = \sin \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega - \cos \phi \cdot \sin \delta \cdot \cos \gamma \quad (3.9)$$

2. Durum – Yatay Yüzeyler

Yatay yüzeyler için $\beta = 0^\circ$ ve θ , θ_z ile gösterilen, güneşin doruk açısıdır ve denklem 3.6:

$$\cos \theta = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad (3.10)$$

3. Durum – Tam Güneye Bakan Yüzey

Tam güneye bakan bir yüzey için $\gamma = 0^\circ$ ve denklem 3.6 :

$$\cos \theta = \sin \emptyset \cdot \sin \delta + \cos \emptyset \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad (3.11)$$

Zaman: Zaman ölçümü için temel, Greenwich'ten geçen başlangıç meridyenidir (0°). 1880 'lerden önce, farklı bölgeler, kendi boylamlarına göre farklı zaman standartları kullanmaktaydı. Şimdi ise saat, başlangıç meridyenine göre her 15 dakika aralıkla yerleştirilen ve buna bağlı olarak birbirinden 1 saat uzaklıkta olan alan zaman kuşağı meridyenlerine göre belirlenmektedir.

Güneş saati, t_s (Yerel Görünen Zaman, LAT), 24 saatlik bir saattir ve güneşin 12:00'da en tepeden geçmesi ile yerel saati tam olarak hesaplar.

Güneş saati ile kullandığımız normal saat arasında fark vardır. Güneş saati aşağıdaki iki düzeltmenin yardımı ile standart saatten hesaplanabilmektedir.

- İlk düzeltme, yerin boylamının ve standart saat alan meridyenin farklılığından kaynaklanmaktadır. Düzeltme, her bir derece farkı için 4 dakikadır.
- İkinci düzeltme, zaman eşitliği (EOT – Equality Of Time) olarak bilinir ve dünyanın dönüş hareketinden oluşan doğan küçük değişikliklerden dolayıdır. EOT düzeltmesi aşağıdaki eşitlik ile yapılır.

$$EOT = 0.258 \cdot \cos x - 7.416 \cdot \sin x - 3.648 \cdot \cos 2x - 9.228 \cdot \sin 2x \quad (3.12)$$

Burada EOT dakika cinsindendir, x ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanan açıdır ve n gün sayısıdır (Çizelge 7).

$$x = \frac{360(n-1)}{365.242} \quad (3.13)$$

Güneş saati, standart saatine aşağıdaki eşitlik ile bağlıdır.

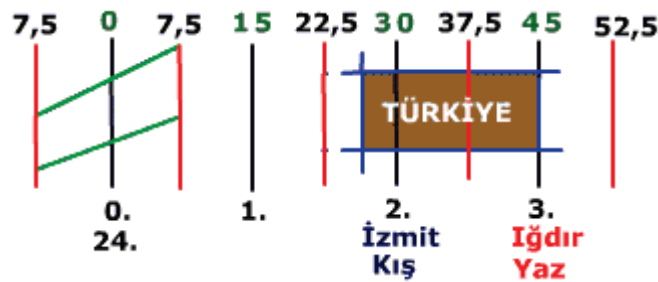
$$t_s = C_t + \left(\frac{EOT}{60}\right) \mp \frac{1}{15}(m_z - m_0) \quad (3.14)$$

Burada C_t saat, t_s güneş saati, EOT zaman eşitliği, m_z yerel saat alan meridyeni ve m_0 ise gözlemlenilenin bulunduğu meridyendir. C_t , t_s ve EOT saat cinsinden, m_z ve m_0 derece cinsindendir. Doğu yarımkürede işaret pozitif ve batı yarımkürede ise negatiftir.

Yerel Saat Alan Meridyeni: Türkiye 1978 yılına kadar 2. saat diliminde yer alan 30° doğu meridyeninin yerel saatini ortak saati olarak kullanmaktaydı. 1978 yılından sonra gündüz süresinin uzun olduğu yaz aylarında, Güneş enerjisinden daha fazla yararlanarak enerji tasarrufunda bulunmak ileri ve geri saat uygulamasına geçilmiştir.

Kış Saati: Ekimin son haftasından Martın son haftasına kadar kış saati (geri saat) uygulamasında 2. saat diliminde yer alan 30° D meridyeninin yerel saati ortak saat olarak kullanılır.

Yaz Saati: Mart'ın son haftasından Ekimin son haftasına kadar yaz saati (ileri saat) uygulamasında 3. saat diliminde yer alan 45° D meridyeninin yerel saati ortak saat olarak kullanılır. (Anonim 2008)

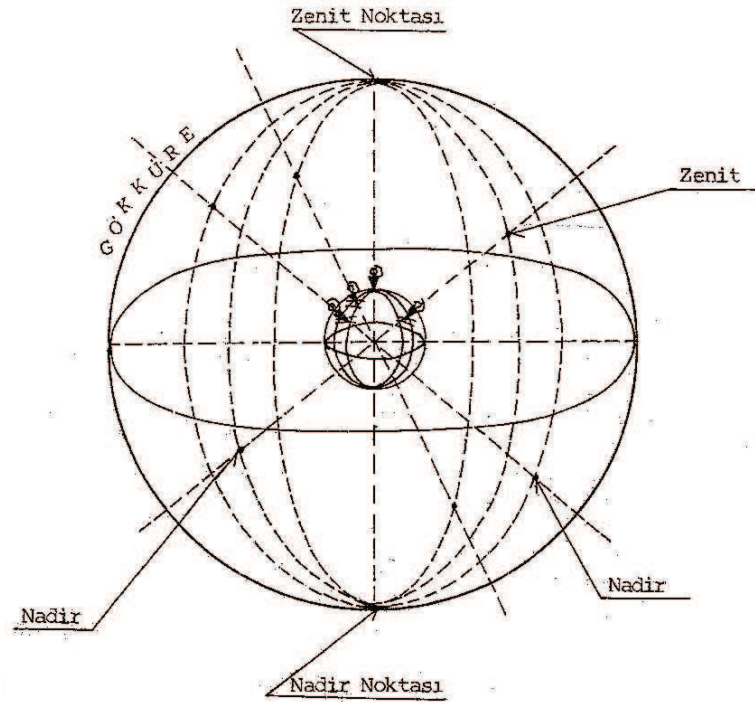


Şekil 88. Yerel Alan Saat Meridyeni

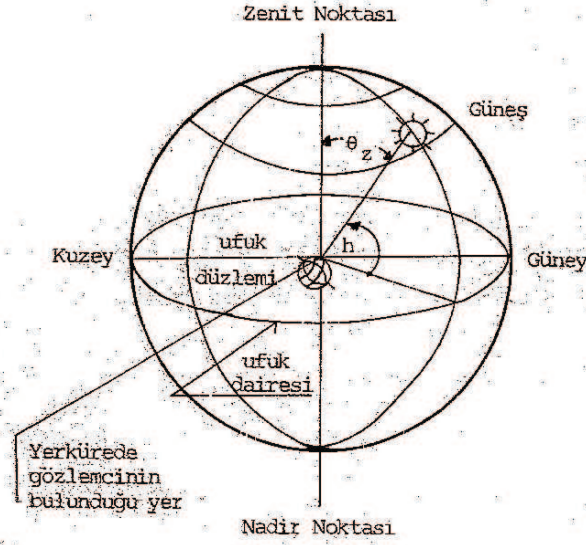
Astronomik Koordinatlar: Yerküre üzerinde herhangi bir konumda bulunan gözlemcinin, Şekil 89'de bulunduğu yere teğet olan düzleme dik olan doğrunun uzantısı gözlemcinin tepesinden geçerek gökküreyi deldiği düşünülürse, bu delinen noktaya **zenit noktası** (başucu noktası) denir. Şekil 89. Zenit noktasını gözlemciye birleştiren

doğru üzerinde zenit noktasından gözlemciye doğru gidilirse ve gözlemciden sonra aynı doğrultuda zenit noktasının tersi yönde ilerlenirse yine bu doğrunun gökküreyi deldiği düşünüldüğü noktaya da **nadir noktası** denir.

Yer küre üzerinden herhangi bir konumda bulunan gözlemcinin olduğu yerde, yerküreye teğet bir düzlem geçirildiği düşünülürse, bu düzlem gözlemcinin **ufuk düzlemi**dir ve bu düzleme gözlemcinin bulunduğu yere dik olan doğrunun gözlemcinin tepesi yönünde olan zenit noktası ile gökkürenin gözlemcinin ufuk düzlemine paralel enlem düzlemi, **ufuk düzlemi koordinat sisteminin** temelini oluşturur. Buna göre, gözlemcinin gökkürede güneşi gördüğü nokta gözlemci ile birleştirildiğinde elde edilen doğru ile ufuk düzlemi arasındaki açı, güneşin yükseklik açısı, h dir ve açısı, θ_Z ise bu doğrunun, zenit ve nadir noktalarından geçen ve ufuk düzlemine dik olan meridyen düzlemi ile yaptığı açıdır ve zenit açısı, θ_Z , ile güneş yükseklik açısı, h nin toplamı 90° 'dir. Şekil 90.



Şekil 89. Zenit ve Nadir Noktalarının Tanımı İçin



Şekil 90. Güneş Yükseklik Açısı ve Zenit Açısı Tanımı İçin

Astronomide kullanılan ufuk düzlemi koordinat sistemi ile Ekvator Düzlemi Saat Açısı Sistemi arasındaki dönüşümleri Kızılırmak'a göre incelemekte yarar vardır. Aksi halde, eşitlik 3.6'dan yararlanılarak hazırlanan bilgisayar programlarında, eğik düzlemlere gelen extraterrestrial güneş radyasyonları hesaplarında “negatif enerji” gibi, yalnızca işaret anlaşmalarından gelen, fiziksel bir anlamı olmayan düzensizlikler ile karşılaşmaktadır. Kızılırmak'a göre koordinat dönüşümleri için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\sin \theta_Z \cdot \sin \gamma = \cos \delta \cdot \sin \omega \quad (3.15)$$

$$\sin \theta_Z \cdot \cos \gamma_Z = -\cos \phi \cdot \sin \delta + \sin \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad (3.16)$$

$$\cos \theta_Z = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad (3.17)$$

$$\cos \theta = \cos \theta_Z \cdot \cos \beta + \sin \theta_Z \cdot \sin \beta \cdot \cos(\gamma_S - \gamma) \quad (3.18)$$

Burada şunu belirtmek gerekir ki, eşitlik 3.15 kullanıldığında güneş azimut açısı hesaplarında Nisan-Ekim ayları arasında uyumsuzluklar görülmektedir. Bunun kaynağı,

eşitlik 3.15'in literatürdeki işaret anlaşmaları ile ters düşmesidir. Onun için dikkatli olmak gerekir. eşitlik 3.16 ve eşitlik 3.17 ile hesaplanan güneş azimut açılarında böyle bir durum yoktur.

Güneş yükseklik açısı h , güneş azimut açısı γ_s ve yüzey azimut açısı γ olarak belirtilir. Ancak yıl içerisinde herhangi bir gün, gün boyunca her gün her saat güneşin doğuşundan batışına kadar, saat açısı ω ile güneş azimut açısı γ_s ve güneş yükseklik açısı h veya zenir açısı θ_z ile aralarındaki bağıntılar eşitlikler: eşitlik 3.15, eşitlik 3.16 ve eşitlik 3.17'den hesaplanabilir.

4. BULGULAR

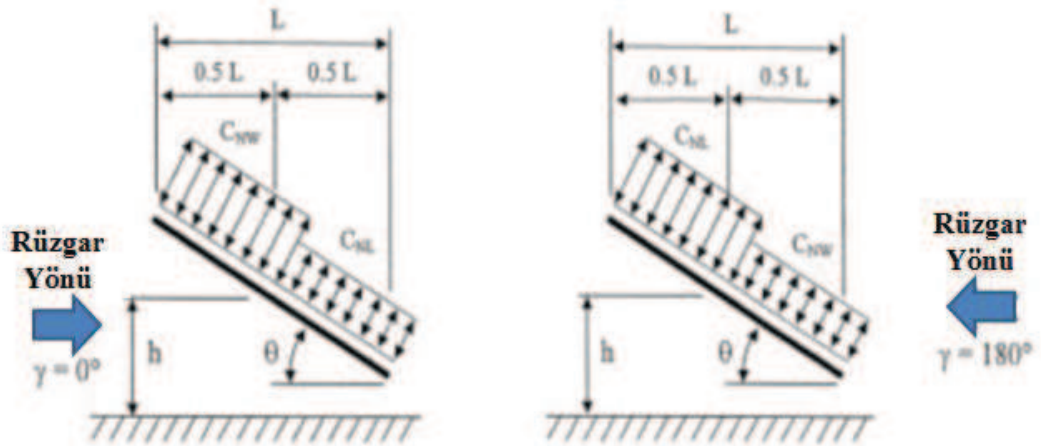
4.1. Güneş takip sistemi üzerine gelen yükler

4.1.1. Rüzgar yükleri

Güneş takip sistemleri için özel olarak oluşturulmuş bir standart bulunmamaktadır. Üreticiler müşterilere sistemlerini sunarken belirli standartlara göre konstrüksiyonlarını tasarladıklarına dair bir bilgi vermek zorundadırlar. Müşteri açısından sistemin güvenilirliği ancak bu şekilde sağlanır.

Güneş takip sistemleri için rüzgar yükleri ASCE 7-05'e göre hesaplanır. ASCE standardı binalar ve yapılara gelen rüzgar yüklerinin belirtildiği Amerikan standardıdır. ASCE gibi bir çok ülkeninde kendine ait bir standardı bulunmaktadır. Hemen hemen hepsi aynı sonuçları vermektedir. Çalışmada Amerikan standardının kullanılmasının nedeni daha açıklayıcı ve daha sade bir formülasyon ile sonuçların alınmasıdır.

Önceki bölümlerde sistemin yapmış olduğu açı miktarının 45° ile sınırlandırıldığı görülmüştür. Aşağıdaki şematik 45° 'lik tek eğimli bir çatıya gelen rüzgar yüklerinin gösterimidir.



Şekil 91. ASCE 7-05'e göre Rüzgar Yüklerinin Gösterimi

Girdiler:

Rüzgar hızı	: 40m/sn
Rüzgar yön faktörü (Kd)	:0,85
Önem Faktörü (I)	:0,87
Maruziyet Kategorisi	:C
Hızı basıncı üs katsayısı (Kz)	:0,85
Topografik Etki (Kzt)	:1
Gust Etkisi (G)	:0,85
Panel Yüzey Alanı (A)	:120 m ²

Hız basıncı denklemi:

$$q_z = 0,613K_zK_{zt}K_dV^2I \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (4.1)$$

Çizelge 8. Rüzgar Hız Basıncı - Kuvveti Hesap Tablosu

Net Basınc Katsayısı (C _N)			Basınc [N/mm ²]	Kuvvet [N]
$\gamma=0$	C _{NW}	-1,6	-848,2	-50623,5
	C _{NL}	-1,8	-954,3	-56951,4
$\gamma=180$	C _{NW}	2,2	1166,3	69607,3
	C _{NL}	2,5	1325,4	79099,2

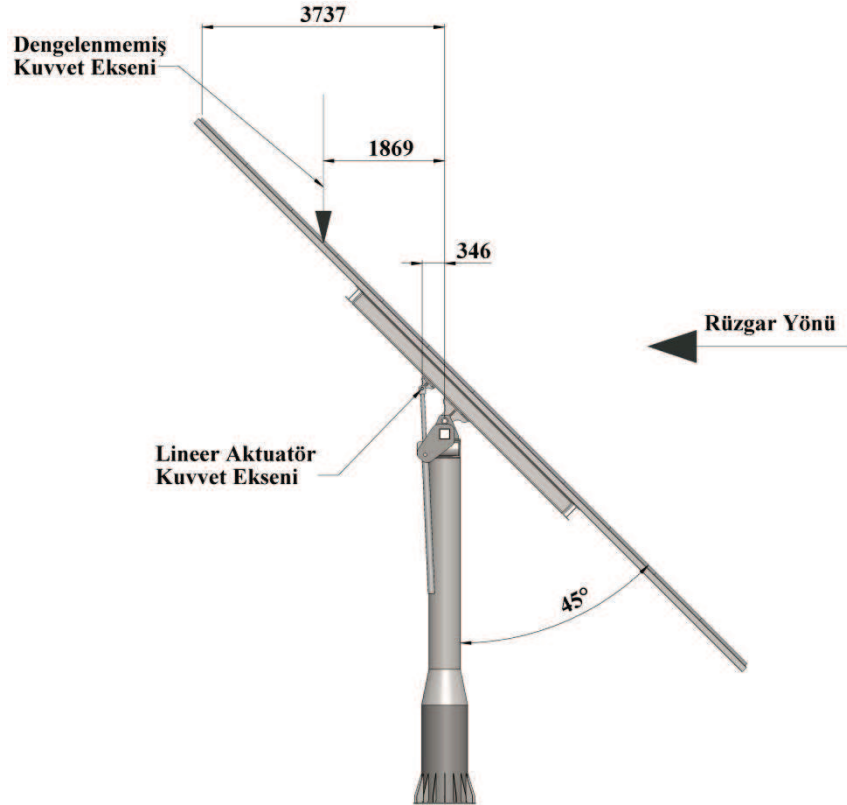
Hesabımızı en kötü durum göz önüne alınarak yapılmaktadır. Yukarıda bulunmuş değerler panellerin üzerine gelen dik kuvvetlerdir. Lineer aktuatörlerin güneş takip sistemini 40m/sn 'lik bir rüzgar eserken sabit tutabilmesi için gerekli kuvveti hesaplarken merkez mafsala göre dengesiz yüklerin momentlerinin farkını bulmaya çalışacağız. Bunun için en basit yöntem kuvvetlerin mafsala olan dik bileşenlerini bulmaktır.

Hesabımızdaki yükler yayılı yük olarak kabul ettiğimiz için toplam panel yüzeyini 11,8m x 9,8m kabul edip toplam yükümüzü mafsala sağında ve solundan 5,9m uzaklıklardaki merkezlerden uygulayacağız.

Çizelge 9. Dengeleme Momenti Hesap Tablosu

Net Basınç Katsayısı (C_N)			Dik kuvvet [N]	Mafsala dik uzaklık (e) [m]	Moment [Nm]	Dengeleme Momenti (M_d) [Nm]
$\gamma=0$	C_{NW}	-1,6	-35592,5	1,87	-66522,3	-8315,3
	C_{NL}	-1,8	-40041,5		-74837,6	
$\gamma=180$	C_{NW}	2,2	48939,7		91468,2	12472,9
	C_{NL}	2,5	55613,3		103941,2	

Yukarıdan görüldüğü gibi en yüksek moment değeri rüzgar karşıdan eserken yani $\gamma=180^\circ$ durumunda oluyor.



Şekil 92. Rüzgarın Geliş Yönü ve Mafsallı Noktalarının Gösterimi

En kötü durumda yani 45° durumunda lineer aktuatörün vermesi gereken kuvvet aşağıdaki gibi bulunur.

$$F_i = M_d / 0,346$$

$$F_i = 36\text{kN}$$



Şekil 93. İndirgenmiş Kuvvet Gösterim

$$F_{Lineer} = \frac{F_i}{\cos 2,57^\circ}$$

$$F_{Lineer-toplam} \approx 36\text{kN}$$

Çalışmadaki güneş takip sisteminde iki adet lineer aktuatör bulunuyordu, buna göre bir aktuatörün vermesi gereken kuvvet:

$$F_{Lineer} \approx 18\text{kN}$$

Tasarlanan güneş takip sisteminde azimuth açısı takibini yapmak üzere sonsuz dişli vida redüktörlü aktuatör ön görüldü. Aktuatörün ihtiyaç duyduğu gücü aşağıdaki formüller yardımıyla yapabiliriz.

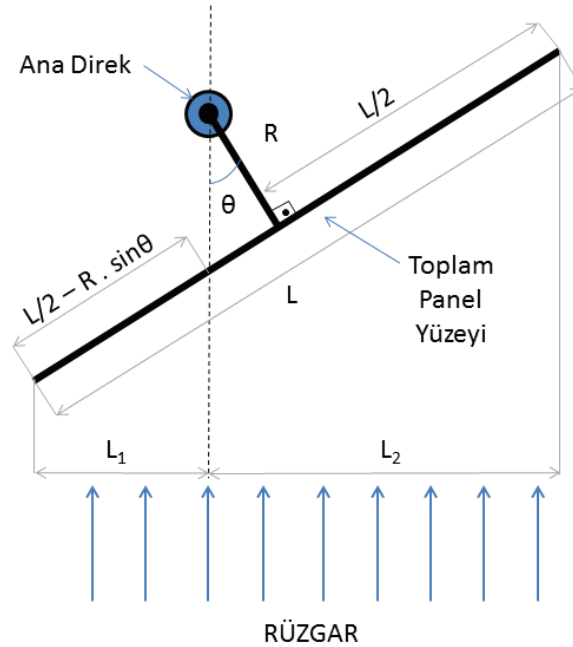
$$M_T = M_{Sürtünme} + M_{Atalet} + M_{Rüzgar} \quad (4.2)$$

$$M_{Sürtünme} = G \cdot k \cdot R \quad (4.3)$$

$$M_{Atalet} = I \cdot \alpha \quad (4.4)$$

$$M_{Rüzgar} = F_{Aerodinamik} \times r \quad (4.5)$$

4.1.2. Rüzgarın Yarattığı Momentin bulunması



Şekil 94. Rüzgarın yarattığı moment

Rüzgar kuvvetinden dolayı oluşan momenti hesaplamak için öncelikle güneş takip sisteminin rüzgarı karşılayan maksimum alanı hangi pozisyonda olduğunu bulmamız gerekiyor. Ana mafsaldan yere yatay bir kesit aldığımızda güneş takip sisteminin rüzgara karşı pozisyonu yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi olacaktır. L toplam güneş paneli yüzeyinin kısa kenarını temsil etmektedir. L1 ve L2 ölçüleride rüzgarı karşılayan mafsal ekseninden bölünmüş L ölçüsünün projeksiyonudur.

$$L_1 = \frac{L}{2} \cos \theta + R \sin \theta \cos \theta$$

$$L_2 = \frac{L}{2} \cos \theta - R \sin \theta \cos \theta$$

Dengeleme kuvvetini bulmak için L_1 ve L_2 'yi üzerine rüzgar etkileyen alanlar kabul edersek farkını almalıyız.

$$L_1 - L_2 = 2R \sin \theta \cos \theta$$

Farkın maksimum olduğu açı değerini bulmak için fonksiyonun türevini alıp köklerini bulduk.

$$\frac{d}{d\theta} (L_1 - L_2) = -2R \sin \theta \cos \theta$$

$$\sin 2\theta = 2R \sin \theta \cos \theta$$

$$\sin 2\theta = 0$$

$$\theta = 45^\circ$$

Fark alanının maksimum olduğu açı değeri 45° 'dir. Toplam panel alanının ölçüleri 9,8m x 11,8m'dir

$$L = 9,8m$$

$$D = 11,8m$$

$$R = 0,8m \cdot \cos 45^\circ$$

Maksimum projeksiyon alanı için panelin yatay ekseninde maksimum yaptığı açı 45° 'yi yaptığı düşünülerek projeksiyon alanı hesaplanmıştır.

$$A_p = 2RD \sin^2 \theta \cos^2 \theta$$

$$A_p = 4,7 m^2$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\frac{L}{2} + R \sin \theta}{\frac{L}{2} - R \sin \theta} = 1,26$$

$$r = 0,4m$$

$$F_{Aerodinamik} = \frac{1}{2} \rho C A V^2 [N] \quad (4.6)$$

$$M_{Rüzgar} = F_{Aerodinamik} \times r \quad (4.7)$$

$$\rho = 1,225 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$C = 1,98$$

$$F_{Aerodinamik} = 9120 [N]$$

$$M_{Rüzgar} = 3648 [Nm]$$

4.1.3. Sürtünmenin Yarattığı Momentin Bulunması

$$M_{Sürtünme} = G \cdot k \cdot R$$

Sonsuz dişli döner aktuatör üstünde üst karkas ana mafsalsal ve lineer aktuatörlerin ağırlıklarını taşımaktadır. Bu ağırlıklar yaklaşık 3 ton'dur.

$$G = 30000 [N]$$

$$k = 0,01$$

$$R = 0,23 [m]$$

$$M_{Sürtünme} = 69 [Nm]$$

4.1.4. Ataletin Yarattığı Moment

$$M_{Atalet} = I \cdot \alpha$$

Tasarlanan sistemin döner parçalarının tamamının atalet momenti solidworks programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$$I = 56451 [kg \cdot m^2]$$

Mevcut piyasadaki sonsuz dişli redüktörler içerisinde en yüksek tahvil oranına sahip redüktör 1/150 redüktörlerdir. Hesaplamalarda çok küçük hızlar olması sebebiyle redüktör oranının yetmediği ve motor devrinin 200 devirlere kadar düşürülmesi gerekliliği doğmuştur. AC motorlar maksimum devrinin yaklaşık yarısına kadar optimum tork değerlerini koruyabilmektedirler. Piyasadaki AC elektrik motorlarına baktığımızda genelinde maksimum devirleri 1400 dev/dak'dır. Yarısını düşündüğümüzde yani 700dev/dak devir düşündüğümüzde açısal hızımızı düşüremediğimiz için karşımıza büyük motor güçleri çıktı. Piyasadaki muadil güneş

takip sistemleri incelendiğinde 15kWp gücündeki takip sistemlerinin kullandığı motor güçleri 0,9 ~ 1,3kW civarlarındadır. Hesaplarda 1kW gücündeki motor düşünüldü ve düşük devirlerde tork değerini koruyabilen DC servo motorların kullanılması uygun görüldü. Aynı zamanda DC servo motor kullanarak panellerin ürettiği elektrikten direkt olarak DC 24 V beslenebilecek bir yapı da sağlamış olduk.

Motor devri	$n = 200 [^{dev}/_{dak}]$
Sonsuz dişli redüktör tahvil oranı	$i = 1/150$
Çıkış Devri	$n_{\text{Çıkış}} = 1,33 [^{dev}/_{dak}]$
Bir adım hareketin taradığı azimuth açısı	$\Delta\gamma = 20^\circ$
Bir adımın hareket süresi	$t = 2,5 [sn]$
Açısal Hız	$\omega = 0,13 [^{rad}/_{sn}]$
Açısal İvme	$\alpha = 0,05 [^{rad}/_{sn}]$
Atalet Momenti	$M_{Atalet} = 3152 [Nm]$

4.1.5. Toplam Moment

$$M_T = M_{\text{Sürtünme}} + M_{Atalet} + M_{\text{Rüzgar}}$$

$$M_T = 69 + 3152 + 3648$$

$$M_T = 6869 [Nm]$$

4.1.6. Güç

$$P = \frac{M_T \times \omega}{1000} [kW]$$

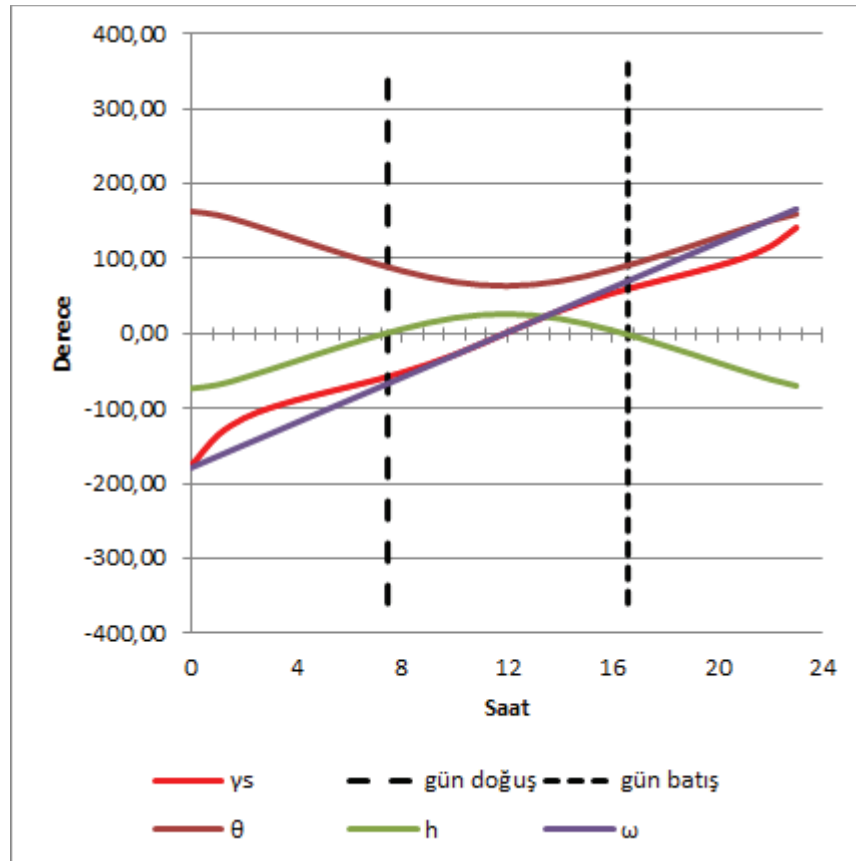
$$\text{Motor Gücü} \quad P = 0,95 [kW]$$

4.2. Bursa'nın Güneş Açıları ve adım sayısı hesapları

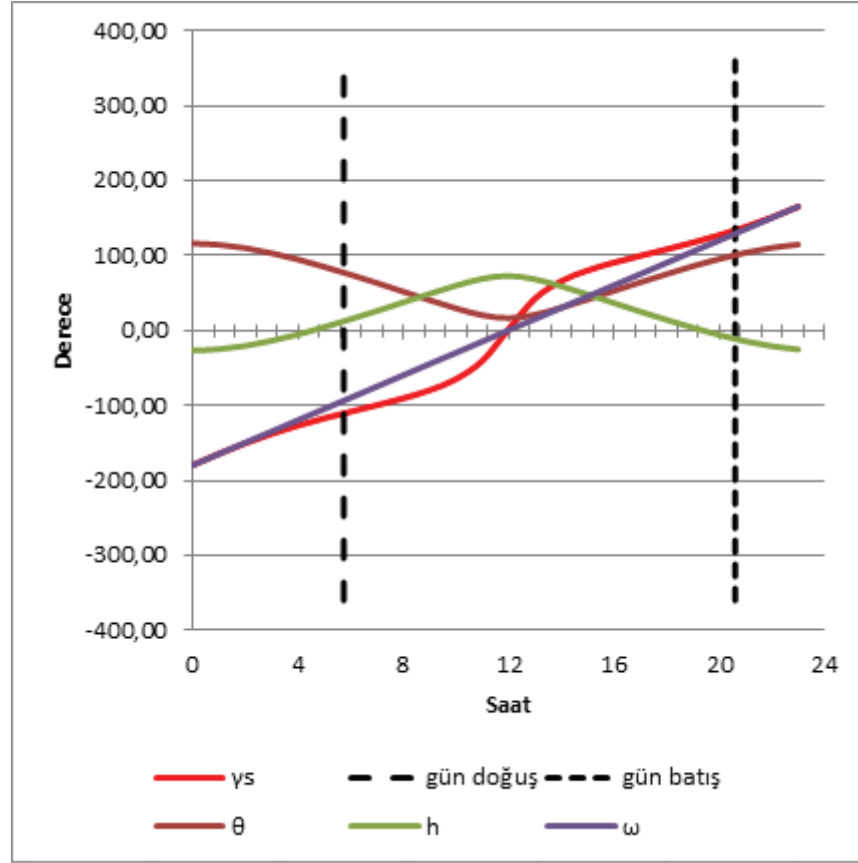
Şekil 95'de Bursa ilinin azimuth, zenit, yükseklik ve saat açılarının en kısa gündeki saate göre değişimi gösterilmiştir. γ_s , güneş azimuth açısını temsil eder, θ , zenit açısını

ve h zenit açısını 90° 'ye tamamlayan yükseklik açısını ve ω da saat açısını temsil eder. Kesikli çizgiler ise güneşin doğuş ve batış saatlerini temsil etmektedir.

21 aralık 355. Gündür. 21 aralık günü gün uzunluğu yani gün doğuşundan batışına kadarki süre yaklaşık olarak 9 saattir.



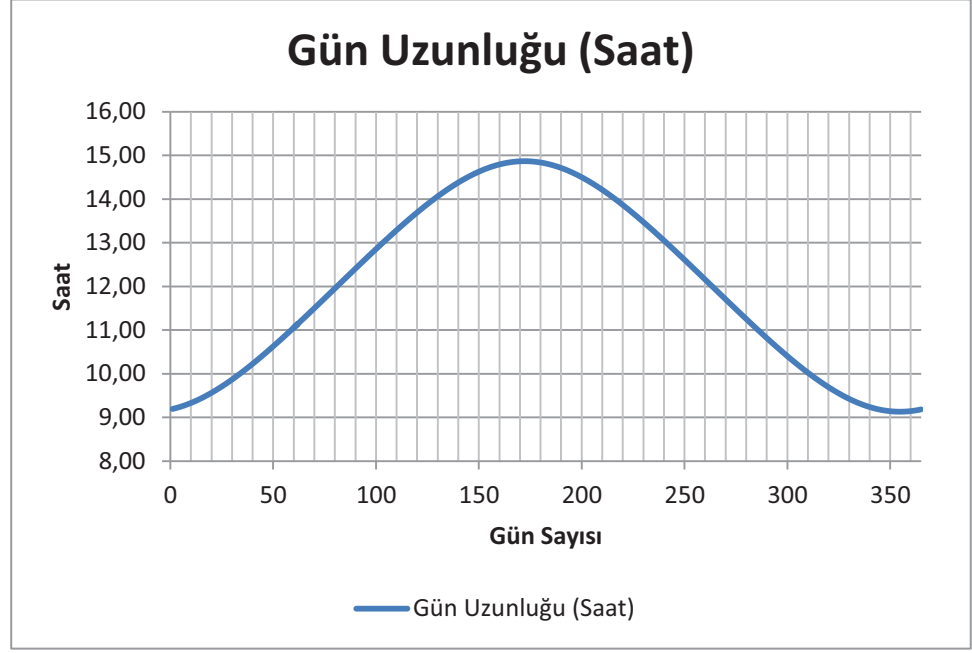
Şekil 95. 21 Aralık Günü Bursanın Güneş Açıları



Şekil 96. 21 Haziran Bursa'nın Güneş Açıları

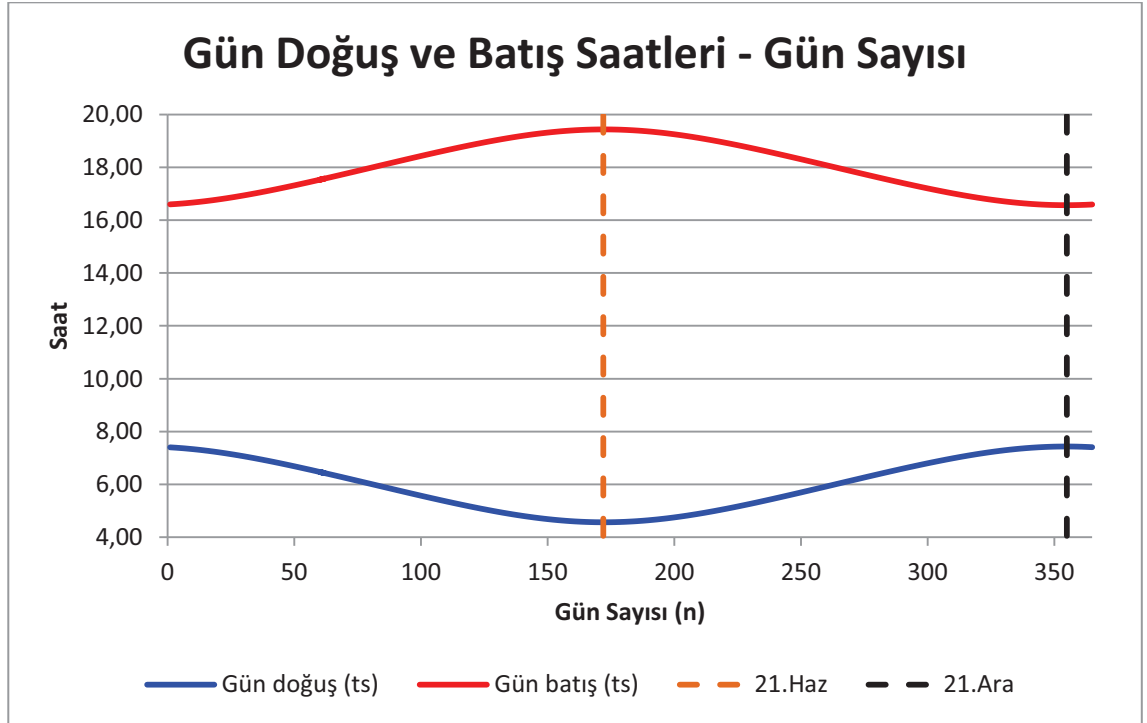
Şekil 95'de şekil Şekil 95 ile aynı temsiller olmak üzere Bursa ilinin azimuth, zenit, yükseklik ve saat açılarının en uzun gündeki saate göre değişimi gösterilmiştir.

21 haziran günü 172. Gündür. 21 haziran günü gün uzunluğu yaklaşık 14 saattir.



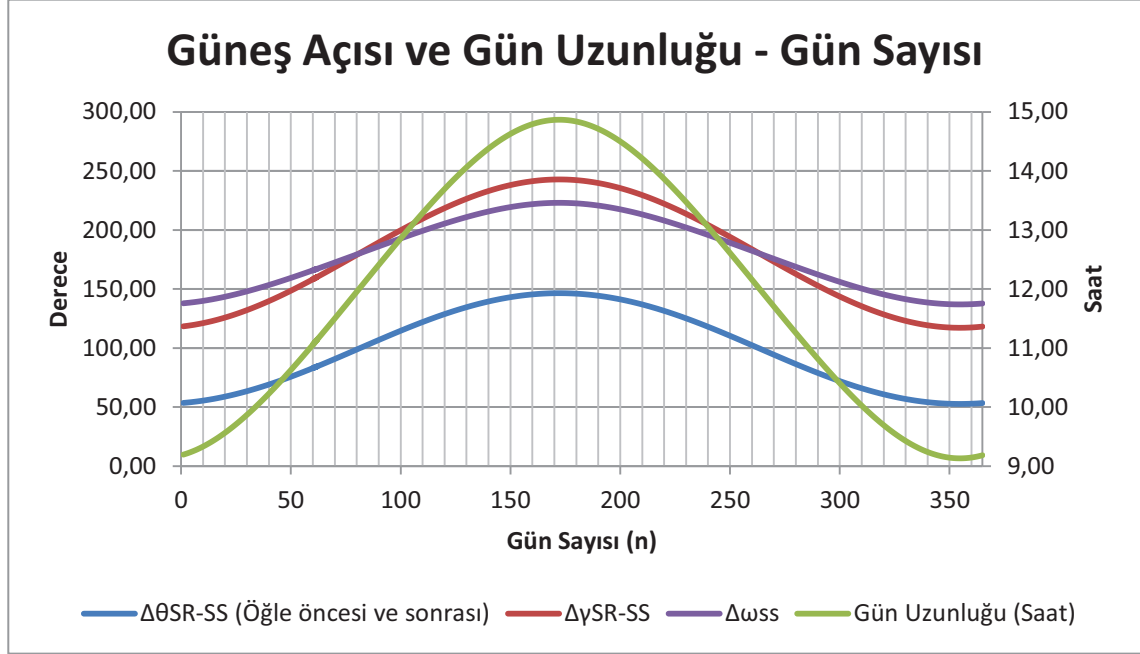
Şekil 97. Bursa'nın gün uzunluğu grafiği

Gün uzunluğu dünyanın güneşin etrafındaki dönüşü ile değişen bir kavramdır. Gün uzunluğu deklinasyon açısının değişimine bağlıdır.



Şekil 98. Bursa İli İçin Güneş Doğuş Ve Batış Saatlerinin Gün Sayısına Göre Değişimi

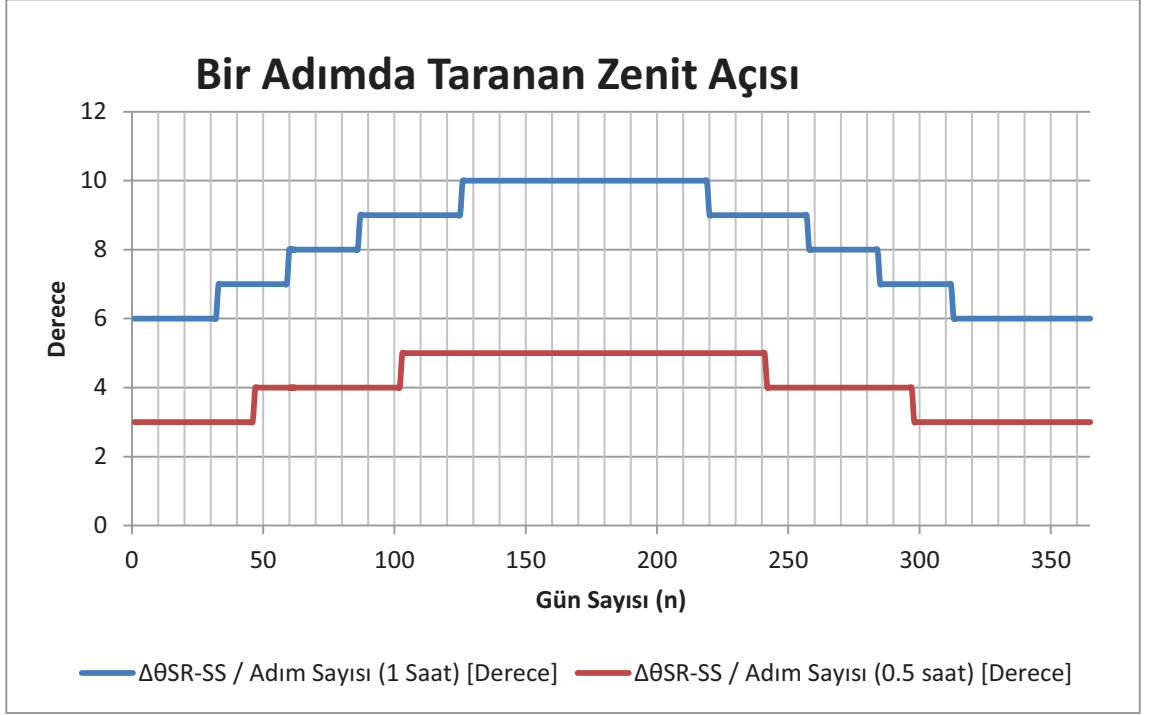
Şekil 98’ de görüldüğü gibi gün uzunluklarının değişimi yıl içerisinde günden güne değişmektedir.



Şekil 99. Bursa'nın Gün Uzunluğu Ve Güneş Açılarının Toplam Taradıkları Açısal Alanların Gün Sayısına Göre Değişimleri

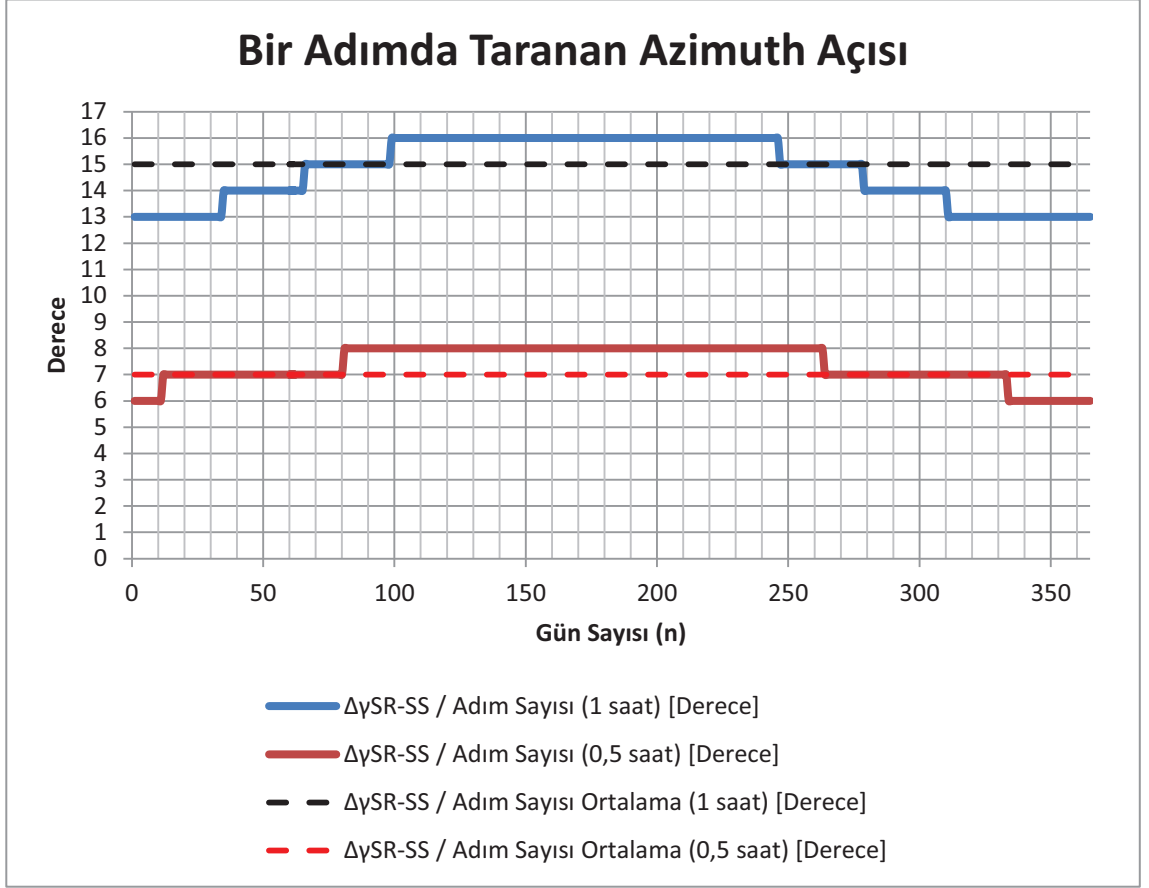
Güneş açılarının tamamı dünyanın yıllık hareketinden etkilenmektedir. Yukarıdaki grafikte zenit, azimuth ve gün açısının yıl içerisinde toplam taranan alan cincinden gösterimi görülmektedir. Grafikteki $\Delta\theta_{SR-SS}$, zenit açısının gün doğuşundan batışına kadarki taradığı toplam açıyı simgelemektedir. Aynı şekilde $\Delta\gamma_{SR-SS}$, azimuth açısının ve $\Delta\omega_{SR-SS}$ de gün açısının gün doğuşundan batışına kadarki toplam taradığı açısal alanı tarif etmektedir.

Güneş takip sistemleri hareketleri doğası gereği çok yavaş olmak zorundadır. Eğer toplam taranan açı değerini sürekli olarak bir motor vasıtası ile hareketlendirmek istersek motorun önüne kullanacağımız redüktörün tahvil oranı çok yüksek değerler olmaktadır. Dolayısıyla bu durum güneş takip sistemlerinin hareketinde adım adım hareket etmenin gerekliliğini doğurmuştur.



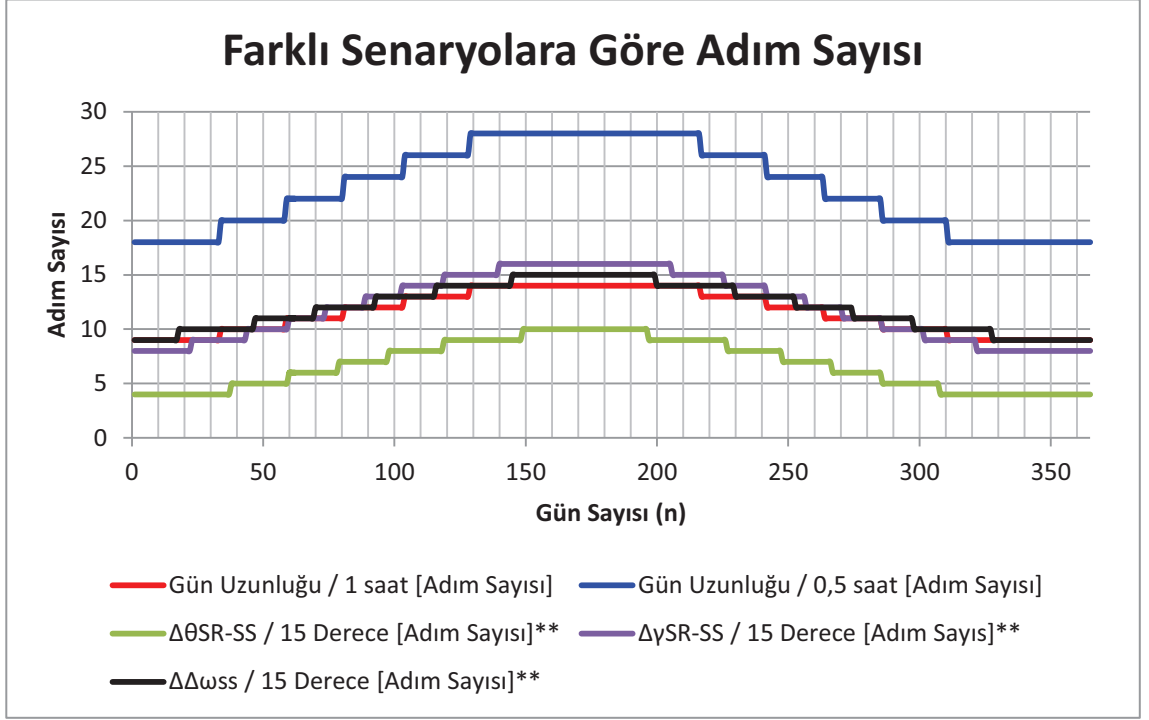
Şekil 100. Bursa İçin Gün Uzunluğuna Göre Kırmızı Çizgi 0,5 Saatlik Aralarla, Mavi Çizgi 1'er saatlik Aralarla Hareket Etmek Suretiyle Her Bir Adımda Taranan Zenit Açısı Miktarının Güne Göre Değişimi

Gün uzunluğunun yıl içerisindeki değişimi Şekil 97 ve Şekil 98'de gösterilmiştir. Adım sayısını gün uzunluğuna göre belirlemek çok önemlidir. Eğer en kısa güne göre belirlerseniz adım sayısı az en uzun güne göre çok çok az olur ve sistem ısıtmanın en verimli olduğu zamanda düşük üretim yapmak zorunda kalır. Eğer en uzun güne göre adım sayısını belirlerseniz bu sefer de en kısa günde yani ısıtmanın en verimsiz olduğu zamanlarda sistemimiz gereksiz yere hareket ederek fazla enerji tüketecektir hatta hava karanlık olduğunda güneş doğmadan veya gün battıktan sonra bile hareket edecektir. Bu tür problemlerden dolayı adım sayısının güne göre değişken olması esastır. Adım sayısı değişimini Şekil 99'de gösterilen açısal alanlara göre yapılabilir. Şekil 100'da güneş takip sisteminin toplam zenit açısı alanına göre 1'er saat ara ile ve yarımsaat ara ile hareket edildiğinde sistemin bir adımda taranan açısal alanın değişimi gösterilmiştir.



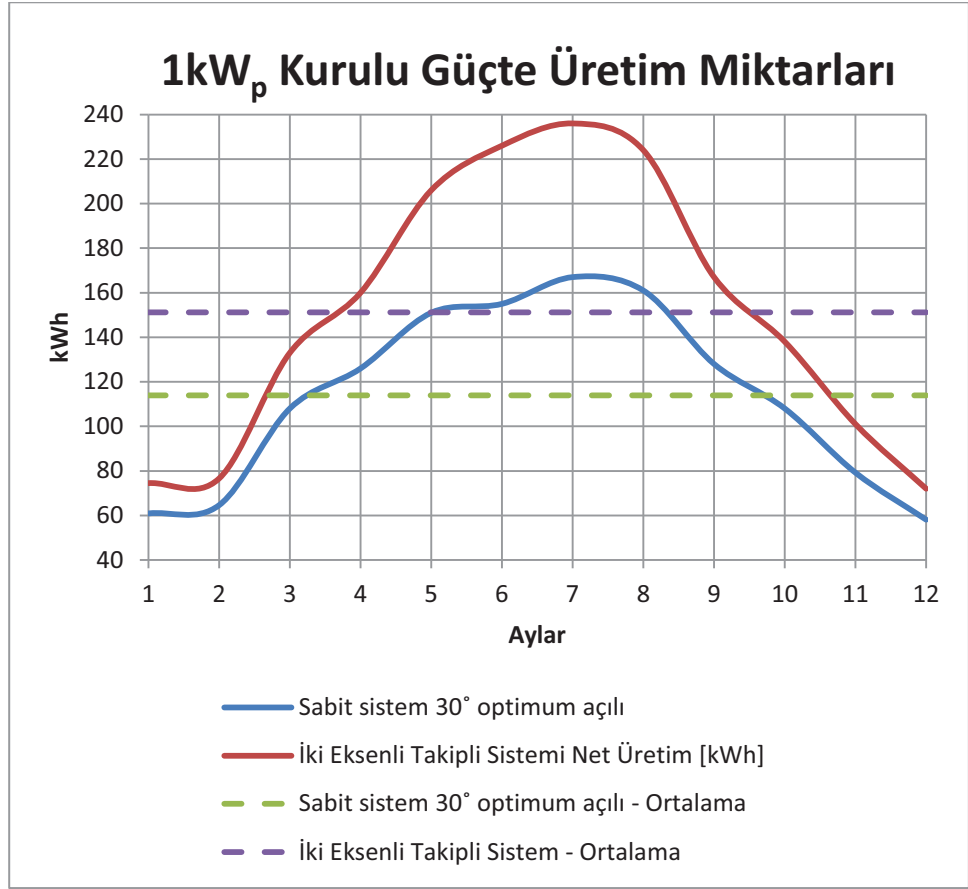
Şekil 101. Bursa İçin Gün Uzunluğuna Göre Kırmızı Çizgi 0,5 Saatlik Aralarla, Mavi Çizgi 1'er saatlik Aralarla Hareket Etmek Suretiyle Her Bir Adımda Taranan Azimuth Açısı Miktarının Güne Göre Değişimi

Şekil 101'de toplam azimut açısal alanına göre 1'er saat ve yarımşar saat ara ile adımlı hareket edildiğinde sistemin bir adımda taranan açısal alanın değişimi görülmektedir. Kesikli, çizgilerle gösterilenler bu adımların ortalama taranan açısal alan değeridir.



Şekil 102. Bursa İli İçin Farklı Senaryolara Göre Adım Sayısının Gün Sayısına Göre Değişimi Değişimleri

Güneş takip sistemlerinin adım sayısının artması demek enerji üretimin artması ve aynı zamanda motorların daha çok çalışması ve tüketimin artması demektir. Bu nedenle adım sayısında optimum bir noktanın yakalanması gerekmektedir. Şekil 102’de farklı senaryolara göre adım sayılarının değişimleri görülmektedir. Grafikten açıkça görülmektedirki gün uzunluğununa göre yarımşar saat arayla güneş takip sistemini hareket ettirirsek diğer alternatiflere göre en yüksek adım sayısı ortaya çıkmış oluyor. Buna karşın toplam taranan zenit açısı alanına göre 15’er derecelik adımlarla hareket ettiğimizde ise en düşük adım sayısını yakalamış oluyoruz.



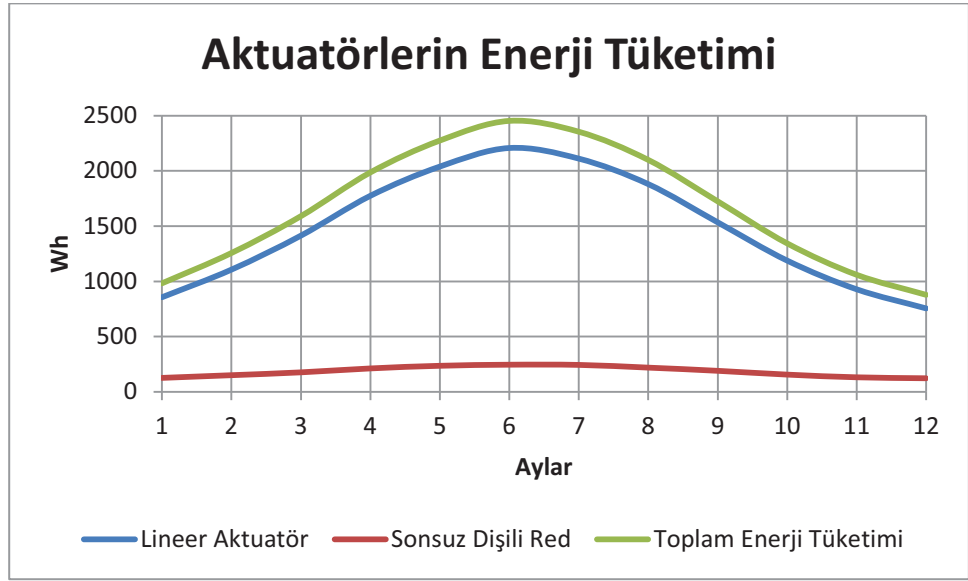
Şekil 103. Sabit ve İki Eksenli Takip Sistemlerin Bursa İli İçin Enerji Üretim Eğrilerinin Gösterimi

1kWp kurulu gücüne sahip optimum açılı (Bursa ili için $\sim 30^\circ$) fotovoltaik sistem ile çift eksenli takip sistemli 1kWp fotovoltaik sistemin karşılaştırması Şekil 103'de gösterilmiştir. şekilde görüldüğü üzere mavi çizgi optimum açılı sabit sistemi kırmızı çizgi ise çift eksenli takip sisteminin net enerji üretim eğrisidir. Kırmızı çizgi ile mavi çizgi arasında kalan alan çift eksenli takip sistemi kullanıldığında elde edeceğimiz toplam kazançtır.

Çizelge 10. Aktuatörlerin Adım Sayısına Göre Enerji Tüketimi

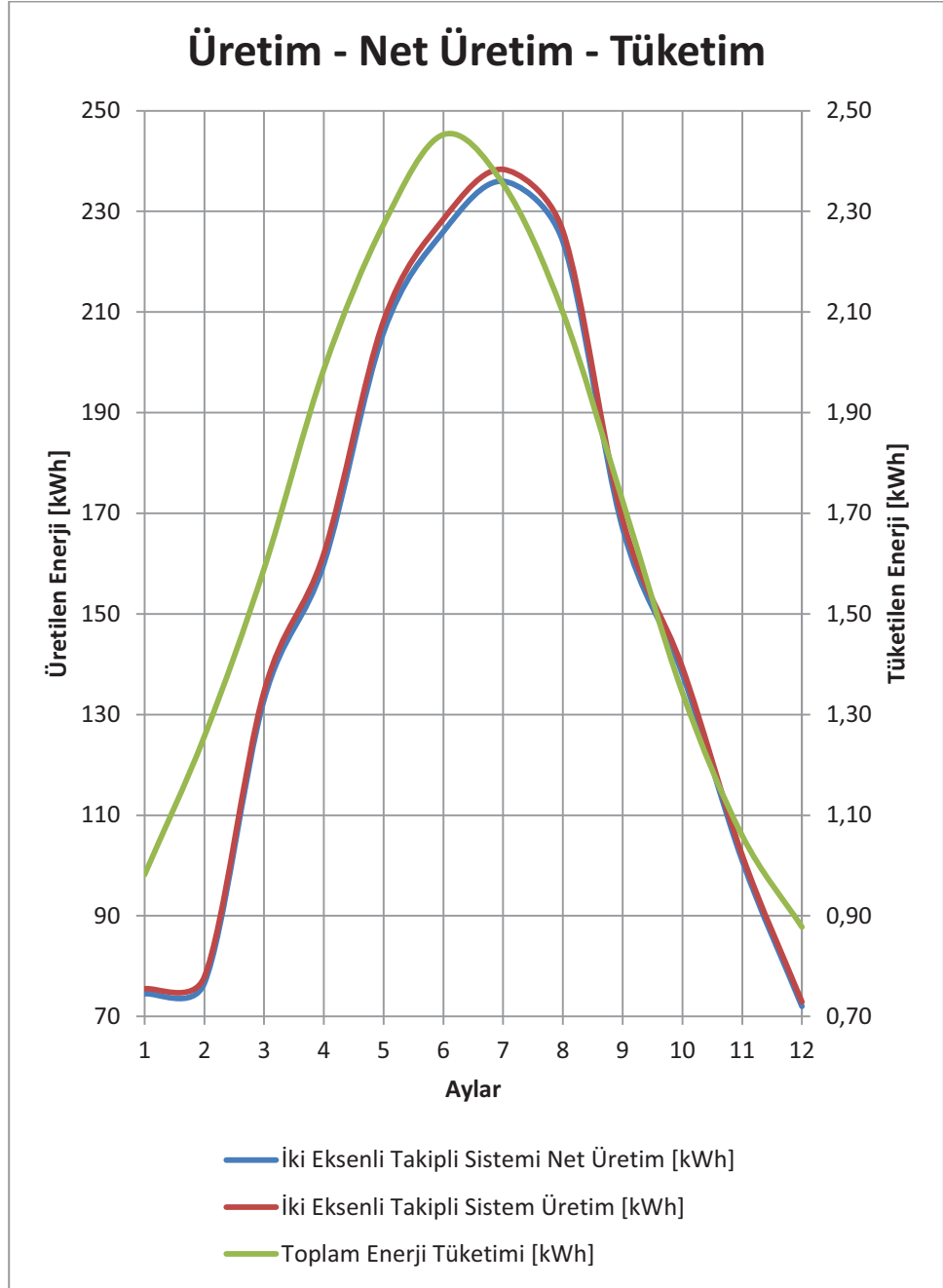
	<i>Lineer Aktuatör</i>	<i>Sonsuz Dişili Red</i>
	$\Delta\theta_{SR-SS}$	$\Delta\gamma_{SR-SS}$
Motor Gücü [kW]	0,96	0,95
Bir Adımın Taradığı Açısal Alan [derece]	10	20
Toplam Yıldaki Adım Sayısı	3700	3346
Bir Adımın Hareket Süresi [sn]	18	2,5
Toplam Yıldaki Hareket Süresi [saat]	18,50	2,3
Bir Adımda Harcanan Enerji [Wh]	4,8	0,7
Toplam Yılda Tüketilen Enerji [kWh]	17,8	2,2
Toplam Yıllık Enerji Tüketimi [kWh-yıl]	20	
Günlük Ortalama Tüketim [Wh]	55	

Çizelge 10’da güneş takip sisteminde kullanılan aktuatörlerin motor güçleri ve enerji tüketimleri ile ilgili bazı bilgiler verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi sistemin toplam enerji tüketimi 20kWh’tir ve ortalama günlük enerji tüketimi de 55Wh’dır. Tabloda özetlendiği gibi lineer aktuatör sonsuz dişli redüktörlü aktuatöre göre daha fazla enerji tüketmektedir(Şekil 104). Bunun nedeni gün içerisinde mekanizma gereği daha sonsuz dişli redüktörlü aktuatöre göre daha fazla hareket etmesidir.



Şekil 104. Aktuatörlerin Aylara Göre Enerji Tüketimi

Aktuatörler kurgulanan hareket sistematğine göre gün uzunluğuna bağlı olarak tükettikleri enerjide değişim göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi en uzun gün 21 haziran’da iki aktuatörde de tüketim fazla olmaktadır.

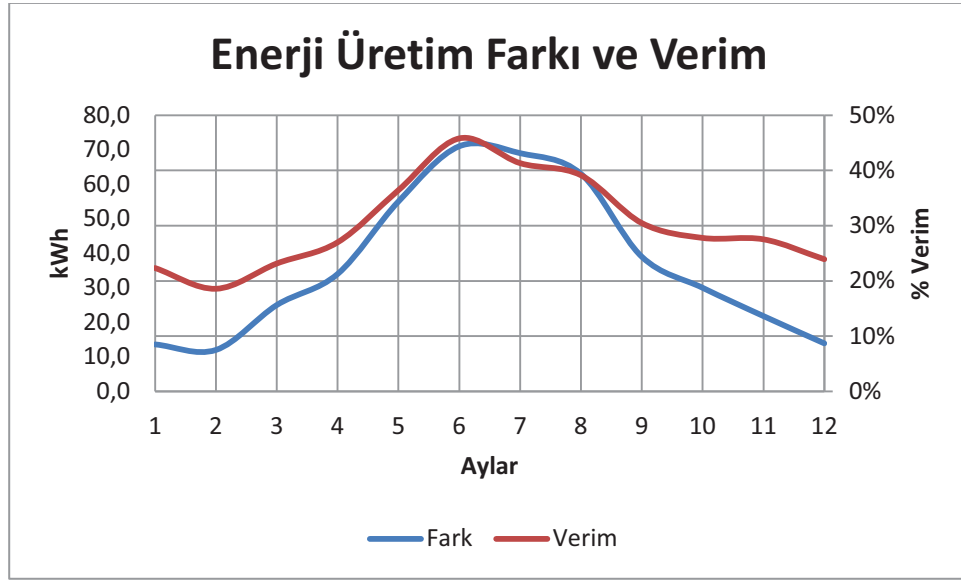


Şekil 105. İki Eksenli Takip Sisteminin Ürettiği Enerji, Net Ürettiği Enerji Ve Hareketi Esnasında Tükettiği Enerji

Şekil 105’de iki eksenli takip sisteminin net ve ham enerji üretim değerlerinin aylara göre değişimi ile iki eksenli takip sisteminin enerji tüketim eğrisi verilmiştir. Net üretim değeri, üretilen ham enerji değerinden, enerji üretmek için takip sisteminde bulunan aktuatörlerin tükettiği enerji değerinin çıkartılmış halidir. Sabit sistemde ham ve net üretim gibi bir ayrışma yoktur. Sabit fotovoltaik sistemlerde de enerji tüketimi

mevcuttur fakat takip sistemlerinde olduğu gibi kayda değer değerler olmadığı için literatürde sözü geçmemektedir.

Şekil 105’de görüldüğü gibi tüketim grafiği ile üretim grafiği yıl içerisinde aynı eğilimi göstermemektedir. Bunun nedeni tüketim değerleri gün uzunluğuna bağlı olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında üretim değerleri yeryüzü üstüne düşen ışının değerlerine göre oluşturulmuştur (PVGIS 2011). En uzun gün (21 Haziran)’da yeryüzüne daha uzun süre gün ışığı düşmektedir fakat Temmuz ayında ışınım değerleri maksimuma ulaşmaktadır.



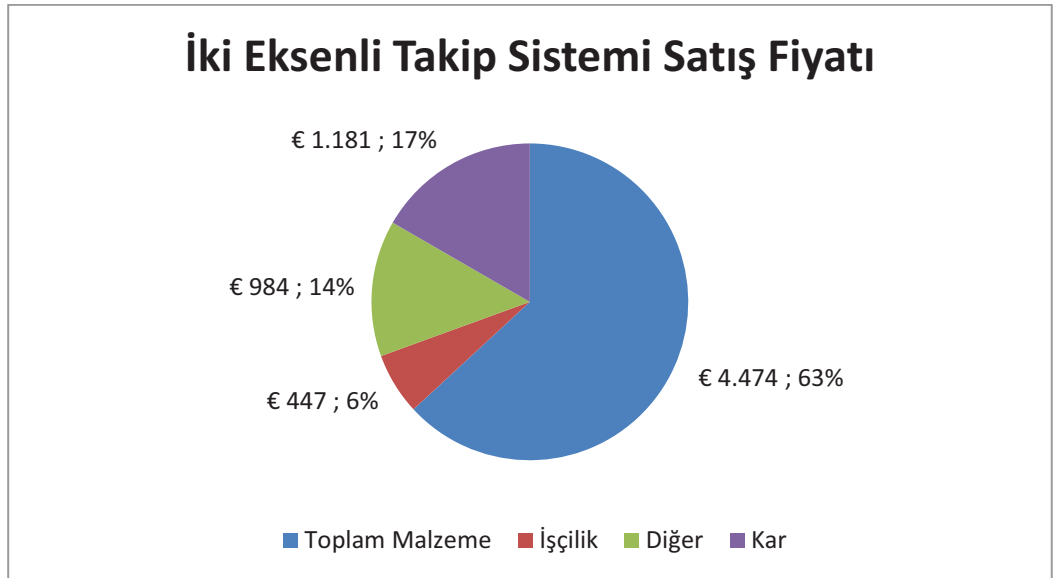
Şekil 106. Sabit Optimum Açılı Fotovoltaik Sisteme Göre İki Eksenli Takipli Fotovoltaik Sistemin Enerji Üretim Farkı Ve İki Eksenli Takip Sisteminin Verimi

Şekil 106’de iki eksenli takip sisteminin net üretim değerlerine göre sabit optimum açılı fotovoltaik sisteme göre net üretim farkı ve veriminin aylara göre değişimini gösterilmektedir. Haziran ayında net üretim farkı maksimum değerlere ulaşmaktadır. Şekil 105’de enerji üretim değerlerinin temmuz ayında maksimum değerlere ulaştığı görülmüştü. Bu farklılığın nedeni güneş takip sistemi haziran aylarında günlerin uzunluğundanda faydalanarak sabit sistem ile arasındaki net üretim farkı açılmıştır, temmuz ayına gelindiğinde ise ışıma değerleri maksimuma ulaştığı için sabit sistem ile arasındaki üretim farkı azalmıştır.

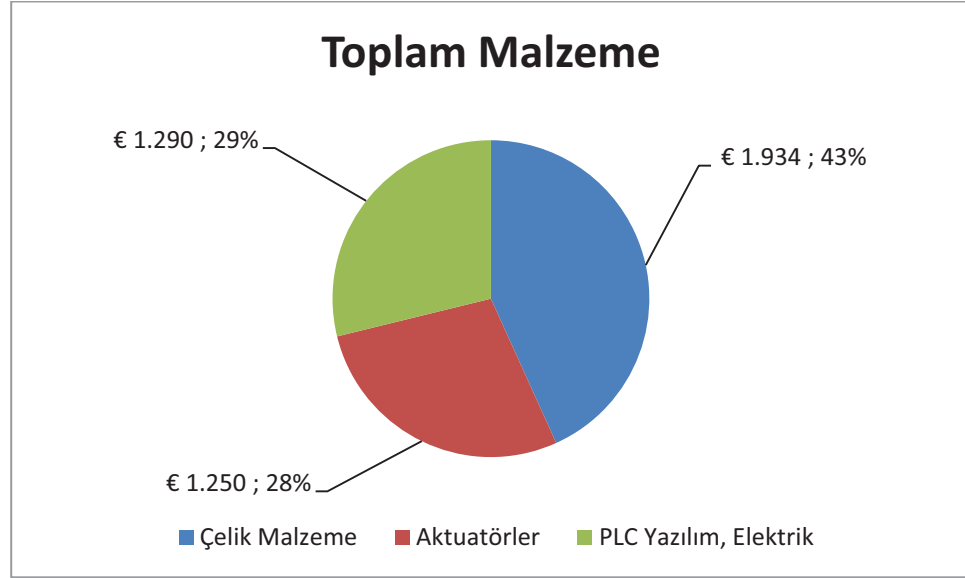
5. SONUÇ

Bir önceki bölümde tasarlanan güneş takip sisteminin enerji üretim eğrileri 1kWp için verilmiştir. Tasarlanan güneş takip sisteminin toplam kurulu gücü 15 kWp'dir. Sistemin toplam yıllık net ürettiği enerji 1 814 kWh/kW_p 'dir. Sistemimizin sabit eksenliye göre kazancı yıllık 447,3kWh/kW_p'dir. 15kWp kurulu güçteki sistemin sabit sisteme göre toplam yıllık kazancı 6709,5kWh/yıl'dır.

29.12.2010 tarihli yenilenebilir enerji yasasına göre (Bknz 6094 nolu kanun) güneş enerjisi elektriği satış fiyatı 0,133\$/kWh'dir. Ayrıca kanunda yeri geçen bir diğer konuda enerji üretiminde kullanılan ekipmanların yerli üretimin olması koşuluyla enerji satış fiyatına yerli katkı ilavesi de gelmektedir. Fotovoltaik güneş takip sistemlerinin yerli üretim olarak kullanılırsa enerji satış fiyatına 0,008\$/kWh ilave gelmektedir. Yani sonuç olarak tasarladığımız takip sistemini yerli olarak üretirsek enerji satış fiyatımız toplam 0,141\$/kWh olacaktır.



Şekil 107. İki Eksenli Takip Sisteminin Satış Fiyatının Pasta Grafiği



Şekil 108. İki Eksen Takip Sisteminin Toplam Malzeme Maliyetinin Kırılımı

Şekil 107’de takip sisteminin satış fiyatının fiyat kırımı verilmiştir. Takip sisteminin satış fiyatı %20 kar oranıyla €7 087 olarak hesaplanmıştır. Takip Sistemi maliyet hesabı yapılırken çelik birim maliyeti 0,58€/kg olarak alınmış ve Euro / Dolar paritesi 1,36 kabul edilmiştir.

Çizelge 11. Yatırım Geri Dönüş Özet Tablo

	İki Eksenli Takipli FV Sistemi	Sabit FV Sistem
Toplam Kurulu Güç	15 <i>kWp</i>	
Net Enerji Üretimi	27 211,5 <i>kWh/yıl</i>	20 502 <i>kWh/yıl</i>
Enerji Birim Satış Fiyatı	0,104 <i>€/kWh</i>	
Modül Birim Fiyatı	1,04 <i>€/W</i>	
Montaj Sistemi Birim Fiyat	0,5 <i>€/W</i>	0,4 <i>€/W</i>
Toplam Modül Yatırımı	€ 15 600	
Montaj Sistemi Yatırımı	€ 7 087	€ 6.000
Toplam Yatırım	€ 22 687	€ 21 600
Yıllık Toplam Enerji Satışı	2 821,2 <i>€/yıl</i>	2 125,6 <i>€/yıl</i>
Yatırım Geri Dönüş	8,04 <i>yıl</i>	10,2 <i>yıl</i>

Çizelge 11’de iki eksenli güneş takip sistemi ile sabit sistemin yatırım geri dönüş sürelerinin karşılaştırılmasını ve hesaplanan değerleri görebiliyoruz. Değerlere göre güneş takip sistemi yatırım geri dönüş süresini kısaltan bir faktördür. Tablodaki montaj

sistemi birim fiyatlarına modül dışındaki tüm ekipmanlar (BOS – Balance of System) dahildir. Modül birim fiyatı SolarBuzz sitesinden alınmıştır. (<http://solarbuzz.com/facts-and-figures/retail-price-environment/module-prices>, 27.09.2011)

Güneş takip sistemi üzerine çalışırken en büyük ihtiyaçlardan birisinin yüksek çevrim oranlı ve düşük maliyetli redüktör ihtiyacı olduğu görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda bu konu üzerine çalışılabilir.

Ürün incelemeleri esnasında karşılaşılan sonuçlardan birisi de güneş takip sisteminin konstrüksiyon yapısının enerji tüketimine etkisidir. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi üç tip konstrüktif yapı bulunmaktadır (Tek kolonlu, V ve Paralel). Bazı istisnai takip sistemleri bu sınıflandırmanın dışında kalmıştır. V tip konstrüksiyon her zaman tek kolonu tiplere göre daha fazla enerji tüketmektedir. Bunun en büyük nedeni daha önceki bölümlere açıklandığı gibi neredeyse tüm konstrüksiyonun döndürülmeye çalışılmasıydı. Bunun yanında V tip konstrüksiyonlar daha büyük panel yüzeyi ve daha robust bir yapı sunmaktadırlar, tercih sebebidirler. V tip konstrüksiyonun hafifletilmesi ve ucuz konstrüksiyon üzerine çalışılabilir.

KAYNAKÇA

- Akyol, Ş., Kılıç, M., 2010.,** Güneş Pili Çeşitlerinin Enerji Üretimi Ve Ekonomik Açıdan Karşılaştırılması. VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'10, 1.12.2010, Atatürk Kongre ve Kültür Merkezi – Merinos, Bursa.
- Akyol, Ş., Kılıç, M., 2010.,** Alternatif Enerjili Araçların Enerji Sistemlerinin Tasarımı. VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'10, 1.12.2010, Atatürk Kongre ve Kültür Merkezi – Merinos, Bursa.
- Altın, V. 2004.,** Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi, *Mimar ve Mühendis Dergisi*, 33: 28-31
- Alexandru, C., Pozna, C., 2009.,** The optimization of the tracking mechanism used for a group of PV panels. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09), 15 -17.04.2009, İspanya, Valencia.
- Anonim, 2004.,** Clean Energy Project Analysis Course Presentation. RETScreen International, Canada.
- Anonim, 2008.,** Yerel saat hesaplamaları. www.frmtr.com/cografya/2645073-yerel-saat-hesaplamalari.html - (12.05.2010)
- Anonim, 2011.,** Güneş. <http://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F> - (27.09.2011)
- Anonim, 2011.,** Güneş Enerjisi. http://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F_enerjisi - (20.09.2011)
- Anonim, 2011.,** What does energy payback time mean?. http://wiki.answers.com/Q/What_does_energy_payback_time_mean - (15.09.2011)
- Appleyard, D., 2009.,** Solar Trackers: Facing the Sun, <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/06/solar-trackers-facing-the-sun> – (15.07.2011)
- Atagündüz, G., 1989.,** Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 372s.
- Catarius, A., Christiner, M., 2010.,** Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracker. Lisans Tezi, W.P.I, Engineering, Massachusetts – ABD.
- Çalıkoglu, S., Özdemir, E., 2010.,** Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemleri. VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'10, 1.12.2010, Atatürk Kongre ve Kültür Merkezi – Merinos, Bursa.

- Diaconescu, D., Visa, I., Burduhos, B., Saulescu, R., 2008.**, On the Dependence between the Step Orientation and the Received Direct Solar Radiation of a PV Panel. Part II: The Step Pseudo-Equatorial Orientation. International Conference On Renewable Energies And Power Quality (ICREPQ'8), 12-14.03.2008, Galicia's Conference and Exhibition Centre, Spain, Santiago
- Huld, T., 2006.**, Performance of single-axis tracking photovoltaic systems in Europe. European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italy
- İbrahim, D., 2006.**, Güneş Enerjisi Uygulamaları. Bileşim Yayınevi, İstanbul, 178s.
- Kvasznicza, Z., Elmer, G., 2006.**, Optimising Solar Tracking Systems for Solar Cells. 4 th Serbian-Hungarian Joint Symposium on Intelligent Systems. Serbia, Subotica.
- Kho, J., 2009.**, PV Tracking Applications Gather Momentum. Renewable Energy World, <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/03/pv-tracking-applications-gather-momentum> – (20.03.2010)
- Lindberg, V., Mäki, J. 2010.**, SKF Dual Axis Solar Tracker - From Concept To Product. Y. Lisans Tezi, C.U.T, Gothenburg, Sweden.
- Perpiñan, O., Lorenzo, E., Castro, M., Eyras, R., 2008.**, Energy Payback Time of Grid Connected PV Systems: comparison between tracking and fixed systems. ISOFOTON S.A., Madrid, Spain.
- Roth, P., Georgiev, A., Boudinov, H., 2005.**, Cheap two-axis sun follwing device. *Energy Conversion and Management*. 46: 1179-92.
- Şenpınar, A., 2006.**, Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi (DAUM)*, 4(2): 36-41.
- Trojek, S., 2008.**, Tracking systems: higher output, higher investment costs. *Sun & Wind Energy*, 2008(4):136-147.
- Visa, I., Diaconescu, D., Popa, V., 2008.**, On the Dependence between the Step Orientation and the Received Direct Solar Radiation of a PV Panel Part I: The Step Azimuthal Orientation. International Conference On Renewable Energies And Power Quality (ICREPQ'8), 12-14.03.2008, Galicia's Conference and Exhibition Centre, Spain, Santiago
- Wild-Scholten, M., 2009.**, Energy payback times of PV modules and systems. 6. Workshop Photovoltaik-Modultechnik, 26-27 November 2009, Almany, Köln.

Wang, K., 2008., Design, Installation, And Solar Energy Efficiency Assessment Using A Dual-Axis Tracker. Y.Lisans Tezi, F.S.U., Famu-Fsu College Of Engineering, Florida, ABD.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ercan MASTAR

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 05.07.1983

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ayvalık Lisesi - 2001

Lisans : Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

Makina Mühendisliği - 2007

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Coşkunöz Metal Form (2006 – 2011)

İletişim (e-posta) : ercanmastar@gmail.com