

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI (DİSİPLİNLERARASI)
ANA BİLİM DALI**



TEZ BAŞLIĞI

**TÜRKİYE VE AFGANİSTAN'DA YOĞUNLAŞTIRICI GÜNEŞ
GÜÇ KULELERİ İÇİN HELİOSTAT TASARIMI VE
HESAPLAMALARI**

Yüksek Lisans Tezi

Ali Joma NAZARİ

Danışman

Prpf. Dr. Recep TAPRAMAZ

SAMSUN
2021

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans/doktora/sanatta yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

İmza
... / ... / 20...
Ali Joma NAZARİ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : Türkiye ve Afganistanda Yoğunlaştırıcı Güneş Güç Kuleleri İçin Heliostat Tasarımı ve Hesaplamaları

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 19.01.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 8

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

İmza
20 /01/ 2021
Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ

ÖZET

TÜRKİYE VE AFGANİSTAN'DA YOĞUNLAŞTIRICI GÜNEŞ GÜÇ KULELERİ İÇİN HELİOSTAT TASARIMI VE HESAPLAMALARI

Ali Joma NAZARİ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANA BİLİM DALI

Yüksek Lisans, Ocak/2021

Danışman: Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ

Artan nüfusa, gelişmişliğe ve endüstriye paralel olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Enerji ihtiyacı esas olarak yenilenebilir olmayan ve çevre kirliliğine neden olan kömür ve petrol gibi enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Buna ek olarak fosil enerji kaynakları kullandıkça tükenmekte ve yerine konulamamaktadır. Bunun yerine, enerji ihtiyacı birkaç nedenden ötürü sürdürülebilir ve yenilenebilir olan Güneş gücünden karşılanabilir. Güneş enerjisi gelecekte yeterli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Öncelikle temiz enerjidir ve tabiat için kesinlikle zararlı değildir; dolayısıyla fosil yakıtlardan kaynaklanan küresel ısınma sorunu için akılcı bir çözümdür. Bir diğer neden, enerji ihtiyacının büyük kısmını dışarıdan karşılayan Afganistan için uygun bir çözümdür.

Güneş enerjisinden yararlanmak için birkaç teknik vardır; bunlardan önemli birisi olan fotovoltaik Güneş panelleri kısmen ucuzdur, kullanıma hazırdır ve kolay kurulabilir, ne var ki fotovoltaik paneller sadece Güneş varken elektrik üretir. Diğer bir teknik, yoğunlaştırıcı Güneş güç kulesi (CSP) teknolojisidir: Bu sistem gündüz vakti elektrik enerjisi üretir, enerjinin bir kısmını ısı deposu olarak depolar, Güneş battıktan sonra da bir süre elektrik üretmeye devam eder. CSP sistemi bilinen ve ucuz malzemeler kullanılarak bilinen mühendisliklerle yapılabilir. Kesinlikle çevre kirlenmesine neden olmaz.

Afganistanın özellikle Güney bölgesi Güneş kuşağının içinde olduğundan CSP sisteminden enerji üretmek üzere yararlanmak için son derece uygundur. Bunun ötesinde, bu tesislerin çoğu ülkenin kendi imkanlarıyla yapılabilecek özelliktedir. Bunun yanında Afganistan ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük kısmını başka ülkelerden ithal etmektedir. CSP sistemini gerçekleştirmeden önce yapılacak arazi seçimi ve fizibilitesinin yapılması, uygun ve özel bir modelin belirlenmesi gereklidir. Başlama noktası toplayıcı aynaların ve kule yüksekliğinin, teknik ismiyle *heliostatın* tasarlanması olacaktır. Bu çalışmada seçilen araziye uygun *heliostat* yerleşimini değişik giriş parametreleriyle bağlı hesaplayan basit ve uygun bir algoritma ve buna dayalı bir yazılım geliştirmeyi amaçladık. Bu algoritma ile Güneş izleyici mekanizma için anlık yönelim verisi de üretmektedir

Anahtar Sözcükler: Güneş enerjisi, yoğunlaştırıcı, kule, CSP, *heliostat*

ABSTRACT

HELIOSTAT DESIGN AND CALCULATIONS FOR CONCENTRATING SOLAR POWER TOWERS IN TURKEY AND AFGANİSTAN

Ali Joma NAZARİ

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Renewable Energy and Applications

Master, Ocak/2021

Supervisor: Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ

Energy need is not negligible because population and advancement in industry increases. Needed energy is produced from non-renewable sources like coal and oil which causes air and environmental pollution. More than that they cannot be put back after consumption. On the other hand, energy can be produced from sustainable and renewable source of solar energy which. Solar energy is favorable and promising renewable energy resource because of several reasons. First of all, it is clean, sustainable and is not produce hazardous wastes for nature, and one of the reasonable solutions for excess greenhouse gases due to air pollution and as a result prevents global warming seriously arising mainly from fossil fuels. The next reason, which is equivalently important is a plausible solution for Turkey importing large amount of energy from other countries.

There are several ways of utilizing solar energy. One is photovoltaic Solar panels, which is utilized mainly all over World. It is also cheap, easily installable and “ready to use”. One of the disadvantage is that it produces electric energy during daytime. The other alternative is concentrating solar power (CSP) technology. It produces electric energy during daytime and stores some energy to produce after sunset or cloudy time, and it can be built up using well known and cheap materials and known engineering. It can never cause environmental pollution.

Afganistan and mainly the southern region, is in sunny belt and is capable of utilizing CSP as alternative energy supply system. Moreover, most of these facilities can be constructed by the countries themselves using simple and cheap materials. Moreover Afganistan is in need of electric energy and imports large amount from other countries. Before starting realization, of course field and feasibility of system on suitable and proper model is necessary. The starting point is the design of collecting mirrors and tower height, or with the well-known term *heliostat*. In this work we developed a simple and versatile algorithm and software to determine optimum heliostat placement in a chosen field working with different input parameters. The algorithm also calculates necessary data for instantaneous Solar tracking mechanism.

Keywords: Solar Energy, concentrate, tower, CSP, *heliostat*

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalındaki yüksek lisans tez çalışmalarında bilgi ve deneyimlerini bizlerle paylaşan Anabilim Dalı başkanımız ve çalışmanın her aşamasında kendisinden çok şey öğrendiğimiz yardımlarını ve bilimsel tecrübelerini bizlerden esirgemeyen , bana yol gösteren, beni aydınlatan, çalışmalarım sırasında her türlü imkanı sağlayan ve öğrencisi olmaktan büyük onur duyduğum danışmanım Sayın Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ 'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan ailem'e içten dileklerle teşekkür ederim.

Ali Joma NAZARİ

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----------|
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. İç kaynaklar ve Teknolojiler..... | 2 |
| 1.1.1 Hidroelektrik Enerji Santralleri, (HES)..... | 2 |
| 1.1.2 Rüzgâr Enerji Santralleri, (RES)..... | 3 |
| 1.1.3 Fotovoltaik Güneş Pilleri (FV Piller)..... | 4 |
| 1.1.4 Yoğunlaştırıcı Güneş Güç Sistemleri, (CSP)..... | 7 |
| 1.1.5 Güneş Isı Bacaları – Termal Çeker Kuleler | 11 |
| 1.1.6 Gel-Git ve Okyanus Dalgaları..... | 12 |
| 1.1.7 Kozmik Enerji Kaynakları | 12 |
| 1.2. İç kaynaklar | 13 |
| 1.2.1. Jeotermal Enerji Kaynakları (JES)..... | 13 |
| 1.2.2. Hidrojen Enerjisi | 13 |
| 1.2.3. Biyokütle Enerjisi..... | 14 |
| 2. KURAMSAL TEMELLER | 15 |
| 2.1. <i>Heliostat</i> Tasarımı İçin Gerekli Bilgiler..... | 16 |
| 2.1.1. Yıl Günü (Day of Year - n)..... | 18 |
| 2.1.2. Saat Açısı (Hour Angle - ω)..... | 18 |
| 2.1.3. Dünyanın Eğimi (Deklinasyon - δ) | 18 |
| 2.1.1. Güneşin Radyasyon Gücü, Güneşlenme (Insolasyon – P) | 19 |
| 2.1.2. Hava Kütlesi (Air Mass - AM n) | 19 |
| 2.1.3. Güneş İrtifa Açısı (Solar Altitude Angle - α)..... | 20 |
| 2.1.4. Güneş Ufuk (Azimut) Açısı - ϕA | 21 |
| 2.1.5. Güneşin Doğma ve batma Saatleri | 22 |
| 2.2. Literatür Taraması | 23 |
| 3. ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA | 33 |
| 3.1. <i>Heliostat</i> Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar | 33 |
| 3.2. <i>Heliostat</i> Tasarımı ve Modelleme | 33 |
| 3.3. Aynaların Normal Açılıarı..... | 35 |
| 3.4. <i>Heliostat</i> Aynalarının Yerleşimi: Fresnel Ayna Dizlimi | 38 |
| 3.5. <i>Heliostat</i> Halkasında Aynaların Mesafeleri (Tercihli) | 41 |
| 3.6. Aynaların Topladığı Toplam Güç | 42 |
| 4. HESAPLAMALAR VE TARTIŞMA | 45 |
| 4.1. Güç Hesaplamalarında Esas Alınan Kriterler..... | 45 |
| 4.1.1. Ayna Sayısı Hesaplama Örnekleri | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.2. <i>Heliostatın</i> Güç ve Enerji Hesaplama Örnekleri | 46 |
| 4.2. Değerlendirme | 53 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER | 55 |
| 6. EKLER | 56 |
| 7. EK-A | 56 |
| EK-B | 59 |
| 8. KAYNAKLAR | 60 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| V | Gerilim |
| J | Joule |
| θ | Zenit açısı |
| \emptyset | Azimet açısı |
| ω | Saat açısı |
| δ | Dünyanın Eğimi |
| P | Güneşin radyasyon gücü |
| α | Güneş irtifa açısı |
| MÖ | Milattan önce |
| IEA | Uluslararası enerji ajansı |
| GJ | Giga Joule |
| ABD | Amerika Birleşik Devletleri |
| MTEP | Milyon ton petrol eşdeğeri |
| AM | Hava kütlesi |
| FV | Fotovoltaik Güneş Pilleri |
| RES | Rüzgâr Enerji Santralleri |
| HES | Hidroelektrik Enerji Santralleri |
| JES | Jeotermal Enerji Kaynakları |
| MW | Mega Watt |
| CSP | Yoğunlaştırıcı Güneş güç sistemleri |
| GW | Giga Watt |
| UV | Ültraviyole |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1. Keban hidroelektrik santralının görünüşü ve enerji üretiminin temel elemanları..... | 3 |
| Şekil 1.2. Bir rüzgâr türbininin temel elemanları ve bir rüzgâr enerji tarlası örneği. ... | 4 |
| Şekil 1.3. Bir FV Güneş pilinin enerji diyagramı ve modüllerden oluşan bir panel.... | 5 |
| Şekil 1.4. Bir FV panel sisteminin (veya GES) şebekeye başlanması, ya da mevcut elektrik cihazlarını kullanılabilmesi için gerekli eklentiler..... | 7 |
| Şekil 1.5. Bir CSP sisteminin yapısı. Gerçekte alıcı burada verilen örnek dışında uygun ve farkı maddeler olabilir. Çalışma sıcaklık aralığı da bu maddeye bağlı değişebilir. | 8 |
| Şekil 1.6. Bir CSP sistemin bir günlük enerji değişimi. Gündüz Güneşten alınan enerjinin bir kısmı depolanarak gece de üretim devam eder. Gece üretim süresi deponun kapasitesine bağlıdır. | 9 |
| Şekil 1.7. Bir Güneş ısı bacasının örnek modeli ve çalışmasının gösterimi. | 12 |
| Şekil 2.1. 21 Haziran ve 21 Aralık tarihlerinde Dünyanın Güneşe göre eğiminin gösterimi ve Kuzey yarımkürede bulunan bir konumun aldığı Güneş radyasyonunun gösterimi..... | 16 |
| Şekil 2.2. Yaz gündönümü 21 Haziran, bahar ve güz ekinoksları olan 21 Mart ile 21 Eylül ve kış gündönümü olan 21 Aralık tarihlerinde Güneşin Kuzey yarımkürede Dünya üzerindeki bir gözlemciye, ya da <i>heliostata</i> göre bir günde izlediği güzergahın gösterimleri. Burada maksimum ve minimum durumlar ile gündönümü olan gece ve gündüzün eşit olduğu tarihler gösterilmiştir. Bunun dışındaki tarihlerde Güneş bu sınırlar arasında değişen güzergahları izler..... | 17 |
| Şekil 2.3. <i>Heliostat</i> yerleşiminin yapıldığı koordinat sistemleri: Kartezyen ve küresel sistemler. | 17 |
| Şekil 2.4. Dünyanın dönme ekseninin eğimi nedeniyle bir yıl boyunca sapmasının (declination) değişimi. Bir yıl boyunca her gün aynı saatlerde sabit kamera ile Güneşin konumu kaydedildiği zaman ortaya ilginç görünümlü günsekizi (analemma) çıkmaktadır. Şekilde günün kuşluk, öğlen ve ikindi vakitlerinde sabit kamera ile alınan görüntüler temsili olarak verilmiştir. | 20 |
| Şekil 2.5. Dünyaya gelen ortalama güneş radyasyonunun yıl boyunca değişimi. | 21 |
| Şekil 2.6. Yılın belirli günlerinde Güneş irtifa açısının bir gün boyunca değişimi. Diğer aylar olan Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında değişim karşılıklı aylarla aynıdır..... | 22 |
| Şekil 2.7. Yılın belirli günlerinde Güneş azimut açısının bir gün boyunca değişimi. Kış gündönümü 21 Aralık ile yaz gündönümü olan 21 Haziran arasındaki aylar Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs'tır. Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında değişim karşılıklı aylarla aynıdır. İki kenardaki gölgeli bölgeler Güneşin doğma zamanlarını temsil etmektedir. | 23 |
| Şekil 2.8. Kuzey yarımkürede Türkiye'de Gündoğum ve Günbatım saatlerinin bir yıl boyunca (günlere bağlı) değişimi..... | 24 |
| Şekil 3.1. Bir toplayıcı Güneş kule sisteminde temel değişkenlerin gösterimi. Aynalar sadelik için gösterilmemiştir. | 34 |
| Şekil 3.2. Güneş radyasyonunun aynaların yönelimlerine bağlı yansıttığı radyasyon miktarları ile bir aynanın normali ve normal açılarının gösterimi. | 36 |
| Şekil 3.3. Toplayıcı aynaların normallerinin Güneşin irtifa ve azimut açıları ile yerel koordinatın f açısına bağlı fonksiyonlarını bulmak için kullanılan model. | 37 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.4. Ayna normalinin bazı β açıları için yerel azimut açısına göre değişimlerine örnekler. | 38 |
| Şekil 3.5. Ayna normalinin zenit açısının Güneşin bazı irtifa ve azimut açıları için yerel azimut açısına göre değişimlerine örnekler..... | 39 |
| Şekil 3.6. Bir <i>heliostatta</i> aynaların yerleşimini gösterimi ve değişkenler. | 40 |
| Şekil 3.7. Bir <i>heliostat</i> halkasında yan yana dizilen aynaların aralarındaki mesafenin yerleşimini gösterimi..... | 42 |
| | |
| Şekil 4.1. Bazı örnek helyostat tasarımları. Tüm tasarımlar, kuzey yarım kürede (Afganistan'nın herhangi bir yerinde) 34o 35' enlem ve 690 2' rakımda 400 m x 400 m alanlar için yapılmıştır. Kule yüksekliği 64 m'dir. A) kule güney kenarından 180 m, B) kule güney ucunda ve bir kısmı silinmiş, C) kule tarla merkezinde ve D) kule tarla merkezinde ve tarla 14o güneye bakacak şekilde eğimli. Eğik alandaki heliostat, ideal Fresnel aynaya yakındır. | 45 |
| Şekil 4.2. (A) Aynı coğrafi konumda (Karapınar, K: 37 ° 43'; D: 33° 32') farklı iki kule yüksekliği için yapılan hesaplama. (B) Kule yüksekliği ve diğer parametreler sabit tutularak farklı iki enlem dairesi için yapılan hesaplama verilmiştir. Bazı örnek heliostat tasarımları. | 47 |
| Şekil 4.3. Türkiye'de farklı bölgelerde aylara göre Güneşten gelen, aynaların yansıttığı güçlerin değişimleri. Kıyaslama için aynı yüzey alanına sahip olan sabit yönelimli fotovoltaik panelin aldığı Güneş gücü de verilmiştir. Hesaplamalarda 400 mx 400 m boyutlu arazi ile 64 m yükseklikteki kule esas alınmıştır. Bölgeler ve coğrafi konumlar ilgili değişim üzerinde verilmiştir. Hesaplama her ayın 21'nci günü için yapılmıştır, (gerçekte gün dönümlerinin olduğu gün)..... | 48 |
| Şekil 4.4. Türkiye'de farklı bölgelerde aylara göre Güneşten gelen, aynaların bir günde topladığı enerjinin değişimleri. Kıyaslama için aynı yüzey alanına sahip olan sabit yönelimli fotovoltaik panelin aldığı Güneş gücü de verilmiştir. Hesaplamalarda 400 mx 400 m boyutlu arazi ile 64 m yükseklikteki kule esas alınmıştır. Bölgeler ve coğrafi konumlar ilgili değişim üzerinde verilmiştir. Hesaplama her ayın 21'nci günü için yapılmıştır, (gerçekte gün dönümlerinin olduğu gün)..... | 49 |

TABLolar DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Tablo 2. 1. Parabolik oluklu yoğunlaştırıcı sistemlerinin bazılarının kuruluş yılları ve temel özellikleri..... | 25 |
| Tablo 2. 2. Yoğunlaştırıcı Güneş kule (merkezi toplayıcı) sistemlerinin bazılarının kuruluş yılları ve temel özellikleri. (D. buhar: aşırı sıcak doymuş su buharı)..... | 25 |
| Tablo 2. 3. Dünyada 2000 yılından sonra yapılan ve yapılmakta olan yoğunlaştırıcı Güneş güç santrallerinden bazıları | 26 |
| Tablo 3. 1. Güneş kulesi sisteminin tasarım ve hesaplamasında kullanılan değişkenler. | 35 |

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklar, oldukça uzun bir gelecekte tükenmeden kalabilen, kullanıldığında yerine yenisi kısa sürede konulabilen çevreci ve temiz enerji kaynakları olarak bilinmektedir. Son yıllarda yaşanan küresel ısınma ve çevre kirliliğindeki artış, birçok ülkeyi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya sevk etmiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, hidrojen enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisidir. Bu kaynakların kullanımı, enerjinin üretimi ve dönüştürülmesi sırasında yenilenemez enerji kaynaklarına göre çok az çevresel sorunlara sebep olması nedeniyle kullanımı otoriteler tarafından teşvik edilmekte ve her geçen gün bu alandaki yatırımlar artmaktadır. Bu konuda hükümetler ciddi teşvikler sağlamaktadırlar.

Dünyada halihazırda kullanılan enerji kaynağı fosil enerji kaynakları olarak bilinen petrol, kömür ve doğal gazdır, ancak her üç kaynak da atmosfere sera gazları ve zararlı partiküller yaymakta, çevreyi kirletmektedir. Milyonlarca yıl önce toprak altına gömülen bu maddelerin birincil enerji kaynakları olarak kullanılmalari bir bakıma Dünyayı milyonlarca yıl önceki haline geri döndürme olarak da değerlendirilebilir be bunun tam olarak durdurulamasa bile minimuma indirilmesi gerekir. Bu yolla eksik olan enerji yenilenebilir kaynaklarla telafi edilmelidir ve edilebilir.

Yenilenebilir enerjinin iki temel kaynağı vardır: Dünya dışı olan Güneş enerjisi ve diğer kozmik enerjiler ve iç kaynak olan jeotermal enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların özellikler ile artıları ve eksileri aşağıda ilgili başlıklar altında ele alınmıştır.

Dünyanın temel enerji kaynağı Güneştir. Sıcaklık, rüzgâr, yağmur, canlı hayatının sürekliliğinin temelinde bu enerji vardır. Güneşten Dünyanın Güneş gören yüzeyine atmosferde soğrulduktan sonra yaklaşık 17500 TW güç gelmektedir ve birim yüzey alanına 1370 W/m² güç düşmektedir. Ortalama olan bu güç Dünyanın kutuplarına doğru azalırken Ekvatora yakın bölgelerde bu değere yaklaşıktır. Rüzgâr ve su gibi diğer dolaylı kaynaklar yanında doğrudan ısı ve ışık olan sadece bu gücün bile uygun teknolojilerle değerlendirilmesi enerji ihtiyacının neredeyse tamamını

karşılama yeterli temiz kaynaktır. Bu teknolojilerin tesisinin yapılacağı tarıma elverişsiz, çorak ve çöl nitelikli yeteri kadar alan vardır.

Halihazırda yenilenebilir enerjinin büyük kısmı hidroelektrik enerji santralleriyle (HES), son birkaç on yıldan bu yana fotovoltaik (FV) Güneş enerji santrallerinden (GES) ve rüzgâr enerji santrallerinden (RES) karşılanmaktadır. Öte yanda özellikle enerjiyi depolayabilen alternatif teknolojilerin kullanılması ilave avantajlar sağlayacak, tek bir teknolojiye ve kaynağa bağlılığı ortadan kaldıracaktır, (Tripathi vd, 2017). Fotovoltaik GES, enerji gereksinimlerine göre watt mertebesinde MW mertebesine kadar güçlerde yapılabilir. Hareketli araçlarda ve yolculukta bile kullanılabilmesi kişisel ve kurumsal kullanıcılar, araştırmacılar ve işletmecilerin dikkatini çeken fotovoltaik (FV) panellerin kurulum kolaylığı, doğrudan üretim yapabilmesi, kısmen ucuzluğu yanında zayıf yönleri de vardır: Güneş varken enerji üretir ve güneş yokken enerji üretmez, Güneş varken üretilen enerjinin yeterince depolanması sorunu olduğu için anında tüketilmesi gerekmektedir. Güneş yokken enerji ihtiyacını karşılamak için gündüz vakti üretilen enerjinin bir kısmının elektrik enerjisi olarak bataryalarda depolanması gerekir. Ancak yeterli miktarda enerji depolamak için henüz ekonomik batarya gelişmemiştir. Bu sorun enerjiyi ısı enerjisi olarak depolayarak çözümlenmektedir ki yoğunlaştırıcı Güneş güç (CSP) sistemleri alternatif ve uygun yollardan birisidir ve bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Bunun yanında yeni bir teknoloji olan Güneş bacasının da üzerinde durulması gereken bir teknoloji olduğunu akılda tutmak gerekir.

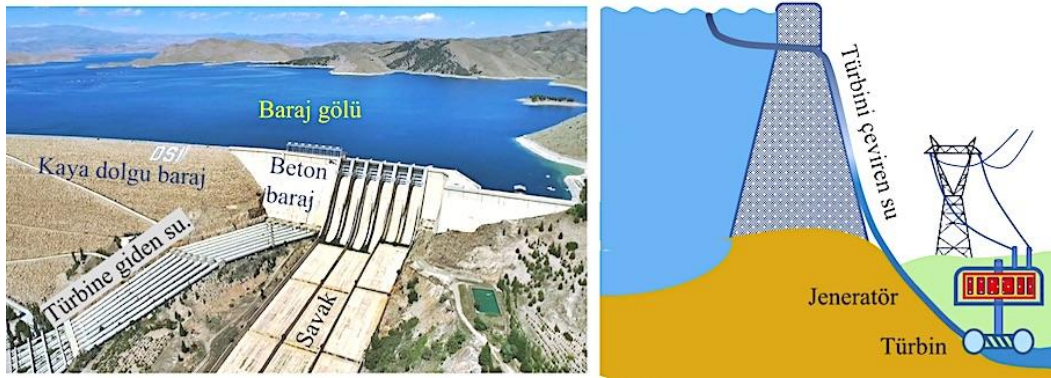
Yenilenebilir enerji kaynakları ve kaynaklardan yararlanmak için kullanılan teknolojilerinin başlıcaları aşağıda özetlenmiştir.

1.1. İç kaynaklar ve Teknolojiler

1.1.1 Hidroelektrik Enerji Santralleri, (HES)

Barajlar ve göletler su rejimini kontrol etme, tarım arazilerini sulama ve elektrik üretme gibi, ağırlıklı olarak da elektrik üretmek amacıyla yapılmaktadır. Elektrik üretme amacıyla yapılanlar Hidroelektrik Enerji Santralleri (HES) olarak isimlendirilirler. Bu amaçla yapılan baraj ve göletler aynı zamanda su rejimini kontrol etmek, taşkınları ve su baskınlarını önlemek, ayrıca tarım arazilerini sulamak amacıyla da değerlendirilmektedir.

HES'ler akan suyun gücünü kinetik enerjiye daha sonra elektriğe dönüştürürler. Suyun akış veya düşme hızı enerji miktarını belirler. Yenilenebilir enerjinin önemli bir kaynağı olan HES'ler halihazırda değerlendirilen yenilenebilir enerjinin %69 oranını oluşturmaktadır. HES'lerin kullanımı dünyada önemli bir yere sahiptir. 2019 yılında Dünya Hydropower birliği tarafından yayınlanan rapora göre, Dünyada üretilen toplam elektrik enerjisinin %15.9'unu HES'ler karşılamaktadır. Ayrıca Türkiye HES'lere son yıllarda yaptığı yatırımlar bakımından Çin, Brezilya ve Pakistan'dan sonra toplam 1.09 GW üretimle dördüncü sıradadır. İlgili her yıl artmakta ve su kaynaklarının uygun olanları bu amaçla değerlendirilmektedir, (Anonim1).



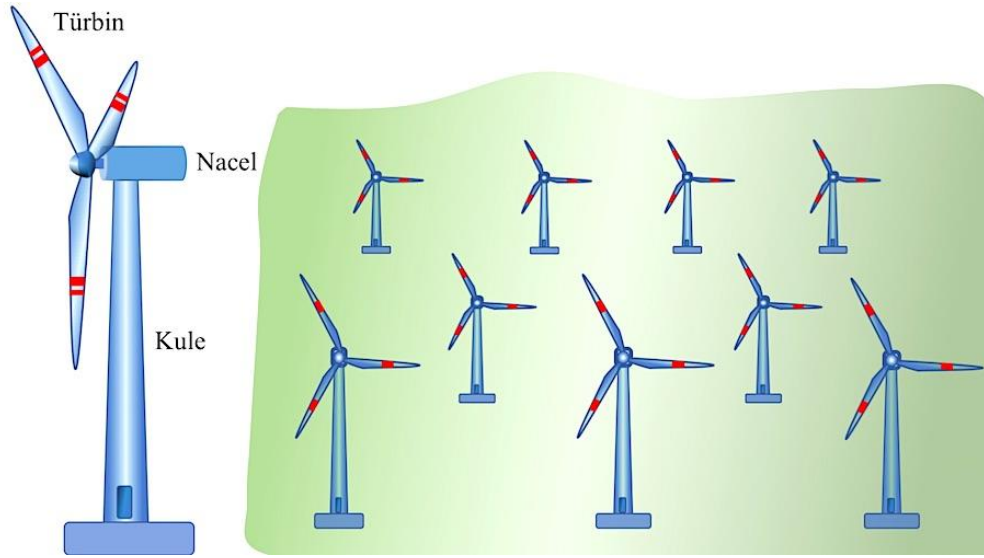
Şekil 1.1. Keban hidroelektrik santralini görünüşü ve enerji üretiminin temel elemanları.

1.1.2 Rüzgâr Enerji Santralleri, (RES)

Bir atmosfer olayı olan rüzgâr, denizlerle karalar arasında, ya da soğuk bölgelerle sıcak bölgeler arasında oluşan basınç farklı nedeniyle yüksek basınçlı olan soğuk bölgelerden düşük basınçtaki sıcak bölgelere doğru oluşan hava akımıdır. Eğer bir yerde rüzgâr kararlı, uygun hızda ve sürekli ise rüzgâr enerji santralleri (RES) için uygundur. Bir yerin rüzgâr rejimini belirlemek için uzun yıllar rüzgâr verilerinin bilinmesi gerekmektedir, ancak bu veriler yoksa ölçüm direkleri ile o bölgenin en azından bir yıl süreyle rüzgâr ölçümü yapılarak RES için uygunluğu araştırılır.

RES tek veya çok sayıda rüzgâr türbinlerinden oluşan enerji üretim sistemleridir. Bir türbin kişisel kullanım amacına ya da şebekeye bağlanma amacına göre her bir türbin birkaç 10 W güçten birkaç MW güce kadar olabilir. Çoğunlukla sürekli rüzgâr alan yüksekçe tepelere, deniz ya da okyanus kıyılarına, hatta denizüstü (off shore)

olarak isimlendirilen denizin içinde kıyıya yakın yerlerde olabilir, (Da Rosa, 2009; Şen, 2008; Sobonnadiere, 2009; Twidell ve Weir, 2015; Zobaa ve Bansal; 2011).



Şekil 1.2. Bir rüzgâr türbininin temel elemanları ve bir rüzgâr enerji tarlası örneği.

Bir rüzgâr türbini, taşıyıcı çelik kule, genellikle üç kanatlı türbin ve sepet (nacelle) denilen, dişli sistemi ve jeneratörle türbin kontrolü için gerekli mekanizmaları içeren kapalı odacıktan oluşur. Türbinin verimli çalışması için rüzgâr yönünün belirli ve hızının yeterli ve sabit olması gerekir, fakat bu mümkün olmadığından sepette bulunan kontrol mekanizması esas olarak rüzgârın yönüne göre türbini çeviren, rüzgârın hızına göre türbin kanatlarının açısını ayarlayan, rüzgâr hızı aşırı ve risk oluşturacak kadar yüksek olduğunda da türbinin dönmesini engelleyen frenleme mekanizmasından oluşur.

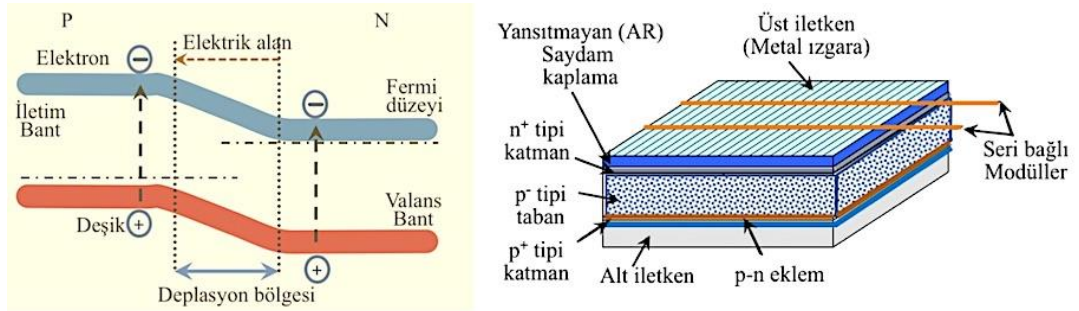
Dünya’da 2018 yılı itibarıyla rüzgâr enerjisinin toplam yenilenebilir enerji üretimindeki payı yaklaşık %26 iken Türkiye’de %19 oranında gerçekleşmiştir. (Anonim 2, Anonim 3)

1.1.3 Fotovoltaik Güneş Pilleri (FV Piller)

Fotovoltaik Güneş pilleri (FV), gerçekte bir yarıiletken diyottur. P ve n tipi yarıiletkenlerin birbirleriyle ohmik ekleme birleştirilmesiyle yapılır. Yapıları yarıiletken diyotlardan farklı olarak ışık alan p-tipi yarıiletken Güneş ışığını olabildiğince alacak biçimde geniştir. Çalışma ilkeleri Şekil 1.3’te verilen diyagramda temsili olarak gösterilmiştir. Güneş ışığı oldukça ince ve dolayısıyla görünür bölge ve

UV ışık için saydam olan n-tipi yarıiletkenlerden geçerek daha kalın olan p-tipi yarıiletkene enerjisini aktarır. Eğer elektrona aktarılan enerji şekilde gösterilen bant genişliğini aşmaya yeterli ise elektron iletim bandına geçerek oluşan potansiyel farkından bir akım oluşur.

Çoğunlukla amorf veya kristal Si (a-Si, c-Si), olmak üzere GaAs, CdTe, CIGS, (Bakır-İndium-Galyum-Selenyum), gibi yarıiletkenlerden yapılan FV piller, her birisi yapıldığı maddeye bağlı karakteristik akım ve gerilim oluşturan modüllerin seri ve paralel bağlanmalarıyla çeşitli ölçülerde FV Güneş panelleri yapılır. Örneğin Si yarıiletkeninden yapılan Güneş panelinin her bir modülünün karakteristik voltajı sıcaklığa bağlı olarak 0.7 V civarındadır ve 12 V çıkış voltajı sağlamak için bu modüllerden en az 17 modülün seri bağlanması gerekir. Ayrıca akımı ve dolayısıyla gücü arttırmak için de bu şekilde oluşan seri bağlı modüllerden yeteri kadar sayıda paralel bağlanır.



Şekil 1.3. Bir FV Güneş pilinin enerji diyagramı ve modüllerden oluşan bir panel.

FV paneller Güneş ışığının uzun dalgaboyuna sahip olan kırmızı ve kırmızı altı bölgesinde üretim yapmaz. Bu bölgedeki ışık FV paneli ısıttığı için yarıiletkenlerin özelliği olan voltajı ve dolayısıyla gücü azaltır ve istenmez. Üretimi ağırlıklı olarak görünür ve UV bölgedeki ışık yapar. Panellerin sıcaklığının düşük tutulması iyi bir üretim performansı için gerekli görünmektedir, (Da Rosa, 2009; Sobonnadiere, 2009; Şen, 200; Bhatia, 2014, Zobaa ve Bansal; 2011).

FV panellerin doğrudan DC voltaj üretmesi, istenilen boyutlarda yapılabilmeleri, taşınabilmeler, hatta esnek FV yapılabilmesi gibi pek çok neden onu Güneş enerjisinin doğrudan değerlendirilmesinde en önemli teknik olmasına yol açmıştır. Taşınabilir cihazlarla kırsal bölgelerde elektrik ihtiyacının karşılanmasından uzay araçlarının ihtiyaçlarının karşılanmasına kadar oldukça yaygın uygulamalarda vazgeçilmez hale gelmiştir. Teknik olarak FV panellerin avantajlı yanları yanında bütün teknolojilerde

olduğu gibi dezavantajlı yanları da vardır. Aşağıda avantajlı ve dezavantajlı yanları özetlenmiştir.

Avantajlı Yanları

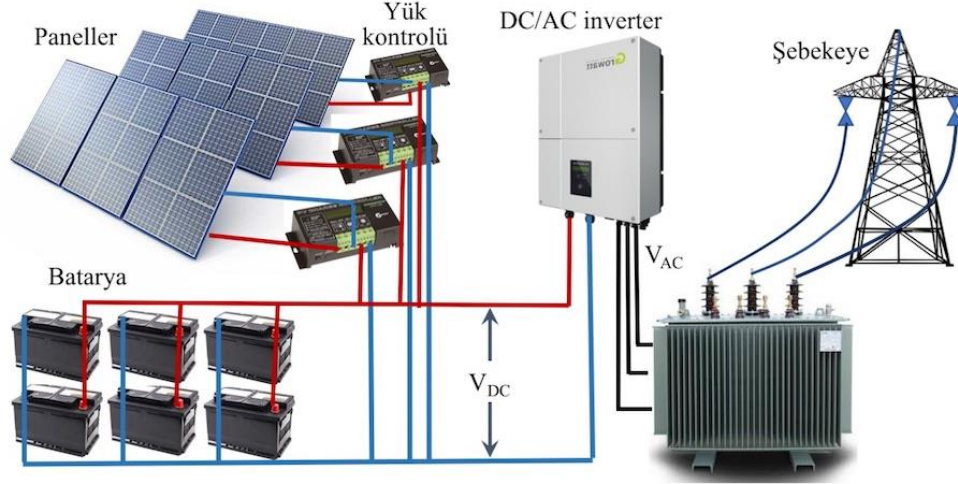
- ◆ Çevre dostudur, hemen hemen hiç atık bırakmaz,
- ◆ Gürültüsüz alışır,
- ◆ Eğer varsa Güneş izleyici hariç hiçbir hareketli parçası yoktur,
- ◆ Yakıt kullanmaz, soğutmak ve tozlandığında yıkama dışında su kullanmaz,
- ◆ Bakım maliyeti oldukça düşüktür,
- ◆ Düzenli bakımı yapıldığı takdirde ömrü 30 yıl civarında uzundur,
- ◆ Güneş ışığı yanında başka ışıkla da elektrik üretebilir,
- ◆ Üretim gücü, boyutuna bağlı olarak W ile MW mertebelerinde yapılabilir.

Dezavantajlı Yanları

- ◆ FV panel, ışık olmadan üretim yapamaz, yani yapay ışık yoksa gece vakti üretim yapamaz. Eğer elektrik ihtiyacını gece vakti de karşılaması istenirse bunun için gündüz Güneş varken üretilen elektriğin bir kısmının bataryalarda depolanması gereklidir. Fakat atölye ve fabrika gibi fazla elektrik tüketen işyerleri için oldukça fazla batarya gerekir ve bu maliyeti arttırır (bataryaların ömürleri birkaç yıl ile sınırlıdır ve bakım maliyeti de yüksektir),
- ◆ Belki ilk kurulum maliyeti yüksektir, ancak düşük bakım maliyeti ile ilave yakıtla ihtiyaç duymaması bu maliyeti uzun vadede karşılar,
- ◆ Uygulamalarda ortalama verimi %15 civarında düşüktür,
- ◆ Yüksek güç üretimi için geniş arazi gerektirir, bu nedenle tarıma uygun olmayan ve bol Güneş alan boş arazilere kurulması uygundur,
- ◆ FV sadece DC voltaj üretir, mevcut elektrik şebekesine bağlanmak ya da mevcut elektrikli cihazları kullanabilmek için DC/AC dönüştürücüler (inverterler) gereklidir.

FV panellerin ürettiği düşük DC gerilim ihtiyaç varsa bu çıkış voltajı düzenleyicilerle doğrudan cihazlarda kullanılabilir. Sadece Güneş ışığı varken üretim yaptığı için eğer kullanım yeri fazla enerji harcayan işyerleri ise depolama için çok sayıda batarya gerektiğinden ve bunun maliyeti fazla olacağından, ayrıca bataryaların ömürleri sınırlı olduğundan ve bakım gerektirdiğinden bu çözüm makul görünmemektedir. Bunu yerine işletmeler kurdukları FV panel sistemiyle (GES

sistemle) yaptıkları üretimlerini ulusal şebekeye aktararak gece vakti elektrik ihtiyaçlarını da ulusal şebekeden kullanırlar ve belirli dönemlerde mahsuplaşırlar.



Şekil 1.4. Bir FV panel sisteminin (veya GES) şebekeye başlanması, ya da mevcut elektrik cihazlarını kullanılabilmesi için gerekli eklentiler.

Şekil 1.4 bir FV sisteminin (veya GES) elemanlarını göstermektedir. FV panellerin ürettikleri DC gerilim, uygun güç ve kapasitede kontrol cihazları ile düzenlenir ve varsa hem bataryayı doldurmak için ve hem de DC/AC inverter (dönüştürücü) ile ulusal şebeke gerilimine uygun frekans ve fazda AC gerilime çevrilir. İnverter çıkışı olduğu yerde kullanılabilceği gibi büyük ölçekte üretim halinde transformatörle ulusal şebekeye de aktarılır.

Kullanım amacına ve güce göre kontrol cihazları ile inverterler piyasada bulunmaktadır.

1.1.4 Yoğunlaştırıcı Güneş Güç Sistemleri, (CSP)

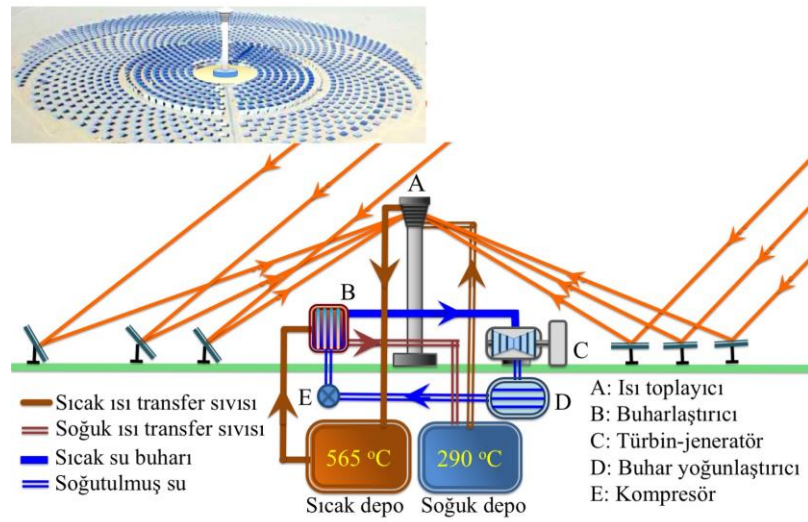
Bu çalışmanın konusu CSP'ler ve özellikle yoğunlaştırıcı ayna sistemi ya da teknik ismiyle *heliostat* tasarımıdır. CSP, tıpkı FV paneller gibi Güneş radyasyonunu elektrik enerjisine dönüştürür, ancak bunu FV gibi doğrudan değil dolaylı yolla yapar. Yapısı ve çalışması aşağıda kısaca alınmıştır.

Enerji üretiminde tek kaynağa bağlanmak doğru olmayıp alternatif kaynaklar ve tekniklerin kullanılması makul olan yoldur. CSP sistemi makul alternatiflerden önemli birisidir. Bol Güneş alan ülkelerin FV ve diğer yenilenebilir enerji kaynak ve teknolojileri yanında bu teknolojiyi değerlendirmesi gerekir. Türkiye, İran, Irak,

Azerbaycan, Afganistan, Türkmenistan gibi ülkeler bol Güneş radyasyonu alan ülkelerdir ancak maalesef bu teknolojileri kullanmamaktadırlar.

CSP sistemleri için konvansiyonel teknolojiler kullanarak ülkelerin çoğu kendi imkanlarıyla yapılabilir. Öte yanda FV üretiminde yüksek teknoloji gerektiğinden sözü edilen ülkelerin neredeyse tamamı dışa bağımlıdır. Bu husus dikkate alınmalıdır.

CSP’de iki ayrı kapalı döngü vardır: Erimiş transfer sıvısı (genellikle erimiş Na) döngüsü ve jeneratörü çeviren su ve buhar döngüsü.

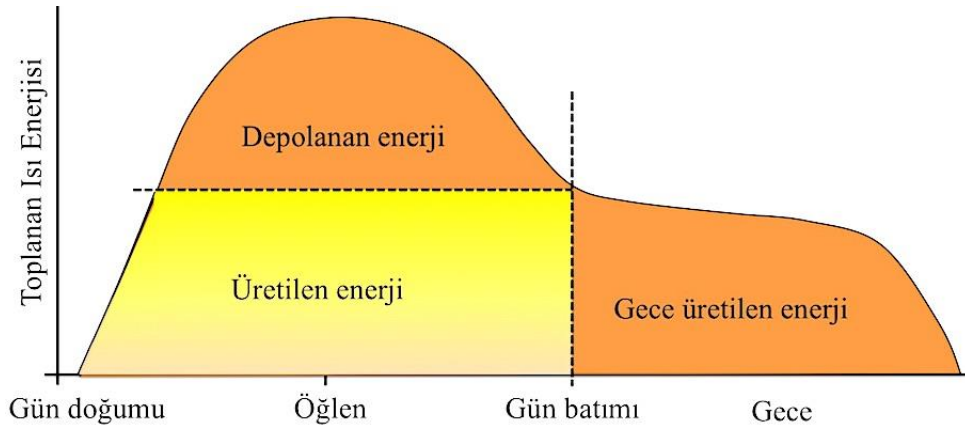


Şekil 1.5. Bir CSP sisteminin yapısı. Gerçekte alıcı burada verilen örnek dışında uygun ve farklı maddeler olabilir. Çalışma sıcaklık aralığı da bu maddeye bağlı değişebilir.

Şekil 1.5 bir CSP sistemin yapısını ve temsili işleyişini göstermektedir. Güneş izleyicilerle sürekli Güneş radyasyonunu kule tepesindeki alıcıya yönlendiren *heliostat* (çok sayıda ayna sistemi) alıcıdaki sıcaklığı istenilen dereceye kadar yükseltir. Alıcı aslında bir ısı transfer sıvısı içeren transfer sistemidir. Sıcaklık 560 °C civarında yüksek olduğundan ısı transferinde su yerine ısı transfer sıvısı olarak örneğin erimiş Na kullanılır. Erimiş haldeki Na yalıtılmış ısı deposunda toplanır. Sıcak depodan alınan erimiş Na ısı değiştiricide suyu yüksek basınçlı buhar haline getirerek türbini ve jeneratörü çevirir. Buharlaştırıcıda ısı enerjisini kaybeden transfer sıvısı katılaşmadan (örneğin 290 °C) soğuk depoda toplanır ve buradan tekrar kuleye pompalanarak ısıtılır.

Buharlaştırıcıdan çıkan yüksek basınçlı buhar türbini çevirdikten sonra tekrar sıvılaştırılarak buharlaştırıcıya gönderilerek döngü devam eder.

CSP, Güneş enerjisini büyük bir yalıtılmış ısı deposunda topladığı için Güneş varken depoladığı bu enerjiyi Güneş yokken ya da gece vakti deponun büyüklüğüne bağlı olarak bir süre daha elektrik üretimine devam eder. Bu özelliği FV panellerde yoktur. Şekil 1.6 bir CSP sistemin 24 saat boyunca ısı depolamasını ve elektrik üretimini temsili olarak göstermektedir.



Şekil 1.6. Bir CSP sistemin bir günlük enerji değişimi. Gündüz Güneşten alınan enerjinin bir kısmı depolanarak gece de üretim devam eder. Gece üretim süresi deponun kapasitesine bağlıdır.

CSP Sistemlerinin Avantajları

CSP veya diğer ismiyle Güneş enerji kuleleri, temiz enerji kaynağı olarak kurulacağı coğrafi bölge seçimi, tesisi, işletimi ve üretimi gibi nedenlerle sunduğu avantajlar yanında bütün teknolojilerde olduğu gibi dezavantajları da vardır. Aşağıda önemli avantajları ve dezavantajları maddeler halinde verilmiştir. Farklı teknolojilerle karşılaştırarak ve alternatif teknolojilerin de stratejik olduğunu akılda tutarak seçim yapmak gerekir.

- ◆ CSP sistemleri yüksek ve özel teknoloji gerektirmeyen ve bilinen teknolojilerle yapılabilen üretim tesisleridir. Tesisi oluşturan elemanlar, *heliostat*, kule, ısı değiştiriler, yalıtımlı erimiş sıcak madde (genellikle Na) tankları, türbin ve jeneratör çiftidir,
- ◆ Bol güneş alan coğrafi alanlarda gündüz ve gece enerji üretebilir. Gündüz depoladığı ısı enerjisinin bir kısmını gece boyunca elektrik üretimi için kullanır. Bu yüzden kesintisiz enerji üretim tesisi olarak kabul edilebilir.

- ◆ Kurulacağı araziler tarım yapılmayan, ekolojik açıdan önemsiz, çorak, çöl veya çölleşme eğilimindeki arazilerdir. Bazı coğrafi bölgelerde kurulduktan sonra arazide, aynaların altında ve arasında ekolojik faaliyetler kısmen sürdürülebilir.
- ◆ Kesinlikle çevre dostudur. Çevreye hiç bir zararlı atık bırakmaz, havaya zararlı veya sera gazları salmaz.
- ◆ Hiç bir ilave fosil yakıtı gerek duymaz.
- ◆ Bakımı düzenli yapıldığında oldukça uzun ömürlüdür.

CSP Sistemlerinin Dezavantajları

Aşağıda verilen CSP için belirtilen dezavantajlar, artan enerji ihtiyacı ve alternatif enerji kaynakları dikkate alındığında gerçekte göz ardı edilebilecek hususlardır. Ancak yine de belirtilmesinde yarar vardır.

- ◆ CSP sistemlerinin ilk tesis maliyeti bir miktar yüksektir. Gelecekte Güneş pillerinin verimlerin artırılması ve maliyetleri düşmesi beklenmektedir; bu olduğu takdirde kurulumu ve işletimi kolay olan Güneş pilleri tercih edilebilirse de bunlarla birlikte üretilen elektrik enerjisinin depolanması, yani yüksek kapasiteli batarya teknolojisi, aynı oranda gelişmediği takdirde Güneş pilleri sadece Güneş varken üretim yapacak, geceleri yapamayacaktır. Bu durum Güneş enerjisi yoğunlaştırıcıları, maliyetlerine rağmen gündemde tutmaktadır. Öte yanda alternatif enerji üretim tesislerinin varlığı da enerjide strateji gereği gereklidir.
- ◆ Ekolojik yapıyı bozabilme ihtimali, arazi çöl veya çorak da olsa her zaman vardır.
- ◆ Hareketli elemanları kısmen fazla olduğundan sürekli kontrol ve bakım gerekmektedir.
- ◆ Sadece Güneş varken ısıyı depolar, bulutlu havalarda ısı depolanmaz, önceden depolanan ısı enerjisi kullanılır.

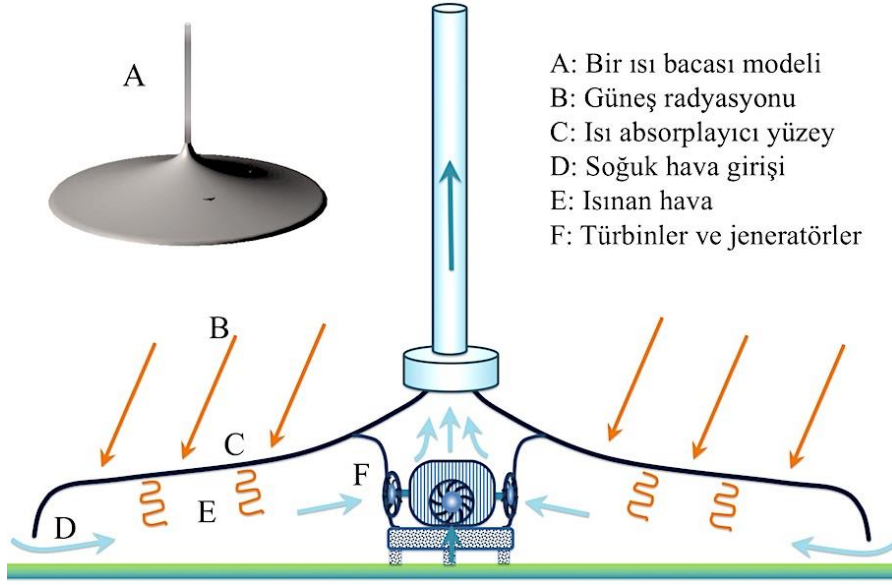
Bu çalışmanın konusu CSP sisteminin uygun ve optik verimi olabildiğince yüksek kısmı olan *heliostat* tasarımını ve hesaplamasını konu edinmiştir. CSP sistemin diğer kısımlarını oluşturan kule, alıcı ve ısı değiştirici, ısı transferi, transfer maddesinin seçimi, sıcak ve soğuk ısı transfer maddesinin depolanması, buharlaştırıcı, buhar türbini ve jeneratör gibi elemanların her birisi ayrı çalışma konusudur. Gerçi bu elemanların halihazırda uygulamaları vardır, fakat her birisi gelişmeye de aşıktır (Heller, 2017; Da Rosa, 2010; Bhatia, 2014; Chandra ve Dixit, 2018; Şen, 2008; Zobaa ve Bansal; 2011).

1.1.5 Güneş Isı Bacaları – Termal Çeker Kuleler

Güneş ısı bacaları, ya da kullanılan diğer tanımı ile termal çeker bacalar (solar chimney veya diğer ismiyle thermal updraft tower) yaygın kullanımını olmayan ve henüz gelişme aşamasında olan fakat özellikleri nedeniyle umut verici teknolojilerden birisidir. Çalışma ilkesi, sıcak havanın yukarı çıkmasına dayanır. Aslında bunların küçük örnekleri konutlarda kullanılan sobalardır. Sobada ısınan hava yukarıdaki bacaya yükselerek dışarı atılır. Güneş ısı bacaları da aynı şekilde çalışır: Büyük bir alana yayılan siyah renkli (siyah cisim) Güneşin ısınımasını soğurarak altındaki havayı ısıtır ve ısınan hava bacadan yukarı yükselir. Bu sistemin verimi ve üretimi tamamen ısı toplayıcı yüzeyin büyüklüğüne ve bacanın yüksekliğine bağlıdır. İlave olarak bacanın çıkışında bir esinti de varsa basınç düşeceğinden bacadan yukarıya başa akışı daha güçlü olacaktır, (Zobaa ve Bansal, 2011; Bhatia, 2014; Çengel ve Cimbala, 2015; Çengel ve Boles, 2014).

Güneş ısı bacaları, yüksek teknoloji gerektirmeyen ve konvansiyonel teknolojilerle yapılabilecek olan diğer bir sistemdir. Tarıma uygun olmayan, yeterince Güneş alan, verimsiz veya çöl arazilere olabildiğince geniş alanda basit malzemelerle ve inşaat tekniğiyle yapılabilir. Türbinler ve jeneratörler zaten bilinen araçlardır. Gerekirse ısı toplayıcının altına geniş yüzeyli metal su depoları konularak gündüz vakti ısınan suyun Güneş battıktan bir süre daha üretime devam etmesi sağlanabilir.

Güneş ısı bacaları, Güneş enerjisinin değerlendirilmesinde alternatif teknolojilerden birisidir. Şekil 1.7 bir Güneş ısı bacasının örnek yapısını ve çalışmasını göstermektedir. Isı toplayıcı yüzey ne kadar geniş ve siyah, baca yüksekliği ne kadar fazla olursa üretimin daha verimli olması beklenir. Türbin ve jeneratörün bacanın üst kısımlarında, yüksekte olması, bacada oluşan jetten yararlanma için daha yararlı olacaktır, ancak üretim kapasitesine bağlı oldukça ağır ve büyük olan türbin ve jeneratörün yükseğe çıkarılması teknik açıdan zordur ve maliyetlidir. Bunun yerine aşağıda yere yakın olması zorunludur. Şekilde gösterildiği gibi türbin-jeneratör çiftleri baca girişine konulabileceği gibi ısı toplayıcının kenarında hava girişine de konulabilir.



Şekil 1.7. Bir Güneş ısı bacasının örnek modeli ve çalışmasının gösterimi.

CSP sistemler için belirlenen avantajlar ve dezavantajlar Güneş ısı bacaları için de geçerlidir. Alternatif bir teknolojidir, gelişmeye açıktır, ülkelerin enerji stratejileri bakımından alternatif kaynaklar da ayrıca önemlidir.

1.1.6 Gel-Git ve Okyanus Dalgaları

Gündemde tutulan diğer yenilenebilir enerji kaynakları olan gel-git ve deniz dalgaları ancak okyanusa kıyısı olan, gel-git olayının yeterli olduğu ve okyanus dalgalarının sürekli ve yeterince büyük olduğu ülkeler ve bölgeler için düşünülebilir, Türkiye gibi iç denize kıyısı olan ülkelerde gel-git neredeyse gözlenmez, deniz dalgaları hem süresiz ve hem de yeteri büyüklükte değildir. Bu nedenle en son düşünülecek çözümlerdir.

1.1.7 Kozmik Enerji Kaynakları

Önceki kesimlerde ele alınan kaynaklar dışında günümüzde ütopyik olarak nitelendirilebilecek olup gerçekte var olan, Güneş dışındaki çeşitli yıldızlar, süpernova patlamaları gibi uzay cisimlerinden, ya da uzayda kaynağı belli olmayan her yönde ve her enerjide hareket eden radyasyon ya da parçacıkların enerjileri de bu kapsamda incelenebilir. Bu enerjiyi değerlendirebilmek için atmosfer dışı uzayda çok büyük tuzaklarla kozmik radyasyonun tutulması ve yararlı enerjiye döndürülmesi gerekmektedir. Gelecekte Dünya dışı ortamlarda yaşamak ya da uzay yolculukları için

teknolojisi geliştiği taktirde değerlendirilmesi düşünölebilir, ancak günümüz şartlarında henüz bir düşüncedir, (Wolf, 2012).

1.2. İç kaynaklar

Dünyanın kendi içinden gelen yenilenebilir enerji kaynaklarının bilinenleri jeotermal kaynaklar, hidrojen enerjisi ve biyokütle enerjisi olarak verilebilir. Aşağıda bu kaynaklar kısaca açıklanmıştır.

1.2.1. Jeotermal Enerji Kaynakları (JES)

Jeotermal enerji kaynakları çoğunlukla tektonik hareketliliğin, yani aktif fay hatlarının olduğu ve deprem riski olan bölgelerde bulunur. Bu bölgelerde sıcak magma yeryüzüne bir hayli yakın olduğundan yeraltı suları sıcak buhar halinde olabilir ya da yeryüzünden pompalanan soğuk su sıcak kayalarda buhar haline getirilerek yeryüzüne çıkarılır ve buhar türbinini be buna bağlı jeneratörü çevirmekte kullanılır. Diğer yanda, jeotermal kaynakların değerlendirilmesi için yer kabuğuna müdahale edildiği için bir bakıma Dünya için, ya da en azından kaynak bölgelerinde tahribata neden olduğundan fazla tercih edilmesi doğru olmayabilir. Bu konuda daha dikkatli olunmalıdır ve tahribata neden olmayan teknolojiler tercih edilmelidir.

Jeotermal enerji genellikle ısınma, bitki seralarını ısıtma ve elektrik üretmek için kullanılır. Jeotermal kaynaklarından enerji üretim için kullanılan teknolojiler kuru buhar enerji santralleri, sıvı buhar enerji santralleri ve çift çevrim enerji santralleri olabilir. Diğer yenilenebilir enerjilerin aksine, jeotermal enerji belirli mevsimler, zamanlar ve koşullarla sınırlı değildir ve kesintisiz kullanılabilir. Ayrıca, jeotermal enerji santrallerindeki elektriğin maliyeti, diğer geleneksel enerji santralleri (fosil yakıtlar) tarafından üretilen elektrikle rekabet edebilir ve diğer yeni enerji türlerinden bile daha ucuzdur. Dünya’da jeotermal enerji kurulu gücü 2018 yılı sonu verileri 14.9 GW olduğunu göstermektedir ki ölkelere göre dünyada jeotermal enerji kurulu gücü ilk altı ölkede; ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye, Yeni Zelanda ve Meksika’dır.

Öte yanda JES’ler yapıldıkları bölgelerde yer kabuğunu tahrip etme ihtimali olduğundan ayrıntılı inceleme ve araştırma yapmadan değerlendirilmemesi gereklidir.

1.2.2. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen molekölü çok iyi bir yanıcı gaz olması ve yakıcı gaz olan oksijenle birleştikten sonra sadece su üretmesi, tabiatında en bol bulunan element olması, (su,

doğalgaz, organik bileşikler aslında birer hidrojen kaynağıdır), onu cazip bir temiz enerji kaynağı yapmaktadır, zira elektroliz ya da başka kimyasal yöntemlerle bu bileşiklerden hidrojen ayrıştırılabilir. Hidrojenden elektrik elde etmek için hidrojen yakıt hücresi de teknolojik olarak gelişmiştir ve kullanılabilir durumdadır. Bu temiz ve bol enerji kaynağının yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel, hidrojenin taşınması ve depolanmasıdır. Örneğin 60 L hacimli bir otomobil yakıt deposundaki sıvı benzinin enerji eşdeğeri 0.39 GJ iken 200 bar basınçta aynı hacimdeki hidrojen gazının enerjisi 0.07 GJ'dür. Buna göre bir taşıtta taşınabilir ölçüde benzin, aynı ölçüde sıkıştırılmış gaz halinde veya sıvılaştırılmış hidrojene göre yaklaşık 5.7 kat daha fazla enerji sağlamaktadır. Yani benzin bir otomobile 570 km yol aldırırken 200 bar basınçlı 60 L hidrojen sadece 100 km yol aldıracaktır. Aynı durum hem depolanmada ve hem de taşınmada eşit hacimde ve eşit basınçta hidrojen ve doğalgaz için de geçerlidir.

Hidrojenin depolanma sorunu çözüldüğü zaman taşıtlarda, konutlarda ve fabrikalarda hidrojenin kullanımı için bir engel kalmaması beklenmektedir.

1.2.3. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, organik maddelerin ve özellikle organik atıkların biyolojik, kimyasal ya da hibrit tekniklerle kullanılabilir yakıt haline döndürme ya da gazlaştırma (gasification) işleminin genel adıdır. Örneğin kanola tohumu, mısır gibi yetiştirilebilir bitki tohumlarından, bitki ya da orman ürünlerinden biyoyakıt üretmek, organik şehir çöplerinden metan ya da karbon dioksit üretmek bu tanıma girer. Organik şehir atıklarından endüstriyel gaz ya da yakıt üretilmesi aslında atıkların değerlendirilmesi temiz çevrenin korunması bakımından son derece önemlidir. Türkiye'nin biyokütle atık potansiyelinin 8.6 milyon ton petrol eşdeğeri (MTEP) tahmin edilmektedir. Toplam enerji ihtiyacı içinde fazla bir yer tutmasa da temiz ve yaşanabilir bir Dünya için üzerinde durulması gereken bir kaynaktır. Zira çevreyi kirletecek olan çirkin görünümlü çöp yığınlarının oluşması önlenecektir.

2. KURAMSAL TEMELLER

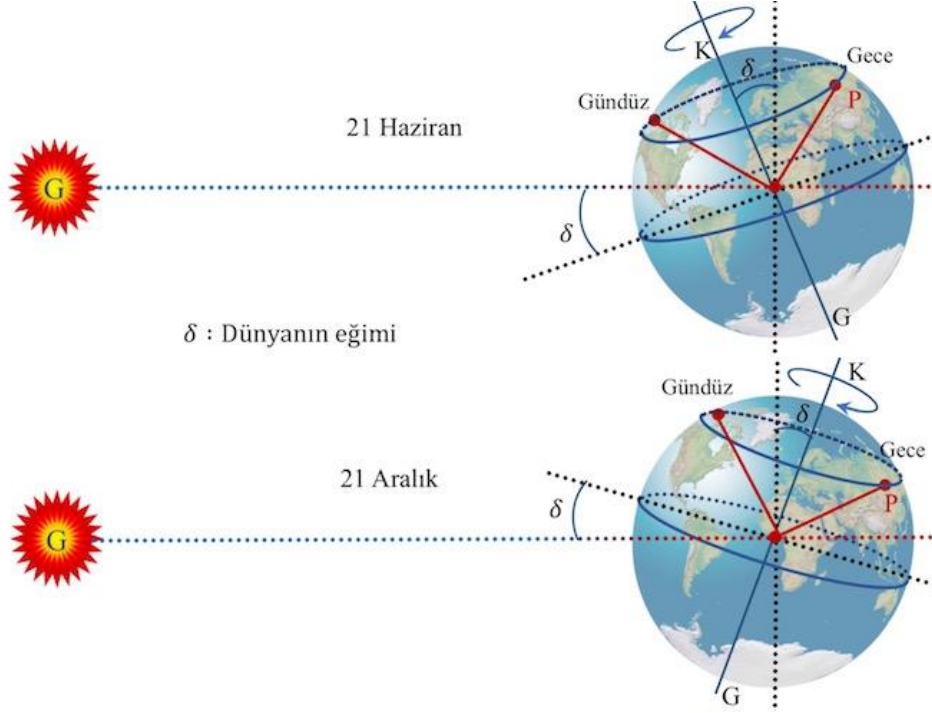
Yoğunlaştırıcı Güneş kulesi sistemi, (CSP), esas olarak Güneş radyasyonunun toplandığı odak noktasındaki bir kule ve Güneş ışığını toplamaya yarayan yansıtıcı aynalar sisteminden oluşur. Sistemin termodinamik ve elektrodinamik elemanları ve bunların işleyişleri ayrı birer çalışma konusudur, ancak sistemin bütün yapısının anlaşılması için bu sistemler hakkında daha sonra kısaca bilgi verilecektir.

CSP sisteminde arazide belirli bir düzende dağıtılan aynalara teknik dilde *heliostat* denilmektedir. Yunanca Güneş anlamına gelen *helios* ile statik kelimelerinin birleşimiyle oluşmuştur. *Heliostat* yukarıda belirtildiği gibi çok sayıda sabit konumlu aynalarla Güneş radyasyonunun bir kuleye odaklanarak toplandığı sistemin yaygın tanımını olarak kullanılır.

Güneş ışığını *heliostatın* temel unsuru olan yansıtıcı aynalar gerçekte teorisi Fresnel merceği yapısına dayanır, (Lutz, Suzuki, 2001; Sabonnadière, 2007; Romero-Alvarez ve Zarza, 2007; Şen, 2008; Zhu, 2013). Fresnel merceği teorisini esas alan yansıtıcı ayna sisteminde mükemmel odaklama için ışığın sürekli olarak aynaların düzlemlerine belirli açılarda gelmesi gerekir, (bu durum, paraboloidal aynada ışığın odak noktasında toplanması için ayna eksenine paralel olmasıyla aynıdır). Gelen ışığın az da olsa sapması odaklamının bozulmasına yol açar. Bu nedenle *heliostat* aynalarının Güneş radyasyonunun kule tepesinde odaklayacak biçimde hareketli olması, başka ifade ile Güneş izleyici (solar tracking) sisteme sahip olması gerekir. Çünkü Güneş radyasyonu mevsimlere, günlere ve günün saatlerine bağlı sürekli değişmektedir ve değişim değerleri sistemin bulunduğu coğrafi ve yerel konuma bağlıdır.

Şekil 2.1 Türkiye, Afganistan ve diğer komşu ülkelerin bulunduğu Kuzey yarımküredeki bir konumun en uzun gün olan 21 Haziran ve en kısa gün olan 21 Aralık'ta Güneşe göre durumunu göstermektedir. Dünyanın dönme eksenini, yani Dünyanın eğimi, (deklınasyon), yaz gündönümü olan 21 Haziran'da Güneşe doğu maksimum değeri olan 23.45° eğimli olduğundan gündüz vakitleri Güneş ışığının gelme açısı, Güneşin irtifa açısı α , maksimum değerlerde olur, bu bölgeler bol Güneş alır. Kış gündönümü olan 21 Aralık'ta ise Dünyanın eğimi -23.45° olduğundan bu günlerde gündüz vakitleri α açısı minimum değerlerde olacaktır ve sonuçta bu bölgeler minimum Güneş alacaktır. Dünya üzerinde bir noktada bulunan bir gözlemciye ya da konu ile ilgili olması bakımından *heliostatın* bir aynasına göre Kuzey Yarımkürede

Güneşin, gündüz vaktinin en uzun olduğu 21 Haziran, gece ve gündüzün eşit olduğu bahar ve güz gündönümleri (ekinokslar) 21 Mart ve 21 Eylül ile gündüz vaktinin en kısa olduğu 21 Aralık gündönümü tarihlerindeki güzergahlarının temsili gösterimi Şekil 2.2’de verilmiştir.

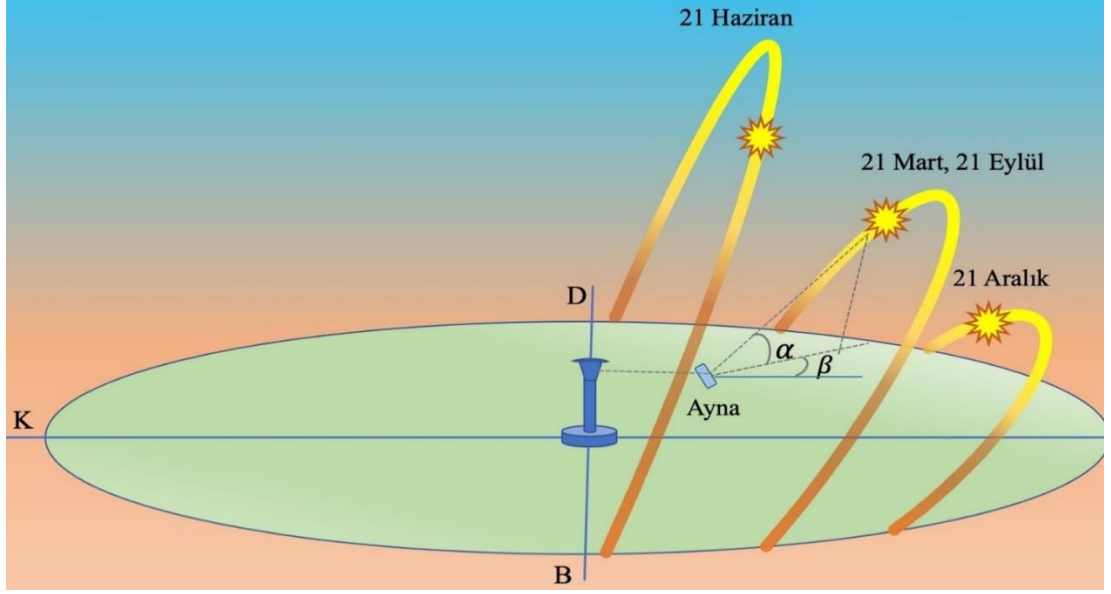


Şekil 2.1. 21 Haziran ve 21 Aralık tarihlerinde Dünyanın Güneşe göre eğiminin gösterimi ve Kuzey yarımkürede bulunan bir konumun aldığı Güneş radyasyonunun gösterimi.

Bir *heliostatta* toplayıcı aynaların bütün yıl boyunca Güneş ışığının maksimum düzeyde kulede toplanarak en yüksek verimi alabilmek için aynaların yerlerini değiştirmek mümkün değildir. Bu nedenle sistemin kurulacağı arazi üzerinde konumlandırılacak çok sayıdaki aynanın maksimum Güneş radyasyonu ve dolayısıyla Güneş gücü toplamasını sağlamak için sabit yerleştirilmesi ve en uygun konumların seçilmesi gerekir. Bu amaçla bir algoritma geliştirerek bütün yıl, ya da yılın yeterli Güneşlenme günlerini dikkate alarak yapılan ayna yerleşim tasarımı yapmak daha uygun olacaktır.

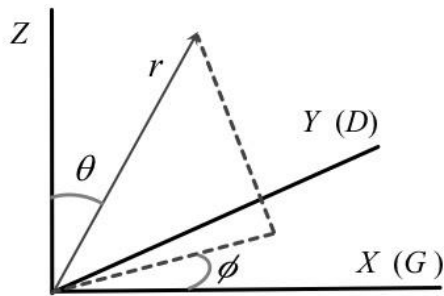
2.1. Heliostat Tasarımı İçin Gerekli Bilgiler

Bir *heliostat* tasarlamak için Güneş-Dünya arası hareketlerin tanımlarından, değerlerden ve ifadelerden gerekli olanların astronomi kaynaklarından alınarak tanımlanması gereklidir. Bu tanımlar, değerler ve ifadeler aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.2. Yaz gündönümü 21 Haziran, bahar ve güz ekinoksları olan 21 Mart ile 21 Eylül ve kış gündönümü olan 21 Aralık tarihlerinde Güneşin Kuzey yarımkürede Dünya üzerindeki bir gözlemciye, ya da *heliostata* göre bir günde izlediği güzergahın gösterimleri. Burada maksimum ve minimum durumlar ile gündönümü olan gece ve gündüzün eşit olduğu tarihler gösterilmiştir. Bunun dışındaki tarihlerde Güneş bu sınırlar arasında değişen güzergahları izler.

Dünyanın hareketlerini tanımlamak için öncelikle gereken husus koordinat sistemleridir. Uygun olan ve kullanılmakta olan koordinat sistemleri Kartezyen sistemle küresel koordinat sistemleridir. Şekil 2.2 koordinat sistemlerini birlikte göstermektedir. Kartezyen koordinat sistemi şekilde gösterildiği gibi ve yapıya uygun biçimde Dünyanın Kuzey-Güney yönü yani Enlem çizgisine paralel yön, Güney yön pozitif olacak biçimde X eksen, Batı-Doğu yönü, yani boylama paralel yön, Doğu yönü pozitif olacak biçimde Y eksen olacak biçimde yerleşmiştir. Z eksen Zenit doğrultusudur. Küresel koordinat sistemi değişkenleri r , θ ve ϕ klasik tanımlamada olduğu gibidir.



$$x = r \sin \theta \cos \phi$$

$$y = r \sin \theta \sin \phi$$

$$z = r \cos \theta$$

ϕ : Azimut (ufuk) açısı

θ : Zenit açısı

Şekil 2.3. *Heliostat* yerleşiminin yapıldığı koordinat sistemleri: Kartezyen ve küresel sistemler.

2.1.1. Yıl Günü (Day of Year - n)

Dünya Güneş etrafındaki yörüngede 365.25 günde bir tam devir yapar ve kendi eksenini etrafında da bir Dünya günü olan 24 saatte bir devir yapar. Hesaplamalarda **yıl günü** (n) olarak ifade edilen ve 1 Ocak'ta başlayıp 31 Aralık'ta biten 365 günlük bir süredir. Yıl günü, N_A günlük tarihlendirmede kullanılan sayısı, ay ve gün A_k ve g olmak üzere yıl günü n ,

$$n = \left(\sum_{k=1}^{N_A-1} A_k \right) + g, \quad \begin{cases} k = 1, 3, 5, 7, 8, 10, 12 & \text{için } A_k = 31 \text{ gün} \\ k = 4, 6, 9, 11 & \text{için } A_k = 30 \text{ gün} \\ k = 2 & \text{için } A_k = 29 \text{ gün} \\ g = 1 \dots 28, 29, 30, 31 \end{cases} \quad (2.1)$$

ifadesiyle verilir. Örneğin, 07.13 olarak verilen tarih için yıl günü

$$n = (31 + 29 + 31 + 30 + 31 + 30) + 13 = 195$$

olarak bulunur.

2.1.2. Saat Açısı (Hour Angle - ω)

Saat açısı Dünyanın dönme periyodunun 24 saat yerine 360 derece olarak tanımlanması, yani saatin açı karşılığıdır. Dünyanın hareketlerini veren ifadelerde, açı kullanıldığından saat yerine açı kullanma gereği doğmuştur. Saat açısı Dünyanın eksenini etrafında bir saatlik dönmesinin $360^\circ/24=15^\circ/\text{saat}$ açığa karşılık gelmesine dayanır. Kabul edilen tanım

$$\omega = 15 (t - T_0) \text{ (derece)} \quad (2.2)$$

olarak verilir. İfadede t , 24 saat esasına dayalı yerel saattir ve T_0 yerel saatte tam öğle vaktidir, yani Güneşin ilgili yerde en yüksek irtifada olduğu saattir. Buna göre öğleden önce saat açısı negatif, öğleden sonra pozitif olacaktır. Örneğin kuşluk vakti, saat 09.26 için $\omega = -38.50^\circ$, öğleden sonra saat 15.49 iken $\omega = +57.25^\circ$ olacaktır.

Not: Saat üzerine işlem yaparken dikkat edilecek husus, dakikanın değişimi 0 ile 60 arasında olduğundan aritmetik işlemlerde bunu 100 üzerine değiştirmek gerekir. Örneğin 09.26 olarak 60 dakika esasına göre verilen zamanın dakikasının 100 üzerinden değeri $26 \times 100 / 60 = 43.33$ olacaktır. Buna göre zaman $t = 9.43$ olacaktır, (Kartunnen vd, 2017)

2.1.3. Dünyanın Eğimi (Deklinasyon - δ)

Dünyanın Ekvator düzleminin ve eşdeğer biçimde dönme ekseninin Güneş sistemine göre eğimi ya da sapması olarak tanımlanan eğim (deklinasyon) değeri dünyanın yörüngesindeki durumuna göre -23.45° ile $+23.45^\circ$ arasında değişir. Ampirik yolla belirlenen bu ifade yıl gününe bağlı olarak

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360 (n - 81)}{365.25} \right] \quad (2.3)$$

olarak verilir. İfadeye 23.45° maksimum eğimi, 360 açığı, 81 bahar ekinoksu olan 21 Mart'ın yıl günü karşılığı ve 365.25 bir yılın gün karşılığıdır. Deklinasyon, Kuzey yarımkürede 21 Mart ve 21 Eylül'de sıfır, 21 Haziran'da +23.45°, 21 Aralık'ta -23.45° olacaktır, (Lutz ve Suzuki, 2001; Karttunen vd. 2017). Şekil 2.4 Dünyanın eğiminin yıl boyunca değişimini göstermektedir. Bu değişim nedeniyle, Güneşin Dünyaya göre her gün aynı saatlerde kaydedilen görüntüleri 8 çizmektedir. Bu şekle astronomide günsekizi (analemma) denilmektedir.

2.1.1. Güneşin Radyasyon Gücü, Güneşlenme (Insolasyon – P)

Güneş radyasyonunun Dünya yüzeyinde birim alana düşen gücü Güneşin aktif ve sakin olduğu zamanlara bağlı olarak değişir. Bu değer uygulamalarda uzun yıllar aktif ve sakin faaliyetlerin ortalaması olarak $P_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ olarak kabul edilmektedir. Bu değer yıl gününe bağlı olarak değişiklik göstermektedir önerilen ifadeler içinden en uygun olan ve

$$P = P_0 \left[1 + 0.034 \cos \left(\frac{360 n}{365.25} \right) \right] \quad (2.4)$$

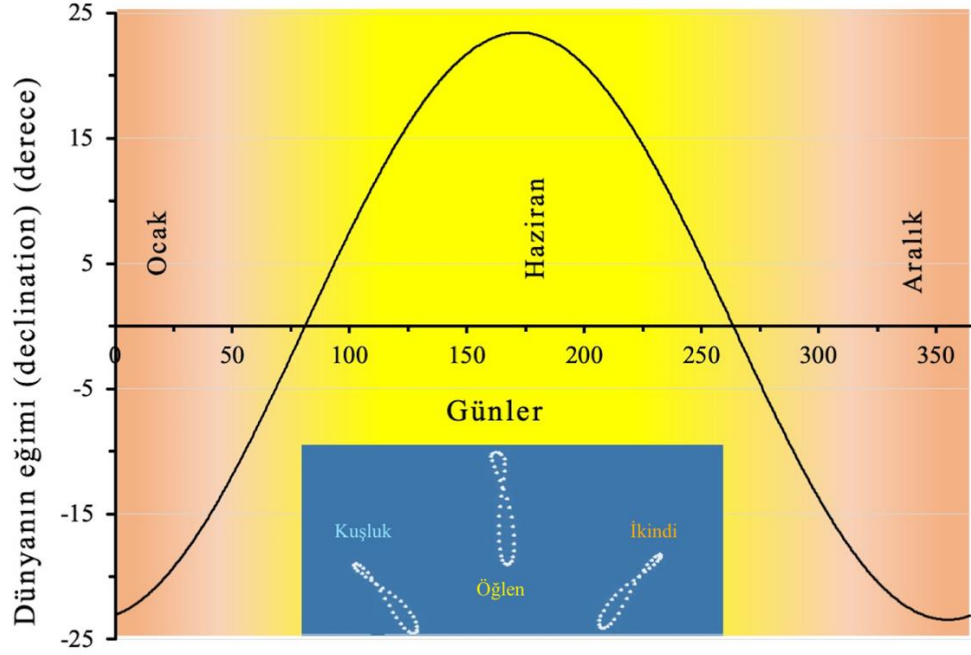
ampirik ifadeyle verilir, (Lutz ve Suzuki 2001; Karttunen vd. 2017). Şekil 2.5 Güneş radyasyonunun yıl boyunca günlere (aylara) göre değişimini vermektedir.

2.1.2. Hava Kütlesi (Air Mass - AM_n)

Hava kütlesi Güneş ışığının atmosfere giriş açısına dayalı olarak atmosfer içinde aldığı yol nedeniyle şiddet kaybını temsil eden bir parametredir. Baskın ifadesi, θ_z güneş radyasyonunun zenite göre gelme açısı olmak üzere

$$AM_i = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (0 < \theta_z < 85) \quad (2.5)$$

ifadesiyle verilir, (Lutz ve Suzuki, 2001). Farklı kaynaklar bu ifadeye düzeltmeler de eklemiştirlerdir. Eklenen düzeltme ifadeleri ya da terimleri gerçekte oldukça küçüktür ve çoğunlukla θ_z açısının büyümesi, yani Güneş radyasyonunun yatık gelmesi durumunda hava kütlesinin aşırı büyümesini önlemeye yöneliktir. Düzeltme terimleri aslında birbirlerine oldukça yakın sonuçlar verirler. Bu ifadelerden birisi ampirik yolla bulunmuştur ve



Şekil 2.4. Dünyanın dönme ekseninin eğimi nedeniyle bir yıl boyunca sapmasının (declination) değişimi. Bir yıl boyunca her gün aynı saatlerde sabit kamera ile Güneşin konumu kaydedildiği zaman ortaya ilginç görümlü günsekizi (analemma) çıkmaktadır. Şekilde günün kuşluk, öğlen ve ikindi vakitlerinde sabit kamera ile alınan görüntüler temsili olarak verilmiştir.

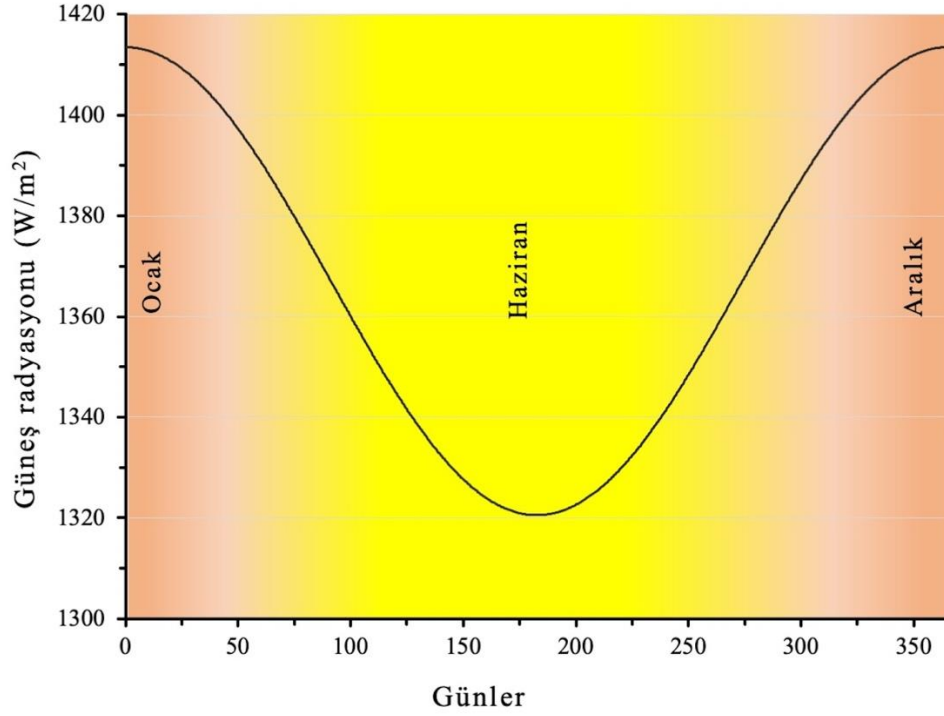
$$AMn = \frac{1}{\cos \theta_z + 0.15 (93.885 - \theta_z)^{-1.253}}, \quad (\theta_z = 90 - \alpha, \quad 0 < \theta_z < 85) \quad (2.6)$$

olarak verilir, (Şen, 2008). α Kesim 2.1.6'da tanımlanan Güneşin irtifa açısıdır. Uygulamalarda AM1.0 atmosfere girmeden önceki değer, yani atmosfer dışı değerdir ve radyasyona bir etkisi yoktur. Açık havada ve Güneş radyasyonunun tepede olduğu yaz günlerinde öğle vakti hava kütlesi çoğunlukla AM1.5, hafif sisli, buharlaşmanın yoğun olduğu yerlere eşdeğer AM2.0 gibi değerlerle yaklaşık olarak tanımlanır. Örneğin AM2.5 veya daha büyük değerler bulutlu havadaki değerlerdir.

2.1.3. Güneş İrtifa Açısı (Solar Altitude Angle - α)

Güneş irtifa açısı, Güneş radyasyonunun ufuk düzlemi ile yaptığı açıdır, Şekil 2.6 Güneşin farklı zamanlarda izlediği yörüngeyi ve irtifa açısını göstermektedir. İrtifa açısı yıl gününe ve aynı zamanda günün saatlerine bağlıdır. Bu ifade dünyanın sapma (deklınasyon) açısına, sistemin bulunduğu (derece ve dakika olarak) enlem koordinatına (ψ_e) ve saat açısına bağlı olarak

$$\xi = \sin \delta \sin \psi_e + \cos \delta \cos \omega \cos \psi_e \quad (2.7)$$



Şekil 2.5. Dünyaya gelen ortalama güneş radyasyonunun yıl boyunca değişimi.

olmak üzere eğer $|\xi| \leq 1$ ise $\alpha = \sin^{-1} \xi$ alınır.

(δ : deklinasyon, ψ_e : enlem, ω : saat açısı)

ifadesiyle verilir, (Şen, 2008). *Heliostatın* kurulduğu arazinin Güney doğrultusunda ξ_G açısı ile eğimli ise hesaplamalarda bu eğimin etkisi

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin \delta \sin(\psi_e - \xi_G) + \cos \delta \cos \omega \cos(\psi_e - \xi_G)] \quad (2.8)$$

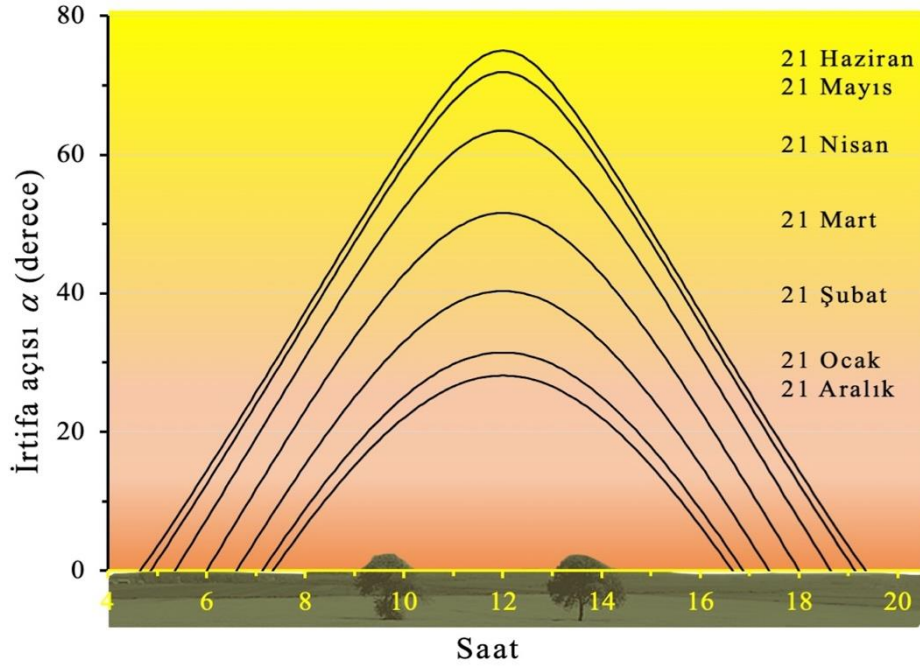
olarak yansıtılır.

Güneşin irtifa açısı Türkiye'nin ve komşu ülkelerin bulunduğu enlem dairesinde kış ve yaz gündönümünde yaklaşık 24° ile 74° arasında değişir. Şekil 2.6 Kuzey yarı kürede farklı tarihlerde günlük Güneş irtifa açısının Kış gündönümü olan 21 Aralık ile yaz gündönümü olan 21 Haziran arasındaki aylar için değişimleri göstermektedir. Şekilde verilmeyen diğer aylar için de geçerlidir.

2.1.4. Güneş Ufuk (Azimut) Açısı - ϕ_A

Güneşten Dünyaya ulaşan radyasyonun sabahtan akşama kadar taradığı ufuk (azimut) açısı yıl gününe ve günün saatine bağlı olarak değişmektedir. Astronomiden ödünç alınan ufuk açısı ifadesi aşağıdaki gibi verilir;

$$\xi = \frac{\sin \delta \cos \psi_e - \cos \delta \cos \omega \sin \psi_e}{\cos \alpha} \quad (2.9)$$



Şekil 2.6. Yılın belirli günlerinde Güneş irtifa açısının bir gün boyunca değişimi. Diğer aylar olan Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında değişim karşılıklı aylarla aynıdır.

olmak üzere

Eğer $|\xi| \geq 1$ ise $\xi \rightarrow \text{Tamsayı}(\xi)$ al

(Eğer yuvarlama nedeniyle $|\xi| \geq 1$ olması durumunda ± 1 yap)

Eğer $\sin \omega > 0$ ise $\phi_A = \cos^{-1} \xi - 180$

değilse $\phi_A = 180 - \cos^{-1} \xi$ al.

(δ : deklinasyon, ψ_e : enlem, ω : saat açısı)

Ufuk açısı, Güneşin irtifa açısı ile bağlantılı olarak değişir. Açı öğleden önce, Güney yönünün doğu tarafında pozitif, öğleden sonra Batı tarafında negatiftir. Şekil 2.7 ufuk açısının bir gün boyunca değişimini 21 Aralık kış gündönümü ile 21 Haziran yaz gündönümü arasında her ayın 21'i için verilmiştir. Aynı değişimler diğer altı ay için de geçerlidir, (Şen, 2008).

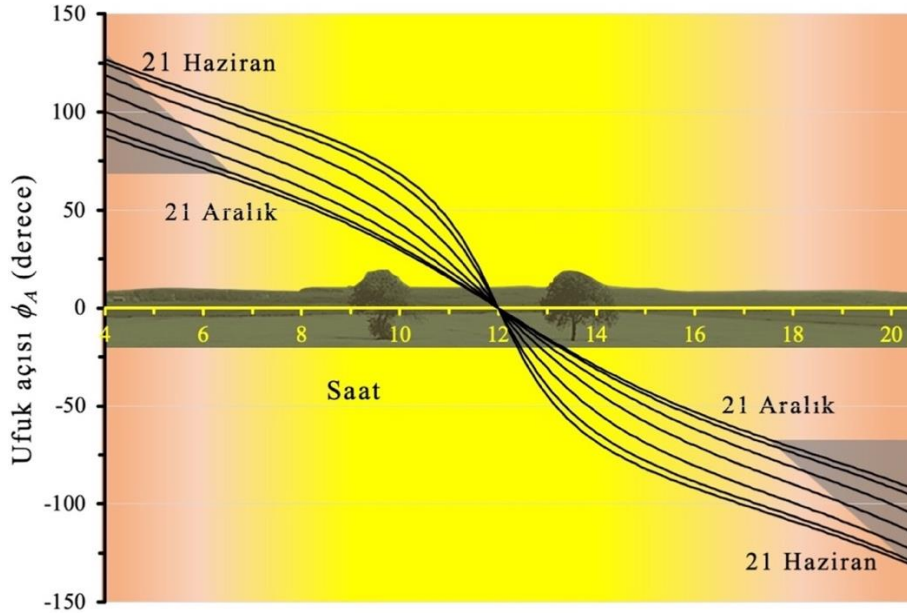
2.1.5. Güneşin Doğma ve batma Saatleri

Heliostatın çalışma süresi elbette Güneşin doğmasından kısa bir süre sonra başlar ve batmadan kısa bir süre önce erer. Tabii ki Güneş battıktan sonra üretimin devam etmesi, gündüz vakti üretim yanında sıcak madde depolarında ısı enerjisi olarak depolanan madde miktarına ve tüketim oranına. Güneşin doğma ve batma zamanı astronominin türettiği ifadelerle bulunmaktadır. İfadeler

$$T_{GD} = T_0 - \frac{1}{15^\circ} \cos^{-1} \left(\frac{-\sin \psi_e \sin \delta}{\cos \psi_e \cos \delta} \right) \quad (\text{Gün doğumu})$$

$$T_{GD} = T_0 + \frac{1}{15^\circ} \cos^{-1} \left(\frac{-\sin \psi_e \sin \delta}{\cos \psi_e \cos \delta} \right) \quad (\text{Gün batımı})$$

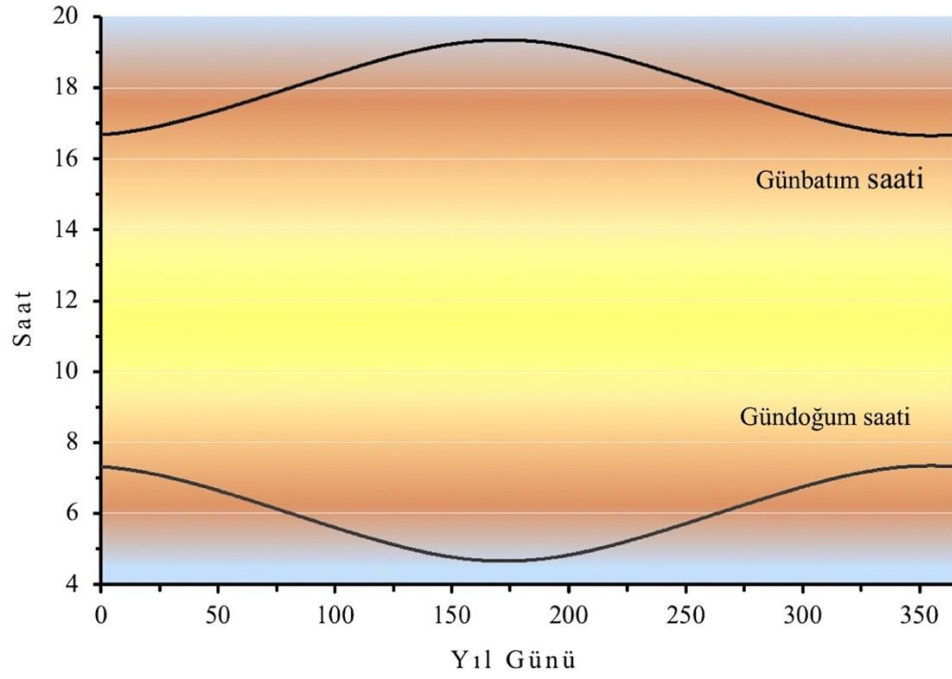
olarak verilir. İfadede T_0 yerel öğlen saatidir ve çoğu yerde $T_0=12$ olarak alınır. Paydadaki 15° saat açısıdır ve 360° açının 24 saate bölümüdür. ψ_e ve δ yukarıda da tanımlanan sistemin bulunduğu enlem ile Güneşin sapma ya da deklinasyon açısıdır, (Şen, 2008). Şekil 2.8 Gündoğum ve Günbatım saatlerinin bir yıl boyunca değişimini göstermektedir. Güneş enerjisini toplamaya başlama ve bitirme zamanları bu denklemlerle belirlenebilir, ya da Güneşin doğduktan sonra ve batmadan önceki limit açıları ile belirlenebilir.



Şekil 2.7. Yılın belirli günlerinde Güneş azimut açısının bir gün boyunca değişimi. Kış gündönümü 21 Aralık ile yaz gündönümü olan 21 Haziran arasındaki aylar Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs'tır. Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında değişim karşılıklı aylarla aynıdır. İki kenardaki gölgeli bölgeler Güneşin doğma zamanlarını temsil etmektedir.

2.2. Literatür Taraması

Bu bölümde, Yoğunlaştırıcı Güneş Kulesi, (CSP), üzerine yapılan ve yayınlanan çok sayıda çalışmanın içinden konumuzla ilgili ve önemlileri hakkında kısa bilgi verilecektir. Öncelikle CSP'nin tarihteki gelişimi özetlenecek, daha sonra özellikle çalışma konusu olan *heliostat* konusu ele alınacaktır.



Şekil 2.8. Kuzey yarımkürede Türkiye’de Gündoğum ve Günbatım saatlerinin bir yıl boyunca (günlere bağlı) değişimi.

Yoğunlaştırıcı Güneş kolektörlerinin tarihte bilinen ilk uygulaması Antik Yunanistan’da ve Çin’de kaydedilmiştir. MÖ 200 yıllarında Antik Yunanistan’da Archimedes’in bir yüzeyi cilalanan çok sayıda bronz ayna ile Güneş ışığını işgalci Roma gemilerinin üzerine odaklayarak ahşap Roma gemilerini yaktığı mitolojisi kayıtlara geçmiştir. Bu mitolojinin doğruluğu tartışmalı olmasına rağmen aslında bilimsel geçerliği olan bir olaya atıf yapması bakımından önemlidir. Bu işlem 1973 yılında tekrarlanmış ve 60 askerin tuttuğu aynaların bir ahşap gemiye odaklanmasıyla gemi alev almıştır, (Butti ve Perlin, 1980). Benzer bir mitoloji eski Çin kaynaklarında da geçmektedir fakat açık ve ayrıntılı bir bilgi yoktur.

Bilinen ilk yoğunlaştırıcı Güneş kolektörü 1866 yılında Fransız Auguste Mouchout tarafından yapılan parabolik oluk sistemdir. Bu sistemle yansıtıcı parabolik yüzeyin odak çizgisi boyunca uzanan boru içindeki su buharlaştırılarak buhar makinesi çalıştırılmıştır. Daha sonraki yıllarda başka parabolik oluk kolektörler bunu izlemiştir. Bunlardan başlıcaları ABD, İspanya, Fransa ve Japonya gibi ülkelerde yapılmıştır. Bu sistemler 1-2 MW güçten 80 MW güce kadar değişmektedir. Test amaçlı yapılan bir kısmı birkaç yıl çalıştıktan sonra devreden alınmıştır. Daha sonraki yıllarda bunları Dünya Bankası destekli yapılan Mısır, Cezayir, Fas’ta yapılan CSP sistemler, İspanya’da yapılan yüksek güçteki sistemlerle devam etmiştir (www.solarpaces.org). Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 Yirminci Yüzyılın başlarına kadar yapılan parabolik oluk ve

yoğunlaştırıcı Güneş kule sistemlerin bazılarını örnek olarak vermektedir (Sabonnadière, 2009). Bu listede kısaca verilen sistemlerin temel parametreleri ilerleyen kesimlerde açıklanacaktır.

Günümüzde CSP sistemleri ABD, İspanya, Fas, Çin, Hindistan gibi birçok ülkede yüksek ve farklı güçlerde yapılmış ve yenileri de yapılmaktadır. Aşağıda bunlarla ilgili yayınlar verilmiştir.

Tablo 2.1 ve 2.2 dışında özellikle 2000’li yıllardan sonra oldukça yüksek güçte oluk, *heliostat* ya da hibrid yoğunlaştırıcı Güneş gücünden yararlanan santraller yapılmıştır ve halen inşaatı devam edenler vardır. Bunlardan bazıları Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Parabolik oluklu yoğunlaştırıcı sistemlerinin bazılarının kuruluş yılları ve temel özellikleri.

| İsmi | Ülke | Yıl | Güç (MW) | Isı Transfer Sıvısı | Sıcaklık (°C) | Yüzey Alanı (m ²) |
|-------------|-------|------|----------|---------------------|---------------|-------------------------------|
| COSS | Fra. | 1980 | 0.05 | Yağ | 250 | 1176 |
| SSPS | İsp. | 1981 | 0.5 | Yağ | 300 | 2672 |
| SEGS-I | ABD | 1984 | 14 | Yağ | -- | -- |
| SEGS-II | ABD | 1986 | 30 | Yağ | 316 | 190338 |
| SEGS III/IV | ABD | 1987 | 30 | Yağ | 349 | 230300 |
| SEGS V | ABD | 1988 | 30 | Yağ | 349 | 250500 |
| SEGS VI | ABD | 1989 | 30 | Yağ | 390 | 188000 |
| SEGS VII | ABD | 1989 | 30 | Yağ | 390 | 194280 |
| SEGS VIII | ABD | 1990 | 80 | Yağ | 390 | 464340 |
| SEGS IX | ABD | 1991 | 80 | Yağ | 390 | 483960 |
| LS-3 | İsp. | 1997 | -- | Yağ | 420 | 685 |
| DISS | İsp. | 1998 | -- | Buhar | 400 | 3838 |
| SKAL-ET | ABD | 2004 | -- | Yağ | 400 | 4350 |
| El Nasr | Mısır | 2004 | -- | Buhar | 175 | 1900 |

Tablo 2.2. Yoğunlaştırıcı Güneş kule (merkezi toplayıcı) sistemlerinin bazılarının kuruluş yılları ve temel özellikleri. (D. buhar: aşırı sıcak doymuş su buharı)

| İsmi | Ülke | Yıl | Güç (MW) | Isı Transfer Sıvısı | Yüzey Alanı (m ²) | Kule Yüksekliği (m) | Depolama Maddesi |
|------|------|------|----------|---------------------|-------------------------------|---------------------|------------------|
| CRTF | ABD | 1980 | 5.0 | Erimiş tuz | 8261 | 61 | Erimiş tuz |
| SSPS | İsp. | 1981 | 2.7 | Sıvı Na | 4616 | 43 | Na |

| | | | | | | | |
|-----------|--------|------|------|------------|-------|-----|------------|
| Eurolios | Sicil. | 1981 | 1.0 | D. Buhar | 4193 | 55 | Erimiş tuz |
| Sunshine | Jap. | 1981 | 1.0 | D. Buhar | 12912 | 69 | Erimiş tuz |
| Solar One | ABD | 1982 | 10.0 | Buhar | 72527 | 80 | Yağ |
| Steor | ABD | 1983 | 1.0 | D.Buhar | 1585 | 20 | -- |
| Cesa-1 | İsp. | 1983 | 7.0 | D.Buhar | 11880 | 80 | Erimiş tuz |
| Themis | Fran. | 1983 | 2.5 | Erimiş tuz | 10796 | 101 | Erimiş tuz |
| Solar Two | ABD | 1995 | 12.4 | Erimiş tuz | 75527 | 54 | Erimiş tuz |

Tablo 2.3. Dünyada 2000 yılından sonra yapılan ve yapılmakta olan yoğunlaştırıcı Güneş güç santrallerinden bazıları

| | Ülke | Güç (MW) | Isı transfer sıvısı | Yıl | Amaç |
|--------------------|--------------|----------|---------------------|-------|--------|
| Planta Solar 10 | İspanya | 11,0 | Su | 2007 | Ticari |
| Jülich Solar Tower | Almanya | 1,5 | Hava | 2008 | Ticari |
| Planta Solar 20 | İspanya | 20,0 | Su | 2009 | Ticari |
| Sierra Sun Tower | ABD | 5,0 | Su | 2009 | Ticari |
| CME Solar Tower | Hindistan | 2,5 | Su/Buhar | 2011 | Ticari |
| Gemasolar | İspanya | 19,9 | Ergimiş tuz | 2011 | Ticari |
| Lake Cargelligo | Avusturalya | 3,0 | Su/Buhar | 2011 | Ticari |
| Dahan Power Plant | Çin | 1,0 | Su/Buhar | 2012 | Ticari |
| Ashalim 1 | İsrail | 121,0 | - | İnşaa | Ticari |
| Crescent Dunes | ABD | 110,0 | Ergimiş tuz | İnşaa | Ticari |
| Ivanpah Solar | ABD | 377,0 | Su | İnşaa | Ticari |
| Khi Solar One | Güney Afrika | 50,0 | Su/Buhar | İnşaa | Ticari |
| Palen Solar | ABD | 500,0 | - | İnşaa | Ticari |
| Rice Solar | ABD | 150,0 | Ergimiş tuz | İnşaa | Ticari |
| Supcon Solar | Çin | 50,0 | Ergimiş tuz | İnşaa | Ticari |

Türkiye, Afganistan, hatta Ortadoğu ve Orta Asya ülkelerinin hemen hepsi yeterli, hatta fazlaca Güneş alan ülkelerdir. Muhtemelen bu bölgede birçok ülke petrolün bol olması nedeniyle enerji ihtiyaçlarını petrolden karşılama yolunu seçmiş görünmektedirler. Bunların dışında, petrol kaynaklarına sahip olmayan ülkeler de farklı iktisadi ya da siyasi nedenlerle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmekte oldukça geç kalmışlardır. Bu ülkelerden örneğin Mısır, Tunus, Cezayir ve Fas bu alana yönelen ülkeler olmuştur, fakat bunların hepsi Kuzey Afrika ülkesidir. Yakın

zamanlarda Türkiye Mersin’de 5 MW güçte bir heliostat ve yoğunlaştırıcı Güneş güç santrali yapmıştır. Özellikle Türkiye ve Afganistan’ın güney bölgeleri bu sistemlerin kurulmasına oldukça uygundur ve ihtiyaçları da vardır.

Yoğunlaştırıcı Güneş kule (CSP) sistemi hakkında bilimsel çalışmalar ve yayınlar yoğun olarak 1980’li yıllarda başlamıştır. Bu konuda yapılan bilimsel toplantılar Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yürütülmüş ve toplantılarda sunulan bildirilerin toplandığı bildiri kitapları yayınlanmıştır. Bu kitapların ilklerinden olan ve editörlüğü Kesselring ve Selvage (1986) tarafından yapılan kitaplarda sunulan bildiriler ilgili yıllarda gelişmekte olan sistem hakkında oldukça ayrıntılı bilgiler vermektedir. Bildiri kitaplarının birinci cildi merkezi alıcı sistemler, günümüzdeki anlamıyla yoğunlaştırıcı Güneş gücü (CSP) üzerinedir ve daha çok küçük boyutlu sistemler hakkında bilgiler vermektedir. Bu kitabın üçüncü cildi CSP sistemlerin kurulabileceği alanlar hakkındaki çalışmaları içermektedir.

Daha sonraki yıllarda bu sistemlerin gelişimine paralel olarak çok sayıda kaynak kitaplar yayınlanmıştır ve bu kitaplarda yenilenebilir enerji, kaynakları ve değerlendirme teknolojileri hakkında farklı açılardan temel bilgiler verilmiştir.

Yenilenebilir Enerji teknolojilerinin, özellikle de yoğunlaştırıcı Güneş güç sistemlerinin fiziksel temelleri için temel kaynaklardan birisi Şen (2008) olarak verilebilir. Bu kitapta yenilenebilir enerjinin neden gerektiği, atmosferin ve çevrenin korunması, iklim değişikliği, Güneş radyasyon modelleri ve Güneş enerjisinin değerlendirilmesinin temelleri açıklanmıştır.

Sabonnadière, (2009) Yenilenebilir enerji hakkında, teknik ayrıntılara girmeden Dünyadaki farklı kaynaklar ve kullanımları hakkında genel bilgileri vermektedir. Bu kitapta FV sistemlerin, Termal Güneş enerjisi (yoğunlaştırıcı sistemler), Rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji sistemleri hakkında etraflı bilgiler bulunmaktadır.

Da Rosa (2009) yenilenebilir enerji teknolojilerinin fizik temellerini ayrıntılı ve örneklerle zenginleştirerek kapsamlı bir kitapta toplamıştır. Bu kaynak kitap hem ders kitabı ve hem de el altında bulunması gereken bir kaynak kitaptır. Diğer yenilenebilir enerji kaynak, teknolojiler ve teorik bilgiler yanında yoğunlaştırıcı Güneş enerji sistemlerinin temel fizik teorilerinin bulunabileceği bir kitaptır.

Yenilenebilir enerji hakkında teknik ve teorik ayrıntıya girmeden genel bilgiler için değerlendirilebilecek bir kaynak kitap Maczulak (2010) tarafından yazılmış ve bir vakıf tarafından yayınlanmıştır.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin doğrudan uygulaması yerine daha çok tasarımdan başlayıp teorik temelleri, ekonomik ve çevresel etkileri için Sorensen (2011) zengin içerikli bir kaynak olarak yararlanılabilir.

Zobaa ve Bansal (2011) FV sistemlerden biyokütle enerjisine kadar geniş yenilenebilir enerji kaynakları ve teorik bilgileri toparlayan bir kaynak kitaptır. Bu kitapta yoğunlaştırıcı Güneş enerji sistemlerine de bir bölüm ayrılmıştır. Her ders ve hem de kaynak kitap olarak değerlendirilebilir.

Twidell ve Weir (2015) yenilenebilir enerji kaynakları, teknolojilerinin teknolojileri ve teorik bilgileri için kapsamlı bir kaynak, gerçekte ders kitabıdır. Bu kitapta yenilenebilir enerji hakkında temel bilgiler yanında yoğunlaştırıcı Güneş enerji sistemleri hakkında temel ve kıymetli bilgiler bulunmaktadır.

Editörlüğünü Heller'in (2017) yaptığı bir kitap yoğunlaştırıcı Güneş kuleleri ve teknolojiler hakkında farklı araştırmacıların katkılarını toplamıştır. Bölümlerin her birisi Güneş kulelerinin farklı yönlerini ele almaktadır. Sistemin performansının belirlenmesi için kriterler, bileşenlerin performansları, (ısı alıcısı-değiştiricisi, toplayıcı aynaların performansa etkisi, sistemin toplam performansı, performans kaybı) ve sürdürülebilirliği ile gelişmekte olan yöntemler ve elemanlar incelenmiştir.

Yenilenebilir enerji üzerine yazılan kaynak kitapların hepsi bu kadar değildir. Diğer kitapların çoğu sadece FV veya benzer özel teknolojileri konu edindiği için buraya alınmamıştır. Verilen bu kaynak kitaplar bu alanda çalışanlar için başucu eseri olmalıdır. Kitaplar yanında yenilenebilir enerji konusunda özellikle 1980'li yıllardan sonra çalışmalar ve bunların sonunda bilimsel makaleler artmıştır. Aşağıda çok sayıdaki makalelerden bazıları örnek olarak alınmıştır.

Michael vd, (2000) yüksek sıcaklık Yoğunlaştırıcı Güneş gücü uygulamaları için yüksek verimli ikincil yoğunlaştırıcı sistemden bahsetmektedir. Refraktif ikincil Güneş yoğunlaştırıcısı, birincil yoğunlaştırıcıdan odaklanmış güneş enerjisini kırılma ve toplam iç yansıma yoluyla işleyen bir optik cihazdır. Bu sistemin tipik yansıtıcı ikincil yoğunlaştırıcılara (veya ikincil yoğunlaştırıcı olmayan sistemlere) kıyasla daha avantajlı olduğu iddia edilmektedir. Yüksek optik verimlilik, minimum ikincil

soğutma gereksinimleri olduğu, daha küçük bir alıcının yeterli olduğu ve kaviteden çıkan gazın azaltılması ile alıcının gücünün artırıldığı bildirilmiştir.

Selbaş vd. (2003) elektrik enerjisine olan ihtiyacın artan nüfusla ve teknolojik ilerleme için gerekli olduğu ve arttığı fakat elektriğin kısmen hidroelektrik ve fosil kökenli yakıtların kullanılmasıyla karşılandığı belirtilmiştir. Bu yakıtların oluşturduğu çevre kirliliği, enerjide dışa bağımlılık gibi problemlerin alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasını zorunlu hale getirdiği belirtilmiştir. Tükenmeyen potansiyele sahip olan güneş enerjisi, elektrik enerjisi üretiminde sera gazı, çevre kirliliği gibi olumsuzlukları oluşturmayan en bol enerji kaynağı olduğunu belirttikten sonra Güneş enerjisinden elektrik elde etme yöntemleri incelenmiş ve Güneş enerjisinden yararlanmak için en uygun metot seçilmeye çalışılmıştır. Sonuçta yoğunlaştırıcı Güneş güç sistemi (CSP) olarak bilinen bir elektrik üretim metodunun bu konuda uygun teknoloji olduğu sonucuna varılmıştır.

Alaphilippe vd. (2007) tarafından yayınlanan bir çalışmada 50 MW güçte bir parabolik oluk toplayıcı ile güneş enerjisinin termal sistem yoluyla elektrik enerjisine dönüştürmesinin kısa bir incelemesini sunmaktadır. Önerilen sistem yüksek sıcaklıkta Stirling motorlarına dayanan bir sistemdir. Termal motor tarafından üretilen mekanik gücü en uygun çalışma noktasının bulunabileceği gösterilmiştir. Basit, düşük maliyetli bir parabolik oluk ve düşük teknoloji Ericsson motoru ile iyi sonuç alınabileceği belirtilmektedir.

Alvarez vd. (2007) CSP teknolojilerini kurulu bir sistem üzerinden incelenmiştir. CSP teknolojilerinin verimliliğindeki artışla, diğer teknolojilerle iyi rekabet edebilmesi beklenmektedir. Bu çalışmaya göre parabolik oluk toplayıcının tepe verimliliği (peak efficiency) %21, güneş kulesinin tepe verimliliği %23 ve hibrit sistemlerinin tepe verimliliği %29 olarak belirlenmiştir. 2020 yılına kadar CSP güç sistemlerinin önemli miktarda güneş enerjisi elektriğinin sağlanması için mükemmel adaylar olduklarını belirtmişlerdir.

Wei vd. (2008) bir CSP sistemin optimizasyon işlemleri için 1 MW gibi küçük ölçekte bir heliostatın matematik modelini yaparak radyasyonun optik veriminin optimizasyonunu yapmıştır. Yıllık güneşlenmeden maksimum yararlanabilmek için aynaların konumları ve yönlendirilmelerinin yapılması gereği ortaya konulmuştur. Modelde Kuzey-Güney, Kuzey-Güney kademeli, Radyal ve Radyal kademeli olmak üzere dört yapının optimizasyonu yapılmıştır. Optimize edilmiş dört sonuç için alan

verimliliğinin karşılaştırılması yapılmıştır. Kuzey-Güney yönünde yerleşiminin 1 MW güneş kulesi enerji santrali için en uygun yönelim olduğu sonucuna varılmıştır.

CSP için bir heliostat yerleşimi için geliştirilen bir yöntem Wei vd. (2010) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde, heliostat boyutu, yansıtıcı aynanın geometrik açıklığına bağlı ve kosinüs verimi belirlenmiştir. Bu yöntemle heliostatlar yerleştirildikten sonra yıllık verimliliğin hesaplanması gereksizdir ve dolayısıyla tasarım ve optimizasyon süresi kısalmaktadır.

Zhu (2013) tarafından yayınlanan bir çalışmada lineer Fresnel aynaların, odaklama özellikleri nedeniyle CSP teknolojisinin önemli parçası olduğunu belirtmiştir. Doğrusal Fresnel yansıtıcı kullanan güneş güç santralleri çeşitli ülkelerde test edilmekte ve kullanılmaktadır ve doğrusal bir Fresnel yansıtıcıların optik performansının oldukça iyi olduğu belirtilmiştir. Güneş radyasyonunun gelme açısının aynaların optik performansı üzerinde etkisi vardır. Bu nedenle Güneş izleyici sistemin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

Zhang vd. (2013) konsantre güneş enerjisi santralleri teknolojilerini ve CSP sistemlerin avantajlarını kısaca gözden geçirmekte ve CSP, parabolik oluk toplayıcı, doğrusal Fresnel reflektör ve parabolik çanak sistemleri gibi farklı konsantre güneş enerjisi teknolojilerini karşılaştırmış ve termal enerji depolama sistemleri için farklı depolama malzemelerinin ısı kapasitesinin değerlendirmiştir.

Jagoo, (2013) Güneşin temel özelliklerini tanımlayarak ve güneşe ilişkin çeşitli parametrelerin, eksantrik anomali, saat açısı ve güneşin konumu (azimut ve rakım) arasında hesaplanmasını sağlayan ilgili denklemleri türetmiştir. Aynı şekilde bu çalışmanın ikinci bölümünde çeşitli güneş izleyiciler, yararları ve dezavantajları ele alınmıştır. Göreceli güç çıkışı açısından, çift eksenli bir izleyicinin mevcut en verimli sistem olduğu gösterilmiştir. Bu bölümde, iki derece dönme serbestliğine sahip entegre bir güneş takip mekanizması sayesinde doğrudan güneşi işaret eden yeni bir çift eksenli güneş takip cihazının adım adım yapılandırılması sunulmaktadır. Tasarımın her aşaması, tüm bileşenlerin açık bir şekilde açıklanması ve güneş izleyicinin gerçekleştirilmesi detaylandırılmıştır.

Zhou ve Zhou, (2014), Monte-Carlo yöntemiyle Güneş izleyici simülasyonu ile yoğunlaştırıcı Güneş kule sisteminin verimliliğini yüksek doğrulukla hesaplamıştır. İşlemlerde CSP sisteminin kurulacağı araziye en optimum ölçüde değerlendirmek için

optik verimliliğin ve arazinin değerlendirilmesi, bitişik heliostat aynalarının aralarındaki ilişki ve ayna boyutu belirlenmiştir.

Benammar vd. (2014) enerji depolaması yapılmayan güneş enerjisi santrallerinin verimlerinin modellenmesi ve simülasyonu için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Model dört ana alt sisteme ayrılmıştır: (1) heliostat alanı alt sistemi, (2) alıcı alt sistemi (kule), (3) buhar üretim alt sistemi ve (4) güç çevrimi alt sistemi (Rankine çevrimi). Alt sistemler için termodinamik modelleri geliştirilmiştir. Alıcı yüzey sıcaklığının ve alıcı yüzey alanının verimi ve buhar kütle akışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Diğer parametrelerin sisteme etkileri, ısı akışı, toplanan enerji ve alıcıdan kaynaklanan ısı kayıpları da incelenmiştir.

Boudaoud vd. (2015) Cezayirde kurulu olan ve erimiş tuz kullanan CSP sisteminin termal verimliliğinin tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan Fresnel ayna, yani toplayıcı ayna tasarımından termal dönüştürücü sisteme kadar sistemin elemanları ele alınarak en iyi verim için öneriler sunulmuştur. Sonuçta uygun tasarlanmış bir CSP ve heliostatın Cezayir için en iyi tercih olduğu belirtilmiştir.

Hindistan'ın Bilim, Teknoloji ve Politikalar Çalışma Merkezi, (CSTEP), tarafından yayınlanan bir raporda bir CSP sisteminin ve heliostatın gün boyunca güneş ışınlarını izlemek için çift eksenli bir Güneş izleyici kontrol sistemi ile kuledeki ısı transfer birimine (alıcıya) düşen yoğunlaştırılmış güneş enerjisi, alıcıdan geçen bir ısı transfer sıvısına ve bu ısı enerjisinin elektrik üretmede kullanımına kadar sistemin tamamı açıklanmıştır, (Srilakshimi vd. 2016). Bu rapora gündüz vakti toplanan güneş enerjisinin bir kısmının daha sonra kullanılmak üzere (gece/yoğun talep dönemlerinde) depolanmasını sağlayan bir depolama bileşeninin yapısı da anlatılmaktadır.

Chen vd. (2018) “CSP enerji santrallerinde heliostat alanının boyutlandırılması ve termal enerji depolanması için anahtar parametrelerin belirlenmesi” üzerine çalışmalar yapmıştır. CSP güç sistemi için farklı güneşlenme altında heliostat alanının büyüklüğünü ve termal enerji depolamasını optimize etmek için termal enerji depolama sürelerini belirlemeye çalışmıştır. Sermaye maliyetini düşürmek ve elektrik üretiminden yıllık geliri artırmak için güneş kulesi güç sistemi için uygun bir tasarımın gerekli olduğunu bildirmiştir.

2018 yılında yapılan bir bilimsel toplantıda sunulan bildiriler, editörlüğünü Chandra ve Dixit'in (2018) yaptığı bildiri derleme kitabında toplanmıştır. Bu bildiri

kitabında CSP güç sistemleri ayrıntılı ele alınmıştır. Kitapta bildiriler konularına göre kısımlara ayrılmıştır. Birinci kısımda Güneş enerjisinin kullanımı üzerine davetli konuşmacıların bildirimleri toplanmıştır. İkinci ve üçüncü kısımlarda Güneş enerji sisteminin elemanları, Güneş izleme sistemleri, küçük ölçekli sistemler, ısı değiştiriciler toplayıcılar gibi konular verilmiştir. Dördüncü kısım Güneş enerji dönüştürücü teknolojileri, beşinci kısımda termal enerji depolama teknolojileri, altıncı kısımda soğutma, yedinci kısımda termal ve sekizinci kısımda enterkonnekte sisteme bağlanma ve politikalar ele alınmıştır.

Collado ve Guallar (2019) bir heliostatta kule yüksekliğinin ve heliostatın boyutları ve çok sayıda heliostat aynalarının yerleşimi için yapılan bir tasarımın ve geliştirilen bir algoritmanın ayrıntılarını vermişlerdir. Önerilen algoritma ile yaklaşık 150 MW güçte heliostat tasarımının hızlı ve pratik yolla yapılabileceği belirtilmiştir.

Giostri vd. (2020) bir Güneş kulesi ve bir geri kazanım mikro gaz türbininden oluşan küçük ölçekli bir CSP sistemini raporlamışlardır. İkinci bir yoğunlaştırıcı ile birleştirilen heliostatın verimini belirlemek için bir algoritma geliştirilmiş, başka bir algoritma ile de termal motor performansı hesaplanmıştır Gerçek bir heliostat yerleşiminden bilgiler alınmış, optik ve termal verimliliği maksimum yapmak için ikinci sistemin parametreleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Al-Kouz vd. (2020) Suudi Arabistan'da bulunan Al-Khobar kenti yakınında kurulacak olan CSP sisteminin için mevcut tecrübeler ve Suudi Arabistana özel şartlar (Güneşlenme süresi ve sıcaklık, toz ve kum, nem, denizle olan ilişki göz önüne alınarak bir tasarım önerilmiştir.

Carballo vd. (2020) bir maket üzerinde heliostatın Güneş izleme kontrolünün yapılmasını modellemişler ve bu maket üzerinden heliostatın Güneş izleme işlemlerini merkezden yönetmeyi örneklemişlerdir.

3. ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. *Heliostat* Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar

Bir *heliostatın* uygun ve verimli bir biçimde tasarlanması için gerekli temellerden önemli olanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Bir *heliostat* tasarımında öncelikli parametre, sistemin tesisinin yapılacağı arazinin coğrafi konumu, yani enlem, boylam, rakım, arazinin büyüklüğü ve eğimidir. Bu parametrelere göre ön tasarım yapılmalıdır.
2. Güneş radyasyonunun odaklanacağı yer toplayıcı kulenin üst kısmıdır. Kule yüksekliği tercihe bağlı olacaktır, ancak olabildiğince yüksek olması tercih edilmelidir. Bu yolla ilgili alana maksimum sayıda ayna yerleştirmek mümkün olacaktır.
3. Aynaların arazi üzerinde yerleştirilmesi aynaların yerleri değiştirilemeyeceğinden zorunlu olarak yılın uygun bir gününe göre yapılacaktır. Eğer güneşlenmenin maksimum olduğu 21 Haziran günü için bir yerleştirme yapılabilir; bu durumda yılın diğer zamanlarında aynalar birbirlerini gölgeleyeceğinden yeterli verim alınamayacaktır. Örneğin 21 Mart günü esas alınarak tasarım yapılırsa bu defa arazide değerlendirilemeyen alanlar ve dolayısı ile Güneş radyasyonundan yeteri kadar yararlanılamama söz konusudur.
4. Tasarım günü yanında günün hangi saati için tasarım yapılacağı da önemlidir. Kuşluk, öğlen ya da ikindi vakti için yukarıdaki hususlar aynen geçerlidir.
5. Arazinin düz ya da eğimli olması diğer etkili faktörlerden birisidir. Eğer arazi güneye doğru eğimli ise bu sisteme avantaj olarak yansıtacaktır. Araziye daha fazla ayna yerleştirerek daha fazla güç toplamak mümkündür. Öte yanda kuzeye doğru eğimli bir arazi dezavantajlı bir arazidir, çünkü hem Güneş radyasyonunun gelme açısı büyük olacak ve hem de sınırlı ve belirli araziye daha az sayıda ayna yerleştirilebilecektir.

Heliostatın tesisinin yapılacağı arazinin konumu belirlendikten sonra Güneşin gelme açısı, her bir günün Güneşlenme saati gibi temel veriler astronomi kaynaklarından alınarak Bölüm 3’de verilmiştir.

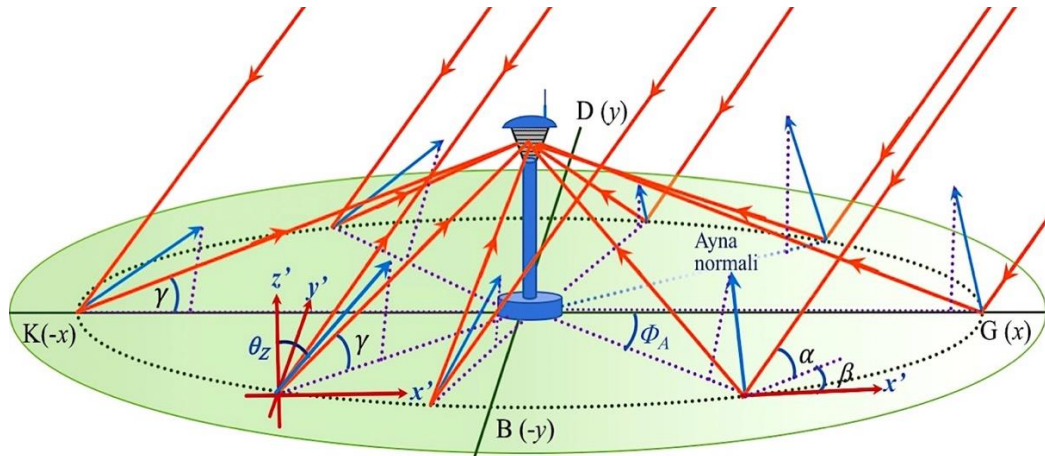
3.2. *Heliostat* Tasarımı ve Modelleme

Heliostatın kurulacağı arazide yansıtıcı ya da toplayıcı aynaların yerleşimi arazinin kullanımını maksimum yapacak biçimde yapılması gerektiği Kesim 5.1’de verilmiştir.

Bunların yanında dinamik parametreler olan Güneş ışığının yıl boyunca günlere ve

gün boyunca saatlere göre farklı açılarda gelmesi de dikkate alınmalıdır. Aynaların konumları Güneş radyasyonunun gelme açısına bağlı değiştirilemeyeceğinden, yerleşimin en uygun ve en az kayıp oluşturacak biçimde yapılması gerektiği Giriş Bölümünde konu edilmişti. Bunun için yılın en uygun günü ve günün de en uygun saati seçilerek kurulumun buna göre yapılması gereklidir.

Aynaların yerleri değiştirilemez fakat yönleri Güneş izleme sistemi ile sürekli olarak Güneş radyasyonunu kuleye odaklayacak biçimde değişebilir ve bu sistemde gereklidir. Eğer Güneş izleme işlemi yapılmazsa yılın ve günün belirli saatlerinde radyasyon kuleye odaklanır, diğer zamanlarda odaklama kulenin dışına dağılır. Güneş izleme sistemi her ayna için bağımsız bir algılayıcı ve sürücü düzenekle yapılabileceği gibi daha uygun olan yol merkezi bir bilgisayarla ve yüklü uygun bir yazılımla izlemenin yapılmasıdır. Aynaların koordinasyonu bur çalışmada geliştireceğimiz hesaplama yöntemi ile yapılabilir. Ancak Güneş izleme sistemi bu çalışma ile doğrudan bağlantılı değildir.



Şekil 3.1. Bir toplayıcı Güneş kule sisteminde temel değişkenlerin gösterimi. Aynalar sadelik için gösterilmemiştir.

Şekil 3.1 Bir *heliostatın* tasarımında temel değişkenleri göstermektedir. İfadelerde kullanılan değişken sayısı fazla olduğundan Tablo 3.1'de ayrıca tanımlanmıştır. Sabit koordinat sistemi Şekil 3.2'te verilmiştir. Aynaların yerleştirilmesinde seçilen gün ve günün saati dışında bütün yıl için öncelikle birbirlerini gölgelemelerinin minimum olması gereklidir. İkinci öncelikli husus, aynaların normallerinin Güneş radyasyonunu sürekli olarak kulede toplayacak doğrultuda olmasıdır.

Tablo 3. 1. Güneş kulesi sisteminin tasarım ve hesaplamasında kullanılan değişkenler.

| | |
|--|---|
| Φ : Alanın azimut açısı | χ : Hheliostat halkanın kule açısı |
| Φ_N : Ayna normalinin azimut açısı | θ_N :Ayna normalinin zenit açısı |
| β : Güneş radyasyonunun azimut açısı | α : Güneş radyasyonunun irtifa açısı |
| h_T : Kule yüksekliği | r_i : Her bir heliostat halkasının yarıçapı |
| h_m : Ayna yüksekliği | h_w : Ayna genişliği |

3.3. Aynaların Normal Açıları

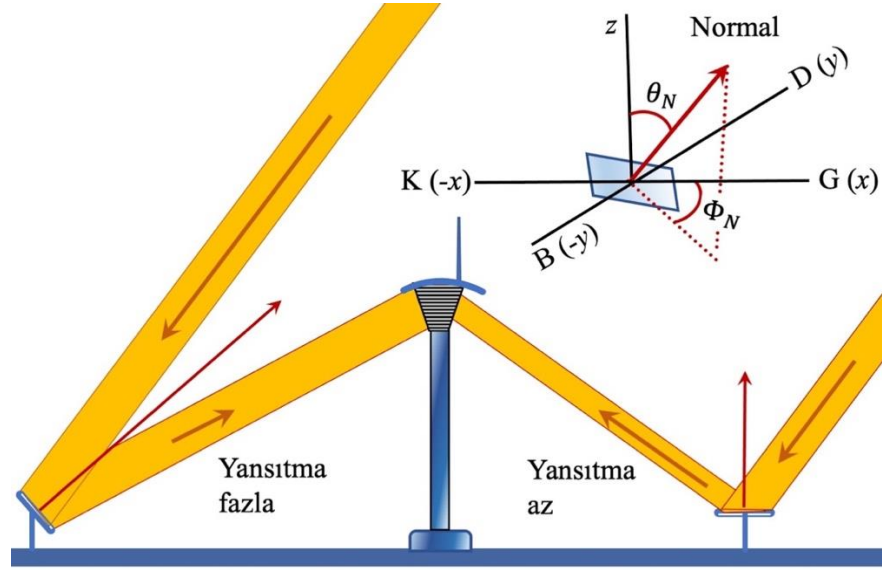
Daha önce de belirtildiği üzere bütün aynaların Güneş radyasyonunun gelme açılarına bağlı olarak odaklamayı kulenin alıcısında sürekli odaklaması için Güneş izleme mekanizmasına sahip olmalarını gerekmektedir.

Güneş izleyici sistem iki farklı biçimde yapılabilir:

1. Her aynada bulunan bir elektronik yön sensörü ve sürücü motor - mekanik mekanizmadan oluşan bağımsız Güneş izleyici Güneş ışığının gelme yönünü sürekli gözleyerek aynayı ona göre yönlendirir.
2. Merkezi bir bilgisayarda yüklü bir yazılım Güneş radyasyonunun bir yıl boyunca her gün her dakika gelme açılarını hesaplayarak aynaları buna göre yönlendirebilir.

Bu çalışmada aynaların yönelimlerinin bütün yıl günlerinde ve günün her anı için hesaplamasının yapıldığı bir yöntem geliştirilecektir.

Şekil 3.2’da heliostatın farklı konumlardaki iki aynasının Güneş radyasyonunu kuleye yansıtması temsili olarak gösterilmiştir. Normal açısı küçük olan ayna daha az miktarda radyasyon yansıtırken normal açısı büyük olan ayna daha fazla miktarda radyasyon yansıtacaktır. Aynı şekilde bir aynanın normali ve yerel koordinat sistemine göre normal açıları Φ_N ve θ_N de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Güneş radyasyonunun aynaların yönelimlerine bağlı yansıttığı radyasyon miktarları ile bir aynanın normali ve normal açılarının gösterimi.

Çalışmada aynaların yerel koordinat sistemine ve kuleye göre konumlarına bağlı normalinin açıları model üzerinde ölçümler yaparak belirlenmiştir. Modelde Güneş radyasyonunu ve yansıyan radyasyonu temsil eden doğru çubuklar kule etrafında farklı yarıçaplar ve farklı azimut açılara göre yönlendirilerek düzlem üzerindeki izdüşümlerinin G, (x-ekseni) yönelimine göre açıları olan normalin azimut açıları ile zenit açıları ölçülmüştür, Şekil 3.3. Toplanan ölçümler en küçük kareler yöntemi ile normalin azimut ve zenit açılarının yerel koordinatın azimut açısı ϕ ile Güneşin irtifa (α) ve azimut (β) açılarına bağlı fonksiyonlar bulunmuştur.

Model üzerinden ölçülen ayna normalinin açılarının değişimini temsil eden fonksiyonlar aşağıda verilmiştir:

$$\Phi_N = 270 + \frac{\phi + \beta}{2} \text{ olmak üzere}$$

$$\phi = \begin{cases} < \beta & \text{ise } \Phi_N = 180^\circ + \Phi_N \\ = \beta & \text{ise } \Phi_N = 180^\circ + \beta \\ \geq 360^\circ + \beta & \text{ise } \Phi_N = 180^\circ + \Phi_N \\ = 360^\circ \text{ ve } \beta = 0 & \text{ise } \Phi_N = 180^\circ \end{cases} \quad (3.1)$$

ve eğer $\Phi_N \geq 360^\circ$ ise $\Phi_N \rightarrow \Phi_N - 360$

Benzer olarak ampirik olarak belirlenen zenit açısını veren ifade de aşağıda verilmiştir:

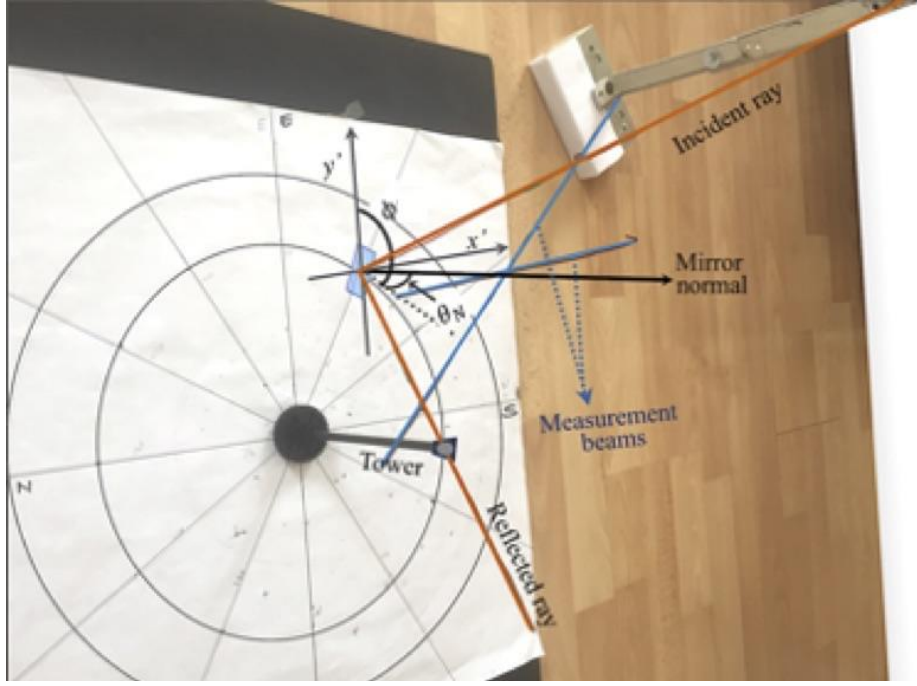
Şekil 3.4 ve 3.5 sırayla ayna normalinin bazı Güneş irtifa ve azimut açıları için yerel azimut açısına göre değişimlerini örnek olarak vermektedir. Şekil 5.4'de görülen

$$\Omega_0 = \alpha + \frac{180^\circ - \alpha - \gamma}{2} \quad \text{ve} \quad \Omega_1 = \alpha + \frac{90^\circ - \alpha - \gamma}{2} \quad \text{olmak üzere}$$

$$\Delta = \left| \Omega_0 - \Omega_1 \sin\left(\frac{\phi - \beta}{2}\right) \right| \quad \text{tanımı ile} \quad (3.2)$$

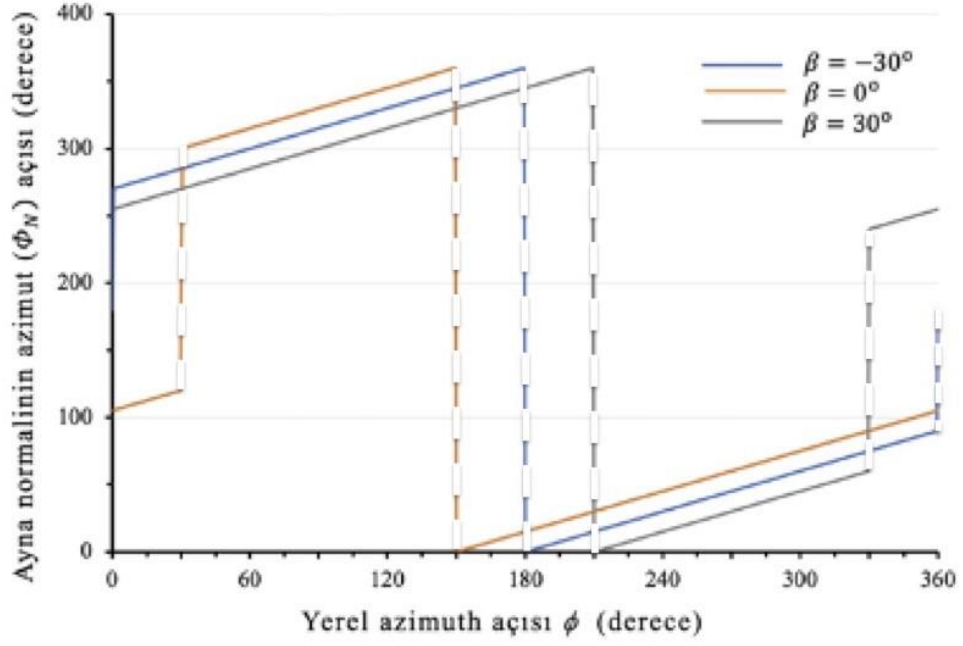
eğer $\Delta > 90^\circ$ ise $\Delta \rightarrow 180^\circ - \Delta$ al

Bu tanımlardan sonra ayna normalini $\theta_N = 90 - \Delta$ al.



Şekil 3.3. Toplayıcı aynaların normallerinin Güneşin irtifa ve azimut açıları ile yerel koordinatın f açısına bağlı fonksiyonlarını bulmak için kullanılan model.

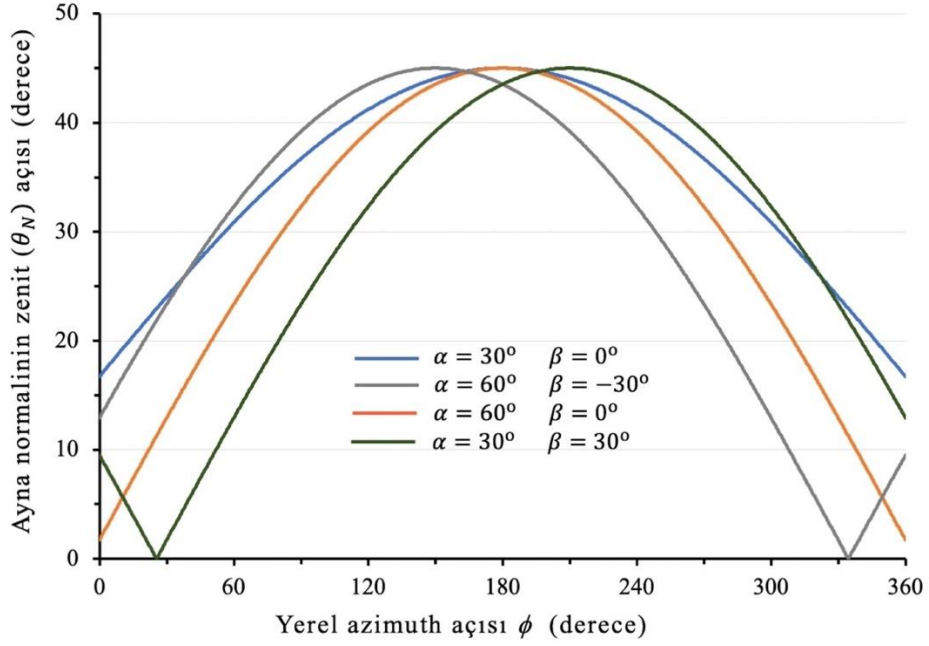
kırılma değerleri, gerçekte yerel azimut açısının ayna azimut açısına eşit olduğu değerde aynanın ani yön değiştirmesini temsil etmektedir. Benzer durum zenit açısında da görülmektedir.



Şekil 3.4. Ayna normalinin bazı β açıları için yerel azimut açısına göre değişimlerine örnekler.

3.4. Heliostat Aynalarının Yerleşimi: Fresnel Ayna Dizilimi

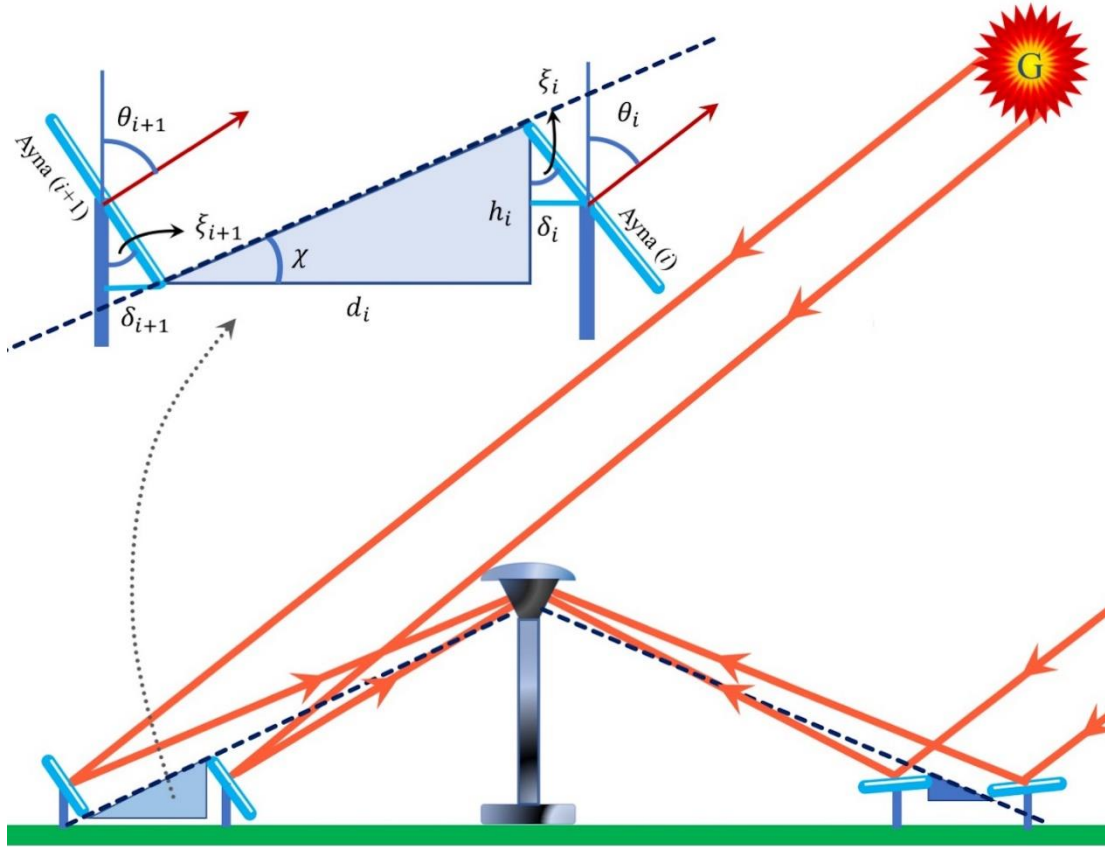
Heliostatta aynaların dizilimi manuel yapılabilir, fakat bu gerçekte verim kaybına yol açacaktır ve yerleşim bir bakıma tesadüfi olur. Bunun yerine aynaların düzgün geometrik şekiller biçiminde dizilmesi hem görüntü hem verim ve hem de düzen bakımından dikkate alınması gereken bir husustur. Ayrıca *heliostat* üzerinde çeşitli hesaplamalar yapmak mümkün olacaktır. Şekil 3.6 göz önüne alınarak, *heliostat* aynalarının eş merkezli olmayan daireler biçiminde yapılması daha uygun görünmektedir. Bugüne kadar yapılan ve faaliyette olan *heliostat* aynalarının hemen hemen hepsi iç içe eş merkezli olmayan dairelere dizilmiştir, (Leutz, ve Suzuki, 2001; Şen, 2008; Srilakshmi, 2016).



Şekil 3.5. Ayna normalinin zenit açısının Güneşin bazı irtifa ve azimut açıları için yerel azimut açısına göre değişimlerine örnekler.

Düzenli ve minimum arazi kaybı ile bir yerleşim için uygun teknik Fresnel ayna ilkesidir. Yukarıda da belirtildiği üzere Güneş radyasyonunu kulede odaklamak için bir aynanın arkasındaki aynanın gölgelememesi, önündeki aynanın da kuleye yansıyan radyasyonu engellememesi ya da minimum engellemesi gerekir. Şekil 5.6 aynaların yerleşimini ve parametrelerini vermektedir.

Bir öndeki aynanın kuleye giden radyasyonu kesmemesi için art arda iki ayna arası mesafe, ya da ayna kaideleri arası mesafe şekilde görüldüğü üzere $d_i + \delta_i + \delta_{i+1}$ olacaktır. Bu mesafenin belirlenmesi buradaki problemdir. Aynı durum Güneşten gelen radyasyon için de geçerlidir, (buradaki açı farkı δ_i ile Dünyanın *deklinesyonu* karıştırılmamalıdır). Kulenin ısı toplayıcı kısmının maksimum radyasyon alması için alt sınırından aynalara çizilen kesikli çizgi ile d_i mesafesi arasındaki dik üçgenden aynalar arası uzaklık belirlenebilir. Dik üçgenin χ açısı ile yukarıda tanımlanan kule açısı γ birbirine oldukça yakın olduğundan $\chi \approx \gamma$ alınabilir ve bu iyi bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımla



Şekil 3.6. Bir heliostatta aynaların yerleşimini gösterimi ve değişkenler.

$$\tan \chi_i \approx \tan \gamma_i \approx \frac{h_T}{r_i} \approx \frac{h_i}{d_i} \quad \text{ve} \quad h_i = h_M \sin \theta_i, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, M) \quad (3.3)$$

olduğundan

$$d_i \approx \frac{h_i}{\tan \gamma_i} \approx \frac{h_M \sin \theta_i}{\tan \gamma_i} \quad \text{veya} \quad d_i = \frac{h_m r_i \sin \theta_i}{h_T}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, M) \quad (3.4)$$

benzer yolla yine geometriden

$$\delta_i \approx \frac{h_M}{2} \cos \theta_i \approx \delta_{i+1}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, M) \quad (3.5)$$

olarak bulunacağından her bir heliostat halkasının yarıçapı

$$r_{i+1} = r_i + \frac{h_M \sin \theta_i}{\tan \gamma_i} + h_M \cos \theta_i \quad (3.6)$$

olarak bulunur. İfadelerde M heliostat halka sayısı ve θ_i her bir aynanın normalinin zenit açısı olmak üzere $\xi_i = 90 - \theta_i$ olarak alınmıştır, (θ_i açısı aşağıda açıklanmıştır).

Heliostat halkalarındaki aynaların yönelimleri, ya da normal açıları Güneş radyasyonunun gelme açısına ve aynaların kuleye göre konumlarına bağlı olarak

dairesel halkalarda kayma olacaktır, yani halkalar eş merkezli olmayacaklardır. Şekil 3.6'de gösterildiği üzere eğer ayna kulenin Güney tarafında ise aynalar yere göre daha yatık, yani normal açıları küçük, arka tarafında ise aynalar daha dik, yani normal açıları daha büyük olacaktır. Bunun sonucunda, kulenin Güney tarafındaki aynalar birbirlerini gölgelemeyeceğinden birbirlerine daha yakın olurken kulenin Kuzey tarafındaki aynalar birbirlerini daha fazla gölgeleyeceğinden aralarındaki mesafeler daha fazla olacaktır. Sonuçta, yukarıda da belirtildiği üzere *heliostat* halkalarının merkezleri Güneye doğru kayacaktır.

Benzer kayma Doğu-Batı ekseninde de olabilir, ancak Güneş ışığından maksimum yararlanmak için bu kaymanın uygun olmadığı kabul edilerek bu çalışmada kayma sadece Güney-Kuzey ekseninde yapılmıştır. Ancak gerekli görülürse bu eksen üzerinde de kayma yapılabilir. Bu kabul ile her bir *heliostat* halkasının denklemi

$$(x_i - a_i)^2 + (y_i - b_i)^2 = r_i^2 \quad (b_i = 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots N;) \quad (3.7)$$

ve kutupsal koordinatlarda

$$\begin{aligned} x_i &= a_i + r_i \cos \theta_i \quad \text{ve} \\ y_i &= b_i + r_i \sin \theta_i, \quad (b_i = 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots N) \end{aligned} \quad (3.8)$$

olarak yazılır. Şekil 3.6'den ve analitik geometriden kayma miktarı

$$a_{i+1} = r_{i+1} - \left(\frac{r_i}{h_T} + \cos \theta_i \right) h_M, \quad (i = 1, 2, 3, \dots N) \quad (3.9)$$

olarak bulunur.

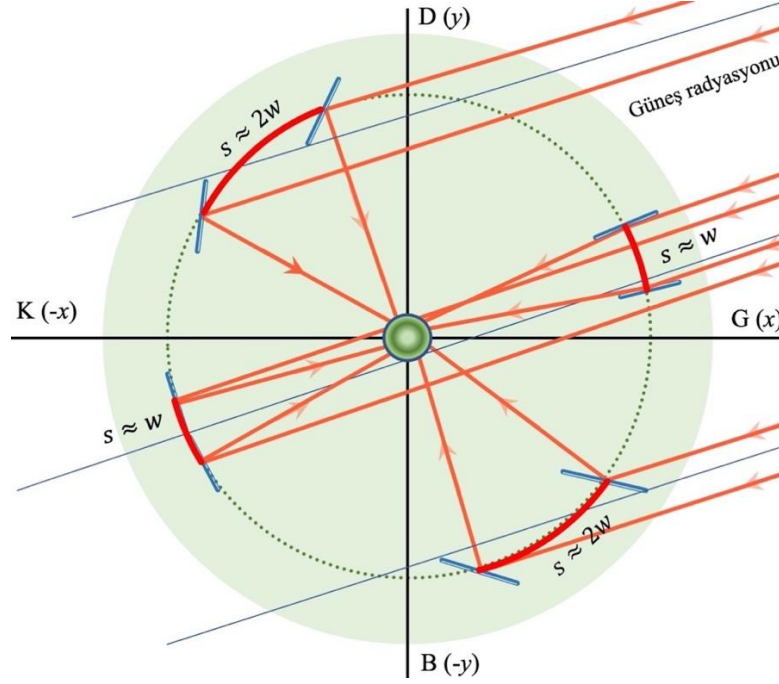
3.5. Heliostat Halkasında Aynaların Mesafeleri (Tercihli)

Heliostatta halkalar arasındaki mesafe yanında bir *heliostat* halkasında yan yana bulunan halkaların aralıkları da önemlidir. Farklı açılarda gelen Güneş radyasyonunu yan yana duran aynalar da gölgelememeli, ya da minimum düzeyde gölgelemelidir. Gerçekte Güneş radyasyonunun yıl günlerine bağlı değişimleri dikkate alınarak gölgelemeyi sıfır yapmak için aynalar arası mesafenin bir hayli fazla olmalıdır, ancak bu durumda araziden optimum yararlanılmamış olur. Ayrıca Güneş radyasyonunun zayıf olduğu kış günleri düşünülerek aynaları gereğinden fazla aralıklı yapmak, yaz günlerinde radyasyonun yoğun olduğu dönemlerde yeteri kadar yararlanamamaya neden olacaktır. Bu husus bir tercih konusudur, ancak makul ve uygun olan durum radyasyonun yoğun olduğu dönemleri dikkate almak olacaktır. Ancak çoğu uygulamada farklı zamanlardaki kayıpları telafi etmek için aynaların halkada eşit aralıklı dağıtılması uygun görülmüştür. Ancak istenirse bir *heliostat* halkasında Güneş

radyasyonunun gelme açısına göre aynalar arası mesafenin geometrik yaklaşımı Şekil 3.7 verildiği gibi yapılabilir. Aynaların durumları dikkate alındığında yan yana duran aynalar arası mesafe yerel azimut ve Güneşin azimut açılarına bağlı yaklaşık olarak

$$s \approx w_M [1 + |\sin(\phi - \omega)|] \quad (3.10)$$

ifadesi kullanılabilir. İfadede w_M aynaların genişliği, ω saat açısıdır, Denklem (2.2).



Şekil 3.7. Bir heliostat halkasında yan yana dizilen aynaların aralarındaki mesafenin yerleşimini gösterimi.

3.6. Aynaların Topladığı Toplam Güç

Toplayıcı aynaların yönelimleri nedeniyle yıl günlerinde ve günün her saatinde farklı Güneş radyasyonunu kulenin ısı değiştiricisine toplayacaktır. Heliostatın yansıttığı güç, Aynaların normali ile Güneş radyasyonunun doğrultusunun, yani vektörlerin skalar çarpımları ile bulunacaktır. Bu durum Şekil 5.2’da gösterilmiştir. Her bir aynanın normal vektörü,

$$\mathbf{A}_{ij} = A_0 (\sin \theta_{N(ij)} \cos \Phi_{N(ij)} \hat{\mathbf{i}} + \sin \theta_{N(ij)} \sin \Phi_{N(ij)} \hat{\mathbf{j}} + \cos \theta_{N(ij)} \hat{\mathbf{k}}) \quad (3.11)$$

olarak yazılır. A_0 , her bir aynanın yüzey alanı, $i = 1, 2, 3 \dots M$ heliostat halka sayısını ve $j = 1, 2, 3 \dots N_i$ her bit heliostat halkasındaki ayna sayısı olmak üzere $\theta_{N(ij)}$ ile $\Phi_{N(ij)}$ her bir ayna normalinin zenit ve azimut açılarıdır. Güneş radyasyonunun birim alana düşen güç akışının vektörü de

$$\mathbf{I} = \frac{I_0}{AM_n} [\sin(90 - \alpha) \cos \beta \hat{\mathbf{i}} + \sin(90 - \alpha) \sin \beta \hat{\mathbf{j}} + \sin(90 - \alpha) \hat{\mathbf{k}}] \quad (3.12)$$

olarak yazılacaktır. İfadede P_0 Güneş radyasyonunun birim yüzey alana ulaşan kısmıdır. I_0 insolasyon ve AM_n hava kütlelidir. Sonuçta her bir aynanın kuleye ulaştırdığı radyasyon gücü skalar çarpım yapılarak

$$P_{ij} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{A} = \frac{A_0 I_0}{AM_n} [\sin \theta_{N(ij)} \sin(90 - \alpha) \cos \beta \cos \Phi_{N(ij)} + \sin \theta_{N(ij)} \sin(90 - \alpha) \sin \beta \sin \Phi_{N(ij)} + \cos \theta_{N(ij)} \cos(90 - \alpha)] \quad (3.13)$$

ifadesi olarak bulunacaktır. *Heliostatın* alıcıya yansıttığı toplam güç de bütün aynaların güçlerinin toplamı olacaktır. Bu durumda her bir aynanın yansıttığı güç P_{ij} olacaktır. α ve β belirli bir zaman için aynalara bağlı değişmeyeceğinden indisli alınmamıştır. Buna göre belirli bir zaman için kuleye ulaşan toplam güç

$$P_T = \frac{A_0 I_0}{AM_n} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} P_{ij} \quad (3.14)$$

olarak bulunacaktır, (bkz. EK-A).

Güç Hesaplaması

Bu çalışmada tasarlanan *heliostatın* hesaplamaları için gerekli girdiler aşağıda verilmiştir.

- i. *Heliostatın* coğrafi konumu: Enlem ve boylam derece ve dakika olarak girilmelidir. Örneğin 38° ve 42" enlem, 35° ve 24" boylam gibi.
- ii. *Heliostat* alanı, *heliostatın* kurulacağı arazinin boyutları en ve boy olarak verilmelidir.
- iii. Kulenin arazideki konumu tanımlanmalıdır. Bu konum arazinin ortasına ya da bir kenarına olabilir.
- iv. Kule yüksekliği mevcut teknolojinin öngördüğü yükseklikte olacaktır. Aşırı yüksek olması erimiş metalin aktarılmasında çıkabilecek olumsuzluklar nedeniyle tercih edilmez, yüksekliğin az olması da aynaların sayısında azalmaya ve toplanan gücün az olmasına neden olur.
- v. Birinci *heliostat* halkasının yarıçapı mevcut duruma göre verilmelidir. Diğer halkaların yarıçapları ve kaymaları Denklem 3.6 – 3.9 ile tanımlanan ifadelere ve parametrelere bağlı hesaplanacaktır.
- vi. Her bir aynanın en ve boyu verilmelidir.

- vii. Bulunulan coğrafi bölgenin öğlen saati, yani Güneşin tam tepede olduğu saat verilmelidir. Bu saat çoğunlukla 12.00 olarak verilse de, ileri saat uygulaması olan ve saat diliminden uzak olan yerlerde biraz farklı olabilir.
- viii. *Heliostatın* her gün üretime başlama zamanı, (hesaplama için gerekli) her ne kadar gündoğum ve günbatım zamanları hesaplanarak belirlenebilirse de bu zamanlar yıl günlerine bağlı değiştiğinden bunun yerine tercihan Güneşin doğumdan sonra ve batmadan önceki irtifası önceden belirlenebilir.

Bu verilerin yanında *heliostatın* kurulumu için uygun gün ve saatin de belirlenmesi gerekmektedir. Bu bölümün başlarında da söz edildiği üzere aynaların konumları sabit olacağından uzun vadede en fazla gücün toplanacağı bir zaman için tasarım yapılmalıdır.

Ayrıca, herhangi bir anda yapılan üretimin hesaplanacağı gün ve saat ayrıca verilmelidir.

Ek veriler olarak, istenirse hesaplamalarda halkalar arası mesafelerin, her bir halkadaki aynalar arası mesafelerin toleransları da girdi olarak verilebilir.

Bu verilerle bir *heliostatın* yapısını ve topladığı gücün hesaplamasını yapan algoritma ve uygun yazılımın alış diyagramı EK-A'da verilmiştir.

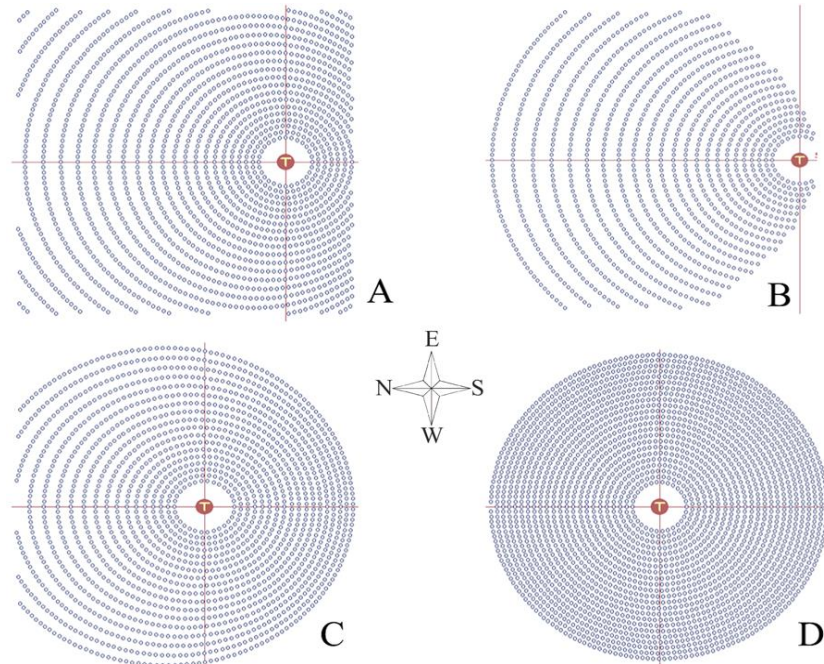
4. HESAPLAMALAR VE TARTIŞMA

Geliştirilen yazılım, parametreleri kapsamlı bir şekilde değiştirerek çeşitli tasarımlar sunabilir ki bu da durumun özel koşullarına göre her durum için en iyi tasarıma sahip kılmasını neden olur. Şekil 4.1’de bazı örnek *heliostat* tasarımını vermektedir. Bu hesaplamalarda arazi boyutları 400 x 400 m, kule yüksekliği 64 m alınmıştır. Kulenin arazideki konumları şekilde verilmiştir. Ek olarak, yazılım sahaya gelen güneş enerjisi ve alıcıya veya ısı değiştiriciye yansıyan gücü verir ve böylece *heliostatın* optik verimi hesaplanır.

Şekil 4.2’de Farklı iki kule yüksekliği ve Dünya üzerinde iki farklı enlem dairesinde yapılan tasarımlar verilmiştir. Diğer bütün parametreler aynıdır.

4.1. Güç Hesaplamalarında Esas Alınan Kriterler

Heliostatın aldığı ve alıcıya yansıttığı Güneş enerjisi ile karşılaştırma için aynı alana sahip sabit yönelimli fotovoltaik panellin aldığı enerji hesaplamalarında çok sayıda yapılabilecek kriterlerden bu çalışmada aşağıdaki sınırlı olan kriterler dikkate alınmıştır.



Şekil 4.1. Bazı örnek heliostat tasarımları. Tüm tasarımlar, kuzey yarım kürede (Afganistan'nın herhangi bir yerinde) $34^{\circ} 35'$ enlem ve $69^{\circ} 2'$ rakımda 400 m x 400 m alanlar için yapılmıştır. Kule yüksekliği 64 m'dir. A) kule güney kenarından 180 m, B) kule güney ucunda ve bir kısmı silinmiş, C) kule tarla merkezinde ve D) kule tarla merkezinde ve tarla 14° güneye bakacak şekilde eğimli. Eğik alandaki heliostat, ideal Fresnel aynaya yakındır.

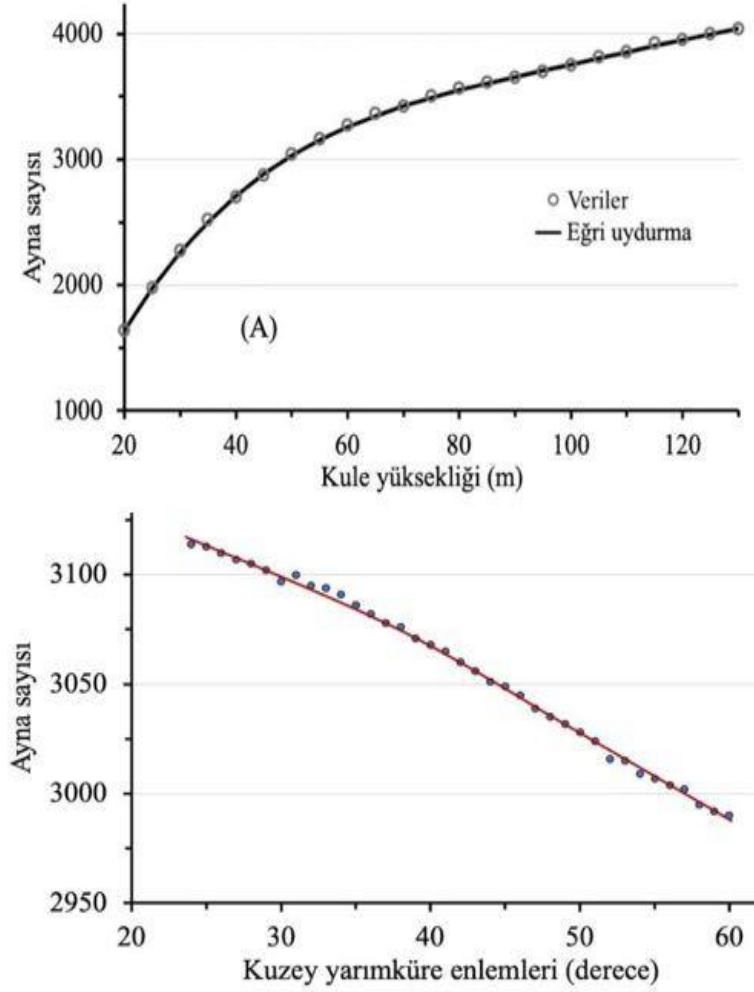
- i. Dünya üzerinde farklı enlemlerde *heliostatın* aldığı Güneş enerjisini görmek için Ülkelerimizin bulunduğu Kuzey yarımkürede Sahra kuşağında Ekvator üzerinde (Sahra Çölünde (Libya, K: 30° 00', D: 33° 00'), Türkiye, (Ankara, K: 40°00', D: 33°00'), Ukrayna (Kiev, K: 50° 00', D: 33° 00') ve Rusya'da (Moskova, K: 55° 00', D: 33° 00') konumları için hesaplama yapılmıştır.
- ii. Karşılaştırma için *Heliostat* tasarımı en uzun gün olan 21 Haziran günü için yapılmış, güç hesaplamaları her ayın 21'nci günü öğle vakti yapılmıştır.
- iii. Hesaplamaların hepsinde karşılaştırma için havanın açık, bulutsuz olduğu kabul edilmiştir. Yani belirlenen günlerin tam güneşli olduğu varsayılmıştır. Bulut, yağmur, kar gibi meteorolojik olaylar nedeniyle farklı olan Güneşlenme süreleri bu hesaplamada dikkate alınmamıştır.
- iv. Değişimlerde *heliostat* yanında aynı yüzey alanına sahip sabit yönelimli fotovoltaik Güneş panellerinin Güneşten aldığı toplam güç de gösterilmiştir.
- v. *Heliostatın* ve fotovoltaik panellerin güç verimleri dikkate alınmamıştır (güç verimleri ayrı bir çalışma konusudur).

4.1.1. Ayna Sayısı Hesaplama Örnekleri

Yapılabilecek çok sayıdaki hesaplama örnek olarak belirli bir konumda ve sınırları belirli bir arazide kule yüksekliğine göre ayna sayısının değişimi ile Kuzey yarımkürede farklı enlemlere göre ayna sayısının değişimi yapılmıştır. Şekil 4.2 (A) bu değişimleri vermektedir. Kule yüksekliğine göre ayna sayısı için arazi boyutu 400 m x 400 m alınmıştır ve arazi Karapınar'da seçilmiştir. Değişimde görüldüğü üzere ayna sayısı kule yüksekliğine bağlı olarak önde hızla artmakta ve daha sonra yaklaşık doğrusal biçimde daha yavaş artmaktadır. Eğer sayı daha da artarsa ayna sayısı sabit kalacaktır ve bu beklenen durumdur. Bu değişim belirli bir arazi için optimum ayna sayısının belirlenmesinde değerlendirilebilir.

Şekil 4.2 (B) aynı büyüklükteki arazinin Büyük Sahradan başlayarak Kuzey yarımkürede enlemlere bağlı ayna sayısı değişimini göstermektedir. Büyük Sahradan itibaren ayna sayısı Kuzeye doğru artmakta, yaklaşık Türkiye'nin Kuzey sınırlarında, Karadeniz sınırlarında maksimuma ulaşmakta, daha Kuzeye gidildikçe azalmaktadır. Bu tamamen Güneş radyasyonunun geliş açısına bağlı ve aynaların Güneş izleme sistemlerine sahip olmaları sonunda oluşan bir durumdur.

4.1.2. *Heliostatın* Güç ve Enerji Hesaplama Örnekleri

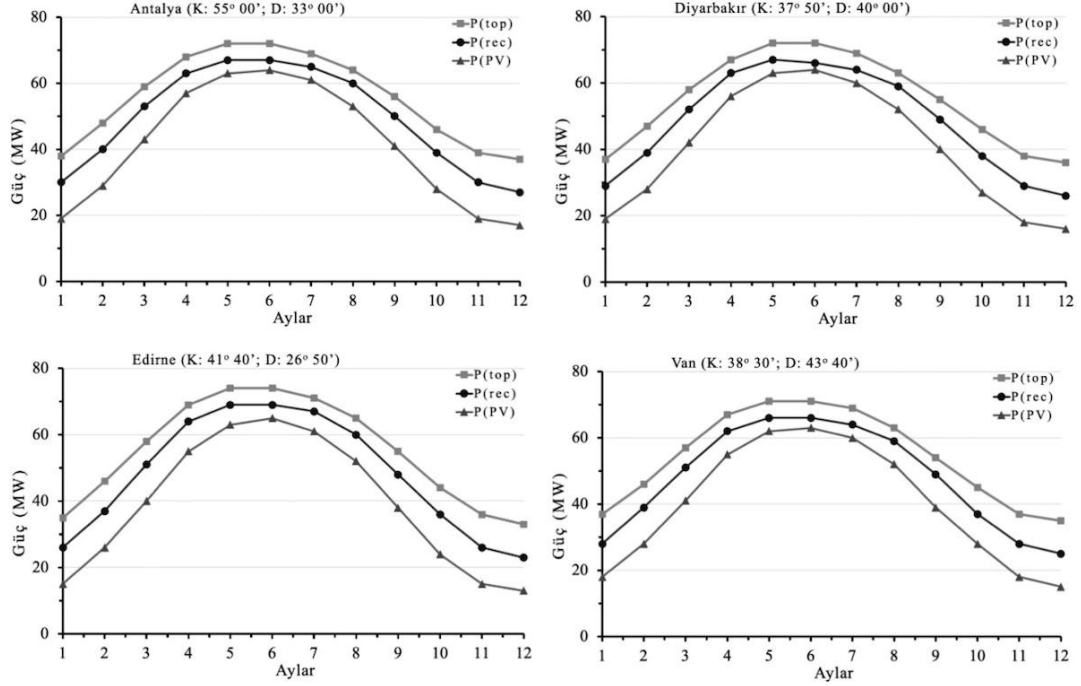


Şekil 4.2. (A) Aynı coğrafi konumda (Karapınar, K: $37^{\circ} 43'$; D: $33^{\circ} 32'$) farklı iki kule yüksekliği için yapılan hesaplama. (B) Kule yüksekliği ve diğer parametreler sabit tutularak farklı iki enlem dairesi için yapılan hesaplama verilmiştir. Bazı örnek heliostat tasarımları.

Heliostat tasarımının amacı, pahalı tesisi yapmadan önce en uygun konfigürasyonu oluşturma yanında bulunduğu coğrafi konuma bağlı olarak topladığı ve ısı değiştiriciye yansıttığı Güneş gücünü ve günlük, aylık vs Güneş enerjisini yaklaşık hesaplayabilmesidir. Yapılabilecek çok sayıda konfigürasyona örnek olarak Türkiye’de ve Afganistan’da bazı özel merkezlerde hesaplamalar verilmiştir.

Hesaplamaların hepsi, karşılaştırma yapabilmek için 21 Haziran Saat 12.00 için yapılmıştır. *Heliostat* kurulduğu arazi ile kule konumu ve yüksekliği de aynı ölçülerde tutulmuştur: Boyutları 400 x 400 m, kule arazinin Güney sınırından 148 m uzaklıkta, kule yüksekliği 64 m ve arazi eğimi 0° olarak sabit tutulmuştur. Güç hesaplamaları bir yıl her ayın 21’nci günü için yapılmıştır (*heliostat* tasarı günü ile karıştırılmamalıdır).

4.1.2.1. Türkiye’de Seçilen Merkezlerde Yapılan Hesaplama Örnekleri



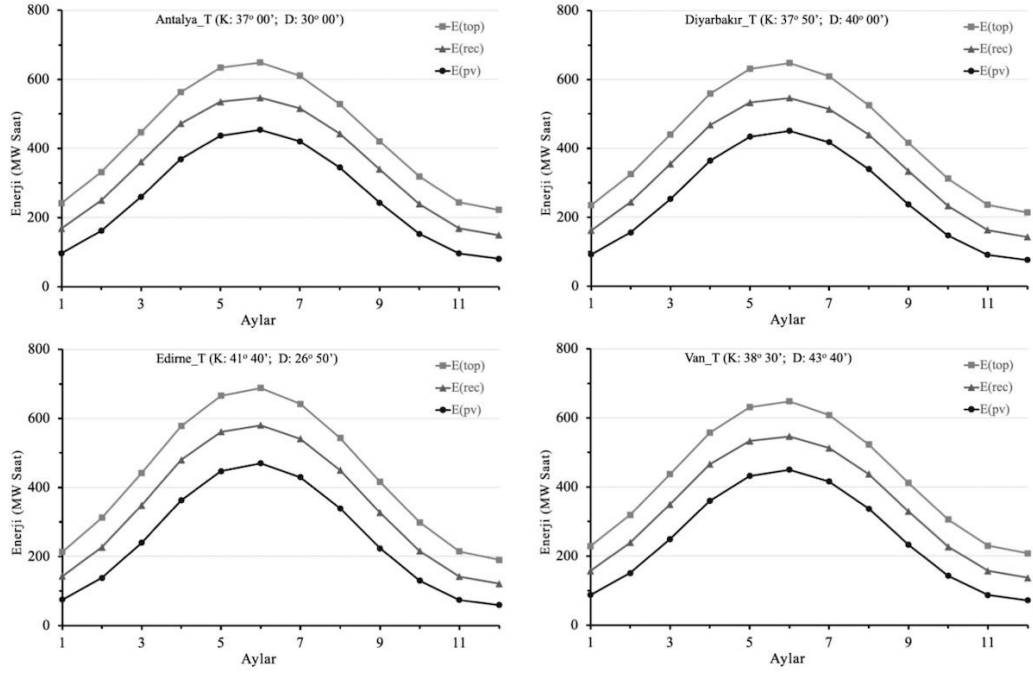
Şekil 4.3. Türkiye’de farklı bölgelerde aylara göre Güneşten gelen, aynaların yansıttığı güçlerin değişimleri. Kıyaslama için aynı yüzey alanına sahip olan sabit yönelimli fotovoltaik panelin aldığı Güneş gücü de verilmiştir. Hesaplamalarda 400 mx 400 m boyutlu arazi ile 64 m yükseklikteki kule esas alınmıştır. Bölgeler ve coğrafi konumlar ilgili değişim üzerinde verilmiştir. Hesaplama her ayın 21’nci günü için yapılmıştır, (gerçekte gün dönümlerinin olduğu gün).

Şekil 4.3 Türkiye’de belirlenen dört merkezde, Antalya, Diyarbakır, Edirne ve Van, bir yıl boyunca her ayın 21’nci günü yapılan hesaplamayı göstermektedir. *Heliostatın* Güneşten gelen ve ısı değiştiriciye yansıttığı güç değerleri dört merkez için birbirine yakındır.

Benzer hesaplamalar, bir yıl boyunca her ayın 21’nci günü bir gün boyunca üretilen enerji değişimleri Şekil 4.4’te verilmiştir. Üretilen enerjilerde de dört merkez için birbirine yakındır. Gerek güç ve gerek enerji değerlerinin dört merkez için birbirine yakın çıkmasının nedeni, bütün günlerin açık kabul edilmesi ile merkezlerin bulunduğu enlemlerin birbirine yakın olmasıdır. Türkiye’nin güney bölgeleri ile kuzey bölgeleri 37° ile 41° kuzey enlemleri arasındadır. Aradaki 4° enlem farkı güneşlenme için ciddi bir fark oluşturmamaktadır.

4.1.2.1. Afganistan’da Seçilen Merkezlerde Yapılan Hesaplama Örnekleri

Afganistan yaklaşık 31° kuzey enlem ile 36° kuzey enlem daireleri arasında yer almaktadır, dolayısı ile Türkiye’te göre en az üç enlem dairesi kadar daha güneydedir.

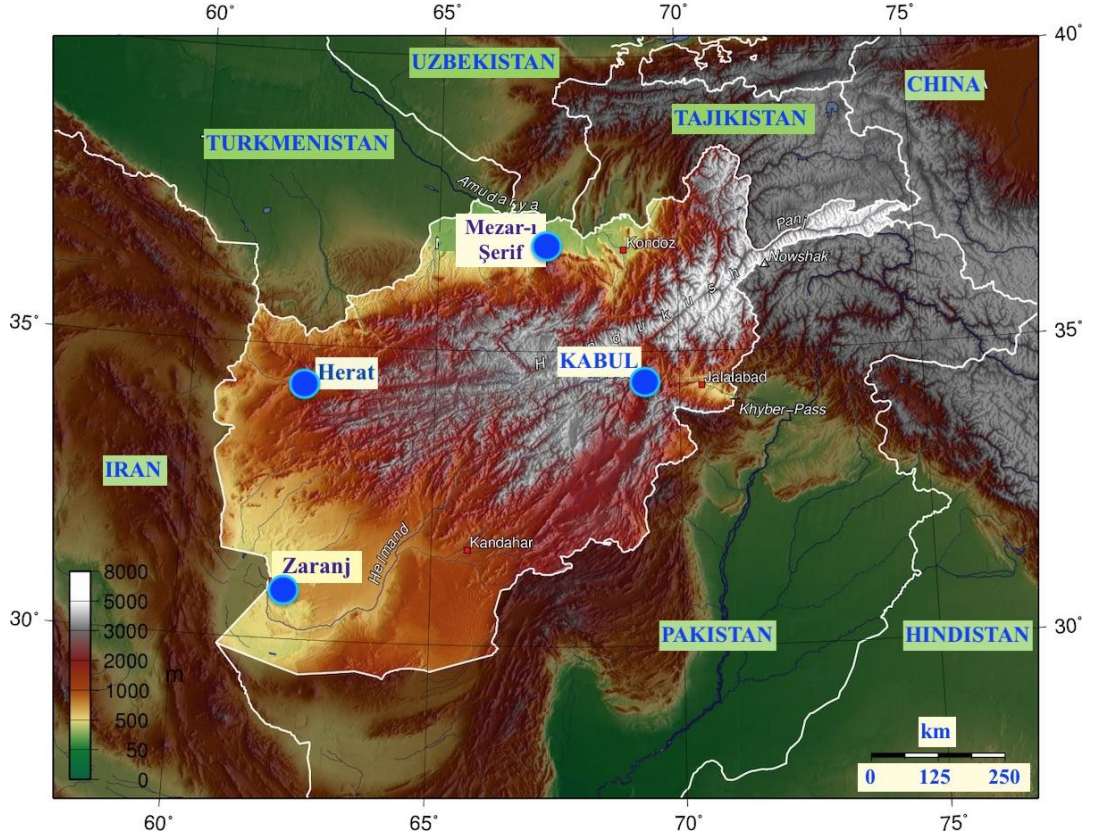


Şekil 4.4. Türkiye’de farklı bölgelerde aylara göre Güneşten gelen, aynaların bir günde topladığı enerjinin değişimleri. Kıyaslama için aynı yüzey alanına sahip olan sabit yönelimli fotovoltaik panelin aldığı Güneş gücü de verilmiştir. Hesaplamalarda 400 mx 400 m boyutlu arazi ile 64 m yükseklikteki kule esas alınmıştır. Bölgeler ve coğrafi konumlar ilgili değişim üzerinde verilmiştir. Hesaplama her ayın 21’nci günü için yapılmıştır, (gerçekte gün dönümlerinin olduğu gün).

Bu nedenle Güneş zenite daha yakın, ya da daha dik gelmekte, daha fazla Güneş almaktadır. Sonuçta aynı parametrelerle yapılan heliostat hesaplamalarında daha fazla güç alması beklenebilir.

Şekil 4.5 Afganistanın coğrafi haritasını ve örnek hesaplama yapılan merkezleri göstermektedir. Seçilen merkezler kuzey ve güney ile doğu-batı sınırlarına yakın olan dört merkezdir. Bu merkezler başkent Kabil ($34^{\circ} 32' K$; $69^{\circ} 50' D$), Herat ($34^{\circ} 38' K$; $62^{\circ} 25' D$), Mezar-ı Şerif ($36^{\circ} 40' K$; $67^{\circ} 55' D$) ve İran sınırında bulunan Zaranj ($31^{\circ} 60' K$; $61^{\circ} 45' D$) olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu merkezler Afganistan’ın coğrafi yapısını oluşturan büyük oranda dağlık bölgeler ile güney sınırında bozkır özellikli olup bol güneş alan Zaranj isimli küçük yerleşim yeridir.

Afganistanın örnek olarak seçilen dört merkezi için bir yıl boyunca her ayın 21’nci günü saay 12’de yapılan hesaplama topluca Şekil 4.6’da verilmiştir. Dikkat edilirse heliostatın topladığı güç Türkiye yapılan hesaplamalara göre daha yüksektir. Bu durum Afganistan’ın coğrafi konumu dikkate alındığında beklenen sonuçtur.



Şekil 4.5. Afganistanın coğrafi haritası ve *heliostat* hesaplaması için seçilen merkezler.

Ayrıca sabit yönelimli ve aynı yüzey alanına sahip fotovoltaik Güneş panelleri de fazla güç toplamaktadır.

4.1.2.2. Heliostat Aynalarının koordinat ve Yönelim Örnek Çıktıları

Şekil 4.2’de verilen grafik heliostat tasarımları veri olarak da alınmaktadır. Tablo 4.1 örnek olarak sınırlı sayıda aynaların halka sayısını ve arazideki koordinatlar ile ilgili günün hesaplama anındaki ayna yönelimlerini, yanılgılı aynanın azimut ve zenit açılarını vermektedir. Bir hesaplamada aynaların konumları değişmezken yönelimleri anlık değişmektedir. Bu değişim Bölüm 3’te verilen astronomik denklmelerle bulunmaktadır.

Tablo 4.1 Çalışmada oluşturulan yazılımla tasarlanan heliostatın çıktısı olan aynaların koordinatlarına ve ayna yönelimlerine örnek veriler.

Global position of the field

Latitude: 38 degree 42 minutes

Longtitude: 35 degree 24 minutes

Plant field sizes- East-West: 400 m North-South: 400 m

Tilt angle of field (Facing to South): 0

Tower position- From East edge: 200 m From South edge: 160 m Tower height
84 m

Design date- Month: 6 Day: 21

Design time- Hour: 12 Minute: 08

Noon/Reference time of the day- Hour: 12 Minute: 08

% Shift between mirror distances in a helios ring: 35

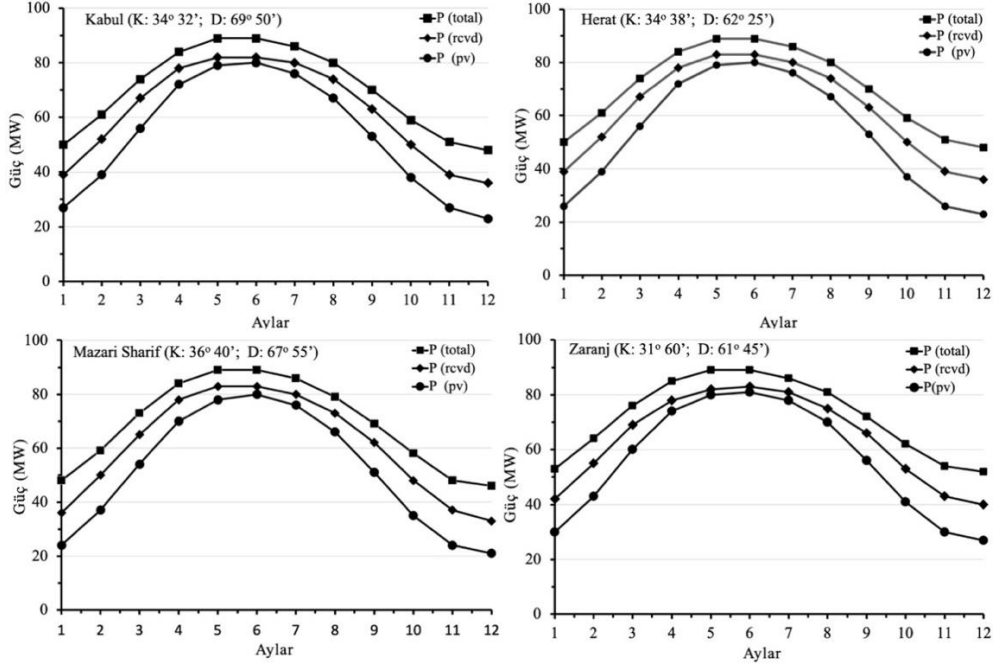
Shift between heliostat rings: 0

Helios Ring 1 Radius: 32.0000 Shift a in x axis: 0.0000

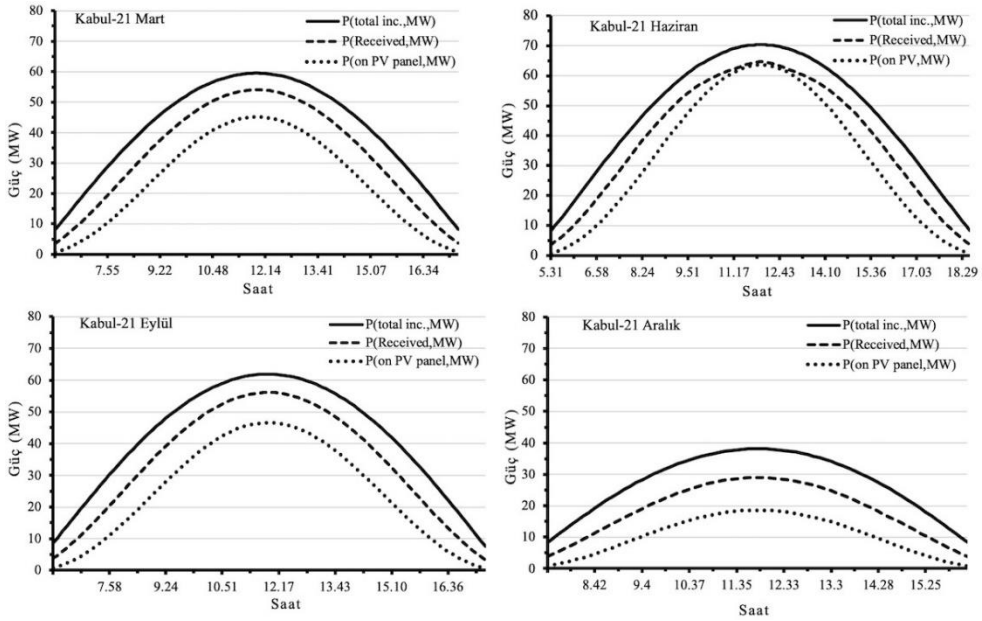
| Num | Azim-Phi(deg) | South-X(m) | East-Y(m) | Mirr. Norm Phi | Mirr. Norm Teta |
|-------|---------------|------------|-----------|----------------|-----------------|
| 2 | 12.4100 | 31.2500 | 6.8790 | 276.2000 | 2.3670 |
| 3 | 24.8300 | 29.0400 | 13.4400 | 282.4000 | 7.4740 |
| 4 | 37.2400 | 25.4700 | 19.3700 | 288.6000 | 12.4600 |
| 5 | 49.6600 | 20.7200 | 24.3900 | 294.8000 | 17.2700 |
| | | | | | |

Helios Ring 2 Radius: 39.0400 Shift a in x axis: -0.1942

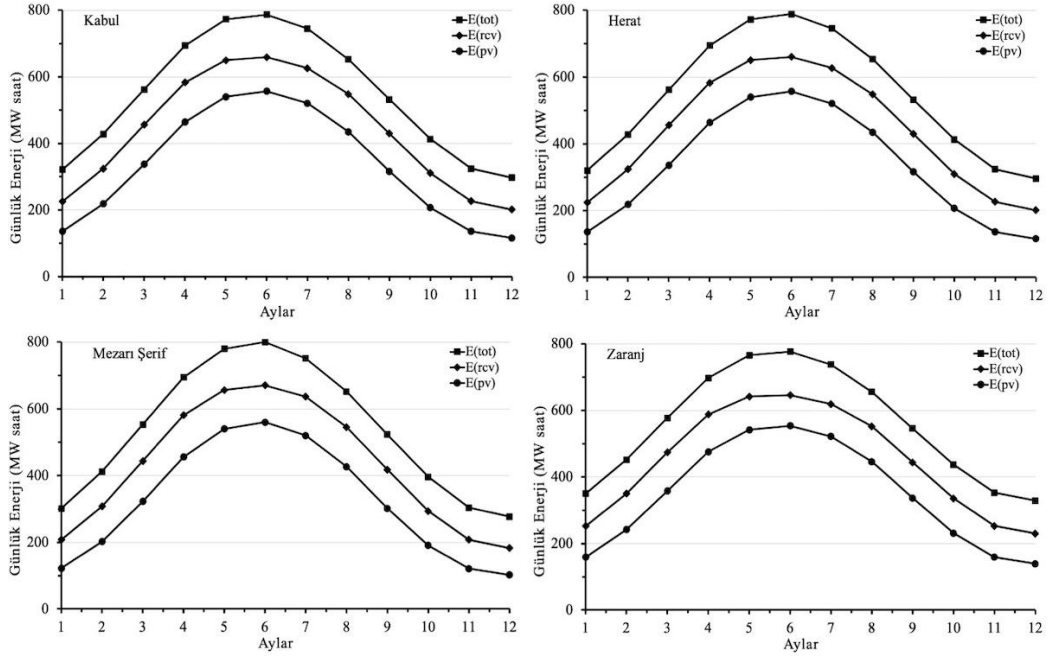
| Num | Azimuth-Phi(deg) | South-X(m) | East-Y(m) | Mirr. Norm Phi | Mirr. Norm Teta |
|-------|------------------|------------|-----------|----------------|-----------------|
| 2 | 10.0000 | 38.2500 | 6.7790 | 275.0000 | 0.4455 |
| 3 | 20.0000 | 36.4900 | 13.3500 | 280.0000 | 3.8580 |
| 4 | 30.0000 | 33.6200 | 19.5200 | 285.0000 | 8.0960 |
| .. | | | | | |
| 34 | 330.0000 | 33.6200 | -19.5200 | 75.0000 | 8.0960 |
| 35 | 340.0000 | 36.4900 | -13.3500 | 80.0000 | 3.8580 |
| 36 | 350.0000 | 38.2500 | -6.7790 | 85.0000 | 0.4455 |
| | | | | | |



Şekil 4.6. Afganistanın örnek olarak seçilen dört merkezi için her ayın 21'nci günü yapılan güç hesaplamaları. Merkezlerin koordinatları şunlardır: Başkent Kabil ($34^{\circ} 32' K$; $69^{\circ} 50' D$), Herat ($34^{\circ} 38' K$; $62^{\circ} 25' D$), Mezar-ı Şerif ($36^{\circ} 40' K$; $67^{\circ} 55' D$) ve İran sınırında buluna Zaranj ($31^{\circ} 60' K$; $61^{\circ} 45' D$)



Şekil 4.7. Afganistan'da seçilen merkezlerden birisi olan başkent Kabil'de gündönümlerinde örnek olarak yapılan bir günlük güç değişimleri. Bu güç değişimlerinin integralleri günlük üretilen enerjiyi verir. Benzer hesaplamalar diğer merkezlerde her ayın belirli günleri için yapılarak Şekil 4.8'da bir yıllık enerji değişimi olarak verilmiştir.



Şekil 4.8. Afganistanın örnek olarak seçilen dört merkezinde her ayın 212nci günü bir gün boyunca ürettiği enerjinin değişimleri. Merkezlerin koordinatları sunlardır: Başkent Kabil ($34^{\circ} 32' K$; $69^{\circ} 50' D$), Herat ($34^{\circ} 38' K$; $62^{\circ} 25' D$), Mezar-ı Şerif ($36^{\circ} 40' K$; $67^{\circ} 55' D$) ve İran sınırında buluna Zaranj ($31^{\circ} 60' K$; $61^{\circ} 45' D$).

4.2. Değerlendirme

Bu çalışmada seçilen coğrafi konum ve arazi için uygun olan bir CSP sisteminin helistatinin gerekli hesaplamalarını yapan bir algoritma ve bu algoritmanın kodlamasıyla oluşan yazılım yapılmıştır. Dünyanın hareketi ile ilgili denklemler astronomi kaynaklarından alınmış, bu denklemler bir heliostatın bir yılın bütün günlerinde maksimum Güneş enerjisi alacak biçimde ve kuledeki ısı değiştiriciye toplayacak biçimde kullanılmıştır. Heliostat tasarımı yılın belirli bir günü için yapılmaktadır. Tasarılmanın yapıldığı gün coğrafi konuma bağlı olarak değişse de, güç ve enerji hesaplamaları yılın her günü ve günün her anı için anlık yapılabilmektedir.

Heliostat tasarımında Fresnel ayna yöntemi kullanılmıştır. Bu yolla yapılan bir heliostatta aynaların Güneş izleyici olmaları zorunludur. Aksi halde günün her anında Güneş radyasyonunun gelme açısı değiştiğinden aynaların odaklaması da değişir, yani odaklama günün her anında kuledeki ısı değiştirici-alıcıda olmaz ve bu durumda istenilen verim alınamadığı için CSP sistemi anlamsızdır.

Farklı bölgeler için yapılan hesaplamalarda karşılaştırma yapabilmek için bütün hesaplamalarda yılın bütün günlerinin ve günün her anının açık ve bulutsuz olduğu varsayılmıştır.

Bu tez Türkiyede Antalya, Edirne, Diyarbakı ve Van ile Afganistanda Kabil, Herat, Mezarı Şerif ve İran sınırında bulunan küçük yerleşim yeri olan Zaranj kasabası için coğrafi konumlar dışında diğer bütün parametreler aynı tutularak örnek tasarımlar yapılmıştır. İlgili güç ve enerji değişim grafiklerinden görüldüğü üzere heliostatın topladığı anlık güç ve günlük enerjiler arasında ciddi fark yoktur. Bunun nedeni aynaların Güneş izlemeleri sonunda günün her anında maksimum ölçüde güneş gücünü ısı değiştiricide toplamalarıdır. Bu sonuç Türkiye ve Afganistanın bulunduğu enlem dairelerinde fazlaca değişmemektedir.

Bunun yanında hesaplamalara aynı yüzey alanına sahip olan fakat sabit yönelimli (yatayla 23°) fotovoltaiik panelin aldığı Güneş gücü de ilave edilmiştir. Bu yolla heliostat ile fotovoltaiik panel karşılaştırması yapılabilmektedir.

Hesaplamalarda hem heliostat ve CSP sisteminin ve hem de fotovoltaiik Güneş panellerinin verimleri dikkate alınmamıştır. Her ne kadar fotovoltaiik panelin verimi yaklaşık biliniyorsa da CSP sisteminin bir bütün olarak verimi bilinmemektedir. Bu denemle sadece Güneşten aldıkları güçler dikkate alınmıştır.

Kesim 2.2’de bu alanda yapılan çok sayıdaki kaynaklarda verilen CSP sistemlerle doğrudan bir karşılaştırma yapmak uygun olmayacaktır. Çünkü bu çalışmada tasarlanan heliostat henüz gerçekleşmemiştir. Raporlanan verimler % ile % arasında değişmektedir fakat bu değerler arttırılamaz değildir. Özetlenen yayınlar içinde sadece Alvarez vd. (2007) inceledikleri CSP sistemlerinin verimlerini %21 ile %29 arasında bildirmişlerdir. Yeni teknolojilerle ısı değiştirici, ısı yalıtımlı ısı transfer sıvı deposu ve kapasitesi ile buhar türbini-jeneratör bileşenlerinin birleşik verimlerinin %30 oranını aşması beklenmektedir. Uzun vadede %1 oranındaki bir artış bile gerek kamu ve gerekse özel teşebbüs için önemlidir.

Dünyada yaklaşık son 20 yıldan bu yana CSP sistemler gelişmiş ve inşaa edilmiştir. Ancak hala geliştirilmeye ihtiyaç vardır. Başta ABD, İspanya, Çin ve Hindistan bu sisteme yatırım yapmışlardır. Üretim güçleri 1 MW ile ABD’de kurulu 500 MW arasında değişmektedir, Tablo 2.3. Türkiye’de Mersin yakınında 5 MW güçte küçük bir CSP yapılmıştır. Ancak bu hem gecikmiş hem de düşük güçlüdür. Afganistanda bu alanda yapılmış herhangi bir tesis yoktur, ancak ihtiyaç ve ortam

vardır. Diğer enerji üretim sistemleri yanında güçlü bir alternatif olarak CSP sisteminin de kurulması beklenmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir CSP sisteminin esas elemanı olan heliostat tasarımı için bir algoritma ve buna bağlı yazılım yapılmıştır. Bu yazılımla Dünya üzerinde, hem Kuzey yarımkürede ve hem de Güney yarımkürede herhangi bir coğrafyada verilen bir arazi için, arazi boyutları, kule yüksekliği, yıl günü ve saat olarak tasarım zamanı, ayna boyutları, hatta ayna sayısı gibi bir çok girdi ile tasarım yapılabilmektedir. Çıkış olarak arazide aynaların konumları, Güneşten aldıkları ve kule tepesindeki ısı değiştiriciye yansıttıkları anlık güç, günlük enerji üretimleri ile her bir aynanın günün her saati için Güneş ileyici için gerekli yönelim açı değerleri alınmaktadır.

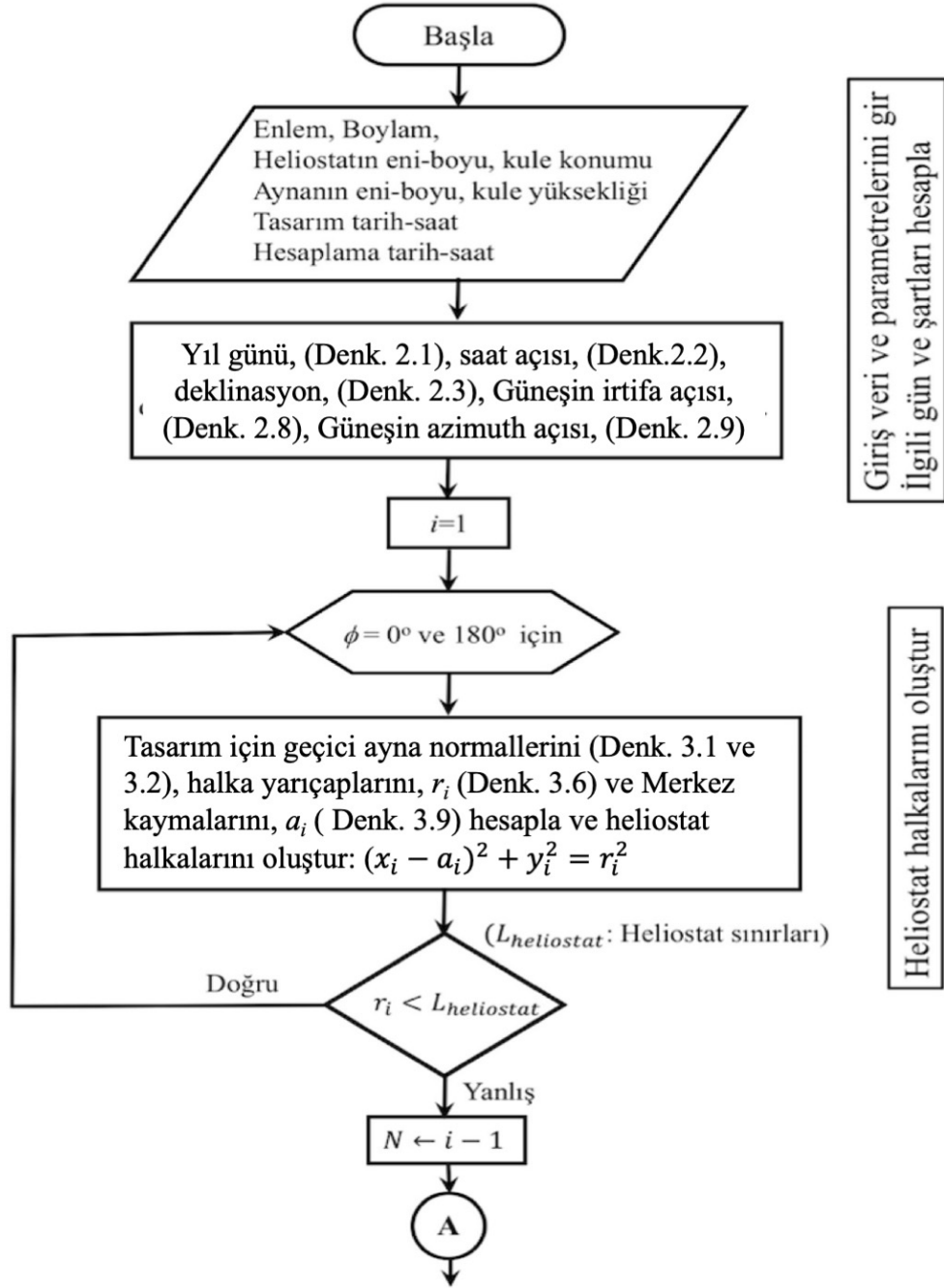
Bu çalışmada elbette eksiklikler vardır ve bu eksikliklerin büyük kısmı tasarlanan heliostatın en azından belirli oranda küçültülmüş modeli yapılarak görülebilir ve gerekli düzeltmeler yapılabilir. CSP sistemin diğer bileşenleri olan ısı değiştirici, ısı transfer sıvısı ve transfer sistemi, ısı yalıtımlı sıcak ısı transfer sıvı deposu ve kapasitesi ayrı çalışma gerektirmektedir. Üretim katmanındaki buhar türbini ve generatör çifti teknolojisi artık standart hale geldiğinden uygun ölçekte olanı seçilerek sisteme eklenebilir.

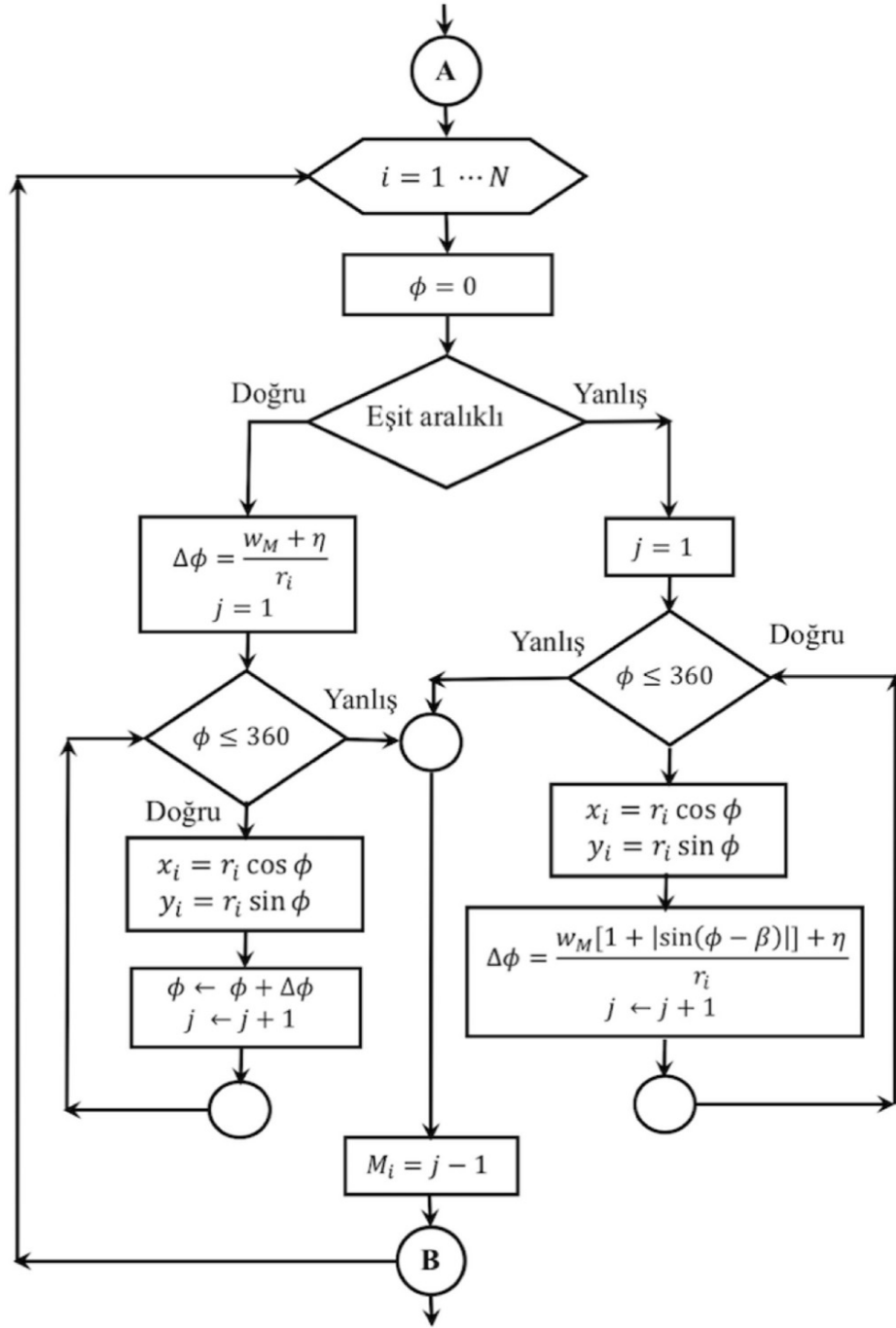
Algoritmada görülen ve eklenemeyen önemli bir parametre, sistemin kurulacağı arazinin rakımıdır. Bu parametre daha çok sistem yapıldıktan sonra dikkate alınacak ve sistemde modifikasyonlar yapılabilecektir. Diğer önemli parametre olan Güneşlenme ve bulutlanma süreleri sistemin kurulacağı coğrafi bölgenin iklim şartlarına bağlı dikkate alınmalıdır.

6. EKLER

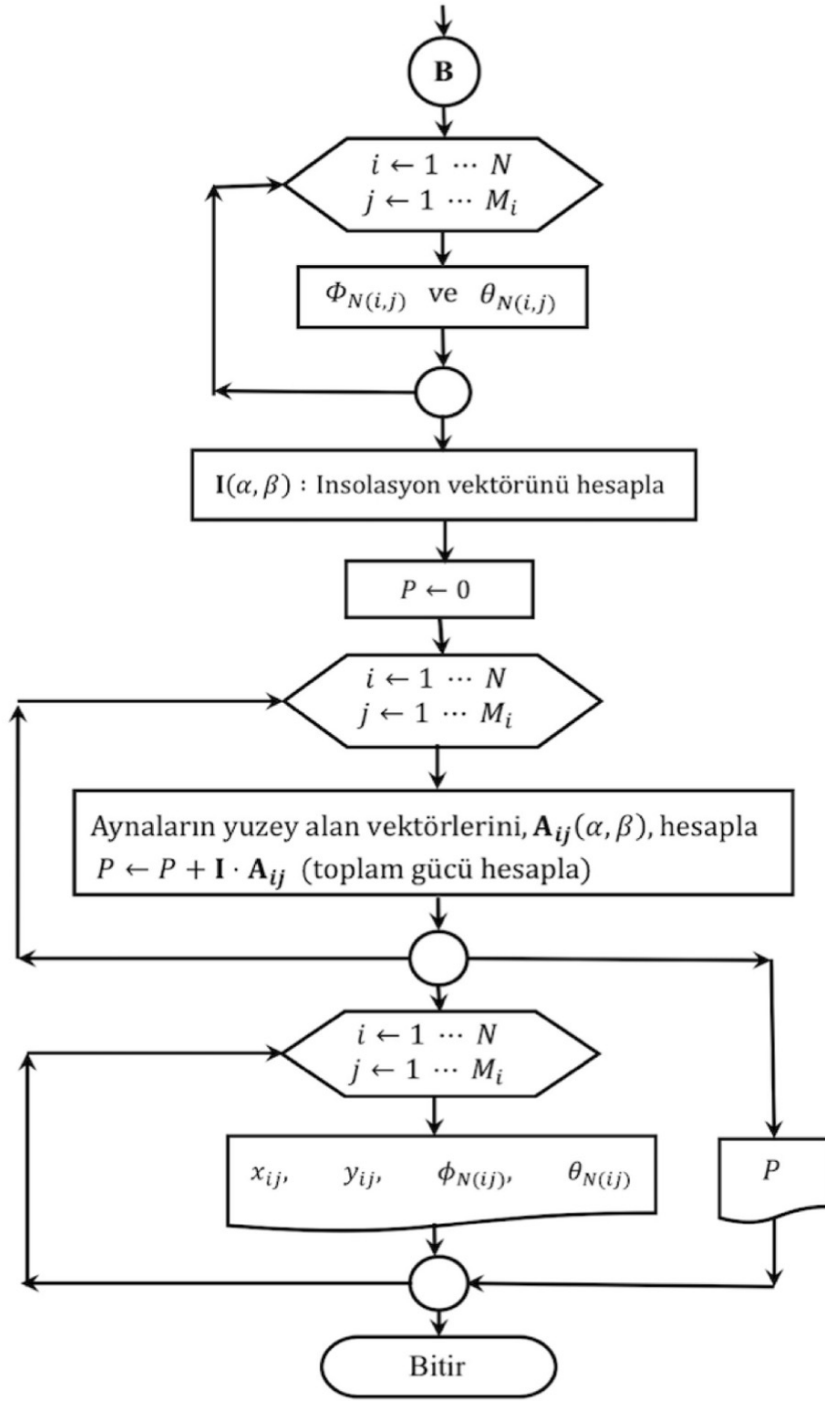
EK-A

Kesim 3, Kuramsal Temeller’de verilen *heliostat* tasarımı akış diyagramı olarak aşağıda verilmiştir. Bu akış diyagramı tez çalışmasında yazılım haline getirilerek *heliostat* tasarımı esnek biçimde yapılabilmektedir.





Heliostat halkalarında aynaların eşit aralıklı ya da Denk. 3.10 ile düzenle, (η : Tolerans)



Anlık Güneşin gelme açılarını, Denk. 2.8 ve Denk. 2.9 ile aynaların normallerinin açılarını, Denk. 3.1 ve 3.2 ile hesapla

Heliostatın aldığı ve kulede topladığı gücü, (Denk. 3.14) ile hesapla

Sonucu yaz

EK-B

Tez çalışma konusu heliostat tasarımına uygun yazılan ve EK-A'da verilen ve akış diyagramının Delphi ile yapılan yazılımının arayüzü.

The screenshot displays the Heliostat software interface, which is used for designing heliostat fields. The interface is divided into several sections:

- DESIGN DATE AND TIME:** Month: 6, Day: 21, Hour: 12, Min: 08.
- LOCAL DATE AND TIME:** Month: 6, Day: 21, Hour: 12, Min: 0.
- Mirror distances in rings:** 20% of mirror width, 0% of ring radii change.
- Power efficiency:** 30%.
- Buttons:** CALCULATE, Exit.
- POWER (MW):**
 - P(total)=71.90
 - P(rcvd)=66.98
 - Eta(optic)=0.93
 - P(ovrall)=40.19
 - P(on PV)=63.83
 - H.Ring/Mirr#=26/2673
 - Air Mass=1.04
- Parameters Panel:**
 - EARTH:** Radius of Earth: 6370000 meters, Solar Irradiation: 1367 W/m2 (AM0), Atmosph thick: 7991000 meters.
 - GLOBAL POSITION:** Latitude: 38 deg 42 min, Longitude: 35 deg 24 min.
 - MINIMUM SOLAR ALTITUDES:** Sunrise: 5, Sunset: 5 degrees, Minimum heliostat radius: 32 meters.
 - MIRROR SIZE:** Width: 5, Height: 4 meters.
 - NOON TIME:** Hour: 12, Minute: 08.
 - PV PANEL ANGLES:** Azimuth: 0, Slope: 23 deg.
- Heliostat Field Panel:**
 - Heliostat field selection:** Elliptic field (selected), Rectangular field.
 - HELIOSTAT FIELD:** E-W length: 400 meters, S-N length: 400 meters, Tilt angle (E-W): 0 degrees, Tilt angle (S-N): 0 degrees.
 - TOWER POSITION:** From East edge: 200 meters, From South edge: 160 meters, Tower height: 84 meters.
- Central Visualization:** A circular heliostat field layout with a central tower. The field is composed of concentric rings of heliostats. The tower is located at the center of the field. The field is oriented North-South, with North at the top and South at the bottom. The tower is located at the center of the field.

7. KAYNAKLAR

- Al-Kouz, W.; Nayfeh, J.; Boretti, A. (2020) Design of a parabolic trough concentrated solar power plant in Al-Khobar, Saudi Arabia, E3S web of Conferences 160, 02005. doi.org/10.1051/e3sconf/202016002005
- Alaphilippe, M.; Bonnet, S.; Stouffs, P. (2007) Low Power Thermodynamic Solar Energy Conversion: Coupling of a Parabolic Trough Concentrator and an Ericsson Engine, Int. J. Thermodynamics, 10(1) 37-45. dergipark.org.tr/en/download/article-file/65701
- Anonim 2. www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018-1.pdf
- Anonim 3. //irena.org/-
/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jul/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2018.pdf
- Anonim1. www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/2019_hydropower_status_report.pdf
- Barlev, D.; Vidu, R., Stroeve, P. (2011) Innovation in concentrated solar power, Solar Energy Materials and Solar Cells 95(10) 2703-2725. doi.org/10.1016/j.solmat.2011.05.020
- Bhatia, S. C. (2014) Advanced Renewable Energy Systems, Part-1, Woodhead Publishing, India.
- Boudaoud, S.; Khellaf, A.; Mohammedi, K.; Behar, O. (2015) Thermal performance prediction and sensitivity analysis for future deployment of molten salt cavity receiver solar power plants in Algeria, Energy Conversion and Management 89 655-664. dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.10.033
- Butti, K. ve Perlin J. (1980) A Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology, Cheshire Books.
- Chandra, L.; Dixit, A. (editörler) (2018) Concentrated Solar Thermal Energy Technologies Recent Trends and Applications (knferans bildiri kitabı), Springer Proceeding in Energy. doi.org/10.1007/978-981-10-4576-9
- Chen, R.; Rao, Z.; Liao, S. (2018) Determination of key parameters for sizing the heliostat field and thermal energy storage in solar tower power plants, Energy Conversion and Management 177 385-394.
- Collado, F.; Guallar, J. (2019) Quick design of regular heliostatfields for commercial solar tower power plants, Energy, 178 115-125. doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.117
- Çengel, Y. Cimbala, J. M. (çeviri T Engin) (2014) Akışkanlar Mekaniği, Temelleri ve Uygulamaları, Palme yayıncılık.
- Çengel, Y.; Boles, M. (2014) Thermodynamics, An Engineering Approach, McGraw-Hill.
- Da Rosa, A. V. (2010) Fundamentals of Renewable Energy Processes, Academic Press.
- Giostrì, A.; Binotti, M.; Sterpos, C.; Lozza, G. (2020) Small scale solar tower coupled with micro gas turbine, Renewable Energy 147, Part 1, 570-583. doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.013
- Heller, P. (editör) (2017) The Performance of Concentrated Solar Power (CSP) Systems, Analysis, Measurement and Assessment, Woodhead Publishing (An imprint of Elsevier).
- Heller, P. (editör), (2017) The Performance of Concentrated Solar Power (CSP) Systems, Analysis, Measurement and Assessment, Elsevier, Woodhead Publishing series in energy.
- Jagoo, Z. (2013) Tracking Solar Concentrators; A Low Budget Solution, Springer
- Kesselring, P ve Selvage, C. S., (1986) The IEA/SSPS Solar Thermal Power Plants – facts and Figures -Final report of the International Test and Evaluation Team (ITET), Volume 1, Central Receiver Systems (CRS), Volume 3, Site Specifics, Springer-Verlag Berlin
- Leutz, R., Suzuki, A. (2001) Nominating Fresnel Lenses, Design and Performance of Solar Concentrators, Springer. doi 10.1007/978-3-540-45290-4

- Maczulac, A. E. (Ph. D.)(2010) Renewable Energy, Sources and Methods, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, <http://www.factsonfile.com>
- Sabonnadière, J-C. (Editör) (2009) Renewable Energies, Wiley
- Selbaş, R.; Yakut, A. K.; Şencan, A, (2003) Güneş Kulesi Modeli İle Elektrik Enerjisi Üretimi İçin Bir Uygulama, pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 9(2) 179-184. www.journalagent.com/pajes/pdfs/PAJES_9_2_179_184.pdf
- Sorensen, B. (2011) Renewable Energy, Physics, Engineering, Environmental Impacts, Economics,& Planning, Academic Press.
- Srilakshmi, G.; Ramaswamy, M. A.; Thirumalai, N. C. (2016) Design of Solar Field and Performance Estimation of Solar Tower Plants, Center for Study of Science, Technology and Policy (CSTEP) India, <https://www.seriious.org/pdfs/design-solar-tower-plants.pdf>
- Şen, Z. (2008) Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy, Springer
- Tripathi, A. K., Aruna, M. and Murthy, Ch. S. N. 2017. Output power lose of Photovoltaic panel due to dust and temperature. International Journal Of Renewable Energy Research 7(1) 439-442. doi:10.1080/01430750. 2017. 1388839
- Twidell, J. ve Weir, T. (2015) Renewable Energy Resources, Routledge (Taylor and Francis Group).
- Wei, X.; Lu, Z.; Lin, Z.; Zhang, H.; Ni, Z. (2008) Optimization procedure for design of heliostat field layout of a 1MWe solar tower, Solid State Lightning and Solar Energy Technologies, Photonics Asia 2007, Pekin, basılmış konferans bildirisi, 684119, /doi.org/10.1117/12.755285
- Wei, X.; Lu, Z.; Wang, Z.; Yu W.; Zhang, H.; Yao, Z. (2010) A new method for the design of the heliostat field layout for solar tower power plant, Renewable Energy 35(9) 1970-1975. doi.org/10.1016/j.renene.2010.01.026
- Wolf, E. L. (2012) Nonphysics of Solar and Renewable Energy, Wiley VCH.
www.civilica.com/Paper-CCE02
[CCE02_010=D8%A7D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C-%D9%87%DB%8C%D8%AF%D8%B1%D9%88%DA%98%D9%86-%D9%88-%D9%BE%DB%8C%D9%84-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%B3%D9%88%D8%AE%D8%AA%DB%8C.html](http://www.civilica.com/Paper-CCE02_010=D8%A7D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C-%D9%87%DB%8C%D8%AF%D8%B1%D9%88%DA%98%D9%86-%D9%88-%D9%BE%DB%8C%D9%84-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%B3%D9%88%D8%AE%D8%AA%DB%8C.html)
www.enerjiatlasi.com/ulkelere-gore-jeotermal-enerji.html
www.solarpaces.org/csp-technologies/csp-potential-solar-thermal-energy-by-member-nation/usa/; www.solarpaces.org/solarpaces-annual-reports/
- Zhang, H. L.; Baeyens, J., Degreve, J; Caceres, G. (2013) Concentrated solar power plants: Review and design methodology, Renewable and Sustainable Energy Reviews 22 466-481. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.032>
- Zhang, H. L.; Baeyens, J., Degreve, J; Caceres, G. (2013) Concentrated solar power plants: Review and design methodology, Renewable and Sustainable Energy Reviews 22 466-481. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.032>
- Zhou, Y.; Zhou, Y. (2014) *Heliostat* Field Layout Design for Solar Tower Power Plant Based on GPU, IFAC proceedings Volumes 47(3) 4953-4958. doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.01581
- Zhu G. (2013) Development of an analytical optical method for linear Fresnel collectors, Solar Energy 94 240-252. DOI: 10.1016/j.solener.2013.05.003
- Zobaa, A. F. ve Bansal, R. (editörler) (2011) Handbook of Renewable Energy Technology, World Scientific.

ÖZ GEÇMİŞ



Ali Joma NAZARİ, 21.03.1994 tarihinde Wardak/ Afganistan'da doğdu. Helmand Lisesi'ni bitirdikten sonra Kabil Üniversitesi Fizik Fakültesi'nden 2015 yılında mezun oldu. 2021/2018 yılında OMÜ Yenilenebilir Enerji ve Uygulama Yüksek Lisans programını bitirdi/girdi. İyi derecede İngilizce ve Türkçe bilmektedir. Temel ilgi alanları, Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları, Fizik, Enerji Mühendisliği (2021).

İletişim Bilgileri

E mail : alijomanazari7272@gmail.com

Telefon :+905522555532

ORCID ID: 0000-0003-4009-8199

Yayınlanmış Çalışmalar:

1. **Simple Heliostat Design for Central Concentrated Solar Power System**, Hezarfen Uluslararası Fen, Matematik ve Mühendislik Bilimleri Kongresi 25-26 Eylül 2020, sayfa 128-137 Antalya Türkiye