

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ KURULACAK
ALANLARIN CBS - ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ
YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

Harita Mühendisi Dolunay GÜÇLÜER

**FBE Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS
Yüksek Lisans Programında Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatmagül BATUK

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1 GİRİŞ	1
1.1 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	1
1.2 Konya İli'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	3
2 GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ.....	5
2.1 Giriş ve Tarihçe	5
2.2 Güneş Panelleri.....	11
2.2.1 PV Sistem ve Uygulamaları.....	11
2.3 Yoğunlaştırılmış Fotovoltaikler (Concentrated Photovoltaics, CPV)	13
2.4 Yoğunlaştırılmış Güneş Termik Santrali (CSP Sistemleri)	16
2.4.1 Parabolik Oluk Teknolojisi (Solar Parabolic Trough CSP).....	18
2.4.2 Fresnel Teknolojisi (Fresnel CSP GES)	20
2.4.3 Güneş Enerjisi Kule CSP Sistemi (Solar Power Tower)	22
2.4.4 Güneş Çanak Sistemi (Solar Dish Engine).....	23
3 COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ	26
3.1 Çok Ölçütlü Karar Analizi.....	26
3.2 CBS ve ÇÖKA' nın Kullanıldığı Araştırma ve Uygulamalar	28
4 CBS-ÇÖKA YÖNTEMİ İLE KONYA İLİNDE CSP KURULABİLECEK ALANLARIN BELİRLENMESİ	30
4.1 Çalışma Alanı	30
4.2 Yöntem	31
4.3 Çalışma Verileri.....	32
4.3 Verilerin Düzenlenmesi ve İşlenmesi	32

4	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
	KAYNAKLAR.....	47
	ÖZGEÇMİŞ.....	49

SİMGE LİSTESİ

c	Işık hızı (3×10^8 m/s)
E	Enerji ($h \cdot f = h \cdot c / \lambda$)
E_o	Güneş sabiti (1367 W/m^2)
f	frekans
h	Planck sabiti (6.26×10^{-34} Js)
λ	Dalga boyu

KISALTMA LİSTESİ

AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇÖKA	Çok Ölçütlü Karar Analizi
CPV	Concentrated Photovoltaics (Yoğunlaştırılmış PV Teknolojisi)
CSP	Concentrating Solar Power (Yoğunlaştırılmış Güneş Santrali)
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Müdürlüğü
GES	Güneş Elektrik Santrali
GIS	Geographical Information System
MCDM	Multi-Criteria Decision Making
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik- Güneş Paneli)
TEİAŞ	Türkiye Elektrik Üretim A.Ş.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası.	2
Şekil 1.2 Konya İli'ne ait güneş enerjisi potansiyel atlası.....	4
Şekil 1.3 Konya İli'ne ait güneşlenme süresi ve global radyasyon değeri.....	4
Şekil 2.1 Global radyasyon dağılımı	6
Şekil 2.2. Güneş enerjisinden elektrik üretimi için uygulanan yöntemler.....	11
Şekil 2.3 CPV Teknolojisi	14
Şekil 2.4 Yüksek voltaj PV serisi	15
Şekil 2.5 PV hücreden PV serisi.....	15
Şekil 2.6 CSP GES basitleştirilmiş çalışma şeması.....	17
Şekil 2.7 Temel CSP üniteleri	18
Şekil 2.8 Parabolik oluk CSP	18
Şekil 2.9 Parabolik oluk sistemi	19
Şekil 2.10 Lineer Fresnel CSP GES çalışma diyagramı.....	21
Şekil 2.11 Kule sistemi genel diyagramı	22
Şekil 2.12 Çanak/ Stirling CSP GES basitleştirilmiş diyagramı	24
Şekil 3.1 ÇÖKA çözüm diyagramı.....	27
Şekil 3.2 ÇÖKA genel modeli.....	28
Şekil 4.1 Çalışma alanı.....	30
Şekil 4.2 Yöntem diyagramı.....	31
Şekil 4.3 Güneş enerjisi potansiyeli.	33
Şekil 4.4 Enerji nakil hattı	34
Şekil 4.5 Trafo merkezleri	35
Şekil 4.6 Nehirler.....	36
Şekil 4.7 Göller.....	37
Şekil 4.8 Karayolları.....	38
Şekil 4.9 Demiryolları	39
Şekil 4.10 Kuş göç yolları	40
Şekil 4.11 Fay hattı.....	41
Şekil 4.12 Kullanılamaz alanlar verisi.....	42
Şekil 4.13 CSP santral kurulabilecek alanlar (vektör veriler ile birlikte).....	43
Şekil 4.14 CSP santral kurulabilecek alanların nihai haritası.....	44

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	2
Çizelge 1.2 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	3
Çizelge 4.1 Güneş enerjisi potansiyeli için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar....	33
Çizelge 4.2 Enerji nakil hattı verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.....	34
Çizelge 4.3 Trafo merkezleri verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.....	35
Çizelge 4.4 Nehirler verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar	36
Çizel.ge 4.5 Göller verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar	37
Çizelge 4.6 Karayolları verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar	38
Çizelge 4.7 Demiryolları verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar	39
Çizelge 4.8 Kuş göç yolları verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar	40
Çizelge 4.9 Fay hattı verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.....	41
Çizelge 4.10 Normalleştirilen ve yeniden sınıflandırılan verilerin ağırlıkları.....	45

ÖNSÖZ

Bu çalışma; Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Uzaktan algılama ve Coğrafi bilgi Sistemleri Programı yüksek lisans tezi olarak “Güneş Enerjisi Santrali Kurulabilecek Yerlerin Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi ile Belirlenmesi” üzerine hazırlanmıştır.

Yapılan tezin oluşturulması aşamasında yardımıyla, hoşgörüsüyle, bilgi ve tecrübesiyle her zaman yanımda olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Fatmagül Batuk’ a, teknik altyapı, literatür desteği ve anlayışıyla, aynı zamanda işverenim olan TÜREB Başkanı Sayın Yük. Müh. Murat Durak’a, her türlü bilgi ve teknik desteğini vermekten çekinmeyen EİE çalışanı olan Sayın Dr. Yüksel Malkoç’a;

Ayrıca tezimin şekil almasına yardımcı olan sevgili arkadaşlarım Arş. Gör. Harita Yük. Müh. Ahmet Yılmaz’a, Harita Yük. Müh. İrem Tomurcuk’a, Meteoroloji Müh. Melek Güner’e ve Jeomorf. İrfan Akar’a, tezimi yazmamda yardımcı olan sevgili kardeşim İlteriş Güçlüer’e;

Yaşamım boyunca destek ve sevgilerini eksik etmeyen, beni her zaman destekleyen sevgili anne ve babama teşekkür ederim.

Yapmış olduğum bu araştırmanın sınırsız öz kaynağımız olan güneşin kullanılması, çevreye duyarlı ve zararlı atıkları olmayan, dış ülkelere bağımsız, karbon salınımını azaltan, Kyoto Protokolü’ne uygun bir enerji üretim yöntemi olan güneş enerjisinden elektrik üreten santrallerin kurulması kapsamında Türkiye’nin enerji ihtiyacının karşılanması yönünde bir katkı sağlamasını temenni ederim.

ÖZET

Ülkelerin gelişmişlik oranları enerji tüketimleriyle doğru orantılıdır. Sanayisi sürekli gelişmekte olan Türkiye enerji ihtiyacını karşılamak için şimdiye kadar kullandığı kaynaklardan farklı kaynaklar bulmak durumundadır. Fosil yakıtların giderek pahalılaşması, Türkiye'yi enerji politikası açısından dışa bağımlı kılma zorunluluğu, fosil kaynakların kullanımı sonucu karbondioksit (CO₂), kükürtdioksit (SO₂), nitrojenoksitlerin (NO_x) emisyonları hem ekolojik dengeyi bozmakta hem de tarafı olduğu Kyoto Protokolü'ne uygun düşmemesi yenilenebilir enerji kullanımını çok önemli bir konuma getirmiştir. Bu durumda güneş enerjisi potansiyeli açısından çok verimli olan Türkiye sınırsız bir öz kaynak olan güneşi, enerji üretme amaçlı kullanmak durumundadır.

Günümüzde yenilenebilir enerji kapsamında güneş enerjisi oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle Türkiye ile aynı enlemde ve iklim yapısında bulunan İspanya'nın güney kısımlarında yoğunlaştırılmış güneş santralleri (CSP - Concentrating Solar Power) yaygın olarak bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı bir ilde kurulacak CSP santrali için en uygun alanların CBS ortamında belirlenmesidir. Bu amacı gerçekleştirmek için CBS ortamında Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yöntemi Konya İli için uygulanmıştır. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), il sınırları, sayısal yükseklik modeli, eğim, çevre koruma alanları, kuş göç yolları, göller, nehirler, deprem fay hattı, enerji nakil hattı, trafo merkezleri, havalimanları, demiryolu, karayolu, rüzgar elektrik santralleridir (RES). Uygulama bölgesi olan Konya'nın çok geniş bir yüzölçümüne sahip olması ve güneş enerjisinden elektrik elde etme potansiyelinin de yüksek olması, örnek bölge olarak seçilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Bu çalışmada, sınırsız, bağımsız ve öz bir kaynak olan güneş enerjisi kullanılarak Türkiye'nin enerji ihtiyacının karşılanmasına CBS-ÇÖKA uygulaması ile katkıda bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, CBS, çok ölçütlü karar analizi, CSP.

ABSTRACT

Countries improving level has a direct proportion with consuming energy amount. Turkey, which has improving industry, has to find some other sources different than up to now. Renewable energy usage has become very crucial situation; fossil fuel's increasing prices, obligation of Turkey's dependence on foreign sources, emission of carbondioxide (CO_2), sulphurdioxide (SO_2), nitrogenoxide (NO_x) damage to ecological balance and also inappropriate to Kyoto Protocol which Turkey has part of. Turkey has to use sun for producing electricity in order to use its vertile, unlimited solar power potential.

Nowadays, solar power is using very widely as a renewable energy. Especially in Spain, whis has in the same lattitude and similar climate condition, it can be seen very frequently solar power plants in the south part.

The aim of this study to determine the best areas for Concentraring Solar Power (CSP) central installation using GIS technique. To make this aim come true GIS - Multi-criteria Decision Making (MCDM) analysis method was used. The criteria were solar power potential atlas (GEPA), province border, digital elevation model (DEM), slope, special protected environmental areas, bird flight path, lake, river, earthquake fault line, power transmission line, substation, airport, railway, motorway, wind power plant. Konya province is chosen for the application area. Due to its wide surface area and high solar power potential characteristics became significant factor to be chosen.

In this study, application of GIS-MCDM method use of unlimited, independent and native resource sun power in order to respond Turkey's electricity demand.

Key Words: Solar power, GIS, MCDM, CSP.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi tüketiminin gelişmişliğin bir göstergesi olduğu günümüz koşullarında, birincil enerji kaynaklarının sürekli tükenmekte oluşu ve bu kaynakların kullanılması sırasında ortaya çıkan ekolojik olumsuzluklar acil olarak çözülmesi gereken bir sorunu oluşturmaktadır. Bu problemin en temel çözümü yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak ve enerji verimliliğini artırmaktır (Özgöçmen, 2007). Geleceği korumak adına yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması önemli bir adım olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasından doğan olumsuzluklar diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında yok denecek kadar azdır. Ancak dünya genelinde ülkelerin enerji politikalarında, yenilenebilir enerji kaynağı yetersizliği ve ekonomik sebeplerle yenilenebilir enerjiye gereken önem verilmemiştir. Bununla birlikte son zamanlarda teknolojinin gelişmesiyle daha yüksek verim alınabilen ve daha ucuza mal edilebilen sistemler oluşturulmuştur. Son yıllarda yakıt fiyatlarındaki yüksek artışlar daha önce ekonomik görülmeyen güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır.

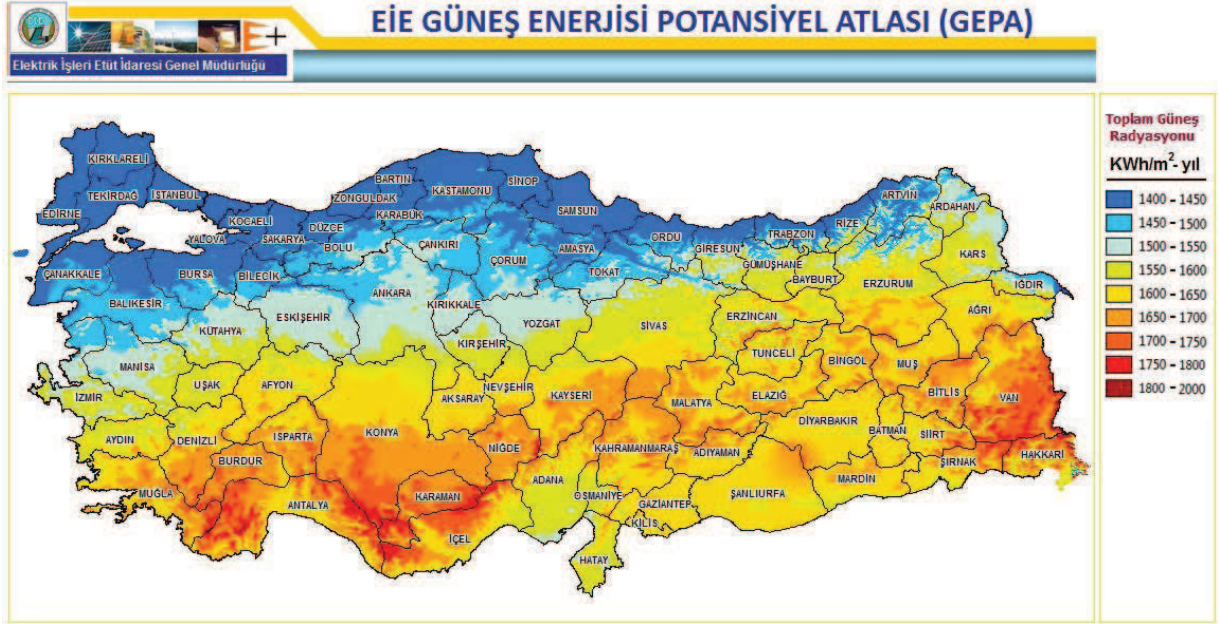
1997 yılında Kyoto'da imzalanan Kyoto Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Anlaşması ile karbon emisyon ticareti gündeme gelmiş ve 39 gelişmiş ülke 2008-2012 yılları arasında sera gazı emisyon limitlerini 1990 yılı seviyelerinin % 5 daha da altına çekmeyi kabul etmişlerdir. Özünde bir Avrupa projesi olarak sürdürülen Kyoto Protokolü, her ülke ve endüstriyi somut karbon emisyon kotaları ile sınırlamaktadır. Kyoto Protokolü koyduğu kurallarla taraf ülkelerin enerji, sanayi, ulaşım ve tarım politikalarında fosil yakıt bağımlılığını azaltmaya zorlayan bir yaptırımlar bütünüdür. Kyoto Protokolü, yenilenebilir enerji ve çevre dostu teknolojilerinin kullanımlarının artırılmasını ve bu yöndeki araştırmaların teşvik edilmesini sağlar (Durak, 2009).

Yeryüzüne gelen net güneş enerjisi şu anda insanların kullandıkları fosil enerji kaynakları ve nükleer enerjinin 10.000 katı kadardır. Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin toplam miktarı $1.2 \cdot 10^{17}$ watt civarındadır. Sadece yeryüzüne yıllık ulaşan güneş ışınımının %0.003'ü toplam global elektrik talebini karşılayabilmektedir (Şahin, 2009).

1.1 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıyım şiddeti verilerinden

yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınlam şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli Şekil 1.1’de verilmiştir [1].



Şekil 1.1 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası, [1].

Çizelge 1.1 Türkiye’nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (Saat/Ay)
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311	2640

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Çizelge 1.1' de verilmiştir [1].

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir [1].

EİE'nin ölçü yaptığı 8 istasyondan alınan yeni ölçümler ve DMİ verileri yardımı ile 57 ile ait güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri değerleri hesaplanarak bir kitapçık halinde basılmıştır.

Çizelge 1.2 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı, [1]

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (Kwh/M ² -Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

1.2 Konya İli'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

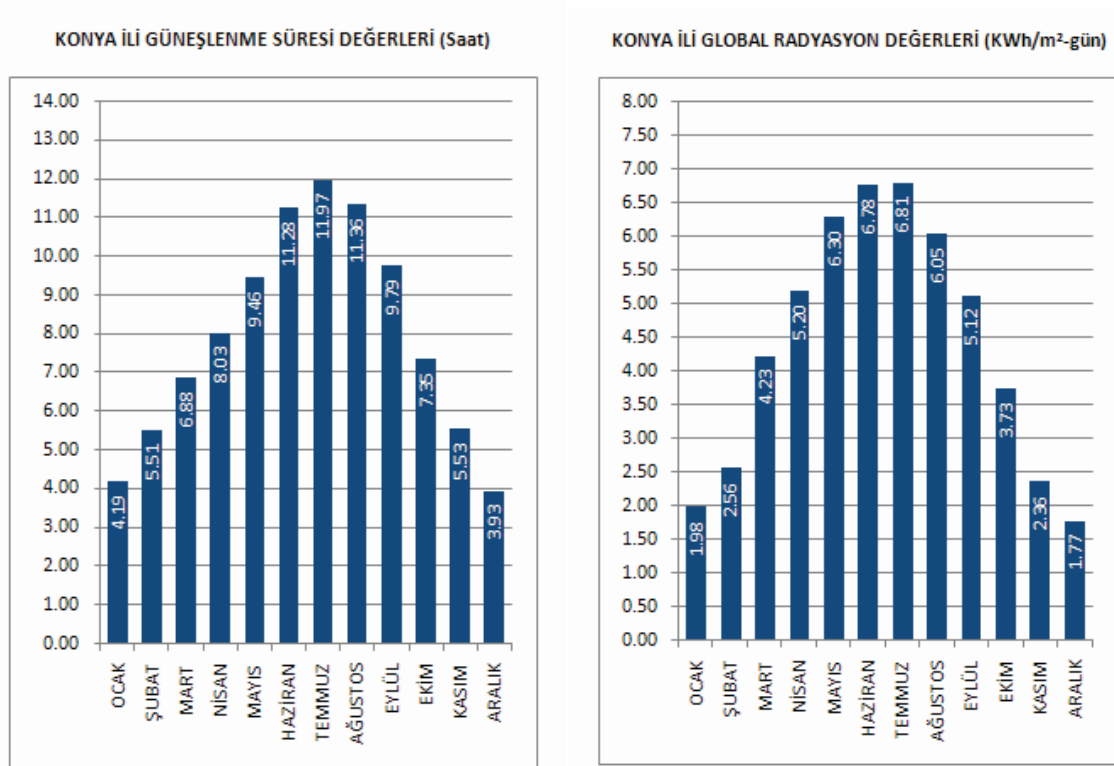
Konya GEPA'ndan da görüldüğü üzere güneş radyasyonu potansiyeli yüksek bir şehirdir. Ayrıca fotovoltaik (PV-photovoltaics), odaklayıcı PV fotovoltaik (CPV-concentrated photovoltaics), yoğunlaştırılmış güneş santrali (CSP-concentrating solar power) sistemlerinin her biri için uygun bir ildir. Yüzölçümünün geniş olması çok sayıda GES (Güneş Enerjisi Santrali) kurulabilmesine olanak vermektedir (Şekil 1.2 ve 1.3).

EİE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYEL ATLASI (GEPA)

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü



Şekil 1.2 Konya İli'ne ait güneş enerjisi potansiyel atlası, [1].



Şekil 1.3 Konya İli'ne ait güneşlenme süresi ve global radyasyon değeri, [1].

2. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

2.1 Giriş ve Tarihçe

Güneş, Güneş Sistemi'nin merkezinde yer alan yıldızdır. Tek başına Güneş Sistemi'nin kütlesinin %99,8'ini oluşturur. Geri kalan %0,02'lik kütleyi ise güneşin etrafında dönen gezegenler, astreoidler, göktaşları, kuyruklu yıldızlar ve kozmik tozlar oluşturur. Güneşten yayılan enerji dünya üzerinde hayatın var olmasını sağlar (Şahin, 2009).

Güneş Radyasyonu

Güneş büyük bir nükleer reaktördür. Güneş oluşumunun temel kaynağı hidrojen atomunun helyuma parçalanmasıdır. Bu parçalanma sırasında hidrojen kütlesinin bir kısmı enerji açığa çıkarmaktadır. Bu enerjinin elektriksel değeri ise 1×10^{18} civarındadır. Dünyaya gelen güneş radyasyonunun şiddeti, dünya ile güneş arasındaki mesafeye göre değişmektedir. Dünya ile güneş arasındaki mesafe 1.47×10^8 ile 1.52×10^8 km arasında yol içerisinde değişim göstermektedir. Bunun neticesinde irradiyans E_o değeri 1325 W/m^2 ile 1412 W/m^2 arasında değişmektedir. Bu değer ortalamasına “güneş sabiti” denir. Güneş sabiti,

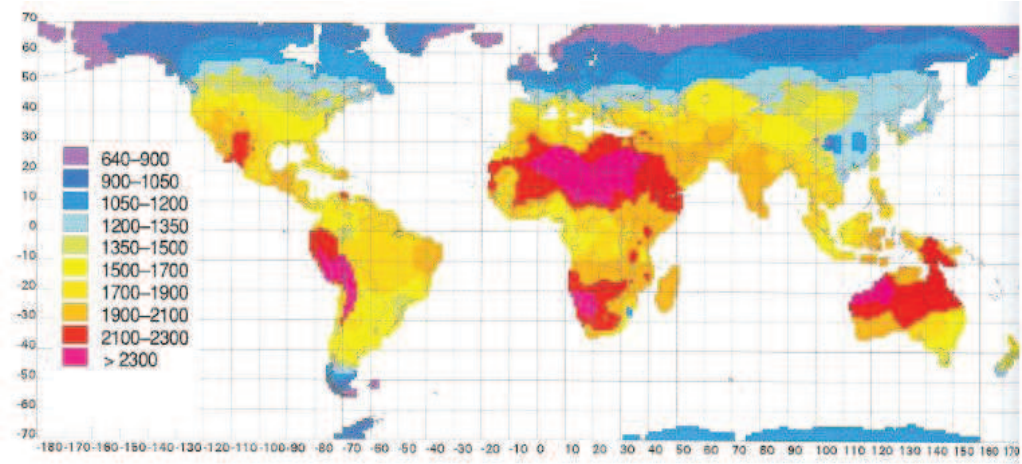
$$\text{Güneş sabiti: } E_o = 1367 \text{ W/m}^2 \quad (2.1)$$

Bu değerdeki irradiyasyon dünya yüzeyine ulaşmamaktadır. Buna sebep ise, bulutlar tarafından yansıtılma, absorpsiyon (ozon, su buharı, oksijen ve karbondioksit tarafından) ve saçılma (hava molekülleri, toz parçacıkları veya kirlilik yüzünden). İyi bir havada öğle vaktinde irradiyans 1000 W/m^2 ye kadar ulaşabilir. Bu değer, bulunan enleme göre değişim göstermektedir. Maksimum değer, güneşli ve parçalı bulutlu havalarda meydana gelir. Bunun nedeni yeryüzünden yansıyan radyasyonun buluta çarparak tekrar yeryüzüne dönmesidir ve birkaç saatliğine de olsa 1400 W/m^2 yi bulabilir. Aşağıdaki Şekil ile yapılan bir çalışma sonucuna göre global güneş radyasyon değerleri kWh/m^2 olarak görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi ekvator yakınlarında 2300 kWh/m^2 olabilmektedir (Şekil 2.1). Maxwell'in elektromanyetik radyasyon teorileri kabul görmeye başlamıştır. 1905 yılında Einstein fotovoltaiik etkiyi açıklamaya çalışmıştır. Aşağıdaki eşitlik bu amaçla geliştirilmiştir:

$$E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda \quad (2.2)$$

Eşitlikte kullanılan ifadeler:

E: Enerji, f: frekans, h: Planck sabiti ($6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$), c: Işık hızı ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$), λ : Dalga boyu



Şekil 2.1 Global radyasyon dağılımı, (Durak, 2009).

Direk ve Difüze Radyasyon

Güneş, dünyaya direk ve difüze radyasyon olarak ulaşmaktadır. Direk radyasyon, güneşten doğrudan gelen ve belirli bir yönü olan radyasyon iken; difüze radyasyon yeryüzünden yansıtılan radyasyonun buluta çarptıktan sonra tekrar yeryüzüne ulaşan ve belirli bir yönü bulunmayan radyasyondur.

Dünyanın atmosferine ulaşan radyasyonun %30'luk kısmı çeşitli nedenler ile kaybolmaktadır. Bu nedenler arasında;

- Özellikle kısa dalga boylarında olan atmosferdeki Rayleigh saçılımı ($\sim \lambda^{-4}$),
- Aerosol ve toz parçacıklarından dolayı meydana gelen saçılma,
- Oksijen, ozon, su buharı ve CO₂ den meydana gelen absorpsiyon.

İnsanoğlu bilinen yazılı kayıtlara göre M.Ö. 7.yy'dan günümüze güneş enerjisini kullanmaktadır. Günümüzde evlerde elektrik üretim amaçlı kullanımdan arabalara kadar geniş bir yelpazede güneş enerjisi kullanmaktadır.

M.Ö. 7. Yüzyıl

Güneş ışınları, odaklanarak ateş yakılmasında kullanılmıştır.

M.Ö. 2. Yüzyıl

M.Ö. 212 yılında Yunanlı Arşimed, güneş ışınlarının yansımısını kullanarak Syracuse'yi işgale çalışan tahta gemileri yakmıştır.

M.S. 1. Yüzyıl – 4. Yüzyıl Arası

Romalılara ait büyük hamamlarda, güneşi etkin bir şekilde kullanan hamamın yüzü güneye dönük şekilde yapılarak güneş enerjisinden faydalanılmıştır.

M.S. 1200'lü Yıllar

Pueblo'nun ataları olan ve Anasazi olarak bilinen Kuzey Amerika'da yaşayan bir halk güneşten yararlanma amacıyla kayalıklara özel bir yerleşim kurmuşlardır. Eski şehirler, genellikle güneşten maksimum faydalanabilmek için ana cephelerini güneye doğru kurmuşlardır

1767

İsviçreli bilimadamı Horace de Saussure, dünyanın bilinen ilk güneş kollektörünü yapmıştır. Bu tasarım 1830'larda Sir John Herschal tarafından yemek pişirme amaçlı kullanılmıştır. Bu tasarımda o yıllarda gittikçe gelişen optik teknolojisinin bilim adamları tarafından yansıtılma özelliğinin keşfedilmesi de önemli rol oynamıştır.

1816

27 Eylül 1816'da Robert Stirling tarafından Edinburgh Chancery'de patent başvurusu yapılmıştır. İskoçya Kilisesi'nde papaz olan Stirling, evindeki atölyesinde boş zamanlarında ısı makinası (heat engine) üzerinde çalışmalarda bulunmuştur. Lord Kelvin, Stirling'in modelini daha sonraları üniversitede geliştirerek çanak/Stirling (dish/Stirling) sistemini geliştirmiştir. Bu teknoloji, günümüzde kullanılmaktadır.

1839

Fransız bilimadamı Edmond Becquerel fotovoltaiik etkisini keşfetmiştir. İki metal elektrot ile çalışırken elektrolit hücreler ile etkileşimde olduğu görülmüştür.

1860

Fransız matematikçi August Mouchet güneş enerjisi ile çalışan buhar makinalarını teklif etmiştir. Daha sonraki 20 yılda asistanı Abel Pifre, güneş enerjisi ile çalışan ilk buhar makinasını imal etmiştir ve farklı amaçlar için kullanılmıştır. Bu makinalar, günümüzdeki

modern parabolik çanak (dish) kollektörlerin öncüsü olmuştur.

1873

Willoughby Smith selenyumun fotoiletkenliğini keşfetmiştir.

1876

William Grylls Adams ve Richard Evans Day selenyumun güneş ışığına maruz kaldığında elektrik ürettiğini keşfetmişlerdir. Her ne kadar selenyum güneş hücreleri yeterli miktarda güneş ışığını elektrik enerjisine çevirmese de en azından hareket etmeyen bir sistemin de elektrik üretebileceğini ispat etmesi açısından önemlidir.

1880

Bolometreyi icat eden Samuel P. Langley güneş ışınlarının ölçümünü yapmayı başarmıştır. Güneş radyasyonu tel üzerine düştüğünde sıcaklığı artarak devre üzerindeki elektrik direncini artmasına yol açmıştır.

1887

Heinrich Hertz ultraviyole ışıklarını iki metal elektrot arasındaki düşük voltajın yerini değiştirdiğini keşfetmiştir.

1904

Wilhelm Hallwachs bakır ve cuprous oksit birleşiminin ışığa karşı duyarlı olduğunu keşfetmiştir.

1905

Albert Einstein izafiyet teoremi ile birlikte fotovoltaiik etki teoremini açıklamıştır.

1908

William J. Bailey günümüzdeki tasarıma çok yakın olan güneş kollektörlerini icat etmiştir.

1918

Polonyalı bilimadamı Jan Czochralski tek kristal silikonu geliştirmiştir.

1932

Audobert Stara Cadmium Sulfide (CdS) üzerindeki fotovoltaiik etkiyi bulmuştur.

1954

Darby Chaplin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson tarafından Amerika'da silikon PV geliştirilerek güneşten elektrik üretiminde bir devrim meydana gelmiştir. Amerika Bell Laboratuvarında yapılan çalışmalar sonucu güneş enerjisini yeterli miktarda elektrik enerjisine çevirebilen PV'ler geliştirilmiştir. Bell Telephone Laboratuvarı, önceleri %4, daha sonraları da %11 verim ile çalışabilen silikon güneş hücreleri üretmiştir.

1957

Hoffman Elektrik Şirketi %8 verimli PV hücreleri üretmeyi başarmıştır.

1958

U.S. Signal Corps Laboratuvarından T. Mandelkom n-on-p silikon fotovoltaiik hücreler geliştirmiştir. Bu hücreler özellikle uzay çalışmalarında çok önemlidir, çünkü radyasyona dayanıklı hücrelerdi.

1959

Hoffman Elektronik Şirketi %10 verimli PV hücrelerine ulaşmıştır. Ayrıca şebeke bağlantısı hususunda da çeşitli bilgiler kullanılmaya başlanmıştır.

1959

7 Ağustos tarihinde Explorer IV uydusu fotovoltaiik hücreler ile (9600 adet ve her biri 1cmx2cm) uzaya fırlatılmıştır. 13 Kasım tarihinde de Explorer VII uydusu fırlatılmıştır.

1960

Hoffman Elektronik firması, %14 verime ulaşmıştır.

1964

NASA Nimbus uzay aracını 470 Watt PV ile uzaya fırlatmıştır.

1969

Fransa Odeillo bölgesinde 8 katlı apartman yüksekliğinde parabolik ayna dikmiştir.

1976

NASA Lewis Araştırma Merkezi Avustralya kıtası hariç dünyadaki her yere toplam 83 adet PV sistemi montajına başlamıştır. Bu PV'ler aydınlatmadan telekomünikasyon sistemlerine

kadar farklı projelerde olmuştur.

1976

David Carlson ve Christopher Wrenski, ilk amorphous silikon PV hücrelerini RCA laboratuvarında geliştirmişlerdir.

1978

NASA Lewis Araştırma Merkezi, Arizona’da Papago Indian Reservation kapsamında 3,5kW PV’ler kullanmaya başlayarak dünyada PV sistem kullanan ilk köy olmuştur. Sistem köye su temini ve elektrik üretimi için toplam 15 evin ihtiyacını giderecek şekilde 1983 yılına kadar çalışmıştır. Bu tarihten sonra şebeke köye ulaştığında PV sistemi sadece su pompalama amacı ile kullanılmıştır.

1980

Delaware Üniversitesi, ince film teknolojisinde sulfide/cadmium sulfide kullanarak %10 verimi aşmıştır.

1981

Paul MacCready güneş enerjisi ile uçabilen ilk uçağı geliştirerek Fransa’dan İngiltere’ye uçuşu tamamlamıştır. Bu uçakta 16000 adet güneş hücresi bulunmakta olup toplam 3000 W kurulu güce sahipti.

1982

Avustralyalı Hans Tholstrup “The Quiet Achiever” isimli ilk güneş enerjisi ile çalışan araç ile Sidney-Perth arası 2800 millik mesafeyi 20 günde gitmiştir.

1982

Amerikan Enerji Bakanlığı, endüstriyel bir konsorsiyum ile birlikte Solar One isimli bir proje başlatarak 10 MW kurulu gücünde GES’i işletmeye açmıştır. Güç kulesi (power tower) teknolojisi kullanılarak odaklayıcı güneş enerjisi teknolojisi kullanılmıştır.

1996

Almanya’da güneş enerjisi ile çalışan Icare Sunseeker isimli uçak Stuttgart’ta uçurulmuştur. 21m² alandaki 3000 adet yüksek verimli güneş hücresi kullanılmıştır.

1999

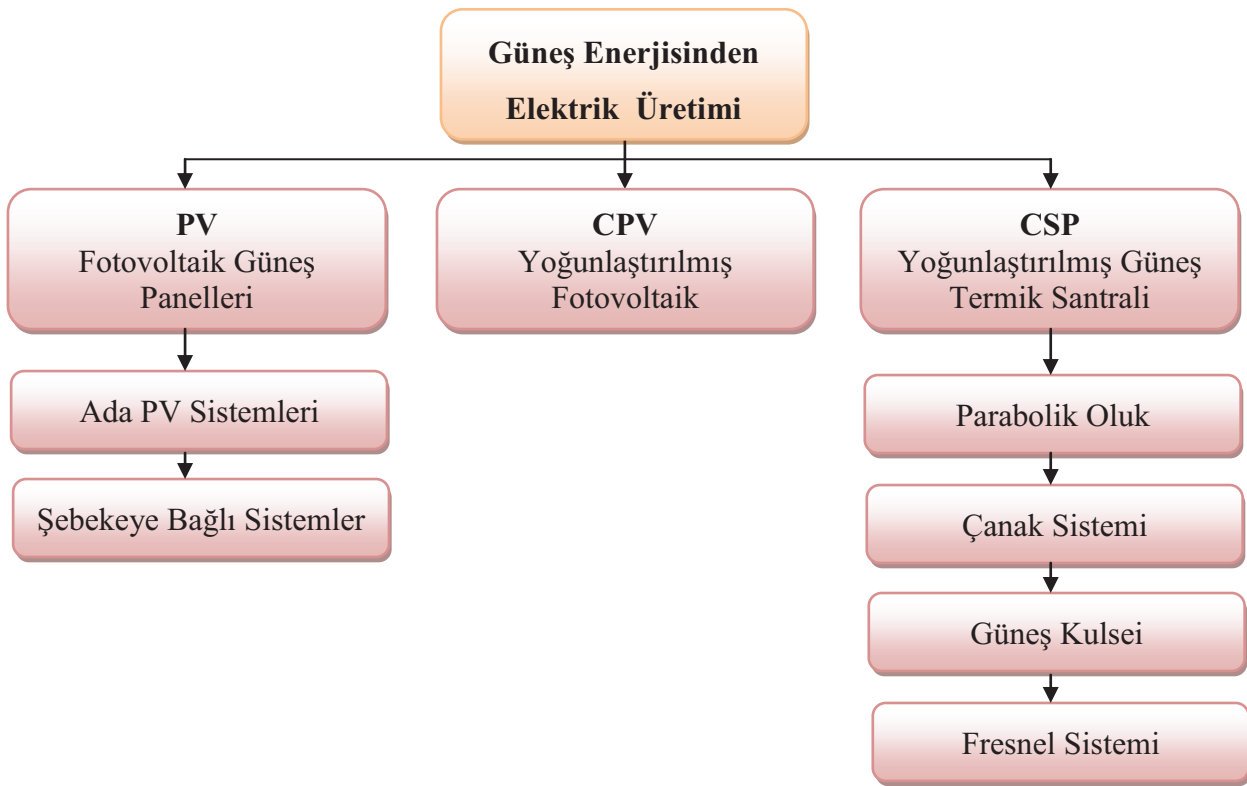
Dünya toplam kurulu gücü 1000MW'ı aşmıştır.

2000

First Solar Şirketi, Ohio'da dünyanın en büyük PV fabrikasını kurarak yıllık 100 MW üretim kapasitesine sahip olmuştur.

2010

2010 senesine gelindiğinde güneşten elektrik elde etmek üzere pek çok yöntem geliştirilmiş ve uygulamaya geçmiştir. Bunlar temel olarak üç grupta toplanabilirler; PV, CPV, CSP (Şekil 2.1).



Şekil 2.2 Güneş enerjisinden elektrik üretimi için uygulanan yöntemler.

2.2 Güneş Panelleri (PV sistemleri)

Photovoltaic kelimesi, Yunanca ışık anlamına gelen photos ile volt kelimesinin birleşiminden oluşmaktadır. Volt kelimesi elektronların hareketini ifade eder ve pili icat eden İtalyan fizikçi Alessandro Volta'ya izafeten verilmiştir. Dolayısıyla photovoltaic terimi ışıktan elektrik üretimi anlamına gelmektedir.

2.2.1 PV Sistem ve Uygulamaları

PV sistemleri iki ana gruba ayrılabilir. Birincisi ada şeklinde çalışan sistem, şebekeden bağımsız olarak çalışan (stand alone system) ve şebeke ile birlikte çalışan (grid connected system) sistemdir. Ada PV sisteminde genellikle ihtiyaç kadar üretilir ve depolama ünitesi de bulunur. Eğer PV sistemi rüzgar veya dizel bir jeneratör ile birlikte çalışıyor ise buna “hibrid sistem” denilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ada PV sisteminin yaygınlaştığı görülmektedir.

Ada PV Sistemleri (Stand Alone System veya Offgrid System)

PV Sistemlerde, genellikle şebekeden uzak bölgelerde ada PV sistemleri kullanılmaktadır.

Ada PV sistem tasarımı yapılırken, bulunulan yer, iklim, saha karakteristikleri, elektrik ihtiyacı ve kullanılan ekipmana önemlidir. Ayrıca son yıllarda bazı günlük kullanılan cihazlar da ada PV sistemi olarak değerlendirilebilir. Bunlara hesap makinası, bahçe lambası, şarj makinası, meyve suyu karıştırıcı (mikser), SOS telefonu ve bazı arabalar örnek olarak verilebilir.

Ada PV sistemi genellikle depolama ünitesi ile birlikte çalıştırılmaktadır. Çünkü hava karardığında enerji üretilmemektedir. Bu yüzden tekrar şarj edilebilir piller kullanılarak elektrik bir miktar saklanabilmektedir. Tipik bir ada sistemi ile çalışan PV GES’te aşağıdaki ekipmanlar bulunur:

- PV modüller (genellikle paralel olarak bağlanmıştır),
- Şarj kontrol ünitesi,
- Pil veya pil ünitesi
- Evirici (inverter)

Şebekeye Bağlı Sistemler (Grid Connected Systems)

Şebekeye bağlı bir PV GES aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

- PV modülleri,
- PV birleştirme kutuları,
- Doğru akım kabloları,
- Evirici (inverter)
- Alternatif akım kabloları,
- Dağıtım sistemine uygun elektrik sayacı,

- Doğru akım izalatör switch

Güneşi İzleme Sistemi (Tracking systems)

Eğer güneşin geldiği PV yüzeyi güneşi takip ederse üretim artış gösterir. Yazın izleme sistemi yardımı ile %50; kışın ise %30 civarında daha fazla bir radyasyon kazanımı meydana gelmektedir (Durak, Basım aşamasında).

Güneşi izleyen sistemde en büyük enerji kazanımı yaz aylarında gelir. Bunun nedeni enerjinin kıştan daha fazla olmasının yanı sıra bulutluluk da daha fazladır. Birkaç tip güneş izleme sistemi bulunmaktadır. En önemli fark tek eksenli ve çift eksenli sistem olmasıdır. Çift eksenli izleme sisteminde güneş optimum şekilde takip edilmektedir. Fakat tek eksenli sisteme göre daha karmaşıktır bu yüzden tek eksenli sistem tercih edilmektedir. Tek eksenli sistem güneşin günlük yörüngesini takip etmektedir. Tek eksenli sistem ile %20 kazanç; çift eksenli izleme sistemi de %30 kazanç elde edilmektedir.

2.3 Yoğunlaştırılmış Fotovoltaikler (Concentrated Photovoltaics, CPV)

CPV teknolojisinin tarihsel gelişimi, 1970li yıllara dayanmaktadır. IES ve UPM (Instituto de Energia Solar ve Universidad Politecnica de Madrid) 1976 yılında yaptıkları işbirliği çerçevesinde konu ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. 1990lı yıllarda IES-UPM ve BP Solar tarafından önerilen yoğunlaştırıcı (concentrator), Avrupa Komisyonu tarafından fonlanarak EUCLIDES adı verilen bir prototip geliştirilmiştir. Madrid’de montajı yapılan bu prototipin büyüklüğü 60 m² olmuştur. Güneş takip sistemi ile aynaların dizaynı IES-UPM tarafından yapılmıştır. EUCLIDES prototipin başarısından sonra 480 kW kurulu gücündeki ikinci demonstrasyon CPV GES, Tenerife’de kurulmuştur. Bu CPS GES, 2003 yılına kadar dünyadaki kurulu gücü en büyük CPV GES olarak kalmıştır (Durak, Basım aşamasında).

CPV’ler verimi daha yüksek olan sistemlerdir.. Bu sistemlerin enerji verimliliği %30 civarında olmakla beraber; en yüksek verim %39 olmuştur. Modüller içerisinde bulunan Fresnel lensleri, 500 kat yoğunlaştırabilmektedir. Bu yüzden, yoğunlaştırılmış fotovoltaikler direk radyasyonun yüksek miktarda olduğu bölgelerde kullanılmamaktadır. Bazı PV şirketleri, artık CPV üretimine başlamıştır. CPV teknolojisindeki en önemli geliştirilmesi gereken husus ise, termal yönetimidir. Pasif soğuma, termal dissipator veya termal sink teknolojisi ile yapılmaktadır. Hücre teknolojisindeki en önemli gelişim, III ve IV Grup yarıiletken kullanımı ile sağlanmıştır. Dünyadaki önemli laboratuvarların yaptıkları çalışmaların sonucu olarak Spektrolab %40.7; NREL ise %40.8 olarak hesaplamıştır. Bu

yüksek verimlilik rakamları, hücre boyutunun 1 cm^2 ve hatta 1 mm^2 lere düşmesine yol açmıştır.



Şekil 2.3 CPV teknolojisi.

Yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemlerin, güneşten elektrik üretme prensibi, CSP'lerden tamamı ile farklıdır. CSP sistemlerde güneş ışığı yansıtıcı veya Fresnel lensleri yardımı ile yoğunlaştırılır. Fakat CPV sistemlerde ısı alıcısı yerine PV hücresi bulunur ve ışığın elektrığe çevrilmesini sağlar (Şekil 2.3).

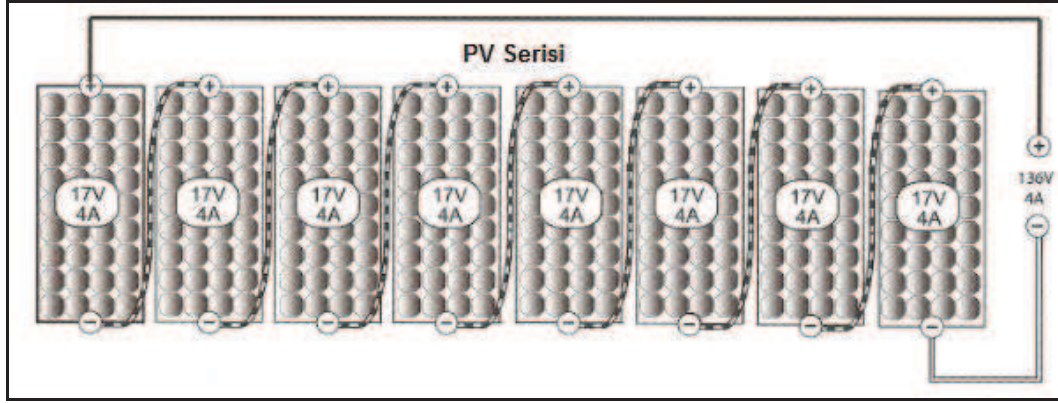
CPV optik konseptindeki en önemli hususlardan birisi de, optik verimin artırılmasıdır. Geleneksel olarak Fresnel lensleri veya aynaları kullanılmaktadır. Kolay dizayn ve düşük maliyet, bu teknolojinin kullanılmasındaki en önemli etkidir.

CPV'lerde CSP'lerde olduğu gibi herhangi bir termodinamik süreç bulunmamaktadır. Bazı özellikleri ise Çanak CSP ile benzerdir. Örneğin 5-100 kW arasında modüler tasarım, yüksek verim, üç eksenli güneşi izleme ve enerji depolamasının bulunmaması. CPV sistemlerinin en belirgin özelliği, yüksek yoğunlaştırmadır. 10 ile 2000 kat arasında bir yoğunlaştırma yapabilmektedir. Bunun anlamı klasik PV sistemlerine kıyasla daha küçük düz panel kullanımı gerekmektedir. CPV sistemleri yüksek aydınlıktan elektrik elde edebilmek için tasarlanmıştır. CPV'ler 100-900 kat yoğunlaştırmada %40-41 arası bir verimliliğe sahiptir.

CPV GES projelerinde güneşi izleyen sistem kullanımı çok yaygındır. İzleme sistemi, lineer olabildiği gibi; son yıllardaki uygulamalarda olduğu gibi 2 eksenli de olabilmektedir (Durak, basım aşamasında).

PV modülleri seri, paralel veya seri ve paralel olarak birbirine bağlanmaktadır.

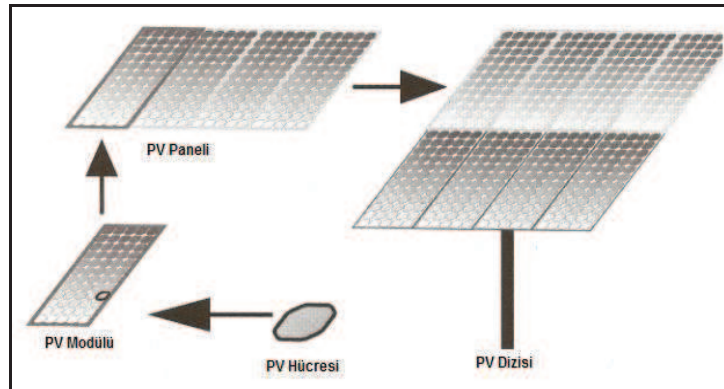
Seri bağlantıda ilk modülün negatif (pozitif) noktası ile son modülün pozitif (negatif) bağlantı ucu birbirine bağlanmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Yüksek voltaj PV serisi.

PV Hücresinden PV Serisine Süreç

Fotovoltaik modüller, hücrelerin seri, paralel veya seri/paralel bağlanması ile oluşan sistemdir. Fotovoltaik sistemin en temel yapıtaşı güneş hücresidir (solar cell). Hücreler, santimetrenin 1/250 oranında bir boyuta sahiptir ve güneş ışığını doğru akım elektrik enerjisine çevirirler. Birçok hücre 0.5 Volt elektrik üretmektedir. Modüller çeşitli kurulu güçlere sahiptir. Genellikle 5 Wtt- 400 Watt arası değişmektedir. Panel veya modül bazen birlikte aynı anlamda kullanılmakla beraber, panel birkaç modülün bir araya gelerek oluşturduğu sistemin adıdır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 PV hücreden PV serisi.

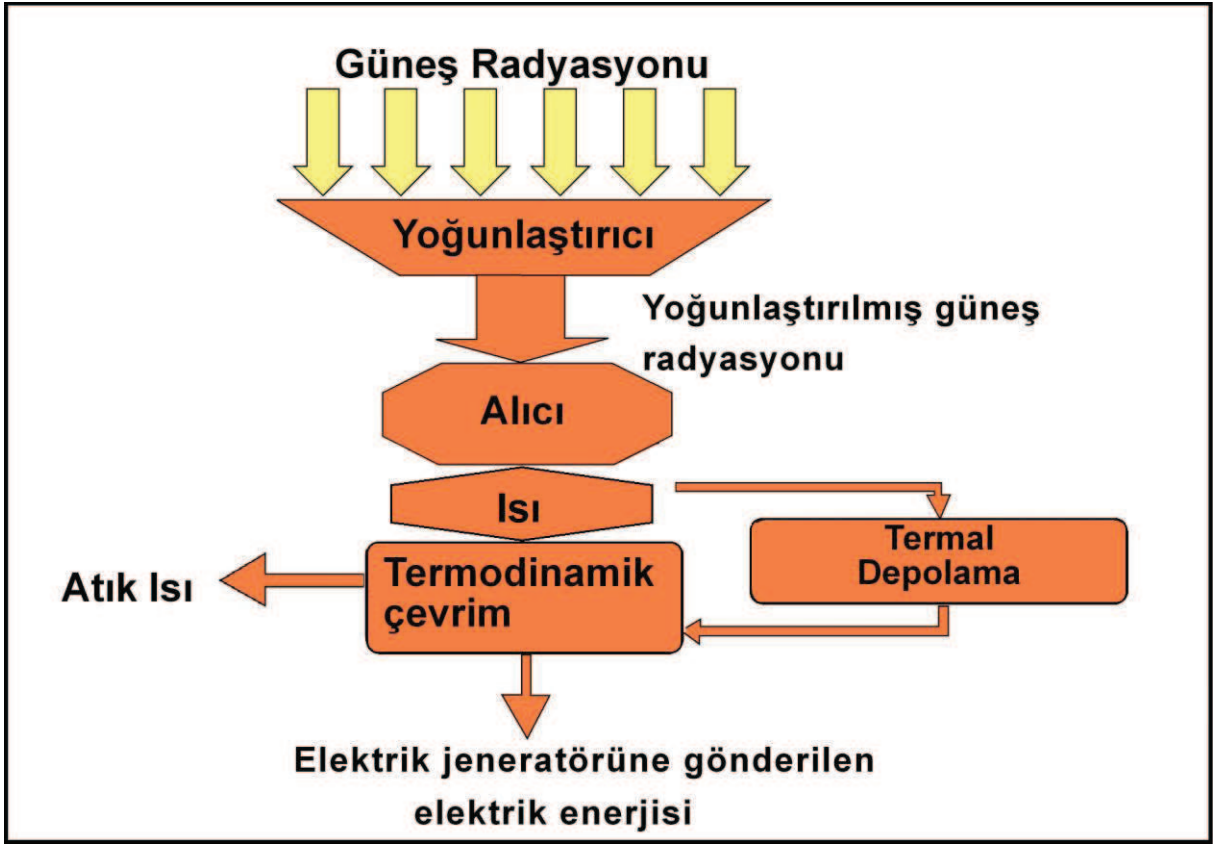
2.4 Yoğunlaştırılmış Güneş Termik Santrali (CSP Sistemleri)

Bu bölümde uluslararası CSP olarak bilinen ve bu tezde de parabolik oluk yoğunlaştırılmış tipi kullanılan yoğunlaştırılmış güneş elektrik sistemleri açıklanmıştır.

Dört ana çeşit CSP teknolojisi bulunmaktadır. Bunlar aşağıda verilmiştir:

- Parabolik oluk CSP (Parabolic Trough CSP),
- Çanak/Stirling Sistemi (Dish/Stirling CSP),
- Güneş kule CSP (Solar Tower CSP).
- Fresnel Sistemi

Bilindiği gibi, güneş enerjisi dünyadaki en büyük enerji kaynağıdır. Bununla beraber, elektrik enerjisine çevriminin bazı kriterleri bulunmaktadır. CSP, güneş enerjisinin bir yerde yoğunlaştırarak sıcaklığın artmasını sonucu ısınan akışkanın buhar türbini tarafında çevrilmesi ile çalışan bir ve geleneksel termik santrallara benzer bir şekilde elektrik üretimi gerçekleştiren bir sistemdir. Termal CSP teknolojisi, PV’lerde olduğu gibi silikon kristalin malzemeden yapılmış ve güneş foton enerjisini direk kullanan bir teknolojiye sahip değildir. Termodinamik süreçlerden oluşan ve geleneksel termik santral ilkelerine göre çalışan temiz bir enerji kaynağıdır. CSP GES’lerde yoğunlaştırma işlemi, yansıtıcılar ve aynalar tarafından yapılmaktadır. Bu yansıtıcılar paraboliktir. Bu aynalar, güneş ışığını 25 ile 2000 kat fazla yoğunlaştırabilirler. CSP GES’lerdeki (PV veya CPV’de de aynı) en büyük teknik sorun, güneşin sabit bir açı ile gelmeyerek gün içerisinde bilinen değişime uğramasıdır. Bu durum güneşi izleyen sistemin kullanımı ile bertaraf edilebilmektedir. CPS GES’lerde proje sahasının seçimi çok önemlidir. Enerji üretimi, doğrudan irradiasyon ile orantılıdır ve kuzey-güney enlemlerle değişim göstermektedir. Tercih edilen direk güneş ışığı olduğundan dolayı, bulutluluğun az olduğu çöl bölgeleri tercih edilmektedir. Şekil 2.6 ile CSP GES sisteminin basitleştirilmiş çalışma şeması görülmektedir (Durak, Basım aşamasında).

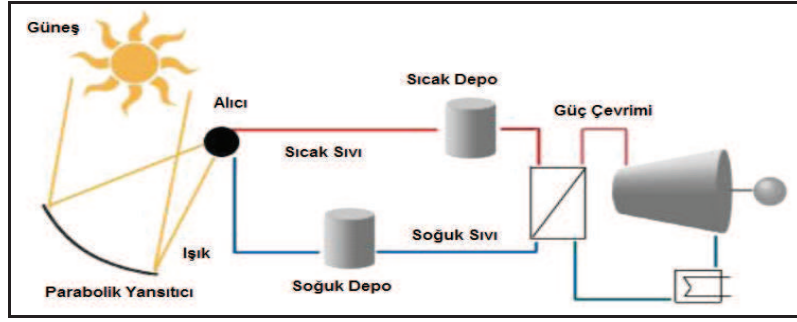


Şekil 2.6 CSP GES basitleştirilmiş çalışma şeması.

Her ne kadar CSP teknolojisi PV teknolojisinden ucuz olsa da; 1991 yılına kadar herhangi yeni bir CSP GES yapılmamıştır. 2000’li yıllardan sonra tekrar bir ilgi başlamıştır. Dünya Bankası 200 milyon USD kaynak ayırarak CSP GES projelerini desteklemiştir. Bu kaynağı doğal gaz ile hibrid olarak çalışan Mısır, Meksika, Hindistan ve Fas’ta kullanılacağını belirtmiştir.

CSP’lerdeki Ana Üniteler

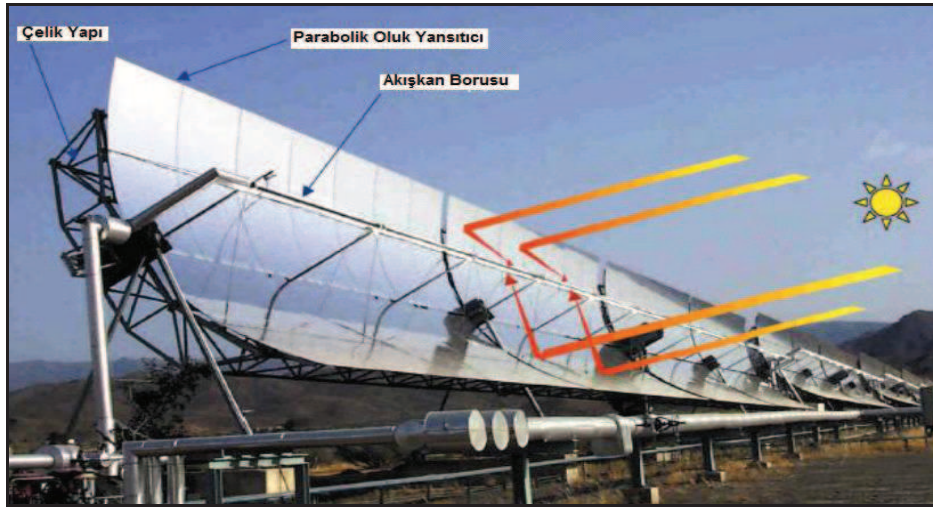
Parabolik oluk CSP GES’lerin çalışma prensibi ise oldukça basittir. Parabolik şekilde üretilen kollektörler, güneş ışığını üzerlerinde bulunan tüpe odaklayarak tüp içerisinde bulunan ısı transfer akışkanının sıcaklığını yükseltirler. Sıcaklığı parabolik oluk tip CSP GES’lerde 500 °C’lere kadar çıkabilmekte olup ısınan sıvı buhar türbinine giderek buhar oluşturma için kullanılmakta ve buhar da elektrik jeneratörüne türbin vasıtası ile iletilerek elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Modern CSP GES’lerde 4 ana ünite veya sistem bulunmaktadır. Bunlar, toplayıcı (collector veya reflector), alıcı (receiver), ısı transfer/depolama (heat transfer/storage) ve güç çevrim (power cycle veya power block) üniteleridir. Aşağıdaki Şekil 2.7 ile bu temel üniteler görülmektedir.



Şekil 2.7 Temel CSP üniteleri.

2.4.1 Parabolik Oluk Teknolojisi (Solar Parabolic Trough CSP)

Günümüzde parabolik oluk güneş enerjisi teknolojisi en yaygın ve kendini ispatlamış yoğunlaştırıcı, odaklayıcı güneş enerjisi teknolojisidir. Daha da doğrusu ticari olabilmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.8 ile parabolik oluk CSP GES'lere ait temel bir fotoğraf görülmektedir (Güçlüer, 2009).



Şekil 2.8 Parabolik oluk CSP.

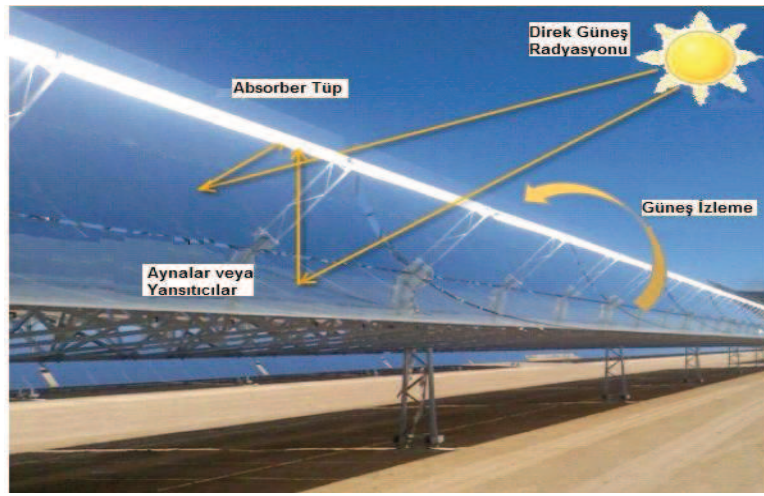
Toplayıcı (Collector)

Toplayıcı, termal CSP GES'lerde parabolik oluk şeklinde olup, gelen güneş ışığını yoğunlaştırmak için kullanılmaktadır. Parabolik oluk şeklinde olabileceği gibi, çanak şeklinde de olabilmektedir. Tek eksenli veya çift eksenli olarak da tasarlanabilirler. Tek eksenli ile çift eksenli sistemler arasındaki fark ise, tek eksenli sistemde toplayıcının sadece bir ekseninde

hareket etmesidir. Çift eksenli sistem, uzayda her açı da hareket kabiliyetine sahip olup gelen güneş enerjisini yansıtması daha verimli olmaktadır.

Alıcı (Receiver)

Alıcının en temel işlevi, üzerine yoğunlaştırılan güneş radyasyonunu ısıya dönüştürmesi olarak açıklanabilir. Bu dönüştürdüğü ısıyı da akışkan ortama göndermektedir. Normal bir enerji çevriminin yoğunlaşabilmesi için; deniz suyu, soğutma kuleleri veya diğer su bazlı soğutma sistemleri kullanılmaktadır. CSP GES'ler genellikle çölün ortasında ve suyun az olduğu yerlerde yapıldığından su azdır ve kulelerden çıkan su buharı kolektörlerin üzerinde gölgeleme yapabilmektedir (Durak, Basım aşamasında) (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Parabolik oluk sistemi.

Isı Toplama Elemanı (Absorber Tüp, Heat Collection Element)

Parabolik olup CSP GES'lerdeki alıcılar, ısı toplama elemanı (heat collection element, absorber tube) olarak veya absorber tüp bilinirler. Bu alıcılar, ısı transfer akışkanını içeren borulardır. Tipik olarak çelik konstrüksiyon ve yüksek derecede seçici absorpsiyon özelliğine sahiptir. İçindeki ortamın havası alınmıştır

Parabolik oluk CSP GES'lerdeki en önemli ekipmanın absorber tüp olduğunu söylemek yanlış olmaz.

Isıtılmış akışkan veya buhar, parabolik olukların içerisinden merkezi buhar üretim ünitesine gönderilmektedir. Parabolik oluk sistemi, fuel-oil, mineral yağ, erimiş tuz veya buharı ısı transfer akışkanı olarak kullanabilmektedir. Parabolik oluk CSP GES'lerin çalışma sıcaklığı 400-500 °C civarındadır. Parabolik kollektörler, toplam GES sahası içerisinde %30-40

arasında bir arazi işgal etmektedir. Parabolik sistem CSP'lerin en büyük avantajı basitlik ve maliyetin biraz daha düşük olmasıdır.

Güneş enerji kulesi CSP GES gibi parabolik oluk CSP GES'lerde enerji depolaması yapabilir. Diğer CSP GES'ler içerisinde en fazla ticari olan sistem parabolik oluk CSP'lerdir. CSP GES'lerde depolamada imkan dahilindedir.

Kollektör bölgesindeki lineer parabolik ve tek eksenli güneş kollektörler bulunmaktadır. Kuzey-güney yönünde uzanan ve birbirlerine paralel olarak yerleştirilen kollektörlerin herbiri, lineer parabolik şekle sahip olup güneşten gelen direk radyasyonu parabolüğün odağı içerisindeki lineer alıcıya odaklamaktadır. Kollektörler, güneşi doğrudan batıya takip ederek günboyu güneş radyasyonunun sürekli lineer alıcıya odaklanmasını sağlamaktadır. Isı transfer akışını (heat transfer fluid) alıcıdan sirkülasyon yaparak yüksek basınçlı ısınmış buhar halini alır. (superheated steam). Yüksek sıcaklık farkı buhar geleneksel termik santrallarda olduğu gibi türbini döndürerek elektrik üretilmiş olunur. Kullanılan buhar diğer termik santrallarda olduğu gibi, standart kondenserde yoğunlaştırılır ve eşanjörler (heat exchanger) vasıtası ile ve besleyici su pompaları (feed waterpump) yardımı ile tekrar buhar haline dönüştürülür. Kondenser soğutması, soğutma kuleleri (cooling tower) yoluyla oluşur. Isı transfer akışkanı eşanjör tarafında geçtikten sonra, soğutan ısı transfer akışını güneş sahası boyunca tekrar sirkülasyona girer. Tarihsel olarak parabolik oluk GES'ler, güneş enerjisinden en fazla verim alınan teknolojidir. Sadece güneş enerjisi ile çalıştığında bile yeterli elektrik enerjisini üretebilmektedir. Özellikle yaz aylarında 10-12 saat tam kapasite çalışabilmektedir (Durak, Basım aşamasında).

Bununla beraber, bu tip GES'ler fosil yakıtlar ile birlikte çalıştırılarak hibrid sistem oluşturulabilir ve böylelikle güneş radyasyonunun az olduğu saatlerde yüksek kapasitede elektrik enerjisi üretilmeye devam edilebilir.

Kollektör Teknolojisi

GES'lerdeki en temel eleman güneş kollektörleridir. Herbir kollektör, bağımsız olarak güneşi takip eden sistem, parabolik ayna ve alıcı tüplerden oluşmaktadır. Solar kollektörler, uluslararası terminolojide Solar Collector Assembly (SCA) olarak bilinmektedir.

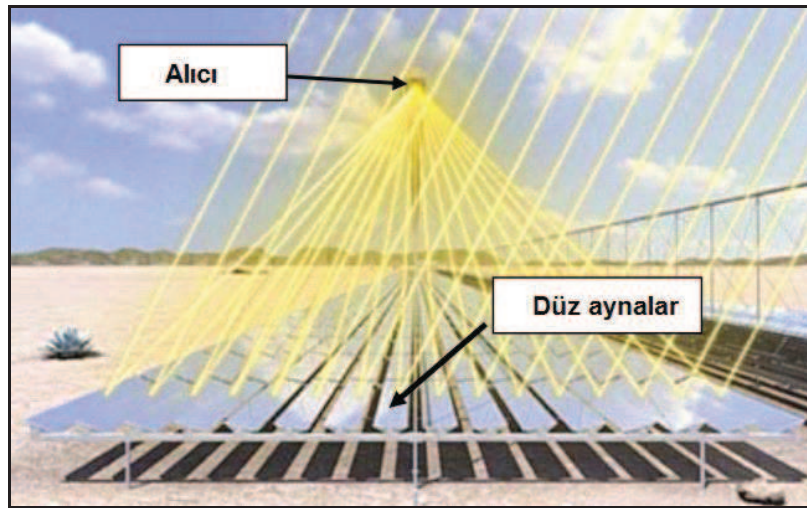
2.4.2 Fresnel Teknolojisi (Fresnel CSP GES)

Parabolik oluklara alternatif olarak lineer Fresnel yansıtıcıları teklif edilip test edilmeye başlanmıştır. Lineer Fresnel yansıtıcılarda tek eksenli ve lineere bir alıcısı vardır. Parabolik

oluklara kıyasla daha ucuz ve az yer kaplamaktadır. Bununla beraber, lineer Fresnel sistemler uzun yıllar çalışmakta olan ve kendini teknolojik olarak ispatlamış bir sistem değildir.

Eylül 2007 tarihinde Ausra, kömür ve doğal gazı dayalı termik santrallerin depolamalı CSP GES'ler ile yer değiştirebileceğini tartışmaya açmıştır. Ausra'nın geliştirdiği teknolojide parabolik oluk CSP GES'lerde ısı transfer akışkanı olarak su kullanılmaktadır. Buradaki enerji, içi sıcak su dolu tanklarda depolanarak gece veya bulutlu havalarda kullanılmaktadır.

Fresnel sisteminde aynalar kuzey-güney doğrultusunda uzanmaktadır ve güneş ışığını alıcıya yoğunlaştırmaktadır ve tüp içerisinde geçen suyu ısıtmaktadır (Şekil 2.10). Bu sistemler, kum fırtınası ve dolu yağışı durumunda kendini kapatmaktadır.



Şekil 2.10 Lineer Fresnel CSP GES çalışma diyagramı.

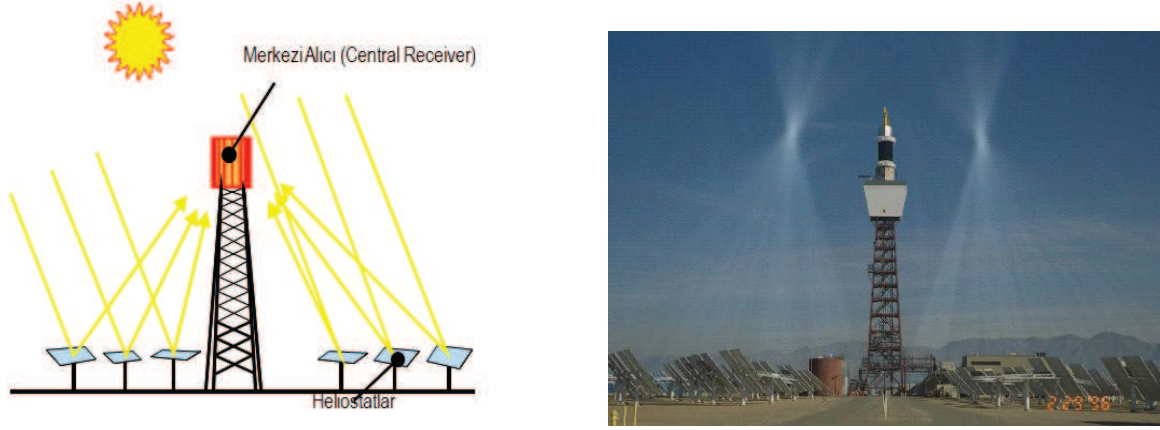
Fresnel sistemindeki alıcı, yüksek basınçlı tüp olup özel seçici bir tabaka ile kaplanmıştır. Kısa dalga boylu radyasyonu absorbe ederek uzundalga boylu radyasyonu yayma özelliğine sahiptir.

Lineer Fresnel CSP GES'te bütün aynalar ortada bulunan ve ısı transfer akışkanının geçtiği absorber tüpe güneş ışığını yoğunlaştırmaktadır.

2.4.3 Güneş Enerjisi Kule CSP Sistemi (Solar Power Tower)

Yoğunlaştırıcı sistemler içerisinde incelenmesi gereken ikinci teknoloji olan güneş enerjisi kuleleri (solar power tower), elektriği güneş ışınlarını kule şeklinde yapılmış alıcıya yansıtarak elde etmektedir. Bu sistem heliostat denen binlerce aynayı kullanarak güneş

ışınlarını kuleye yansıtmaktadır. Bu tip CSP GES'ler genellikle 30-400 MW arasında olup şebeke ile beraber çalışan sistemlerdir. Kurulu güçleri büyük olduğundan dolayı şebekeden bağımsız olarak kullanılamamaktadır.



Şekil 2.11 Kule sistemi genel diyagramı.

Uluslararası kule sistemi CSP GES'ler, aynı zamanda güneş enerji kuleleri veya merkezi alıcılar (central receiver) olarak da bilinir. Kulenin etrafını çevreleyen güneş ayna tarlasına da heliostat tarlası denilmektedir. Her bir heliostat diğerlerinden bağımsız olarak güneşin yörüngesini takip etmektedir. Güneş ışınlarının yoğunlaştırıldığı kulenin tepesinde yer alan alıcı içerisinde termodinamik süreçlerden geçen ısı transfer akışkanı, kulede doymuş buhar haline getirilir ve kuleden aşağıya indirilerek buhar türbini ve oradan da jeneratöre verilerek elektrik üretimi yapılmış olunur (Şekil 2.11).

Kule sistemleri, maliyet bakımından avantajlı olmakla birlikte, yüksek kule gerektirmesi, karmaşık bir alıcıya sahip olması ile 2 eksenli izleme sistemi gerektirmesi proje yapımında zorlukları da beraberinde getirmektedir.

Alıcı akışkan olarak erimiş tuzu kullanmaktadır. Geleneksel termik elektrik santrallerinde olduğu gibi toplamın içerisinden geçen akışkan yanma odasına gelmektedir. Isınmış bu akışkan depolama tanklarına veya eşanjörlere (heat exchanger) iletmekte ve oradan da enerji çevrimine devam etmektedir.

Termal enerji depolama ünitesi ile birlikte kullanılan parabolik oluk CSP teknolojisi, güneşin olmadığı zamanlarda da elektrik üretimine devam edilmesini sağlamaktadır. Termal enerji depolama ünitesinin en kritik hususu, çalışma akışkanının optimizasyonudur. Bu akışkan, ısı

transfer akışkanı olduğundan seçimi çok önemlidir. Son yıllarda kullanılmaya başlayan erimiş tuz, gittikçe sentetik yağın yerini almaktadır.

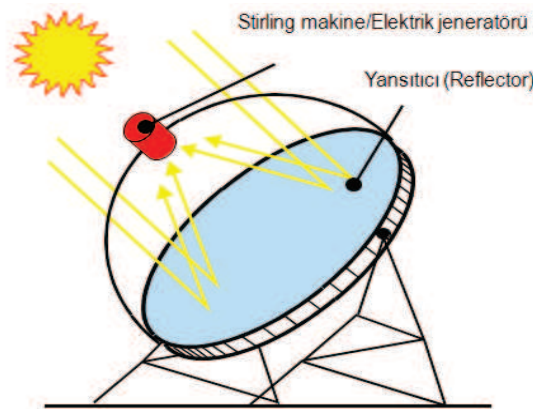
CSP GES'lerdeki en yüksek sıcaklık 400-600 °C'dir. Örneğin Solar Two CSP GES projesinde sıcak tankta eriyen tuz (molten salt) için 565 °C sıcaklık gerekmektedir. Soğuk tankta ise, 288 °C'dir. Yansıtıcı aynaların toplam CSP GES sahası içindeki oranı ise %22'dir.

Güneş enerjisi kulesi eriyen tuz ile kullanılabilir. Sıvı tuz 290 °C'de soğuk depo tankından güneş akışı tarafından 565 °C'ye getirilir ve pompalanarak sıcak depo tankına gönderilir ve burada depolanır. CSP GES'ten elektrik üretimi gerektiğinde sıcak tuz buhar üretim sistemine gönderilerek süper ısınmış (superheated) buhar üretir ve bu buharda Rankine çevrimine girerek jeneratörü döndürür. Buhar jeneratöründen tekrar soğuk depo tankına giden tuz, buradan tekrar alıcıya gider ve çevrim böylelikle devam eder. Aşağıdaki Şekil 5 konuyu özetlemektedir (Durak, 2009).

Depo olarak kullanılan tankların tasarımı, önemli bir süreçtir ve genellikle 10 saate kadar yapılabilir.

2.4.4 Güneş Çanak Sistemi (Solar Dish Engine)

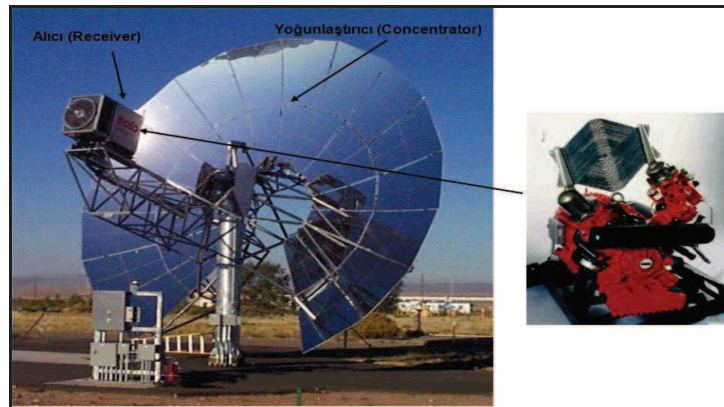
Çanak sistemleri güneş radyasyonundaki temel enerjiyi önce mekanik daha sonrada elektrik enerjisine çevirmektedir. Bu çevrim, termik santrallerdekine oldukça benzer bir sistemdir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bu sistemler ayna düzeninde olup gelen güneş radyasyonunu alıcıya yansıtarak gerekli sıcaklığa ulaşılmasını sağlar. Bu sistem güneşi çift eksenli takip eden bir yapı gerektirmektedir. Yoğunlaştırılan güneş radyasyonu alıcı tarafından emilerek makineye enerji dönüşümü için transfer edilmektedir (Şekil 2.12). Çanak/makine teknolojisi CSP GES'ler içerisindeki en eski teknolojidir (Güçlüer, 2009).



Şekil 2.12 Çanak/ Stirling CSP GES basitleştirilmiş diyagramı.

Çanak/Stirling sistem CSP GES'leri, kule ve oluk sistem CSP GES'lerden ayıran en önemli fark, küçük ölçek ve bağımsız modüllerin olmasıdır. Diğer 2 tür CSP GES'te daha çok merkezi bir yoğunlaştırma ve üretim bulunmaktadır. Çanak CSP GES'lerde parabolik yansıtıcı alıcı ve enerji çevrim ünitesi bulunmaktadır.

Genellikle alıcı ve enerji üreten makine doğrudan temasta olup tek bir ünite gibi davranmaktadır. Bu sistem enerji dönüşüm ünitesi (power conversion unit, PCU) olarak adlandırılmaktadır. Yansıtıcı ve PCU pozisyonlarını birbirlerine göre sabitlediklerinden güneşi takip ederler. Bu tasarımdaki en klasik sistemi Stirling makinesi olduğundan genellikle çanak/ Stirling (dish/ Stirling) olarak adlandırılmaktadır. PCU ünitesinin tasarımı aşağıda görülmektedir. Burada yoğunlaştırılmış güneş ışığı alıcı yüzeye çarpan akışkanın buharlaştırılmasına neden olmaktadır. Bu tasarımda sodyum buharı kullanılmıştır. Buhar, Stirling makinesine verilir ve burada işlevini görerek tekrar yoğunlaşır. Sıvı formunda sodyum alıcıya tekrar döner ve bu çevrim böylelikle devam eder (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Çanak/ Stirling CSP GES.

Bu sistemler, yüksek verimlilik, modülerlik, otonom işletme gibi birçok avantajı da içinde barındırmaktadır. CSP GES'ler içerisinde çanak GES'ler %30 civarındaki kapasite faktörü ile en yüksek verime sahiptir. Sistemin modüler olması uzak bölgelerde kurulumunu kolay hale getirmektedir.

Yoğunlaştırıcılar

Çanak tipi GES'ler güneş kollektörlerini; güneşi çift eksenli takip ettirerek çalışırlar. Metalle güçlendirilmiş cam veya plastik yansıtıcı yüzey, gelen güneş radyasyonunu odağa doğru yansıtmaktadır. Güneş yoğunlaştırıcının boyutu makina tarafından belirlenmektedir.

Yoğunlaştırıcılar aliminyum veya gümüş yansıtıcı yüzey kullanmaktadırlar. En dayanıklı yansıtıcı yüzeyler gümüş veya cam aynalardır. En ideal yoğunlaştırıcı geometrisi ise paraboloid olmuştur.

Alıcılar (Receivers)

Alıcı yansıtıcı tarafından yansıtılan enerjiyi akışkana transfer etmektedir.

Makineler (Engines)

Çanak/makine sistemindeki makine, geleneksel makineler gibi çalışmakta olup ısı enerjisine mekanik enerjiye çevirmektedir. Bu mekanik enerjide elektrik enerjisine jeneratör ile çevrilmektedir. Çeşitli termodinamik süreçler çanak/makine sisteminde meydana gelmektedir.

Stirling Çevrimi (Stirling Cycles)

Stirling çevrimi, çanak/stirling sisteminde kullanılmakta olup yüksek sıcaklık, yüksek basınç koşullarında ve hidrojen veya helyum çalışma gazlarını kullanan bir sistemdir. Gaz çalışma sıcaklığı 700°C civarındadır. Çeşitli mekanik konfigürasyonlar bulunmakta olup sabit sıcaklık ve sabit hacmin konumunu sağlanmaktadır. Çanak/makine sisteminde kullanılan Stirling çevrimi, yüksek sıcaklık ve basınçta çalışan ve hidrojen veya helyum gazları ile çalışmaktadır. Gaz sıcaklığı 700 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Stirling çevriminde, çalışma gaz sabit hacimde ısıtılıp sonrada soğutulmaktadır. Stirling makinelerinde ısıyı sabit hacimde soğuturken verimi artıran rejeneratör bulunmaktadır. Sabit sıcaklık ve hacimde gerçekleşen süreçte bazı mekanik konfigürasyonlar yer almaktadır. Ana elemanlar piston ve silindirdir. Stirling makinelerinin termal elektrik dönüşüm verimi %40 civarındadır.

İyi bir Stirling çevrimi, %40 civarında verime sahiptir. Şimdilerde Stirling makinelerinde birkaç firma üretiminde bulunmaktadır.

3. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ VE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ

Son yıllarda birçok ülke sınırlarını tanımlamak ve veritabanları oluşturmak için büyük çabalar harcamışlardır. Bilginin ulaşılabilirliği karar ve planlama sürecini çok kısaltarak zamandan ve iş gücünden tasarruf sağlamaktadır. Bu planlama sürecinde hesaba katılması gereken doğal hayatın korunması ve ekonomik gelişim gibi kriterlerin hesaba katılması gerekir. Ancak aşırı bilginin varlığı planlama sürecini çok karmaşık bir hale getirmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemi ve Çok Ölçütlü Karar Analizi planlamacıların bu karmaşıklığı çözümlmelerine yardımcı olabilmektedir. Bu sistemlerin birlikte kullanılmasıyla bir alanın tamamı veya bir bölümünden istenilen bilgiler alınabilmekte ve bu bilgiler belirli kriterler çerçevesinde işlenip karar süreci planlanabilir (Öztürk ve Batuk, 2007).

Güneş elektrik santralının belirlenmesinde pek çok ölçüt rol oynar, tüm bu ölçütlerin birbiri ile uyumunun göz önünde bulundurulması, izlenmesi, yorumlanması ve yönetilmesi için CBS oldukça yerinde bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu ölçütlerin analizinin gerçekleştirilmesi aşamasında pek çok çalışmada CBS tabanlı ÇÖKA kullanılmıştır.

Büyük ölçekli güneş termik santrallerinde özel gereksinimleri için özel nitelikleri olan bir alanlara ihtiyaç duyulur. Bu ölçütlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

- Güneş enerjisi potansiyeli
- Eğim
- Arazi kullanımı ve arazi örtüsü
- Hidrografik özellikler
- Yerleşim, endüstri ve ulaşım ağı
- Koruma alanları (kuş göç yolları, arkeolojik alanlar, vb.)
- Elektrik hattına ve trafo merkezlerine yakınlık

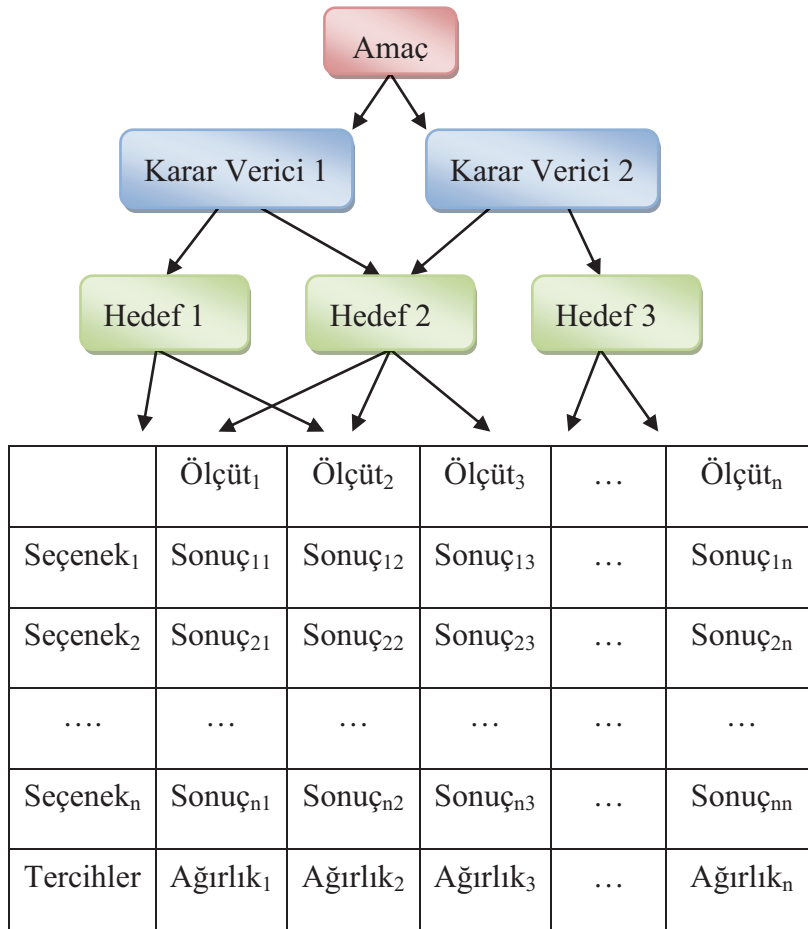
CBS veri seti kullanılarak ulaşım hattına, su kaynağına, elektrik hattına ve trafo merkezlerine yakınlığı ağırlıklandırılarak analizler yapıldığı gibi kullanılamaz alanlardan olan göl, arkeolojik alan, doğal koruma alanları gibi katmanlarda ise 2'li (binary) sistem kullanılarak analiz gerçekleştirilebilir (Kronshage vd., 2002).

3.1 Çok Ölçütlü Karar Analizi

ÇÖKA problemi, birden fazla sayıda kriterin bir arada değerlendirilmesi gereken durumlarda uygulanan bir çözümdür. Problem çözümündeki temel yöntem problemi küçük, basit ve anlaşılabilir parçalara bölerek bu parçalardan anlamlı bir sonuç elde edilebilecek şekilde bağlantı kurmaktır (Malczewski, 1999).

ÇÖKA, problemin tanımı, probleme ilişkin ölçütler ve bu ölçütlerin uygunluğunun belirlenmesi aşamalarını içerir (Malczewski, 1999). ÇÖKA, karar vericiye göre değişen öneme sahip pek çok ölçütler arasından seçim yapmayı gerektiren bir işlemdir. Sonuç ölçütlere verilen ağırlıklarla sonuç elde edilir, bu ölçütler karar verici için farklı ağırlıklara sahip olabileceğinden ölçütlerin önem dereceleri ile ilgili kesin doğru elde edilmelidir (Öztürk ve Batuk, 2007).

ÇÖKA’da bir problemin çözüm hedeflerinin oluşturması için ilk adım olarak ölçütlerin değerlendirilmesi gereklidir. Değerlendirme ölçütünü amaçlar ve öznitelikler belirlemektedir. Bir özniteliğin değerini minimum ve maksimum değerleri temsil etmektedir. Bu ölçütler seçeneklerle beraber değerlendirildiğinde seçeneklerin önemine göre bir sıralama yapılır (Şekil 3.1).

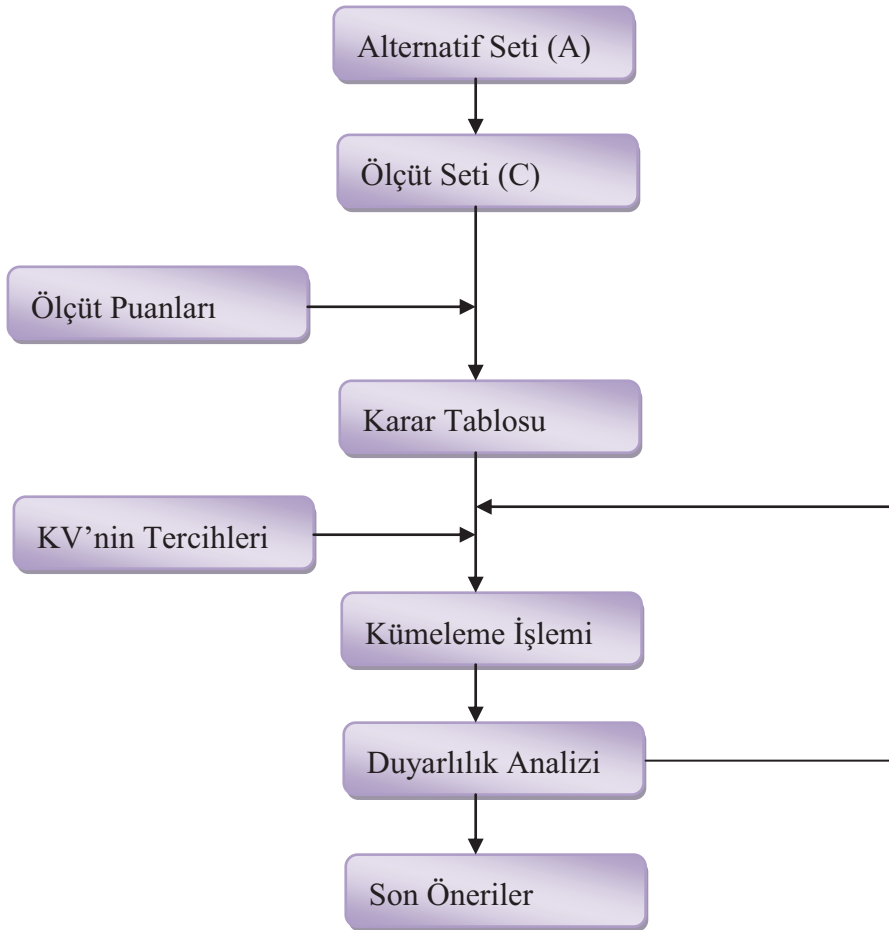


Şekil 3.1 ÇÖKA çözüm diagramı.

Her ÇÖKA tekniği genel model adı verilen temel bir prosedür izlemektedir. Şekil 3.2’ de gösterilen prosedürün adımları aşağıda verilmiştir (Belka, 2005):

- Alternatiflerin sağlanması yola çıkma

- Kriterlerin sağlanması
- Her kriter üzerindeki her alternatifin etkisinin araştırılıp kriter puanlarının hesaplanması
- Farklı alternatifler, kriterler ve kriter puanları kullanılarak karar tablosunun oluşturulması
- Kriter ağırlıkları kullanılarak karar vericinin (KV) tercihlerinin belirlenmesi
- Alternatiflerin sıralanması için karar tablosundaki verilerin kümelenmesi
- Sonuçlardaki belirsizlik ve hataları düzeltebilmek için duyarlılık analizi yapılması
- Her bir alternatif için son önerilerin yapılması adına iyi alternatiflerin ayrılması veya alternatiflerin iyiden kötüye doğru sıralanması



Şekil 3.2 ÇÖKA genel modeli.

3.2 CBS ve ÇÖKA' nın Kullanıldığı Araştırma ve Uygulamalar

Kenny vd. (2006), kristal silikon PV modüllerinin İlatya'nın Ispra bölgesinde performans tahminlerine yönelik CBS tabanlı bir çalışma yapmışlardır. Aylık irradyasyon ve sıcaklık değerleri kullanılarak r.sun programında bir model üretmişlerdir. Bu modelle birlikte s.surf.rst

ve s.vol.rst programlarından elde ettikleri verileri açık kodlu bir CBS yazılımı olan GRASS' da diğer katmanları da katarak (sayısal yüksekli modeli gibi) kristal silikon PV'lerin verimlilik performanslarına yönelik tahminde bulunmuşlardır.

Huld vd. (2003), Avrupa'yı kapsayacak şekilde, PV uygulamalarını geliştirmek adına internetten ulaşılabilir şekilde güneş radyasyonu haritası ve ölçüm değerlerini tablo halinde sunan bir CBS sistemi kurmuşlardır. Bu çalışmada bir km²lik 1981-1990 yılları arasında 182 farklı istasyondan alınan aylık ve yıllık ortalama global irradyasyon değerleri ve sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır.

Blair vd (2008), güneşten enerji elde etmede kullanılan tüm teknolojilerine yönelik olarak, performans, maliyet ve yatırım tutarı analizi yapabilen bir model geliştirilmiştir. Bu program NREL'in (National Renewable Energy Laboratory) bünyesinde yapılmış olup, web sitesinden ücretsiz olarak indirilebilmektedir [2].

Palizzi A. (2008), kentteki binalara monte edilen PV sistemleri üzerine internetten potansiyel hesaplanabilecek CBS tabanlı bir web hizmeti yapmışlardır. Bu program ile çatı alanı, PVler için kullanılabilir çatı alanı, PV panellerin üretebileceği elektrik, PV kullanılması durumunda elektrik maliyeti azalma analizi ve Karbon emisyonundaki azalma hesaplanabilmektedir.

Aragones Beltran vd. (2008), çok ölçütlü karar analizi kullanılarak, daha önceden belirlenmiş 50 adet güneş enerjisi (PV) projesinin fizibilite çalışması yapılmıştır. Farklı risk grupları oluşturularak projeler ölçütlerine göre bu risk gruplarına göre sınıflandırılmışlardır.

Boston şehri için yapılmış güneş enerjisi potansiyelinin hesaplandığı CBS tabanlı bir web uygulamasıdır. Boston şehrindeki tüm binalar sayısal hale getirilerek kullanıcı etkileşimli olarak işaretlenen binalar için ne kadar güneş enerjisi potansiyeli olduğu otomatik olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca seçilen binalara ait, PV kurulduğu takdirde SO₂, NO_x ve CO₂ salınımlarındaki azalma da verilen bilgiler arasındadır. Boston belediyesi tarafından yaptırılan bu uygulama ArcGIS tabanlı yapılmış olup, ücretsiz olarak sunulmaktadır [3].

Erdoğan H. (2008), Türkiye'nin en çok güneş potansiyeline sahip bölgelerinden biri olan Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılması planlanan Ilısu Hidroelektrik Santraline alternatif olabilecek bir güneş elektrik santrali üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma ile Ilısu HES projesi yerine daha az maliyetli olan ve sosyal ve kültürel mirasın sular altında yok olmaktan kurtulacağı bir çözüm geliştirmek istemişlerdir.

4. CBS-ÇÖKA YÖNTEMİ İLE KONYA İLİNDE CSP KURULABİLECEK ALANLARIN BERLİRLENMESİ

4.1 Çalışma Alanı

Konya ili, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde yer alan, etrafı Ankara, Eskişehir, Afyon, Isparta, Antalya, Karaman, Mersin, Niğde ve Aksaray illeriyle çevrili Türkiye'nin yüzölçümü en büyük ilidir. Konya İli ayrıca güneş radyasyonu potansiyeli oldukça yüksek bir şehirdir. Öyle ki PV, CPV ve CSP sistemlerinin her biri için uygun bir ildir (Durak, 2009). Yüzölçümünün geniş olması çok sayıda GES kurulabilmesine olanak vermektedir. Bu çalışma konusuna uygun olarak güneş elektrik santrali kurulması uygun olan en geniş yüzölçümüne sahip şehir olması nedeniyle Konya İli çalışma alanı olarak seçilmiştir. Ayrıca bu geniş alanın büyük bir kısmının eğiminin az olması da özellikle CSP santrallerin kurulmasına elverişli halde olduğunu göstermektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Çalışma alanı.

4.2 Yöntem

Bu çalışmada, Konya İli için en uygun CSP santral yerlerinin belirlenmesine için CBS-ÇÖKA yöntemi kullanılmıştır. İş akışı Şekil 4.2 de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Yöntem diyagramı.

Uygulama aşamasında gerekli olan verilerin tespit edilmesi ve edinilmesi işleminden sonra verilerin işlenebilmesi için bazı düzenlemeler yapılmıştır. Öncelikle verilerin hepsinin UTM 6°, WGS84, 36N koordinat sistemine dönüştürülmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Veriler istenilen koordinat sistemine dönüştürüldükten sonra Konya İli, sınır oluşturacak şekilde veriler kesilmiş ve vektör formattan raster formata dönüştürülmüştür. Piksel büyüklüğü verilerin genel özellikleri ve çalışma alanının büyüklüğü göz önünde bulundurularak 30m (global irradyasyon hariç) olarak alınmıştır. Poligon tarzındaki vektör veriler; niteliklerine bağlı olarak “Öklid mesafesi” yöntemi ile raster formatına dönüştürülmüşlerdir. Çizgi katmanlardan analizde kullanılan özniteliğine göre mesafe oluşturulurken yükseklik verilerinden analizde gereken özelliğine göre eğim oluşturulmuştur. Bu işlemden sonra her bir ölçütü gösteren katmanın özniteliğine göre puanı (uygunluğu) belirlenmiştir. Buna göre katmanlar sınıflandırılarak özniteliği yerine uygunluk değeri atanmıştır. Böylece katmanlar standartlaştırılarak ölçüt haritaları oluşturulmuştur. Haritalardaki uygunluk değerlerinin 1 ile 10 gibi sabit aralıkta olmasına dikkat edilmiştir. Bu işlemden sonra standartlaştırma işlemine geçilmiştir. Değerler 1 ile 0 arasında olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Daha sonra

ölçütlerin önemine bağlı olarak ağırlıkları belirlenir ve ölçütler ağırlıkları oranında birleştirilmişlerdir. Bu kısımda her bir ölçüt için atanan uygunluk değeri ile yaklaşıma göre belirlenen ağırlık çarpılarak, sonuçlar çakıştırılıp ağırlıklı ölçüt haritası ortaya çıkarılmıştır. Böylece belirlenen yaklaşıma uygun alanları gösteren sonuç katman oluşturulmuştur. Ayrıca ölçütlerin önemine göre belirlenen ağırlıkların 1 puan üzerinden paylaştırılmasına dikkat edilerek sonuç katmanı oluşturulmuştur. Oluşturulan sonuç katmanı da standartlaştırılarak kümelemeler 0 ile 1 arasında değerler almışlardır. Sonuç katmanı tekrar sınıflandırılarak 0 ile 5 arasında; 5 en iyi olmak üzere sınıflara ayrılmışlardır. Son olarak da kullanılamayan alanlar belirlenerek CSP santral kurulumu için en uygun alanlar ortaya çıkartılmıştır.

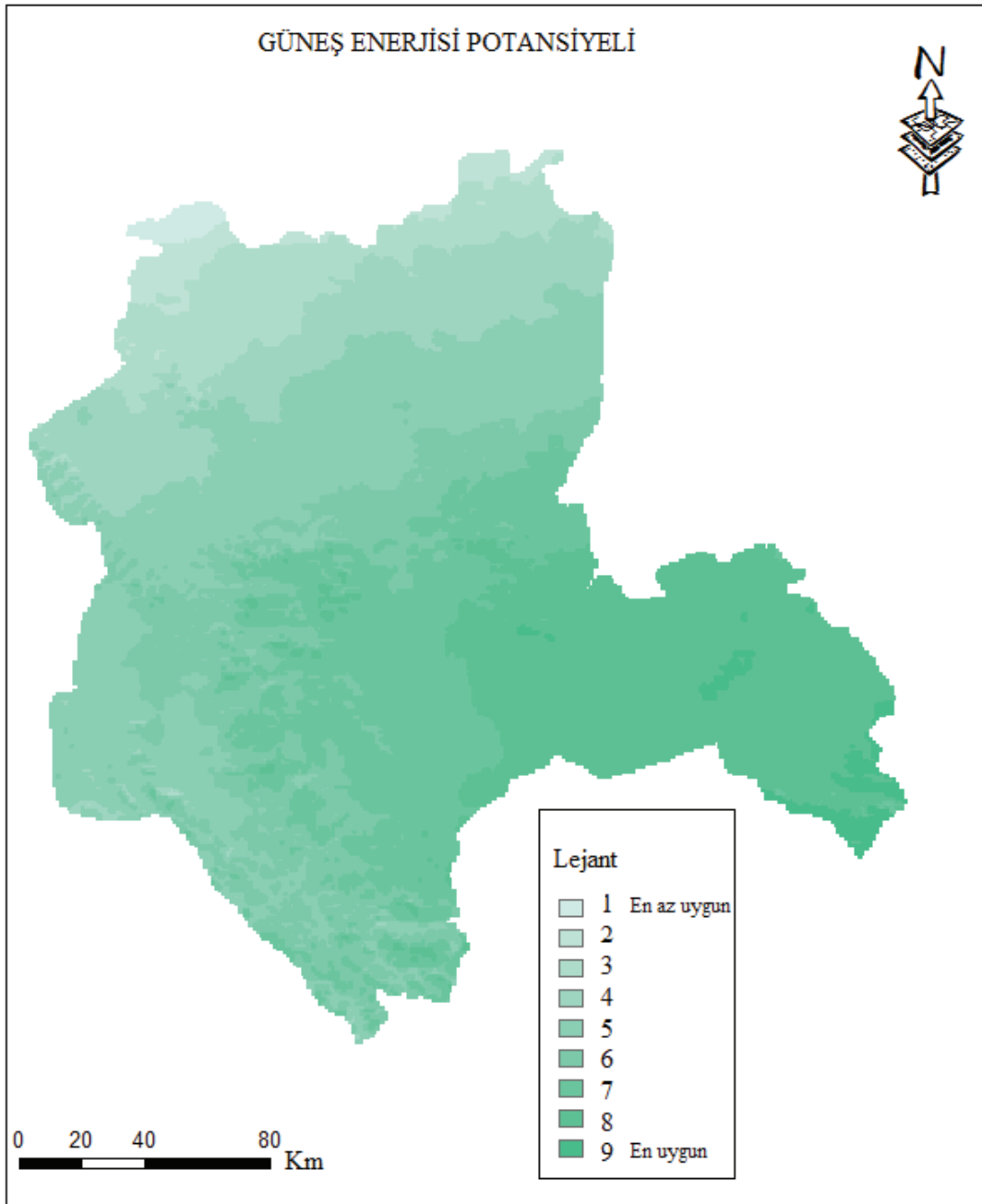
Çalışma Verileri

Bir CSP santralin kurulması için pek çok kriterin kullanılması gerekmektedir. Bunlardan başlıcaları ve çalışmada kullanılanlar aşağıda verilmiştir.

- Güneş enerjisi potansiyel atlası – global radyasyon değeri
- İl sınırları
- Eğim
- Enerji nakil hattına yakınlık
- Trafo merkezlerine yakınlık
- Su kaynak alanlarına yakınlık
- Nehirlere yakınlık
- Göllere yakınlık
- Karayollarına yakınlık
- Demiryolu hattına yakınlık
- Çevre koruma alanlarına uzaklık
- Kuş göç yollarına uzaklık
- Deprem fay hattına uzaklık
- Yerleşim alanlarına uzaklık
- Havalimanına uzaklık
- Rüzgar elektrik santrallerine uzaklık

4.3 Verilerin Düzenlenmesi ve İşlenmesi

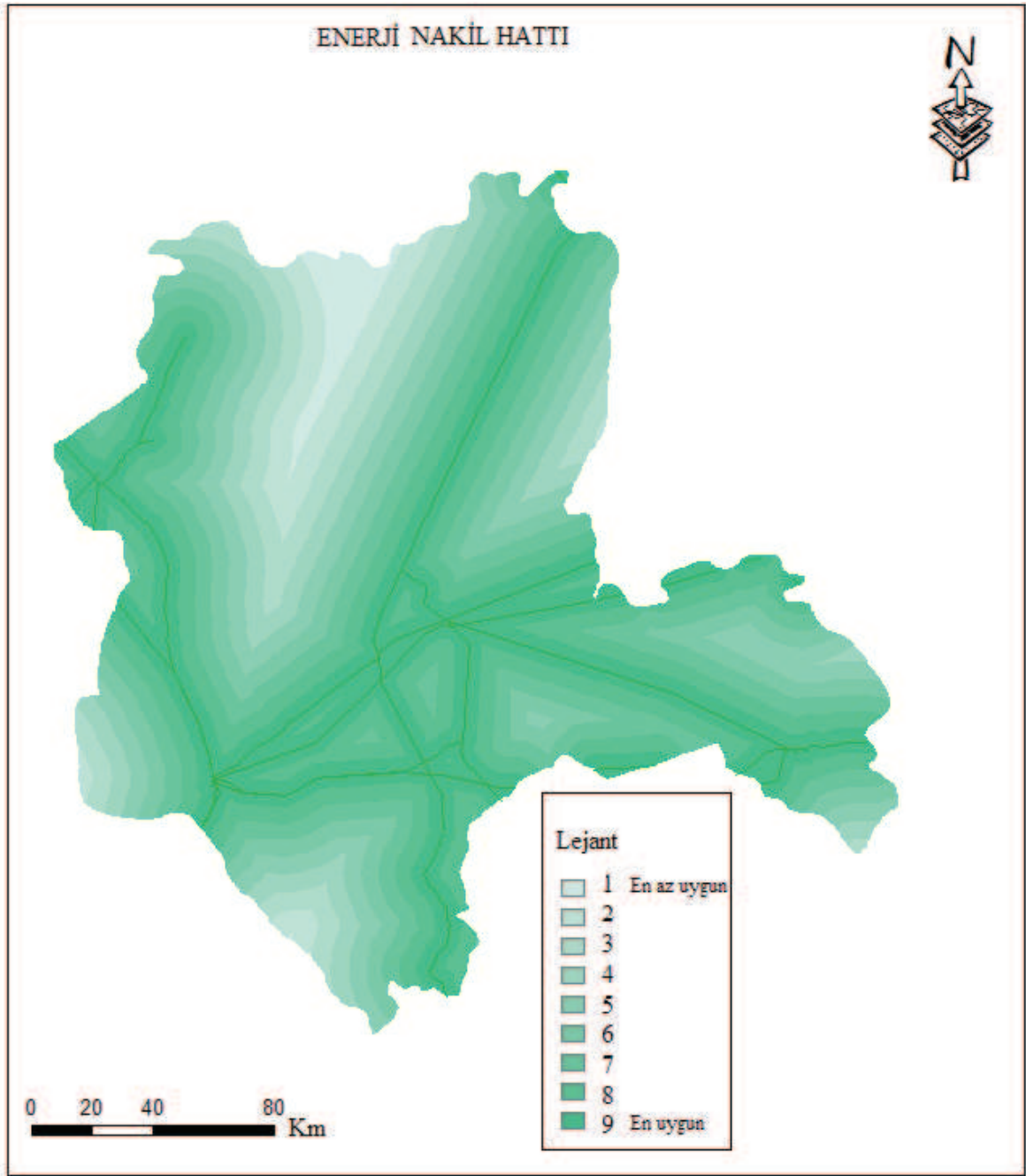
Veriler ArcGIS ortamında düzenlenmiş ve Şekil 4.3 ile 4.18 arasında oluşturulan haritalar gösterilmiştir. Tüm veriler “öklid mesafesi” yöntemi ile derecelendirilmiş, en yüksek değer 1 olacak şekilde normalleştirilmişlerdir. Normalleştirilen veriler yeniden sınıflandırılarak 9 sınıfa ayrılmışlardır, bu sınıfların ağırlıkları ise CSP santral kurmaya en uygundan en az uygun olacak şekilde; en uygun değer 9 en az uygun değer 1 verilerek puanlandırılmışlardır (Çizelge 4.1), Şekil (4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11).



Şekil 4.3 Güneş enerjisi potansiyeli.

Çizelge 4.1 Güneş enerjisi potansiyeli için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.

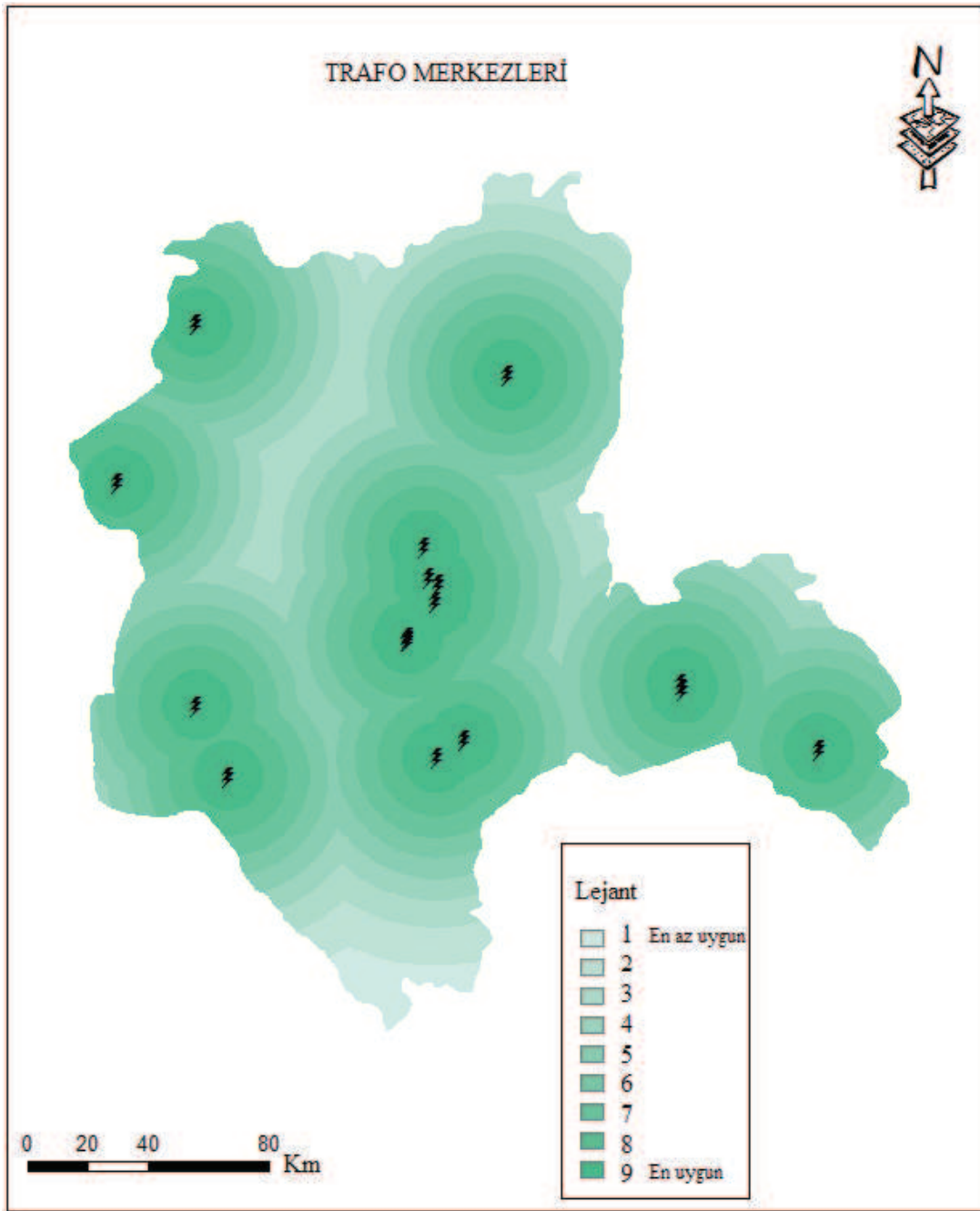
Aralık	Puan	Aralık	Puan	Aralık	Puan
1550-1573	1	1620-1642	4	1689-1711	7
1574-1596	2	1643-1665	5	1712-1734	8
1497-1619	3	1666-1688	6	1735-1760	9



Şekil 4.4 Enerji nakil hattı.

Çizelge 4.2 Enerji nakil hattı verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.

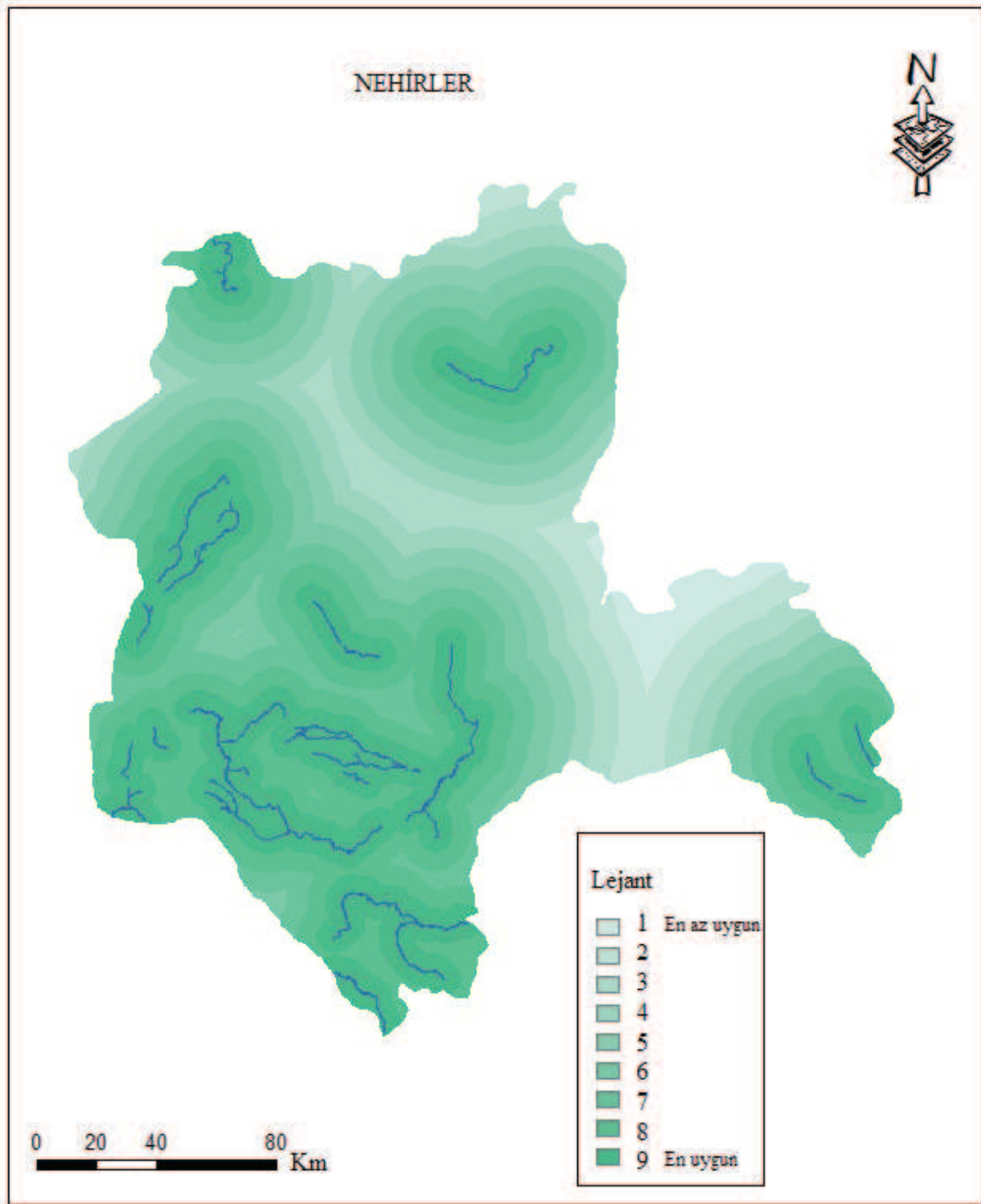
Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan
0.0-4.0	9	14.1-19.0	6	30.1-37.0	3
4.1-9.0	8	19.1-24.0	5	37.1-44.0	2
9.1-14.0	7	24.1-30.0	4	44.1-51.0	1



Şekil 4.5 Trafo merkezleri.

Çizelge 4.3 Trafo merkezleri verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.

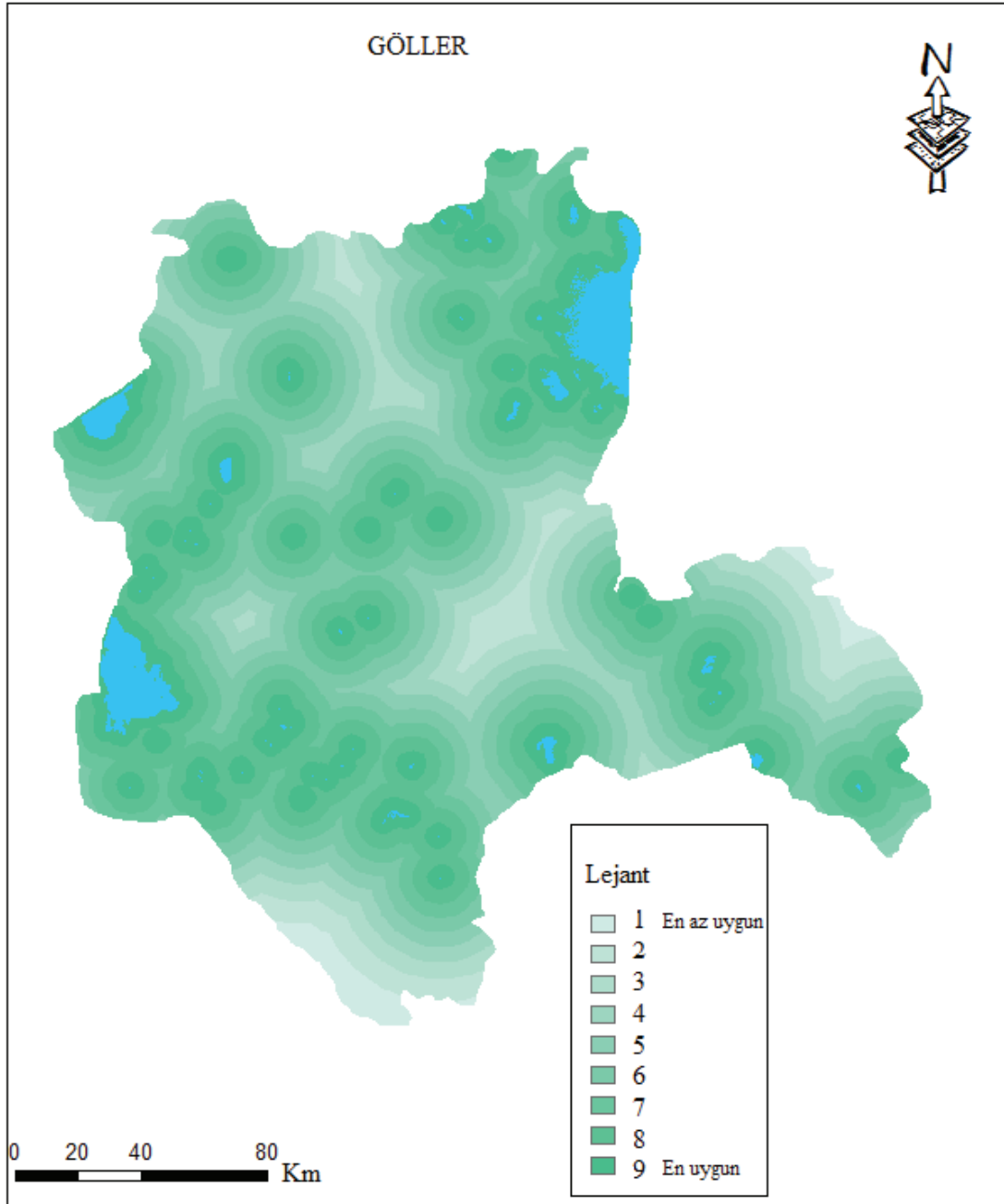
Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan
0.0-10.0	9	24.1-31.0	6	45.1-52.0	3
10.1-17.0	8	31.1-38.0	5	52.1-59.0	2
17.1-24.0	7	38.1-45.0	4	59.1-66.0	1



Şekil 4.6 Nehirler.

Çizelge 4.4 Nehirler verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.

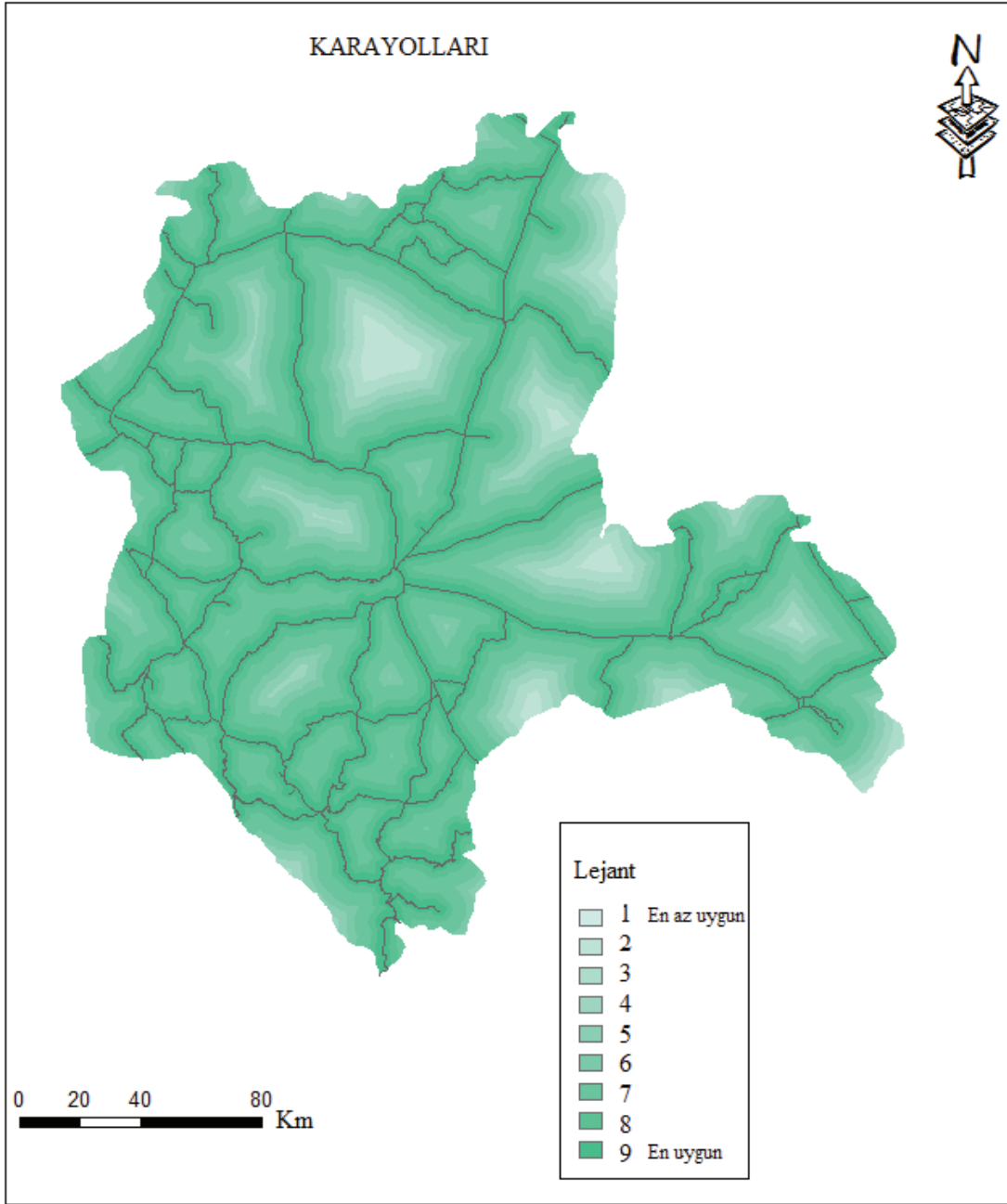
Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan
0.0-5.0	9	19.1-26.0	6	40.1-47.0	3
5.1-12.0	8	26.1-33.0	5	47.1-54.0	2
12.1-19.0	7	33.1-40.0	4	54.1-61.0	1



Şekil 4.7 Göller.

Çizelge 4.5 Göller verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.

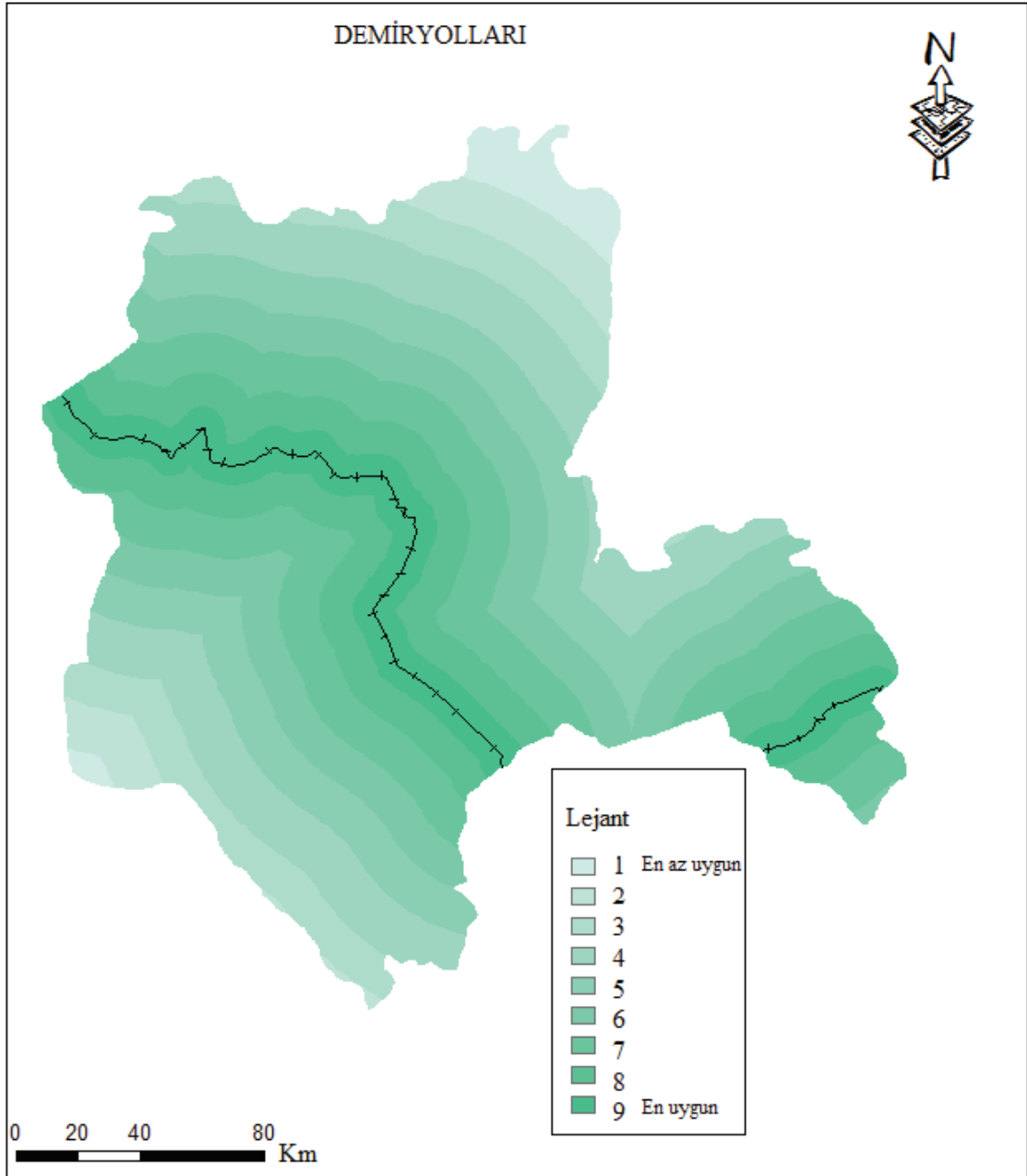
Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan
0.0-4.0	9	12.1-16.0	6	26.1-32.0	3
4.1-8.0	8	16.1-20.0	5	32.1-39.0	2
8.1-12.0	7	20.1-26.0	4	39.1-46.0	1



Şekil 4.8 Karayolları.

Çizelge 4.6 Karayolları verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.

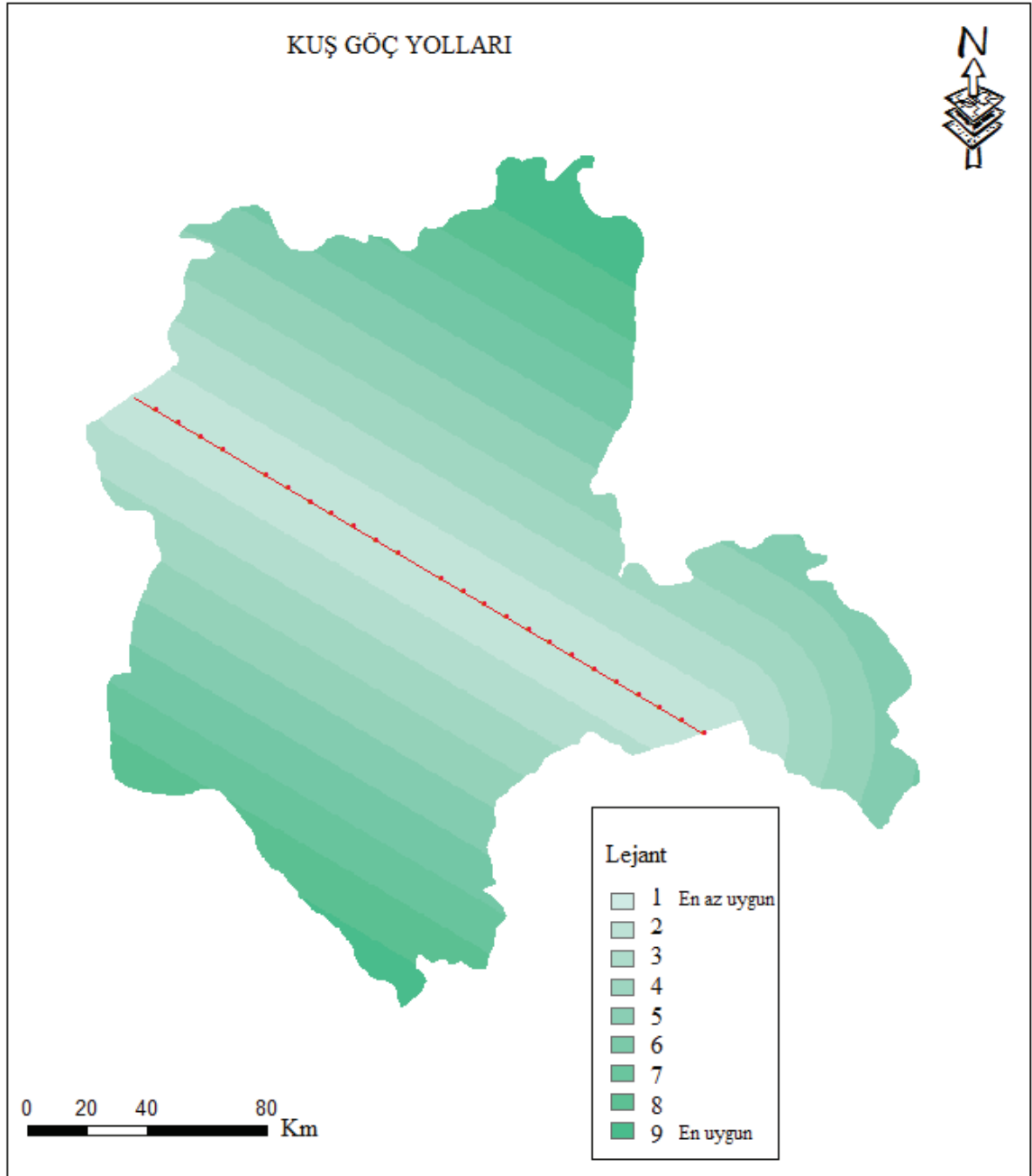
Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan
0.0-2.0	9	6.1-8.0	6	41.1-17.0	3
2.1-4.0	8	8.1-11.0	5	17.1-20.0	2
4.1-6.0	7	11.1-14.0	4	20.1-25.0	1



Şekil 4.9 Demiryolu hattı.

Çizelge 4.7 Demiryolları verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.

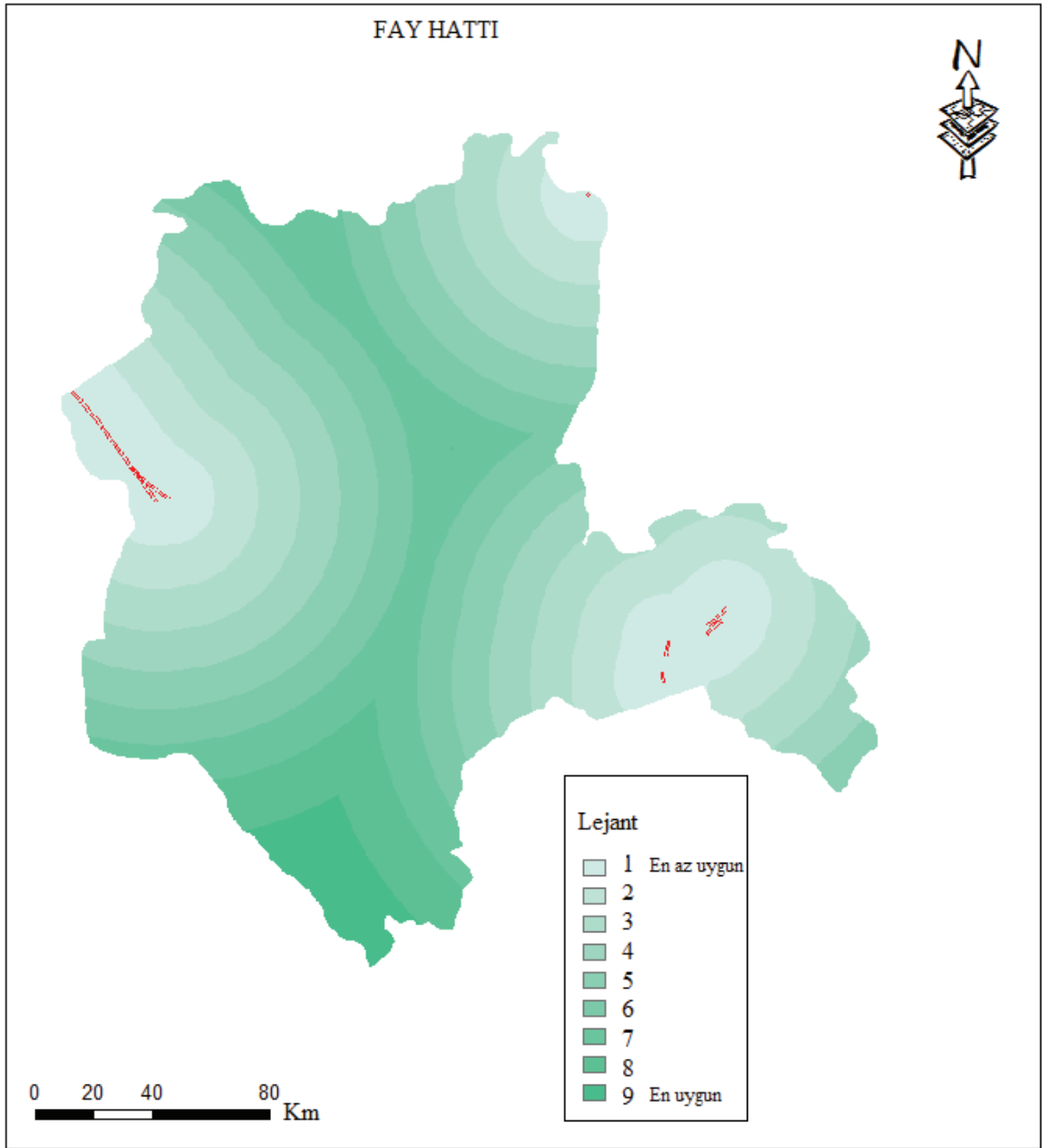
Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan
0.0-10.0	9	34.1-46.0	6	70.1-82.0	3
10.1-22.0	8	46.1-58.0	5	82.1-94.0	2
22.1-34.0	7	58.1-70.0	4	94.1-109.0	1



Şekil 4.10 Kuş göç yolları.

Çizelge 4.8 Kuş göç yolları verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.

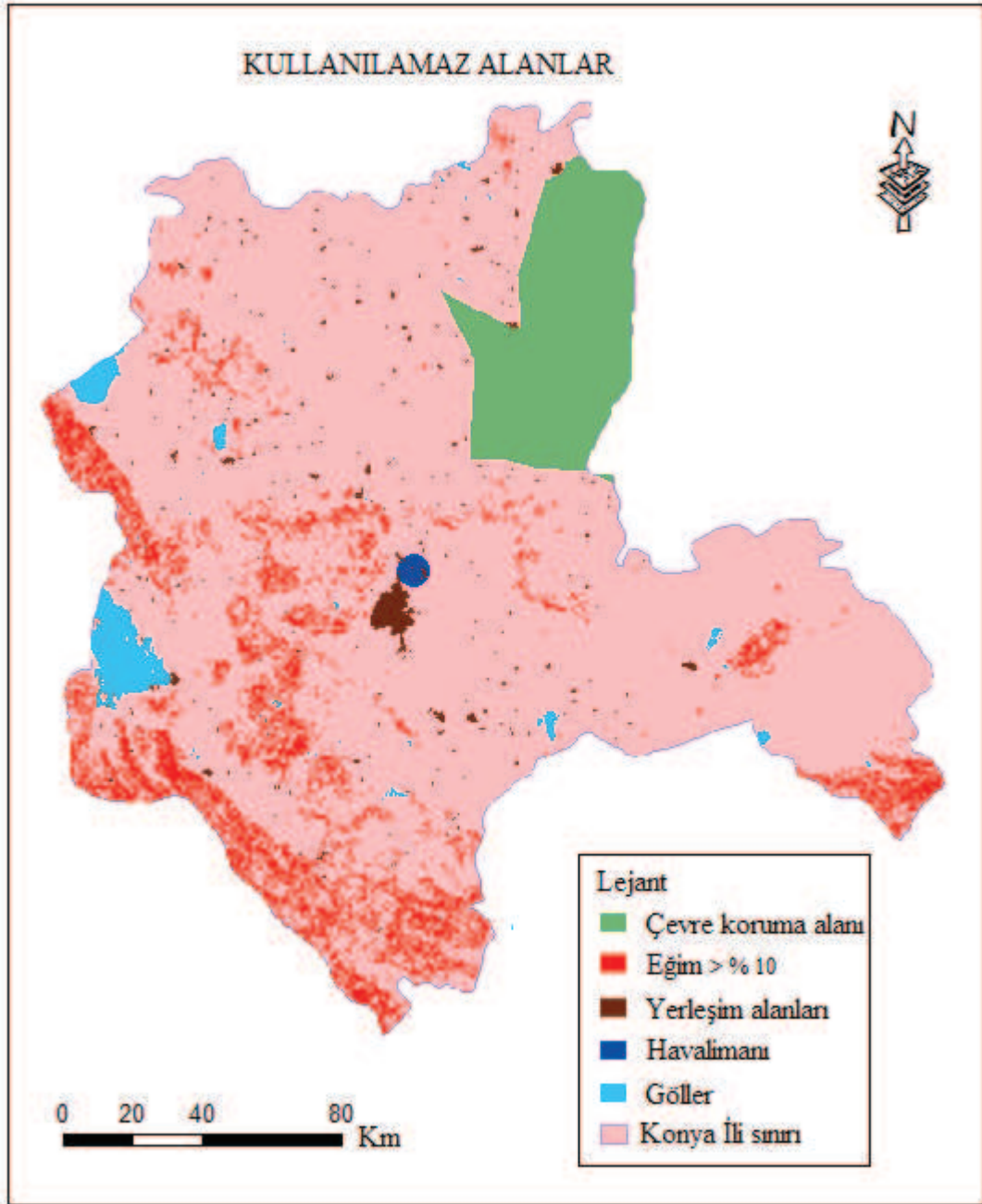
Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan
0.0-15.0	1	45.1-60.0	4	90.1-105.0	7
15.1-30.0	2	60.1-75.0	5	105.1-120.0	8
30.1-45.0	3	75.1-90.0	6	120.1-135.0	9



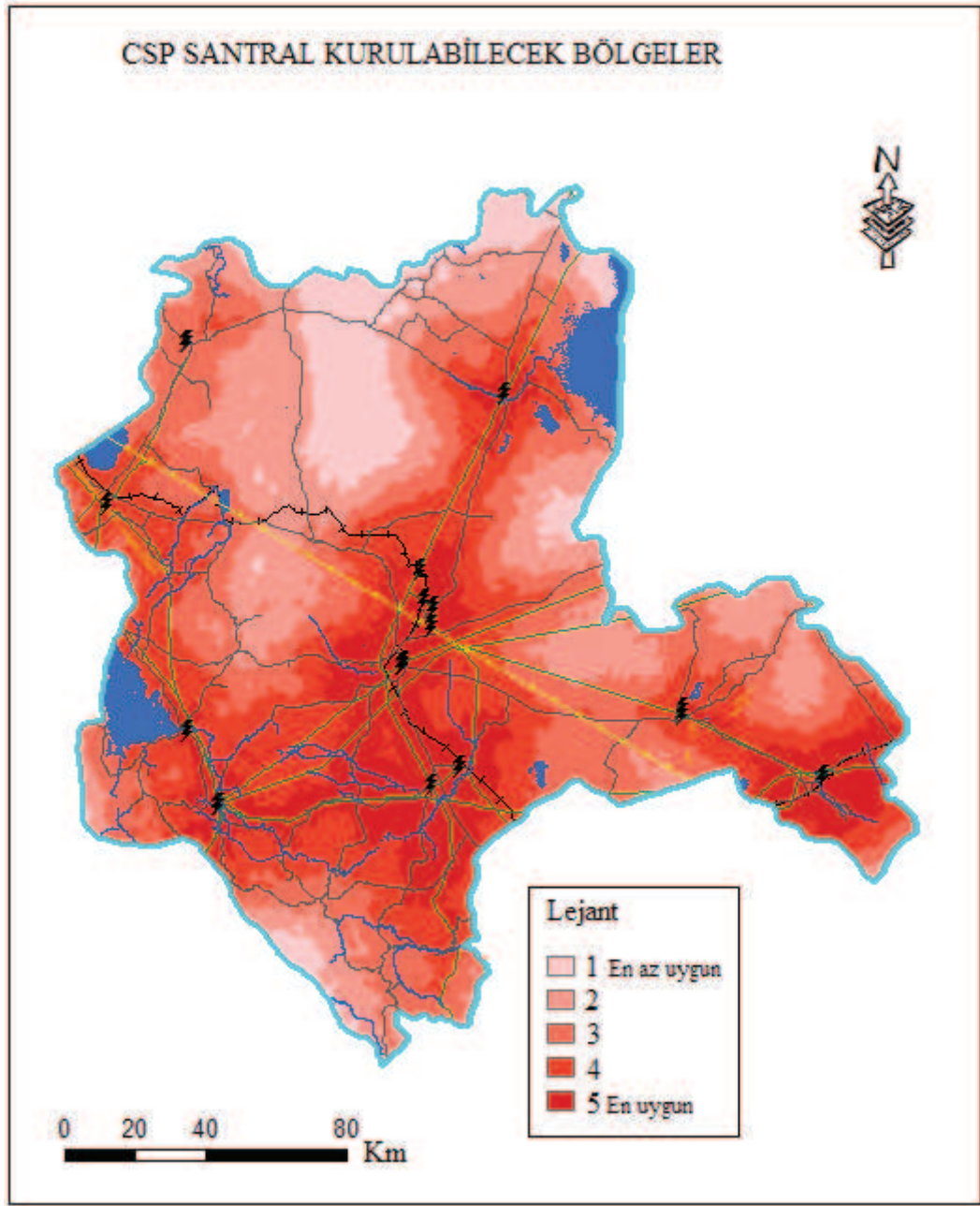
Şekil 4.11 Fay hattı.

Çizelge 4.9 Fay hattı verisi için yeniden sınıflandırma sonrası verilen puanlar.

Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan	Aralık (km)	Puan
0.0-10.0	1	32.1-44.0	4	68.1-83.0	7
10.1-20.0	2	44.1-56.0	5	83.1-98.0	8
20.1-32.0	3	56.1-68.0	6	98.1-113.0	9

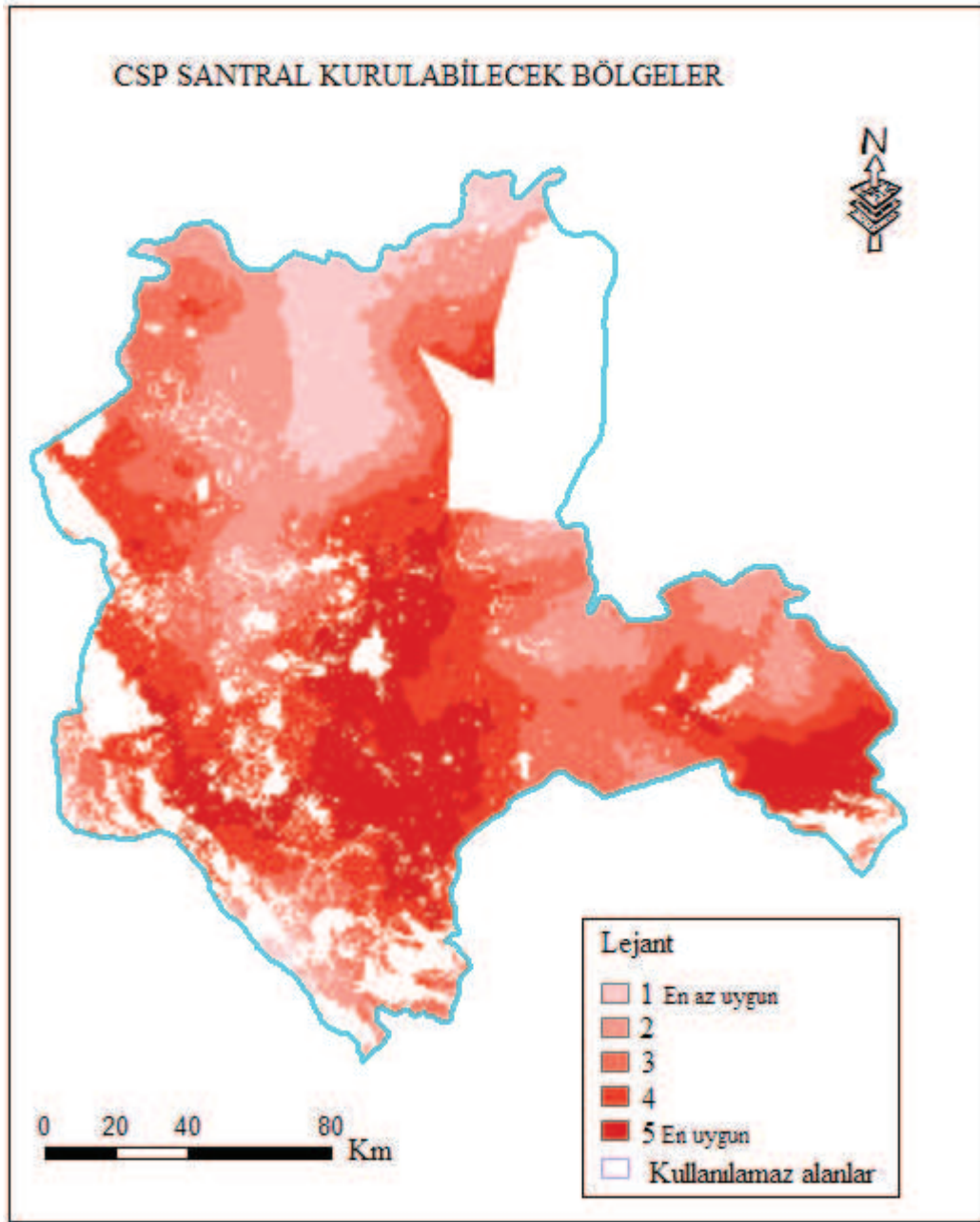


Şekil 4.12 Kullanılamaz alanlar verisi.



Şekil 4.13 CSP Santral kurulabilecek alanlar (vektör veriler ile birlikte).

Şekil 4.13 te gösterilen harita tüm verilerin belirlenen ağırlıklarda birleştirilmesi sonucunda oluşturulmuştur. Bu ağırlıklar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Oluşturulan görüntü normalize edilerek en düşük değer 0, en yüksek değer 1 olacak şekilde yeniden yapılandırılmıştır. Normalize edilmiş görüntü yeniden sınıflandırılarak 5 adet sınıfa ayrılmıştır. CSP santral yapımına en uygun yerler 5 en az uygun yerler 1 olacak şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.14 CSP santral kurulabilecek alanların nihai haritası.

Ağırlıklandırılan verilerin belirli oranlarda birleştirilmesi sonucu oluşan görüntüden kullanılamayacak alanların çıkartılması sonucu oluşan nihai CSP santral kurulabilecek alanların haritası Şekil 4.14'te verilmiştir.

Yapılan analiz sonucunda Konya İli için en uygun alanlar orta, güney ve doğu bölgeler olarak belirlenmiştir. Bu bölgeler güneş enerjisi potansiyeli, su kaynakları, trafo merkezleri ve ulaşım açısından en uygun olan alanlardır. Ağırlıklandırma işleminde en yüksek ağırlık 0.17 puanla temel kaynak olan güneş enerjisi potansiyeline verilmiştir. Onu yine en öncelikli

veriler olan 0.14 puanla trafo merkezleri, 0.13'er puanla enerji nakil hattı ve karayolları izlemiştir. En düşük ağırlık ise 0.6 ile kuş göç yolları verisindedir (Çizelge 4.1). Tüm bu ağırlıklandırmalar sonucunda yapılan analizde CSP santral kurulabilecek en uygun yerler belirlenmiş olmaktadır. Elde edilen bu analizden kullanılamaz alanlar verileri (çevre koruma alanı, göller, havalimanı, eğim ve yerleşim alanları) çıkartılmıştır (Şekil 4.12). Bu şekilde yeni oluşturulan görüntüde CSP santral kurulabilecek nihai alanlar elde edilmiştir (Şekil 4.14).

Çizelge 4.10 Normalleştirilen ve yeniden sınıflandırılan verilerin ağırlıkları.

Veriler	Ağırlıklar
Güneş Potansiyeli	0.17
Demiryolları	0.12
Deprem Fay Hattı	0.07
Enerji Nakil Hattı	0.13
Göller	0.09
Karayolları	0.13
Kuş göç yolları	0.06
Nehirler	0.09
Trafo Merkezleri	0.14

En uygun olan alanların toplamı yaklaşık olarak 665.000 hektar olarak hesaplanmıştır. Bu alandan kullanılamayan alanlar çıkartıldığında yaklaşık olarak 379.000 hektar içerisinde CSP santral kurmaya elverişli bölge içerisinde 114.000 hektar en uygun alanlar toplamı olarak belirlenmiştir. 50 MW'lık bir CSP santrali tüm kısımları ile beraber yaklaşık olarak 35 hektarlık bir alana ihtiyaç duymaktadır. Teorik olarak Konya ilinde 3257 adet 50MW kurulu gücünde CSP santral yapmak mümkündür. Hesaplanan kurulabilecek CSP santral sayısı Konya İli'ndeki güneş potansiyelini anlamak açısından önemlidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji tüketiminin her geçen gün arttığı ülkemizde sahip olduğumuz doğal yenilenebilir kaynakları kullanarak enerji üretmek bir zorunluluk haline gelmeye başlamıştır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının gün geçtikçe pahalılaşması, ülkemizi enerji politikası açısından dışa bağımlı hale getirmesi, bu kaynakların kullanımlarında CO₂, SO₂, NO_x salınımları da hem ekolojiye zarar vermekte hem de Kyoto Protokolü' ne göre daha fazla karbon ücreti ödememiz anlamına gelmektedir. Tüm bu olumsuzlukları yaşamamak için, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin olan ülkemizdeki bu potansiyelimizi kullanmamız gereklidir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi, ülkemizde sıcak su üretimi anlamında yaygın olarak kullanılmakla beraber, güneş enerjisi kanuna yönelik yasal alt yapı henüz hazır olmadığından, enerji üretimi anlamında kullanılmamaktadır. Kısa zaman sonra çıkması beklenen kanundan önce gerekli olan tüm kriterleri araştırılmış, fizibilite çalışması yapılmış verimli projeler oluşturulmalıdır. Bu amaca yönelik olarak farklı tiplerdeki güneş enerjisi santralleri için gerekli olan parametreler tanımlanıp, potansiyeli yüksek olan yerler belirlenmelidir.

Bu amaca uygun olarak CBS-ÇÖKA ile örnek bölge olarak seçilen Konya İli'nde yoğunlaştırılmış güneş elektrik santrallerinin kurulumuna uygun alanlar belirlenmiştir. Kullanılan kriterler ağırlıklandırılarak istenen amaç için en uygun alanlar ortaya çıkartılmıştır. Ancak bundan sonraki çalışmalarda ikili karşılaştırma vb yöntemlerin kullanılması, modelin güvenilirliğini artıracaktır.

Ayrıca, çevrenin zarar görmemesi için ÇED raporlarının olması çok önemlidir.

KAYNAKLAR

- Aragonés-Beltrán, F., Chaparro-González, J. P., Ferrando P. ve García-Melón M., (2008), "Selection of Photovoltaic Solar Power Plant Investment Projects - An ANP Approach", World Academy of Science, Engineering and Technology 1, 3: 203-211.
- Belka, K. M., (2005), "Multicriteria analysis and GIS Application in the Selection of Sustainable Motorway Corridor", Master's Thesis, Linkoping Universitet Institutionen for Datavetenskap, Linkoping.
- Blair, N., Mehos, M. ve Christensen, C., (2008), "Sensitivity Of Concentrating Solar Power Trough Performance, Cost, and Financing with The Solar Advisor Model", 14th Biennial CSP Solarpaces (Solar Power And Chemical Energy Systems) Symposium, 4-7 Mart 2008, Nevada.
- Durak M., (2009) "1. Türkiye Güneş Enerjisi Kursu", TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Durak, M., (Basım Aşamasında), Güneş Enerjisi Teori ve Uygulama, Ankara.
- Erdoğan, H., Gümüş, B., Efe S. B., vd. (2008), "Yoğunlaştırıcı Güneş Enerji Satralları ve Ilıy HES'e Alternatif olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne Uygulanabilirliği", TMMOB-EMO Diyarbakır Şubesi Haber Bülteni, 22-31.
- Güçlüer, D. ve Durak, M., (2009) "Plataforma Solar de Almeria Teknik Gezisi Notları", 4-10 Mayıs 2009, Almeria.
- Huld, T. A., Šuri, M. ve Dunlop, E. D., (2003) "GIS-based Estimation of Solar Radiation and PV Generation in Central and Eastern Europe on the Web", 9th EC-GI&GIS Workshop, 6-10 Haziran 2005, Coruña.
- Kenny, R. P., (2006), "Energy Rating of PV Modules Based On PVGIS Irradiance And Temperature Database" 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden.
- Kronshage, S., Schillings C. ve Trieb F., (2002) "Contry analysisi for Solar Thermal PowerStations Using Remote Sensing Methods", World Renewables Enegy Congress VII, 29 Haziran-5 Temmuz 2002, Cologne.
- Malczewski, J., (1999), GISvand Multicriteria Decision Analysis, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Malczewski, J., (2006), "GIS Based Multicriteria Decission Analysis: A Survey of the Literature" Internation Journal of Geographical Science, sf: 703-726.
- Malkoç, Y., (2009), "1. Türkiye Güneş Enerjisi Kursu", TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Özgöçmen, A., (2007), "Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öztürk, D. ve Batuk, F., (2007,) " Çok Sayıda Kriter ile Karar Vermede Kriter Ağırlıkları", Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 25, 86-98.
- Palizzi, A., (2008), "Management Solutions Solar Mapping Web Portal using CH2MHILL S.A.F.ETM Methodology", California.
- Saaty, T., L., (1980), The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill International, New York.

Şahin, A. D., (2009), “1. Türkiye Güneş Enerjisi Kursu”, TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, Ankara.

Toraman, D., (2008), “Mekansal Çok Ölçütlü Karar Analizi: Ulaştırma için Güzergah Seçenekleri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

İnternet Kaynakları

[1] www.eie.gov.tr - Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü.

[2] <https://www.nrel.gov/analysis/sam/>

[3] <http://gis.cityofboston.gov/solarboston/> Boston Şehri CBS tabanlı güneş enerjisi potansiyeli hesaplayan web programı.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	17.04.1983	
Doğum yeri	Ankara	
Lise	1998-2001	Yahya Kemal Beyatlı Lisesi
Lisans	2001-2007	İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2008-2010	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yüksek Lisans Programı

Çalıştığı kurumlar

2007-2009	İTÜ – 106K350 numaralı TÜBİTAK projesi.
2009 -Devam ediyor	Enermet Enerji Meteoroloji Mümessillik ve Müşavirlik Ltd. Şti.