T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VE BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ İLE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ VE DEĞERLENDİRME: MENEMEN ÖRNEĞİ

HÜSEYİN KOCA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
UZAKTAN ALGILAMA VE CBS PROGRAMI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MELİS UZAR

İSTANBUL, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VE BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ İLE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ VE DEĞERLENDİRME: MENEMEN ÖRNEĞİ

Hüseyin KOCA tarafından hazırlanan tez çalışması 14.03.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Melis UZAR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Melis UZAR

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ali Melih BAŞARANER

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

"Coğrafi Bilgi Sistemi ve Bunalık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile güneş enerjisi santralleri için yer seçimi ve değerlendirme: Menemen örneği" adlı bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Uzaktan Algılama ve CBS Programı yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tezin her aşamasında zaman gözetmeksizin, bilgi ve tecrübesiyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Melis UZAR'a;

Sağlamış olduğu 1/50000 ölçekli URLA K-17-c ve İZMİR K-18-d topografik haritalardan dolayı Harita Genel Müdürlüğüne;

Çalışmalar esnasında bana teknik destek sağlayan değerli arkadaşım Harita Mühendisi Onur Can Bayrak'a,

Hayatımın her safasında olduğu gibi bu süreçte de maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen çok değerli aile fertlerime sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın, geleneksel yöntemlere nazaran daha sürdürülebilir, çevreci, ekonomik ve bunların yanında dışa bağımlılığı da az düzeyde olan güneş enerjisinin ülkemizdeki potansiyelinin keşfedilip yaygınlaşmasına katkı sağlamasını ümit ederim.

Mart, 2019

Hüseyin KOCA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

ÇİZELGE LİSTESİ ix

ÖZET x

ABSTRACT xii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 4
1.3 Hipotez 4

BÖLÜM 2

ELEKTRİK ENERJİSİ 5

2.1 Türkiye Elektrik Üretim Tarihçesi 5
2.2 Türkiye Mevcut Elektrik Üretim Durumu 7
2.3 Dünya ve Türkiye Yenilenebilir Enerji Durumu 8
2.4 Güneş Enerjisi 10
2.5 Fotovoltaik Güneş Enerjisi Panelleri 11

BÖLÜM 3

METODOLOJİ 12

3.1 İşlem Adımları 12
3.2 Uygun Olmayan Bölgelerin Belirlenmesi 13
3.3 Kriterlerin Belirlenmesi 14
3.3.1 Eğim 14

3.3.2 Arazi Kullanımı 14
3.3.3 Akarsulara Uzaklık 15
3.3.4 Göllere Uzaklık 15
3.3.5 Yollara Uzaklık 15
3.3.6 Enerji Nakil Hattına Uzaklık 15
3.4 Kriterlerin Ağırlıklandırılması 15
3.4.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) 16
3.4.2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) 17
3.5 RETScreen Yazılımı ile Değerlendirme 19

BÖLÜM 4

UYGULAMA 21

4.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler 21
4.2 Uygun Olmayan Bölgelerin Haritasının Elde Edilmesi 22
4.3 Kriterlerin Uygunluk Seviyelerinin Belirlenmesi 23
4.4 Kriterlerin Ağırlıklandırılması 24
4.5 GES Uygunluk Haritasının Oluşturulması 26
4.5.1 Enerji Nakil Hattı Bakımından GES Uygunluk Haritası 26
4.5.2 Eğim Bakımından GES Uygunluk Haritası 26
4.5.3 Arazi Kullanımı Bakımından GES Uygunluk Haritası 27
4.5.4 Akarsular Bakımından GES Uygunluk Haritası 28
4.5.5 Yollar Bakımından GES Uygunluk Haritası 29
4.5.6 Göller Bakımından GES Uygunluk Haritası 29
4.5.7 Menemen GES Uygunluk Haritası 30
4.6 Yüksek Uygunlukla Sonuçlanan Alanların Değerlendirilmesi 31
4.6.1 GES Değerlendirmesi 33

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 37

KAYNAKLAR 39

ÖZGEÇMİŞ 42

SİMGE LİSTESİ

$\tilde{A}^k$	k. karar vericinin ikili karşılaştırma matrisi
$\tilde{A}$	Ortalama ikili karşılaştırma matrisi
$\tilde{d}_{ij}^k$	k. karar vericinin üçgensel bulanık sayı değeri
$\tilde{d}_{ij}$	Ortalama üçgensel bulanık sayı
$\tilde{r}_i$	i. kriterin bulanık değerlerinin ortalaması
$\widetilde{w}_i$	i. kriterin bulanık ağırlığı
lw_i	Bulanık ağırlığın düşük değeri
mw_i	Bulanık ağırlığın orta değeri
uw_i	Bulanık ağırlığın üst değeri
M_i	i. kriterin ağırlığı
N_i	i. kriterin normalize ağırlığı

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AR-GE	Araştırma Geliştirme
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
C	Celsius
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CKKV	Çok Kriterli Karar Verme
EMO	Elektrik Mühendisleri Odası
ENH	Enerji Nakil Hattı
FV	Fotovoltaik
GES	Güneş Enerji Santrali
GIS	Geographic Information System
gW	Gigawatt
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
K	Kelvin
KP	Kyoto Protokolü
KTÜ	Karadeniz Teknik Üniversitesi
kW	Kilowatt
M.Ö.	Milattan Önce
mW	Megawatt
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
T.C.	Türkiye Cumhurityeti
TETAŞ	Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TFN	Triangular Fuzzy Number
TMMOB	Türkiye Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi
W	Watt

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 İş akış diyagramı 13
Şekil 3.2 Hiyerarşi modeli 16
Şekil 4.1 Çalışma alanı 22
Şekil 4.2 Uygun olmayan alanların sonuç haritası 23
Şekil 4.3 Enerji nakil hattı bakımından uygunluk haritası 26
Şekil 4.4 Eğim bakımından GES uygunluk haritası 27
Şekil 4.5 Arazi kullanımı bakımından GES uygunluk haritası 28
Şekil 4.6 Akarsular bakımından GES uygunluk haritası 28
Şekil 4.7 Yollar bakımında GES uygunluk haritası 29
Şekil 4.8 Göller bakımından GES uygunluk haritası 30
Şekil 4.9 Menemen GES uygunluk haritası 30
Şekil 4.10 Yüksek uygunluktaki alanlar 32
Şekil 4.11 İki hektardan büyük yüksek uygunluklu alanlar 32

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 1913 ve 2016 yılları kurulum güçleri 6
Çizelge 2.2 2016 ve 2017 elektrik değerlerinin karşılaştırması 7
Çizelge 2.3 2017 Yılı kaynak bazında elektrik enerjisi kurulu güç oranları 8
Çizelge 2.4 Bazı ülkelerin kayanak bazında elektrik üretim oranları 9
Çizelge 3.1 Literatürde kullanılan bazı değerler 14
Çizelge 3.2 İkili karşılaştırma matrisi 17
Çizelge 3.3 Kriterlerin önem derecesi AHP 17
Çizelge 3.4 Kriterlerin önem derecesi BAHP 18
Çizelge 4.1 Kriterlerin Uygunluk seviyeleri 23
Çizelge 4.2 Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi 24
Çizelge 4.3 Kriterlerin bulanık değerlerinin geometrik ortalaması 24
Çizelge 4.4 Kriterlerin bulanık ağırlıkları 25
Çizelge 4.5 Kriterlerin ağırlıkları 25
Çizelge 4.6 Kriterlerin normalize ve % ağırlıkları 25
Çizelge 4.7 Uygunluk yüzdeleri 31
Çizelge 4.8 Örnek 1 mW'lık kurulum sayıları 33
Çizelge 4.9 İklimsel veriler 33
Çizelge 4.10 25 derece yerleşim açısı için panel verimliliği 34
Çizelge 4.11 30 derece yerleşim açısı için panel verimliliği 35
Çizelge 4.12 35 derece yerleşim açısı için panel verimliliği 35
Çizelge 4.13 Yıllık nakit akışlar 36

ÖZET

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VE BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ İLE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ VE DEĞERLENDİRME: MENEMEN ÖRNEĞİ

Hüseyin KOCA

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Melis UZAR

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de her geçen gün enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Mevcut durumda bu ihtiyaç çoğunlukla geleneksel yöntemler ile karşılanmaktadır. Geleneksel yöntemler ile enerji üretim maliyeti, kullanılan malzemenin sınırlılığı, dışa bağımlılığı ve üretimde çevreye verilen zarar düşünüldüğünde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının kaçınılmaz olduğu anlaşılır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en yaygın kullanılanlardan biri de güneş enerjisidir. Türkiye mevcut coğrafi konumu bakımından güneş enejisi için büyük bir potansiyel taşımaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin yerlerinin belirlenmesi birçok teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere bağlıdır. Bu kriterlerin topyekûn analizi ise mekânsal bir problem olarak karşımıza çıkmakta ve CBS ortamında çözüm beklemektedir. Bu çalışmada, İzmir Menemen Bölgesi için güneş enerjisi santrali uygunluk haritasının oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma bölgesi olarak Menemen'in seçilmesinin nedeni ilçenin yüz ölçümünün fazla olması ve genel olarak arazinin düşük eğimli olmasıdır. Çalışmanın ilk adımında; eğim, arazi kullanımı, akarsulara uzaklık, göllere uzaklık, yollara uzaklık ve enerji nakil hatlarına uzaklık olmak üzere altı kriter belirlenmiş ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılarak kriterler ağırlıklandırılmıştır. İkinci adımda ise uygun olmayan alanlar belirlenmiş ve kalan

alanların uygunluk seviyeleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Menemen'in %34,09'luk kısmının yüksek, orta ve az uygunlukta, %65,91 kısmının ise uygunsuz olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yüksek uygunluğa sahip bölgelerde GES kurulması ile ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan sağlanacak katkılar ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, CBS, Çok Kriterli Karar Verme, Güneş Enerjisi Santrali

ABSTRACT

SITE SELECTION AND ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANTS LOCATION USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS: CASE STUDY OF MENEMEN

Hüseyin KOCA

Department of Geomatic Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof.Dr. Melis UZAR

As in the whole world, energy demand is increasing day by day in Turkey. In the current state, this need is mostly supplied by conventional techniques. It is understood that the using of renewable energy sources is inevitable when considering costs of energy production, limitations of materials, external dependence and environment harm in production. Solar energy is one of the most common renewable energy sources. Turkey has a great potential for solar power in terms of its existing geographical location. The determination of location for solar power plants depends on many technical, economic and environmental criteria. Total analysis of these criteria appears to be a spatial problem and waits a geographic information system based solution. In this study, it is aimed to establish a solar power plant suitability map for Izmir Menemen region. Selection of Menemen as the study area is due to fact that the area of province is vary large, and the land has generally low slope. In the first step of study, six criteria were determined; slope, land use, distance to rivers, distance to lakes, distance to roads and distance to energy transmission lines and these criteria were then weighted using Fuzzy Analytic Hierarchy Process. In the second step, unsuitable areas are identified and the suitability levels of the remaining areas are determined. According to results, 34.09% of Menemen was found to be in high, moderate, and low suitability and 65.91% of Menemen was unsuitable. In conclusion,

it was presented economic, environmental, and social contributions obtained by constructing SPPs in highly suitable sites.

Keywords: Fuzzy Analytic Hierarchy Process, GIS, Multi Criteria Decision Making, Solar Energy Plant

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

İnsanoğlu var olduğu günden beri ihtiyaçlarını karşılamak için yeni yöntemler ve araçlar üretmiştir. Böylelce, gündelik hayat daha kolay hale gelmiştir. İnsan, yaşantısı boyunca yaptığı her faliyette belirli bir enerjiye ihtiyaç duymaktadır. İnsan, enerji harcayarak yerine getirdiği bu faaliyetleri daha pratik ve kolay hale getirmek için zaman içinde farklı yöntemler geliştirmiştir. Önceleri hayvanları evcilleştirerek kendi faaliyetlerinde kullanmayı öğrenmiş. Sonrasında ise doğada enerjinin farklı şekillerde var olduğunu ve bunun farklı formlara çevrilerek kendi amaçları doğrultusunda kullanmayı öğrenmiştir. Bunun sonucunda da enerjiyi farklı şekillerde elde ederek değişik biçimlerde depolamıştır.

Nüfus artışı, sanayileşme, refah seviyesinde yükselme ve teknolojik gelişmeler neticesinde enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmıştır. Bu artış çoğunlukla ülkelerin gelişmişlik düzeyleriyle doğru orantılı olmuştur. Türkiye'de de bu artış söz konusudur ve önümüzdeki yıllarda daha fazla olacaktır. Mevcut durumda, enerji ihtiyacı çoğunlukla fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının, çevresel sorunlara yol açmaları, rezervlerinin yakın gelecekte tükenecek olmaları ve dışa bağımlılıklarından kaynaklı siyasi ve ekonomik sıkıntılar nedeniyle yenilenebilir enerjiye geçiş kaçınılmaz olmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerde hidrolojik, rüzgâr, jeotermal, güneş, biyokütle, dalga, hidrojen vb. yenilenebilir enerji kaynaklarından başta elektrik üretimi olmak üzere çeşitli yollardan yararlanılmaktadır [1].

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler, farklı türde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını mümkün kılmaktadır. Güneş enerjisi ise yenilenebilir enerji kaynaklarının başta gelenlerindendir. Çünkü, yeryüzüne gelen net güneş enerjisi şu anda insanların kullandıkları fosil enerji ve nükleer enerjinin 10000 katı kadardır. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının %0,003'ü global elektrik talebini karşılayabilmektedir [2]. Güneş enerjisinin minimum maliyet ve maksimum fayda ile kullanılması için güneş enerjisi santrallerinin yerlerinin uygun biçimde belirlenmesi önemlidir. Güneş enerjisi santrallerinin yerlerinin belirlenmesi teknik, ekonomik ve çevresel olmak üzere farklı kriterlere bağlıdır. Bu kriterlerin CBS ortamındaki analizlerinde, günümüze kadar farklı, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmıştır. Yaygın kulllanılan ÇKKV yöntemlerinden biri ise Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)'dir.

AHP kullanılarak bu alanda birçok çalışma ortaya konulmuştur. Uyan [3], Konya'nın Karapınar bölgesi örneğinde çevresel ve ekonomik kriterler olmak üzere 5 kriter belirlemiş, AHP kullanarak bu kriterleri ağırlıklandırmış ve CBS tabanlı analizler ile güneş enerjisi santrali (GES) kurulumu için çalışma alanının %40 uygun, %60 uygunsuz olduğunu ortaya koymuştur. Potic vd. [4] Sırbistan'ın doğusunda bulunan Knjazevac bölgesinin güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için yaptığı çalışmada iklim, topografya, gün dönümü ve arazi kullanımı olmak üzere 4 kriter belirlemiştir. Arazi kullanımını, Landsat 8 uydu görüntülerinin analizleri sonucunda elde edilen veriler ile 6 sınıf olarak belirlemiş. Sonuç haritasını ise AHP ve CBS kullanarak oluşturmuştur. İran'da güneş enerjisi santrali kurulacak alanların belirlenmesi için Noorollahi [5] 11 kriter ele almıştır. Kriterlerin birbirine göre üstünlükleri kesinlik arz etmediği için ağırlıklandırmada Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) kullanmış ve CBS ortamında İran için GES uygunluk haritasını oluşturmuştur. Ayrıca, ülkenin 1057 bölgesini göz önünde bulundurarak GES için en uygun bölgeler belirlemiştir. Garni ve Awosthi [6] Suudi Arabistan'ın tamamı için AHP ve CBS kullanarak yaptığı çalışma sonucunda GES için en uygun alanların ülkenin kuzey ve kuzeybatı kesimleri olduğu ortaya çıkmıştır. Bu alanların belirlenmesinde yollara, enerji nakil hatlarına ve yerleşim yerlerine uzaklığın rol oynadığı anlaşılmıştır. Asakereh [7] ise BAHP ve CBS kullanarak İran'ın Khuzestan şehrinde GES kurulacak alanları belirlemiştir. Çalışma sonucunda Khuzestan şehrinin çok büyük bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur. En kötü senaryoda dahi

bu bölgede üretilecek enerjinin, 2013 yılında İran'ın tamamında üretilen enerjinin 1,75 katı olacağını hesaplamıştır. Aynı zamanda bölgenin güney ve güneybatısına kurulacak istasyonların bu bölgedeki çölleşmeye karşı etkili olacağını düşünmektedir. Merrouni vd. [8], Fas'ın doğusunda GES kurulacak alanların belirlemek için iklim, su kaynakları, konum ve topografya olmak üzere 4 ana kriter ve 8 alt kriter belirlemiş, AHP ve CBS kullanarak uygunluk haritası oluşturmuştur. Çalışmanın sonucunda Fas'ın doğusunun %19'unu GES kurulumu için yüksek uygunlukta olduğunu tespit etmiştir. Güçlüer tez çalışmasında [9], uygulama bölgesi olarak Konya'yı ele almıştır. Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yöntemini kullanmış ve CBS ortamında yaptığın analizler sonucunda Konya ili için GES uygunluk haritasını elde etmiştir. Yapılan 5 dereceli sınıflandırmada, en uygun alanlar yaklaşık olarak 114 bin hektara karşılık gelmiştir. Gerçek tez çalışmasında [10], Malatya ilinde GES kurulumu için en uygun yerlerini belirlemeyi hedeflemiştir. Bu kapsamda, güneşlenme potansiyeli, bakı, karayolu ve demiryollarının varlığı, eğim, göller ve barajların lokasyonu, doğalgaz boru hatları güzergâhı, fay hatları ve mevcut yerleşim yerleri olmak üzere farklı kriterler belirlemiştir. Bu kriterlerin kendi aralarında önem derecesine göre ağırlıklarını Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanarak belirlemiş ve CBS analizleri ile en uygun yerleri tespit ederek sonuç haritasını ortaya koymuştur.

Mirzahosseini ve Taheri'nin RETScreen yazılımını kullanarak [11], üç farklı elektrik tarifesine göre İran için fotovoltaik GES projesinin fizibilitesini yapmıştır. Doğan ve diğerleri [12] Hatay'da kurulacak olan rüzgâr enerjisi santralinin fizibilite analizi için RETScreen yazılımını kullanmışlardır. Hatay yöresinde tesis edilecek 1-5-10 mW güçlerindeki 3 adet RES için maliyet analizi gerçekleştirmiş ve ekonomik açıdan minumum 2 mW ve üzeri kapasiteli RES yatırımlarının tercih edilebilir olduğunu saptamıştır. Yerli ve diğerleri [13], İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak yerleşkesinde lisans alma zorunluluğu olmayan 500 kWp kurulu güce sahip bir Fotovoltaik tesisin ön fizibilite çalışmasını gerçekleştirmiştir. HOMER ve RETScreen yazılımlarını kullanlmış ve karşılaştırmaya dayalı yorumlar yapmıştır. Analizler sonucunda fotovoltaik sistem verimliliğinin %17'lere ulaştığını hesaplamıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, İzmir Menemen Bölgesi için güneş enerjisi santrali uygunluk haritasının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, güneş enerjisi santrallerinin yerlerinin tespitine etki eden kriterler belirlenerek, Bulanık Analitik Hiyerarji Prosesi yöntemi kullanarak bu kriterler ağırlıklandırılmıştır. CBS ortamında yapılan analizler ile Menemen bölgesinin güneş enerjisi santrali uygunluk haritası oluşturulması hedeflenmiştir. Ayrıca, yüksek uygunluğa sahip bölgelerde, GES kurulması ile ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan sağlayacağı katkılar ortaya konmuştur.

1.3 Hipotez

Güneş enerjisi santrallerinin yer tespitinde, CBS ile Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılması tutarlı ve pratik bir yöntem sağlar. Güneş enerjisi santrallerinin yerlerinin tespiti birçok mekânsal analiz gerektirir. Bu analizler CBS ortamında kolaylıkla yapılabilir. CBS ortamında analizlerin yapılması için GES kurulumununu etkileyen kriterlerin, birbirlerine göre üstünlükleri göz önünde bulundurularak ağırlıklandırılmaları gerekmektedir. Kriterlerin ağırlıklandırmasında tüm kriterleri hep birlikte ele almak yerine Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılarak ikili karşılaştırmalar ile kolaylıkla sonuca ulaşılabilir. Kriterlerin birbirlerine göre üstünlükleri kesinlik arz etmediğinden bulanık mantık yönteminin kullanılması ağırlıklandırmanın tututarlılığını artırır.

BÖLÜM 2

ELEKTRİK ENERJİSİ

Elektriğin keşfinde birçok bilim adamı ve araştırmacının katkıları vardır. Elektrik alanındaki ilk çalışmalar, M.Ö. 600 lerde Yunan bilim adamı Thales of Miletus'un hayvan derileri üzerinde meydana gelen statik elektrik ile zıt kutuplu bazı nesnelerin birbirini çektiğinin keşfi sonucu başlamıştır. Zaman içerisinde birçok gelişme kaydetmiş ve günlük hayatta yaygın olarak kullanımı, 1873'te Gramme'nin havayi hatlar ile elektriği iletmesi ve Tomas Edison'un 1879'da NewYork'ta ilk elektrik üretim merkezi ve dağıtım şebekesini kurmasıyla başlamıştır [14].

1800'lerin sonunda dünyanın pek çok yerinde elektrik santralleri kurulmaya ve elektrik enerjisi yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Osmanlı da dünyadaki bu gelişmeleri takip ederek 1902 yılında Adana Tarsus'a ilk elektrik santralini açmış ve Türkiye'deki elektrik devri başlamıştır.

2.1 Türkiye Elektrik Üretim Tarihçesi

Türkiye'de elektrik üretimi ilk olarak 1902 yılında İtalyan ve İsveç firmaları tarafından Tarsus'ta bulunan Berdan Nehri üzerindeki değirmene bağlanan 2 kW'lık bir dinamo ile başlamıştır. İlerleyen tarihlerde ise Beyrut, Şam ve Selanik şehirleri elektriğe kavuşmuştur. 1913 yılında, Alibeyköy ve Kağıthane dereleri arasındaki düzlüğe Türkiye'nin ilk termik santrali olan Silahtarağa Termik Santrali inşa edilmiştir. Bu santral kömür ile çalışmaktadır [15].

1923’te Türkiye Cumhuriyeti kurulduğunda toplamda 45 mW’lık üretim kapasitesine sahip 38 santral vardır ve bu santrallerin birçoğu motor gücüyle çalışmaktadır.

1950’lere gelindiğinde Türkiye’nin elektrik üretim kapasitesi 500 mWh’e, üretim gücü ise 407,8 mW’a çıkmıştır. Bu dönemde elektrik üretiminde fosil yakıtlı santrallerin yanı sıra barajlara doğru bir kayma yaşanmıştır. 1950 yılında toplam kapasite içerisinde hidroelektriğin payı 18 mW kurulu güçe ulaşmıştır [16].

1970 ile 1980 yılları arasında ise dünyadaki enerji krizinden Türkiye’de etkilenmiş, fosil enerji ile çalışan santrallerin yakıtları dışa bağımlı olması arz ve talep dengesini bozmuştur. Bunun sonucunda da zorunlu enerji kısıtlamalarına gidilmiş ve bu dönemde Keban, Karakaya, Atatürk, Altınkaya, Oymapınar gibi birçok büyük proje düşünülmüş veya faaliyete geçirilmiştir. Türkiye’nin kurulu gücü 1980 yılında 5118,7 mW, üretimi de 23,3 milyar kW değerine çıkmıştır [17].

2000 yılına gelindiğinde ise kurulu güç, 16052,5 mW’ı termik, 11175,2 mW’ı hidrolik ve 36,4 mW’ı da yenilenebilir ve jeotermal olmak üzere 27264,1 mW olmuştur. Bu değerler incelendiğinde elektrik enerjisinin %58,9 termik, %41,0 hidrolik, %0,1 ise jeotermal veya yenilenebilir enerji santrallerinde üretildiği anlaşılır [18].

2009 yılından sonra yenilenebilir enerji alanında önemli gelişmeler kaydedildiği görülmektedir. 2009 yılında kulu güç 15,5 gW iken 2015 yıllında 31,7 gW seviyesine getitilmesiyle gözle görülen bir ilerleme yaşanmıştır.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Türkiye kurulum gücünün yıllar itibariyle gelişim raporu esas alınarak Çizelge 2.1 hazırlanmıştır.

Çizelge 2.1 1913 ve 2016 yılları kurulum güçleri

Yıl	Termik mW	%	Hidrolik mW	%	Jeotermal Yenilenebilir mW	%	Toplam
1913	17,2	99,4	0,1	0,6	0,0	0,0	17,3
2016	44411,6	56,6	26681,1	34,0	7404,7	9,4	78497,4

2.2 Türkiye Mevcut Elektrik Üretim Durumu

Ülkemizde nüfus ve gelir düzeyinde artışlar ile enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. 2017 yılında 2016 yılına kıyasla enerji tüketimin %6 oranında, üretimin ise %8,1 oranında arttığı görülmektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 2016 ve 2017 elektrik değerlerinin karşılaştırması

	2016 (GWH)	2017 (GWH)	Değişim (%)
Üretim	273.387	295.511	8,1
İthalat	6.400	2.729	-57,4
İhracat	1.442	3.300	128,8
Tüketim	278.345	294.940	6,0

Elektrik ithalatında 2011 yılından beri artış meydana gelmektedir. Fakat 2017 yılında özel sektör tarafından gerçekleştirilen enerji üretim tesisleri ivme kazanmış ve ithalat %57,4 oranında azalmıştır. Bununla birliktede ihracat oranında da %128,8 artış meydana gelmiştir. Özel sektördeki bu ivmelenmenin sebebi uygun mevzuat alt yapısının sağlanması ve teşfiklerdir.

Son yıllarda özel sektöre bu olanakların sağlanması ile özel sektör elektrik üretiminde önemli bir konuma gelmiştir. 2002 yılında kurulu gücün kamu ve özel sektöre göre dağılımına bakıldığında; kamu payı %66 iken özel sektörün payı %34'tür. Ancak 2017 sonuna gelindiğinde bu tablo tamamen farklı bir boyut kazanarak, kamunun payı %23,4'e düşerken, özel sektör %76,6'ya yükselmiştir.

Elektrik üretiminin artması kadar elektriğin üretim şeklide önem arz etmektedir. Bu bakımdan üret im kaynakları çok önemlidir. 2017 yılıda Türkiye'de toplam kurulu gücün kaynak bazında dağılımı Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 2017 Yılı kaynak bazında elektrik enerjisi kurulu güç oranları

Kaynak	Miktar (MWH)	Oran (%)
Kömür	18.667	21,90
Doğalgaz	23.064	27,07
Diğer Termik	5.196	6,10
Hidrolik	27.273	32,01
Rüzgâr	6.516	7,65
Jeotermal	1.064	1,25
Güneş	3.421	4,02
Toplam	85.200	100,00

Bu kurulu güçler neticesinde 2017 yılının sonunda toplam elektrik üretiminin %71,23'ü termik santrallerden, %19,78'i hidrolik santrallerden, %8,99'u diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır. Bu durumda, elektrik üretiminin halen %71,23'ü fosil yakıtların yakılması sonucunda üretilmektedir [19].

2.3 Dünya ve Türkiye Yenilenebilir Enerji Durumu

1973 yılında, yaşanan petrol krizinden sonra enerjinin önemi tüm dünya ülkeleri tarafından daha iyi anlaşılmaya başlanmıştır. Bunun neticesinde de ülkeler, enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve alternatif enerji kaynaklarını kullanma yolunda önemli adımlar atmışlardır. Özellikle enerji konusunda dışa bağımlı ülkeler enerjinin sürdürülebilir kullanımı açısından çeşitli politika arayışlarına girmişlerdir [20].

Bununla birlikte, sera gazı emisyonlarının tüm dünyada artmaya devam etmesi ve iklim değişikiğinin etkileri giderek daha fazla hissedilir olması üzerine, gelişmiş ülkelerin

bağlayıcı sorumluluklar üstlenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunun için Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)'ye taraf ülkeler, mevcut sözleşmenin niteliğini güçlendirmek amacıyla "Kyoto Protokolü"nü (KP) müzakere etmeye başlamışlardır. İki buçuk yıl süren müzakereler sonucunda protokol, 1997 yılında Kyoto'da yapılan 3. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiş ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Sonraki yıllarda, ikinci taahhüt dönemi ile taraf olan ülkelerin emisyonlarını 2020 yılında, 1990 yılına göre en az %18 azaltması kararlaştırılmıştır [21]. Bunun gibi çevresel ve ekonomik etkiler ülkeleri yenilenebilir enerjiye yönelime sevk etmiştir. Gelişmiş ülkelere bakıldığında bu durum net bir şekilde gözlenmektedir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 Bazı ülkelerin kayanak bazında elektrik üretim oranları [22]

Ülkeler	Kömür (%)	Petrol (%)	Doğal Gaz (%)	Nükleer (%)	Yenlenebilir Enerji (%)	Diğer (%)
Fransa	2,1	0,3	2,3	77,6	17,5	0,2
Almanya	45,4	0,9	9,9	15,5	28,0	0,3
ABD	39,5	0,9	26,8	9,1	13,6	0,1
Kanada	9,9	1,2	9,3	16,4	62,8	0,3
Çin	72,5	0,2	2,0	2,3	23,0	0,0
Hindistan	75,1	1,8	4,9	2,8	15,5	0,0
Rusya	14,9	1,0	50,1	17,0	17,0	0,0

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim kaçınılmazdır. Yenilenebilir enerji olarak güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal, hidroelektrik, hidrojen ve dalga sayılabilir. Ülkemizde jeotermal ve hidroelektrik enerji

üretiminin belli bir seviyeye geldiği düşünüldüğünde, rüzgâr ve güneş gibi yeni enerji kaynağı kullanımına geçiş yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

2.4 Güneş Enerjisi

Samanyolu galaksisinde yüz trilyon yıldızdan biri olan güneş, dünyanın enerji kaynağıdır. Dünyadan uzaklığı yaklaşık olarak 150 milyon km olup çapı 1,39 milyon km'dir.

Bünyesinde sıcak gazları bulunduran güneşin, merkezindeki sıcaklığın 8-40 milyar Kelvin olduğu tahmin edilir. Yüzey sıcaklığı ise yaklaşık olarak 6000 K'dir. Merkezindeki yüksek sıcaklık nedeniyle her saniye 650 ton hidrojenden 646 ton helyum meydana gelir ve aradaki kaybolan kütle enerjiye dönüşür. Bu olaya füzyon tepkimesi denir. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen füzyon tepkimeleri ile açığa çıkan enerjidir ve güneş yüzeydeki 175 milyar MW radyasyona karşılık gelir [23].

Güneşten dünya atmosferine gelen, güneş enerjisinin yıllık ortalama değeri 1367 W/m2'dir. Bu enerji şu anda insanların kullandıkları fosil ve nükleer enerjinin 10000 katı kadardır. Aynı zamanda yeryüzüne gelen güneş enerjisinin binde üçü tüm dünyanın elektrik ihtiyacını karşılayabilmektedir [2].

Bu devasa enerji insanlığın ilk zamanlarından beri kullanılmaya çalışılmıştır. Milattan önce insanlar güneşi ateş yakmada kullanmışlardır. Bunun yanında M.Ö. 212 yılında Arşimed, güneş ışınlarının yansımasını kullanarak Syracuse'yi işgale çalışan tahta gemileri yakmıştır. Sonralarda ise insanlar güneşten maksimum faydalanmak için şehirleri buna göre tasarlamış, güneş kollektörleri, güneş ile çalışan buhar makinelerini üretmişlerdir [9].

Günümüzde ise temel olarak iki farklı şekilde güneşten elektrik üretimi yapılabilmektedir. İlki güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren güneş pili veya fotovoltaik (FV) pil olarak da isimlendirilen FV üreteçler yardımıyla elektrik üretimi yapan sistemdir. Diğer yöntem ise güneş ışığının ısısından yararlanılarak buhar elde edilmesine müteakip oluşan buharın, termik santrallerde olduğu gibi elektrik enerjisine dönüştürülmesine dayanan termal güneş enerjsii sistemidir [24].

Bu çalışmada da FV sistemlerinin yerlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan tüm analizler ve değerlendirmeler FV sistemlerinin özellikleri göz önüne alınarak yapılmıştır.

2.5 Fotovoltaik Güneş Enerjisi Panelleri

Fotovoltaik kelimesi yunanca ışık anlamına gelen photo ile volt kelimesinin birleşiminden oluşmaktadır. Bu nedenle fotovoltaik kelimesi ışıktan elektrik üretimini ifade eder.

Fotovoltaik modüller, hücrelerin seri, paralel veya seri/paralel bağlanması ile oluşan sistemdir. Fotovoltaik sistemin en temel yapıtaşı güneş hücresidir. 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 Watt - 400 Watt arası değişmektedir. Panel veya modül bazen birlikte aynı anlamda kullanılmakla beraber, panel birkaç modülün bir araya gelerek oluşturduğu sistemin adıdır [10].

Fotovoltaik sistemlerde elektrik üretimi, termal güneş enerjilerine göre çok daha yaygındır. Termal güneş enerji sistemleri FV sistemlerden farklı olarak, buhar tribününe ve termal depolama tankına ihtiyaç duymaktadır. FV sistemler ise hareketli parça içermeye, üzerine gelen ışığı doğrudan elektriğe çeviren sistemlerdir. Termal sistemler, güneşin ısısını kullandıklarından doğrudan güneş ışığına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nedenle, bulutlu havalarda çalışmazlar, fakat FV sistemlerde böyle bir şey söz konusu değildir. FV sistemler istenen boyutlarda oluşturulabildikleri için büyük ve küçük projelerde kullanılabilir ve aynı zamanda kolaylıkla taşınabilirler [24].

BÖLÜM 3

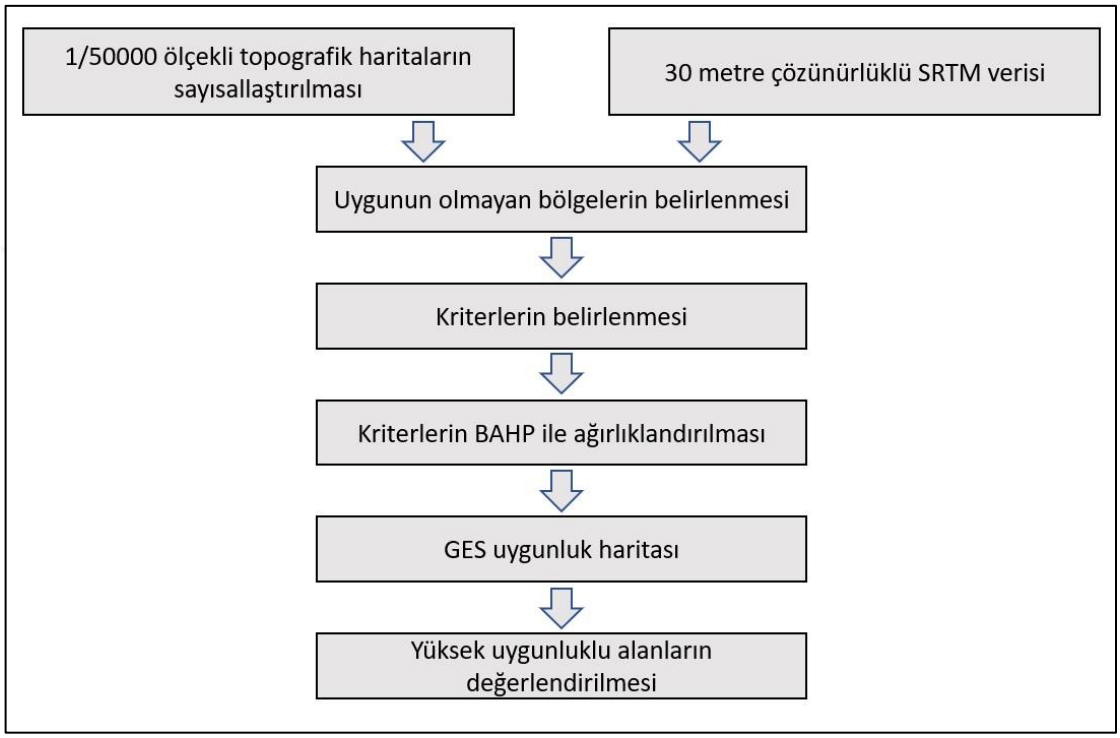
METODOLOJİ

Güneş enerjisi projeleri hem ekonomik hemde çevresel olarak çok büyük projelerdir. Bu bakımdan her projede olduğu gibi bu projelerin öncesinde sıkı bir AR-GE faliyeti yürütülmesi gerekir ki mimumum maliyet ile maksimum fayda sağlanabilinsin. Güneş enerjisi santralinin kurulum maliyetlerinin düşürülmesinde ve kullanımı esnasında maksimum verimin elde edilmesinde yer seçimi önemli bir rol oynamaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin yerlerinin belirlenmesi bir çok ekonomik, teknik ve çevresel faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin analizi ise mekansal bir problem olarak karşımıza çıkmakta ve CBS ortamında çözüm beklemektedir. Bu çalışmada, öncelikle İzmir'in Menemen bölgesine GES kurulumuna etki edecek kriterler belirlenmiştir. Kriterlerin birbirine göre üstünlükleri kesinlik arz etmediği için ağırlıklandırmada BAHP kullanılmış ve elde edilen sonuçlar neticesinde CBS ortamında yapılan anlizler ile GES uygunluk haritası elde edilmiştir.

3.1 İşlem Adımları

Şekil 3.1'de çalışmadaki işlem adımları ile uygulanan metodoloji verilmiştir. İlk adımda, CBS ortamındaki analizlerin yapılması için gerekli arazi kullanımı, göller, akarsular, yollar, enerji nakil hatları, eğim verileri elde edilmiştir. Eğim verisi hariç diğer verilerin tamamı 1/50000 ölçekli topografik haritalardan sayısallaştırılarak elde edilmiştir. Ayrıca, eğim haritaların oluşturulması için 30x30m çözünürlüklü Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) verisi kullanılmıştır. Veriler üzerinde tampon bölge analizi sonucunda güneş enerjisi kurulumuna uygun olmayan bölgeler belirlenmiştir. GES

kurulumuna etki eden faktörler belirlenmiş ve bu kriterler Bulanık AHP kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Bu ağırlıklar göz önüne alınarak CBS ortamında yapılan analizler ile kalan alanların az, orta ve yüksek olmak üzere uygunluk seviyesi belirlenmiştir. Son olarakta yüksek uygunluk gösteren alanların değerlendirmesi yapılmış ve bu alanlara güneş enerjisi santrali kurulması durumunda elde edilecek ekonomik ve çevresel faydalar ortaya konmuştur.



Şekil 3.1 İş akış diyagramı

3.2 Uygun Olmayan Bölgelerin Belirlenmesi

Bir bölgede güneş enerjisi santrali kurulabilmesi için belirli koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu koşullar çalışma amacına ve bölgesine göre değişiklik arz etmektedir. Bu çalışmada uygun olmayan bölgelerin belirlenmesi için, yapılan literatür araştırması sonucunda altı adet koşul kullanılmıştır. Literatürdeki bazı değerler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan koşullar;

- Yerleşim yerleri, yasak bölgeler ve koruma alanlarına 500 metreden yakın olmamak (Arazi kullanımı kategorisinde toplanmıştır.),
- Göllere 400 metreden yakın olmamak,

- Eğimi %11'in altında olmak,
- Akarsulara 400 metreden yakın olmamak,
- Demiryollarına 100 metreden yakın olmamak,
- Karayolarına 100 metreden yakın olmamaktır.

Çizelge 3.1 Literatürde kullanılan bazı değerler

	ENH	Su	Yollar	Eğim	Arazi Kullanımı
Asakereh vd [7]	-	< 300 m	< 100 m	%10 <	< 300 m
Uyar [3]	10 km	Sadece Kendisi	< 100 m	%10 <	< 500 m
Noorollahi [5]	50 km	< 1000 m	< 100 m	%11 <	< 500 m
Garni [6]	-	-	< 500 m	%5 <	< 1000 m

3.3 Kriterlerin Belirlenmesi

Kriterler literatür taraması sonucunda bölgenin özellikleri de göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bu kapsamda toplamda altı adet kriter belirlenmiştir. Bunlar eğim, arazi kullanımı, akarsulara uzaklık, göllere uzaklık, yollara uzaklık (karayolları ve demiryollarını ifade eder) ve enerji nakil hatlarına uzaklıktır.

3.3.1 Eğim

Güneş enerjisi santrallerinin yerlerinin belirlenmesinde en önemli faktörlerden birisidir. Genel olarak %11 üzerindeki bölgeler uygunsuz olarak kabul edilir. Fazla eğim güneş panellerinin birbirine gölge yapmasına neden olacak ve bu da verimliliği etkileyecektir. Bunun yanında yüksek eğim, santralin kurulum maliyetini arttıracaktır [5].

3.3.2 Arazi Kullanımı

Arazi kullanımı, bu çalışmada yerleşim yerlerini, yasak bölgeleri ve koruma alanlarını ifade eder. Güneş enerjisi santrallerinin bu bölgelere belirli mesafede olmaları gerekmektedir. Çünkü yerleşim yerleri her geçen gün büyümektedir. Uzun vadede

güneş enerjisi santrallerinin bu bölgeler içinde kalma ihtimalleri vardır. Ayrıca, güneş enerjisi santrali kurulması oradaki doğal yaşamı etkileyeceği için koruma alanlarından da belirli bir mesafe uzaklıkta olması gereklidir. Bu nedenle genel olarak güneş enerjisi santrallerinin bu bölgelere 500 metreden yakın olmaması gerektiği kabul edilir.

3.3.3 Akarsulara Uzaklık

Akarsu yatağı zamanla yer değiştirmektedir. Bu olaydan güneş enerjisi santrallerinin etkilenmemesi ve santrale kolay ulaşım için güneş enerjisi santralleri akarsulardan en az 400 metre uzaklıkta olmalıdır.

3.3.4 Göllere Uzaklık

Göllerin boyutları zamanla değişim gösterdiği için güneş enerjisi santralleri göllerden en az 400 metre uzaklıkta olmalıdır.

3.3.5 Yollara Uzaklık

Karayollarının ve demiryollarının vereceği olumsuz etki göz önünde bulundurulduğunda güneş enerjisi santrallerinin yollara belirli bir mesafede olması gerektiği belirtilmiştir. Genel olarak literatürde, güneş enerjisi santrallerinin yollara 100 metreden yakın olmaması kabul görmüştür.

3.3.6 Enerji Nakil Hattına Uzaklık

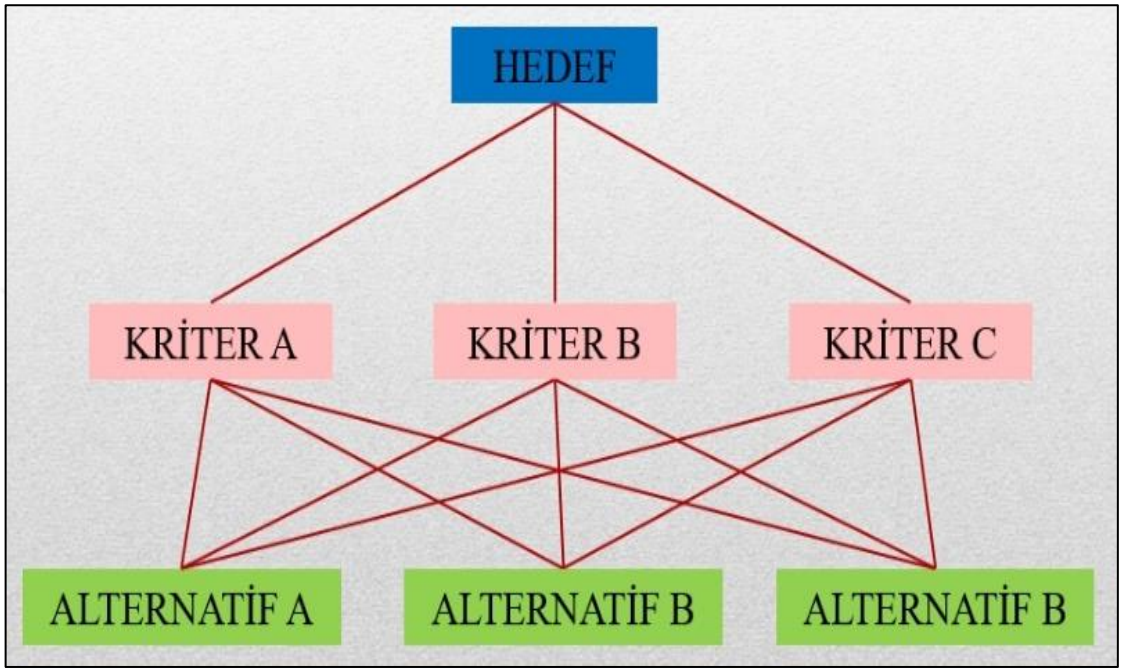
Enerji nakil hatlarının (ENH) kurulum maliyeti düşünüldüğünde; GES kurulumunda, en önemli kriterlerden birinin enerji nakil hatlarından olan uzaklık olduğu anlaşılır. Genel olarak kurulacak GES'in enerji nakil hattına 9000 m'den uzak olmaması istenir.

3.4 Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Her bir kriterin önemi aynı olmadığından, sonuç haritanın elde edilmesinde katmanlar eşit ağırlığa sahip olmayacaktır. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi ise önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, kriterlerin ağılıklandırılmasında Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılmıştır. BAHP yöntemi, AHP yönteminin geliştirilmiş halidir.

3.4.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

İki alternatif arasında tek bir kritere göre karar vermek oldukça basittir. Bu iki alternatifi karşılaştırırken kriterler ne kadar artarsa, karar sürecide o kadar karmaşıklaşır. Ayrıca, bu karar aşamasına ikiden çok alternatif eklenirse, problem oldukça karmaşık hale dönüşmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Hiyerarşi modeli

AHP bu durumda devreye girer ve karar vericiye kolaylık sağlar. AHP, Thomas Saaty [25] tarafından geliştirilmiş olup, farklı problemlerin çözümünde birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. AHP birden çok kriter ve alternatifin söz konusu olduğu durumda, tüm kriterleri bir arada değerlendirmek yerine, her bir kriteri kendi aralarında çift çift değerlendirmeye dayanır. Diğer bir ifadeyle, kriterler ikili karşılaştırmalar yapılarak kolaylıkla ağırlıklandırılır.

AHP yöntemi birden çok aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle Şekil 3.2'de gösterildiği gibi bir hiyerarşi modeli kurulmalıdır. Bu model, alternatifler, kriterler ve hedeften oluşur. Kriterler alt kriterlere de ayrılabilir. Daha sonra her bir kriterin çift olarak karşılaştırması yapılıp, ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur (Çizelge 3.2). İkili karşılaştırma matrisinde kullanılan sayılar, kriterlerin üstünlüklerine göre verilir. Bu sayılar Çizelge 3.3'te

gösterilmiştir. Daha sonra ikili karşılaştırma matrisi üzerinde bir takım matematiksel işlemler yapılarak kriterlerin ağırlıkları elde edilir [26].

Çizelge 3.2 İkili karşılaştırma matrisi

	Kriter A	Kriter B	Kriter C	Ağırlık
Kriter A	a_{11}	a_{12}	a_{13}	W_a
Kriter B	a_{21}	a_{22}	a_{23}	W_b
Kriter C	a_{31}	a_{32}	a_{33}	W_c

Çizelge 3.3 Kriterlerin önem derecesi AHP

Önem	Tanım
1	Eşit Derece Önemli
3	Biraz Daha Fazla Önemli
5	Oldukça Önemli
7	Çok Daha Önemli
9	Kesinlikle Daha Önemli

3.4.2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP)

Kriterlerin birbirlerine göre üstünlükleri kesinlik içermemesi durumunda AHP yetersiz kalmaktadır. Bu gibi durumlarda kriterlerin karşılaştırılmasında Çizelge 3.2'deki gibi tek bir kesin değer ile ifade etmek yerine bulanık değerleri kullanmak çalışmanın tutarlılığını artıracaktır.

Bu çalışmada kriterlerin birbirine göre üstünlükleri karar vericilerin görüşlerine göre değişiklik arz etmektedir. Bu nedenle, AHP yerine BAHP kullanılması daha uygun bulunmuştur. Bulanık mantığın AHP'de kullanılmasında bir çok değişik yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan biri de Buckley [27] tarafından geliştirilen yöntemdir. Buckley'e göre:

1.Adım: Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Burada AHP den farklı olarak kriterlerin karşılaştırmasında üçgensel bulanık sayılar (TFN) kullanılır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Kriterlerin önem derecesi BAHP

TFN	Tanım
1,1,1	Eşit Derece Önemli
1,3,5	Biraz Daha Fazla Önemli
3,5,7	Oldukça Önemli
5,7,9	Çok Daha Önemli
7,9,11	Kesinlikle Daha Önemli

Birden çok, (k) kadar karar vericinin söz konusu olduğu durumda, her bir karar vericinin görüşlerine göre ayrı ayırı ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Sözkonusu k. karar vericinin ikilli karşılaştırma matrisi (3.1) eşitliğinde görülmektedir.

$$\tilde{A}^k = \begin{bmatrix} \tilde{d}_{11}^k & \cdots & \tilde{d}_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}_{n1}^k & \cdots & \tilde{d}_{nn}^k \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

2.Adım: Her bir karar vericinin $\tilde{d}_{ij}^k$ değeri kullanılarak eşitlik (3.2) ile ortalama $\tilde{d}_{ij}$ değeri hesaplanır.

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{K} \tilde{d}_{ij}^k}{K} \tag{3.2}$$

3.Adım: Ortalama değerlerden oluşan ikili karşılaştırma matrisi eşitlik (3.3)'te gösterilmiştir.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \widetilde{d_{11}} & \cdots & \widetilde{d_{1n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{d_{n1}} & \cdots & \widetilde{d_{nn}} \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

4.Adım: Herbir kriterin bulanık değerlerinin geometrik ortalaması eşitlik (3.4) ile hesaplanır. Buradaki $\tilde{r}_i$ halen üçgensel bulanık sayıdır.

$$\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^{n} \tilde{d}_{ij}\right)^{1/n}, i = 1,2, \dots\dots\dots, n \tag{3.4}$$

5.Adım: Her bir kriterin bulanık ağırlığı aşağıdaki üç alt adım izlenerek bulunur.

5.1.Adım: Her bir $\tilde{r}_i$ değerinin vektör değeri toplamı bulunur. Böylece, her bir sütündaki değerler kendi içerisinde toplanır.

5.2.Adım: Vektör toplamlarının tersi alınır ve artan şekilde sıralanır.

5.3.Adım: Her bir $\tilde{r}_i$ değeri, tersi alınan vektör değer ile çarpılır ve kriterlerin bulanık ağırlıkları bulunur.

$$\widetilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \ldots\ldots \tilde{r}_n)^{-1}$$

$$= (lw_i, mw_i, uw_i) \quad (3.5)$$

6.Adım: Buradaki $\widetilde{w}_i$ değeri üçgensel bulanık sayıdır. Chou ve Chang [28] tarafından geliştirilen alanın merkezi yöntemi ile normal sayı haline getirilmelidir.

$$M_i = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3} \quad (3.6)$$

7.Adım: M_i bulanık sayı değildir, fakat (3.7) eşitliği ile normalize edilmesi gerekir.

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_i^n M_i} \quad (3.7)$$

Yedinci adımla birlikte tüm kriterlerin normalize edilmiş ağırlıkları hesaplanmış olunur. Daha sonra herbir kriterin ağırlığı, ilgili alternatif ile çarpılarak alternatifin puanı hesaplanır. Bu sonuçlara göre en yüksek puana sahip alternatif, karar verici için istenen seçenektir [29].

3.5 RETScreen Yazılımı ile Değerlendirme

RETScreen, Kanada hükümeti tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve kojenerasyon projeleri fizibilite analizleri ve aynı zamanda süregelen enerji performans analizleri için tasarlanmıştır. Bu yazılım, profesyoneller ve karar vericiler tarafından kullanılabilen, potansiyel temiz enerji projelerinin teknik ve finansal açıdan hayata geçirilebilirliğini belirleme, değerlendirme ve optimize etme olanağı vermektedir. Karar vermeye yardımcı olan bilgi yönetim yazılım platformu aynı zamanda, yöneticilere tesislerinin gerçek performansını kolaylıkla ölçme ve doğrulama olanağı sağlarken ek enerji tasarrufları/üretim fırsatları da sunmaktadır [30].

RETScreen yazılımı ile proje planlanırken kullanıcı tarafından planlanan tesis ile ilgili birtakım bilgiler girilir. Bunlar, tesisin türü büyüklüğü, kullanılacak malzemeler gibi

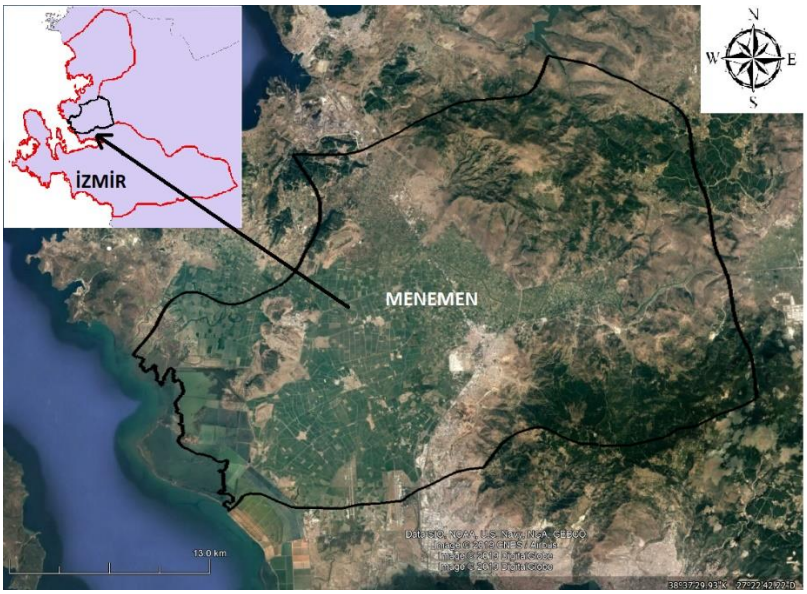
verimliliği etileyecek bilgilerdir. Daha sonra projenin yeri harita üzerinden seçilir. Seçim ile yazılım tarafından tesisi etkileyecek iklimsel ve coğrafi veriler NASA ve o bölgedeki istasyonlardan alınır. Kullanıcıdan, elektrik birim fiyatı, vergiler, faiz oranları gibi finansal veriler de istenmektedir. Gerekli bilgilerin girilmesi ile ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan farklı değerlendirmeler yapılabilir.

BÖLÜM 4

UYGULAMA

4.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Bu çalışmada, İzmir iline bağlı Menemen ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 4.1). Menemen, il merkezine 35 km uzaklıkta ve 27°.4 boylamı ve 38°.4 enleminde yeralmaktadır. Doğusu Manisa ili, batısı Foça ilçesi ve Ege Denizi, kuzeyi Aliağa ilçesi, güneyi Çiğli ilçesi ile çevrilidir. Yüzölçümü yaklaşık olarak 763 km^2'dir. Deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 20 m'dir. Doğu ve kuzeydoğusunda Dumanlı Dağlar, güney ve güneydoğusunda Yamanlar Dağı bulunmaktadır. Gediz nehri Menemen'i ikiye bölmektedir. Bu nehrin doldurduğu delta ve ova ziraata elverişli olup, deniz seviyesindeki yerlerde tuzlu bataklıklar bulunmaktır. Bu alan Tuzla olarak adlandırılmakta ve tuz üretimi yapılmaktadır. Ovanın batısında bulunan Taşlı Tepe, Değirmendere, Üçtepeler gibi yükseklikler alüvyal zemin üzerinde dik yamaçlarla birer ada gibi yükselmektedir [31]. Menemen Akdeniz iklimi karekterlerini taşır, yazları kurak ve sıcak kışları ılık ve yağışlıdır. Yıllık yağış ortalaması 616 mm, sıcaklık ortalaması ise 19° C'dir. Yıllık ortalama 8 saat güneşlenme süresine sahiptir ve metrekarede yıllık 25000 kW/h güneş enerjisi üretim potansiyeline sahiptir [32]. Genel olarak güneş enerjisi santrali kurulumuna uygundur. Bölgede Bakırçay Üniversitesi'ne ait 0,40 mW'lık kurulu güce sahip güneş enerjisi santrali vardır [33].



Şekil 4.1 Çalışma alanı

Çalışma alanında kullanılan veriler 1/50000 haritalardan sayısallaştırmak sureti ile elde edilmiştir. Menemen, URLA K-17-c ve İZMİR K-18-d olmak üzere iki adet 1/50000 ölçekli haritaya denk gelmektedir. Sayısallaştırma işlemi ile 5 adet katman oluşturulmuştur. Bu katmanlar:

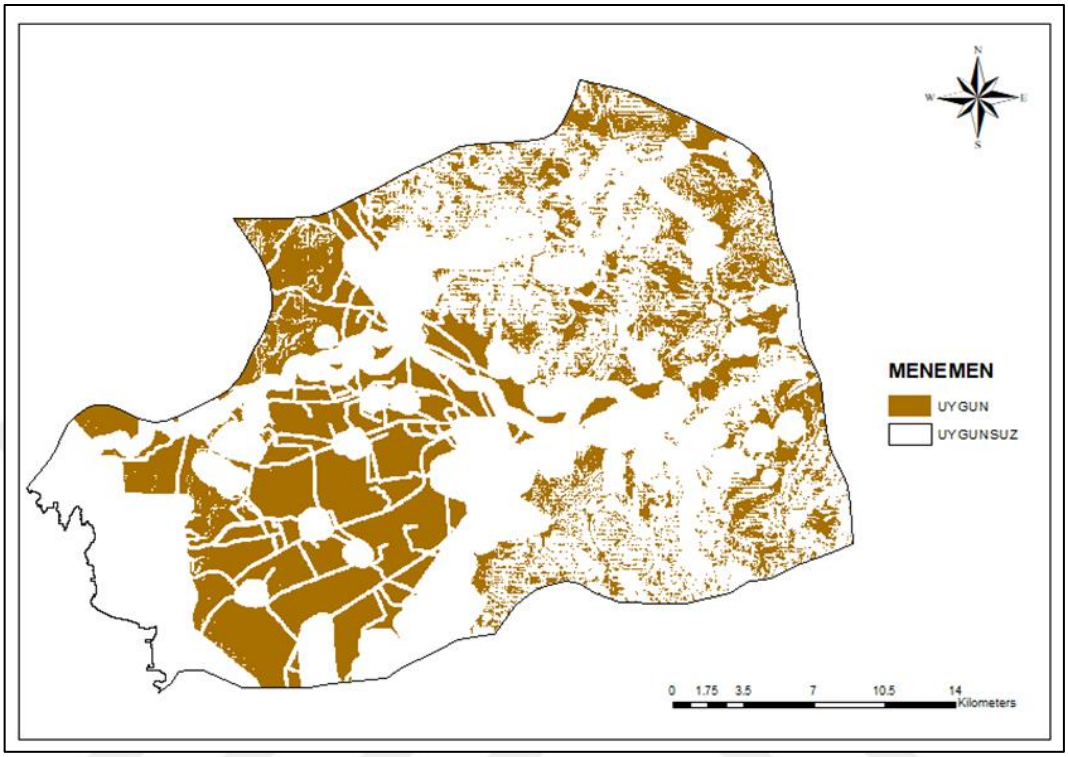
- Göller
- Akarsular
- Arazi kullanımı
- Yollar (Karayolları ve demiryolları tek bir katman olarak alınmıştır.)
- Enerji nakil hattından oluşmaktadır.

Bu katmanların yanında ayrıca 30x30m çözünürlüklü SRTM verilerinden eğim katmanı elde edilmiştir. Tüm raster veriler, SRTM verileriyle aynı çözünürlükte üretilmiştir.

4.2 Uygun Olmayan Bölgelerin Haritasının Elde Edilmesi

Bu çalışmada, verilerin elde edilmesi ve hazırlanma aşamasından sonra çalışma alanında GES için uygun olmayan bölgelerin haritalanması işlemine geçilmiştir. İlk olarak altı adet kriter tek tek ele alınarak, uygun olmayan alanların haritası oluşturulmuştur. Menemen bölgesinde enerji nakil hattına 6000 m'den daha uzak bir alan bulunmadığı için bu kriter bakımından hiç uygun olmayan alan olmadığı ortaya

çıkmıştır. Daha sonra bu 6 harita çakıştırılarak GES kurulumuna uygun olmayan alanlar Şekil 4.2'deki gibi oluşturulmuştur. Bunun sonucunda Menemen'in %65,91'inin güneş enerjisi kurulmasına uygun olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.2 Uygun olmayan alanların sonuç haritası

4.3 Kriterlerin Uygunluk Seviyelerinin Belirlenmesi

Uygunsuz alanlar dışında kalan alanların uygunluk seviyeleri az, orta ve yüksek olmak üzere üç seviyede belirlenmiştir. Çizelge 3.1'de literatürde kullanılmış değerler esas alınarak her bir kriterin bu üç seviye için mesafeleri belirlenmiştir. Bu mesafeler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Kriterlerin Uygunluk seviyeleri

Kriter\Uygunluk	Uygunsuz	Az	Orta	Yüksek
Eğim (%)	> 11	11-8	8-4	< 4
Arazi Kullanımı (m)	< 500	500-1000	1000-1500	> 1500
Akarsulara Uzaklık (m)	< 400	400-800	800-1200	> 1200
Göllere Uzaklık (m)	< 400	400-800	800-1200	> 1200
Yollara Uzaklık (m)	< 100	100-200	200-300	> 300
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık (m)	> 6000	6000-4000	4000-2000	< 2000

4.4 Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Altı kriterin birbirine göre üstünlüğü literatür taraması sonucunda belirlenmiştir. Sözel olan ifadeler Çizelge 3.4'teki üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüş ve kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur (Çizelge 4.2). Ağırlıklandırmada, Buckley'in geliştirdiği yöntem [27] kullanılmıştır.

Çizelge 4.2 Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Kriter	ENH			Eğim			A.Kullanımı			Yollar			Akarsular			Göller		
ENH	1	1	1	1	3	5	3	5	7	3	5	7	5	7	9	5	7	9
Eğim	1	1/3	1/5	1	1	1	1	3	5	1	3	5	3	5	7	3	5	7
A.Kul.	1/3	1/5	1/7	1	1/3	1/5	1	1	1	1	3	5	3	5	7	3	5	7
Yollar	1/3	1/5	1/7	1	1/3	1/5	1	1/3	1/5	1	1	1	1	3	5	1	3	5
Akar.	1/5	1/7	1/9	1/3	1/5	1/7	1/3	1/5	1/7	1	1/3	1/5	1	1	1	1	3	5
Göller	1/5	1/7	1/9	1/3	1/5	1/7	1/3	1/5	1/7	1	1/3	1/5	1	1/3	1/5	1	1	1

Bu çalışmada tek bir karar verici vardır. Bunun sonucu olarak bir adet ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra eşitlik (3.4) yardımı ile, her bir kriterin bulanık değerlerinin geometrik ortalaması hesaplanır. Her kriterin u (upper-üst), m (medium-orta), l (low-alt) değerleri kendi içerisinde çarpılır ve kriter sayısı kadar kökü alınır. Geometrik ortalamaların tersi alınır ve artan sırada dizilir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Kriterlerin bulanık değerlerinin geometrik ortalaması

Kriter	r		
ENH	2,466212	3,928344	5,203256
Eğim	1,44225	2,053573	2,501465
A. Kullanımı	1,200937	1,30766	1,383088
Yollar	0,832683	0,764724	0,72302
Akarsular	0,53023	0,422825	0,36246
Göller	0,53023	0,29317	0,211968
Toplam	7,002542	8,770298	10,38526
Tersi (-1 Kuvveti)	0,142805	0,114021	0,09629
Artan Sıra	0,09629	0,114021	0,142805

Kriterlerin bulanık değerlerinin geometrik ortalaması bulunduktan sonra eşitlik (3.5) yardımı ile kriterlerin bulanık ağırlıkları hesaplanır. Bulanık ağırlıklar alt, orta ve üst olmak üzere 3 farklı değerden oluşur (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Kriterlerin bulanık ağırlıkları

Kriter	w		
ENH	0,237472	0,447915	0,743052
Eğim	0,138875	0,234151	0,357222
A. Kullanımı	0,115639	0,149101	0,197512
Yollar	0,080179	0,087195	0,103251
Akarsular	0,051056	0,048211	0,051761
Göller	0,051056	0,033428	0,030270

W, 3 farklı değerden oluşan bulanık bir sayıdır. Ağırlık tek bir sayı haline (de-fuzzified) eşitlik (3.6) yardımı ile getirilir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Kriterlerin ağırlıkları

Kriter	M
ENH	0,476146
Eğim	0,243416
A. Kullanımı	0,154084
Yollar	0,090208
Akarsular	0,050343
Göller	0,038251
Toplam	1,052449

Eşitlik (3.7) yardımı ile kriterlerin ağırlıkları normalize edilir. Çizelge 4.6'da kriterlerin normalize ve yüzde ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 4.6 Kriterlerin normalize ve % ağırlıkları

Kriter	N	Ağırlık (%)
ENH	0,452418	45,24
Eğim	0,231285	23,13
A. Kullanımı	0,146405	14,64
Yollar	0,085713	8,57
Akarsular	0,047834	4,78
Göller	0,036345	3,63
Toplam	1	100

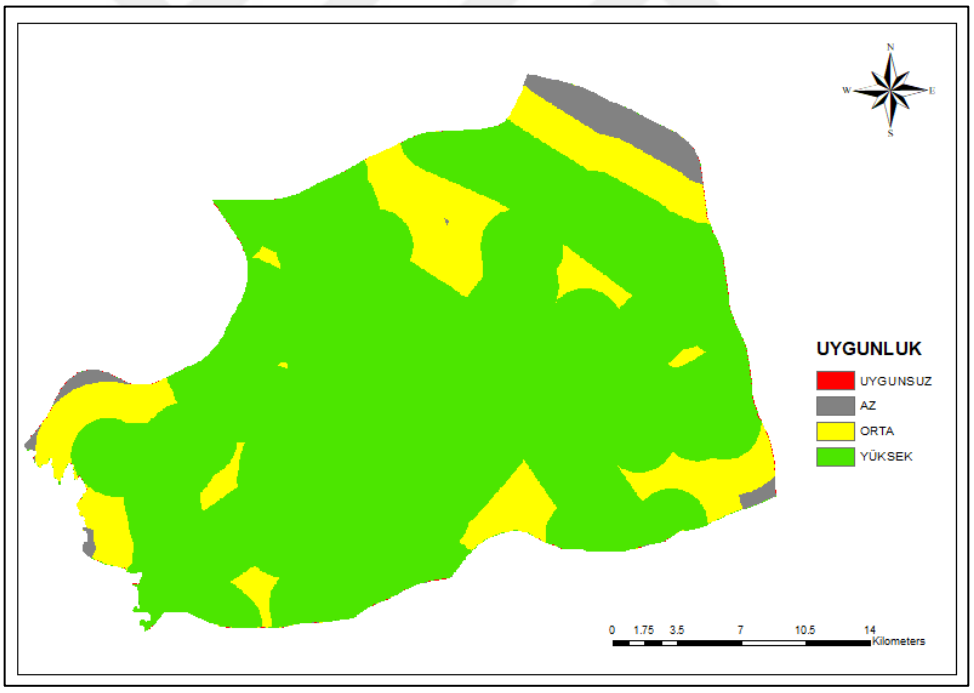
Yapılan tüm bu analizler sonucunda enerji nakil hatlarına uzaklık, %45,24 ile en yüksek ağırlığa sahip kriter olduğu anlaşılmıştır. Bu kriteri sırasıyla eğim, arazi kullanımı, yollar, akarsular ve göller izlemiştir.

4.5 GES Uygunluk Haritasının Oluşturulması

Eğim, akarsular, göller, enerji nakil hatları, arazi kullanımı, yollar olmak üzere her bir kriter ele alınarak Menemen'in GES uygunuk haritası oluşturulmuştur. Bu analizler, tampon bölge oluşturma, birleştirme, raster yapısına dönüşüm değerlerin tersini alma, değerleri sıfırlama ve raster hesaplayıcı gibi birçok mekansal analiz ile elde edilmiştir.

4.5.1 Enerji Nakil Hattı Bakımından GES Uygunluk Haritası

Şekil 4.3'te enerji nakil hattı dikkate alındığında GES uygunluk haritası verilmiştir. Enerji nakil hattına 2000 metreden yakın alanlar yüksek, 2000 - 4000 metre arasındaki alanlar orta, 4000 - 6000 metre arasındaki alanalar az, 6000 metreden uzak alanlar ise uygunsuz olarak değerlendirilmiştir. Menemen bölgesinde enerji nakil hattına 6000 metreden uzak bölge olmadığı için enerji nakil hattı bakımından uygunsuz alan bulunmamaktadır.

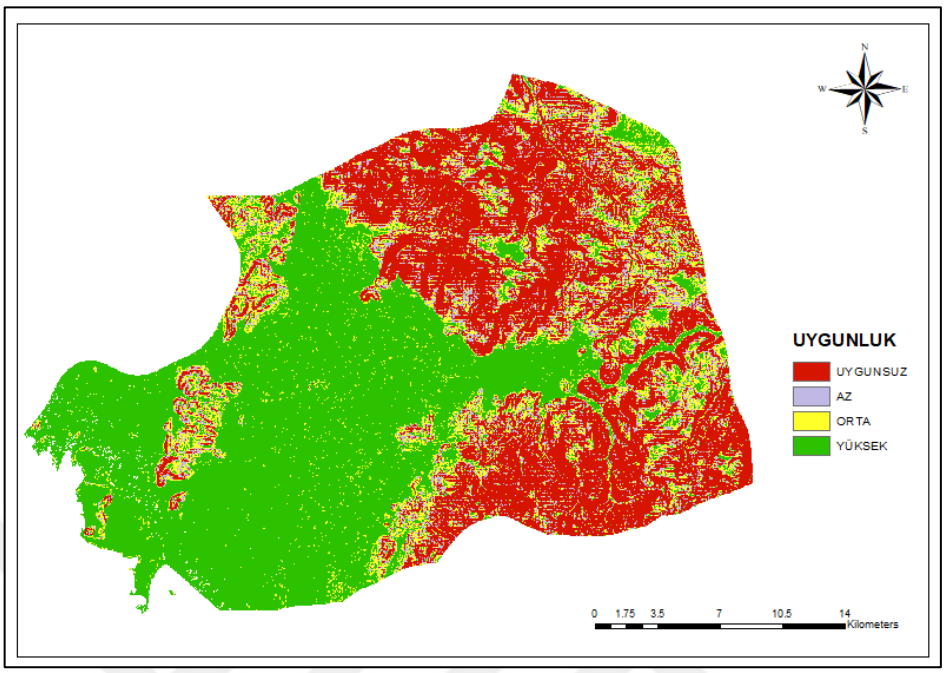


Şekil 4.3 Enerji nakil hattı bakımından uygunluk haritası

4.5.2 Eğim Bakımından GES Uygunluk Haritası

Eğim bakımından uygunluk haritası oluşturulurken %4'ün altında eğime sahip alanlar yüksek, %4 - %8 arası orta, %8 - %11 arası az, %11'den fazlası ise literatürde olduğu gibi

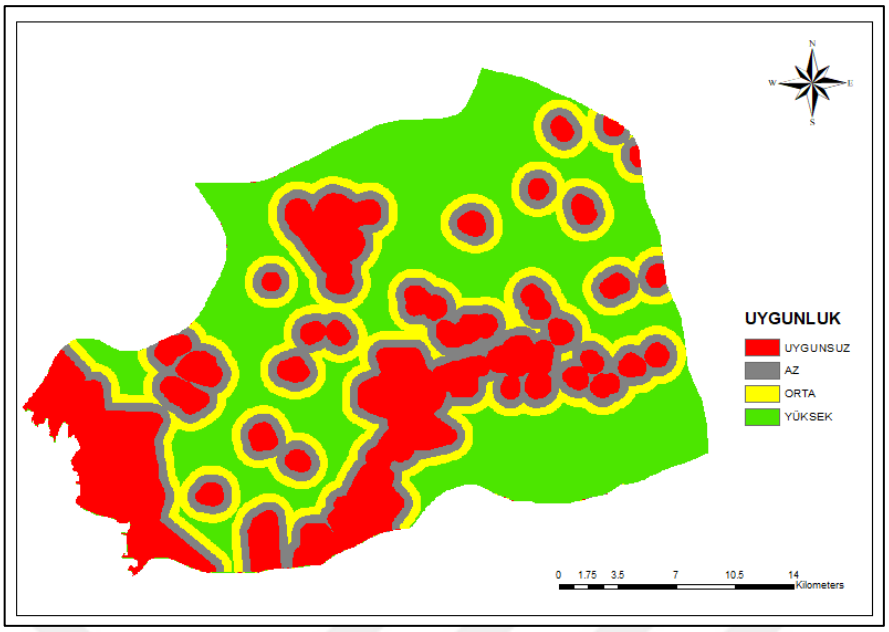
(Çizelge 3.1) uygunsuz olarak kabul edilmiştir. Uygunsuz olarak sonuçlanan alanlar genel olarak bölgenin doğusundaki dağlık alanlardır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Eğim bakımından GES uygunluk haritası

4.5.3 Arazi Kullanımı Bakımından GES Uygunluk Haritası

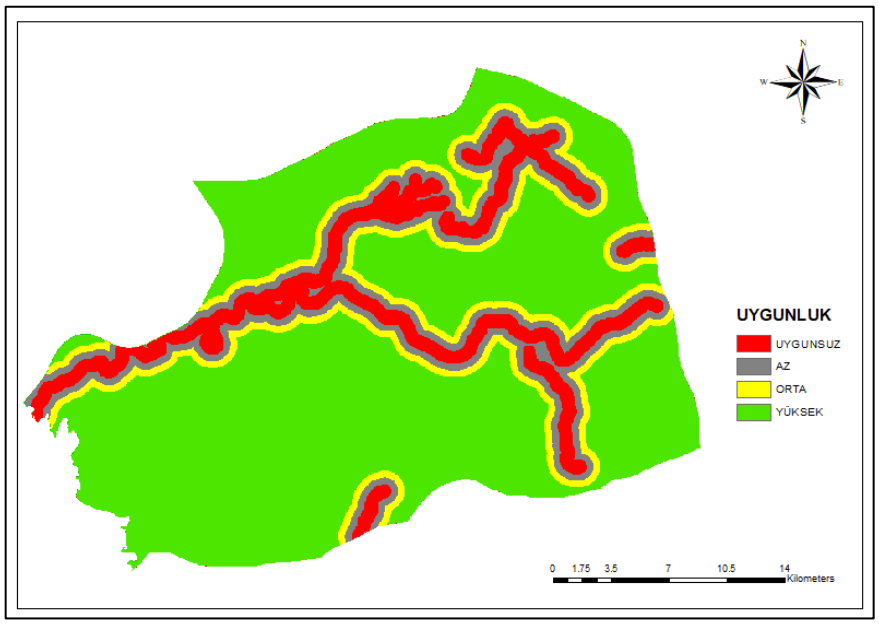
Arazi kullanımı bakımından uygunluk haritası oluşturulurken, arazi kullanımı katagorisine giren alanlara 1500 metreden uzak alanlar yüksek, 1500 - 1000 metre arası orta, 1000 - 500 metre arası az ve 500 metreden yakın alanlar ise uygunsuz olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Arazi kullanımı bakımından GES uygunluk haritası

4.5.4 Akarsular Bakımından GES Uygunluk Haritası

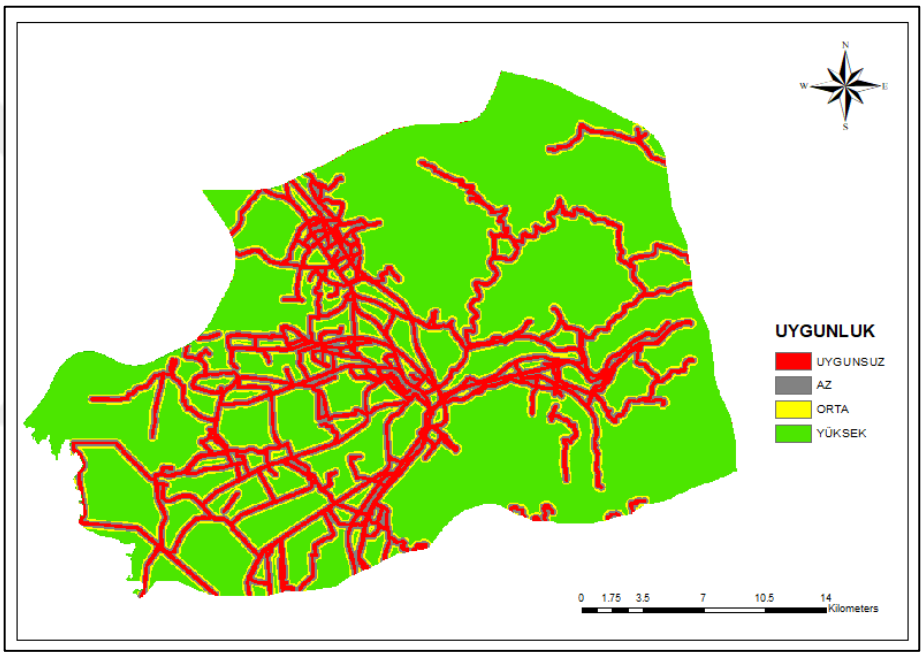
Akarsular bakımından uygunluk haritası oluşturulurken, akarsulara 1200 metreden uzak alanlar yüksek uygunlukta, 800 - 1200 metre arası orta uygunlukta, 400 - 800 metre arası az uygunlukta, 400 metreden yakın alanlar ise uygunsuz olarak değerlendirilmiştir. Uygunsuz olarak sonuçlanan alanlar çoğunlukla Gediz nehri etrafında ortaya çıkmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Akarsular bakımından GES uygunluk haritası

4.5.5 Yollar Bakımından GES Uygunluk Haritası

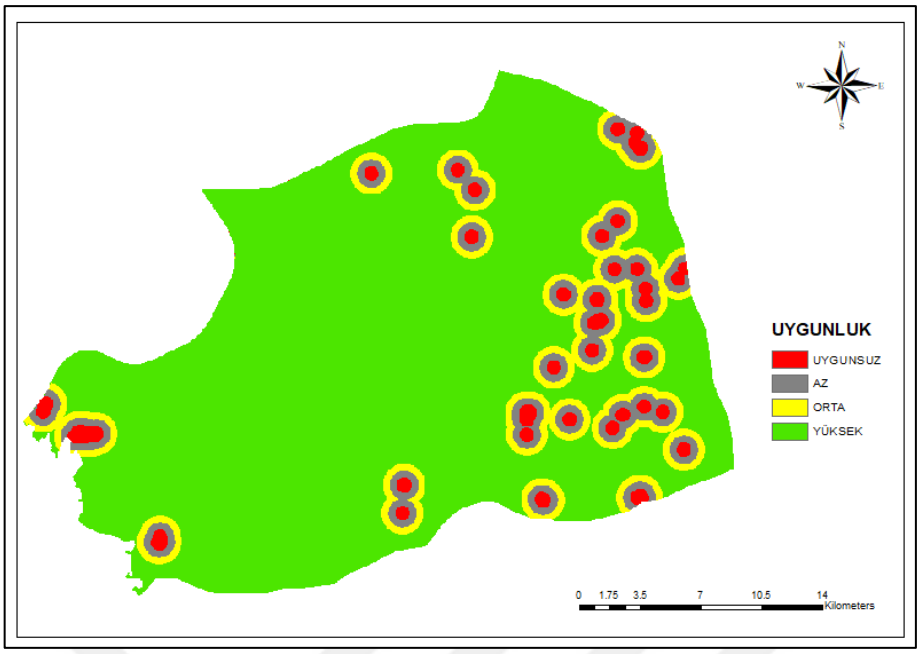
Yollar bakımından GES uygunluk haritası oluşturulurken, yolların GES'lere çok yakın olma durumu istenmeyen durum olarak düşünülmüş ve analizler bu şekilde yapılmıştır. GES'lerin yollara çok uzak olması da istenen bir durum değildir. Fakat bu çalışmada Şekil 4.2'de uygun olarak sonuçlanan alanların tamamına kollaylıkla karayolu ile ulaşım söz konusu olduğu için yolların GES'lere çok uzak olma durumu söz konusu değildir. Bunun sonucunda da yollara 300 metreden uzak alanlar yüksek ugyunlukta, 200 - 300 metre orta uygunlukta, 100 - 200 metre az uygunlukta ve 100 metreden yakın alanlar ise uygunsuz olarak kabul edilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Yollar bakımında GES uygunluk haritası

4.5.6 Göller Bakımından GES Uygunluk Haritası

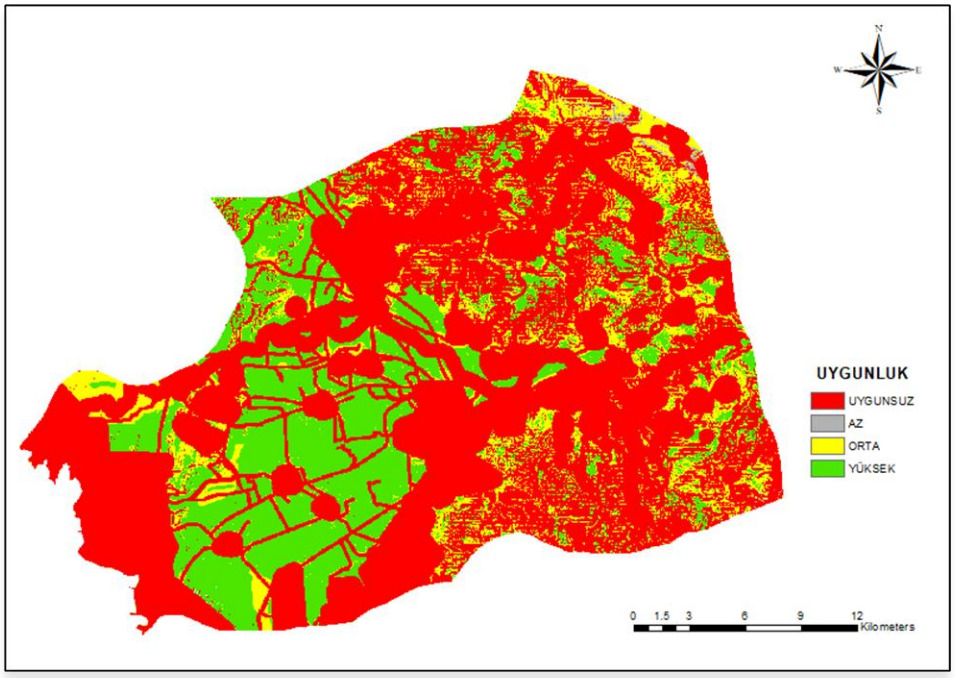
Göller bakımından GES uygunluk haritası oluşturulurken, göllere 1200 metreden uzak alanlar yüksek uygunlukta, 800 - 1200 metre orta uygunlukta, 400 - 800 metre az uygunlukta, 400 metreden yakın alanlar ise uygunsuz olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Göller bakımından GES uygunluk haritası

4.5.7 Menemen GES Uygunluk Haritası

Kriterlerin Çizelge 4.6'daki ağırlıkları göz önüne alınarak 6 ayrı harita çakıştırılmış ve oluşan haritadan uygunsuz olarak sonuçlanan alanlar çıkarılarak Menemen için GES uygunluk haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Menemen GES uygunluk haritası

Tüm bu haritalar sonucunda elde edilen herbir kriter için ayrı ayrı ve Menemen'in GES uygunluk yüzdeleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 Uygunluk yüzdeleri

	Uygunsuz (%)	Az (%)	Orta (%)	Yüksek (%)
Enerji Nakil Hattı	0	2,86	16,36	80,78
Eğim	32,60	9,01	11,84	46,55
Arazi Kullanımı	26,75	16,72	16,28	40,25
Yollar	15,97	11,83	8,68	63,52
Akarsular	11,91	10,04	9,05	69,00
Göller	3,08	6,66	8,41	81,85
Sonuç Uygunluk	65,91	4,18	7,26	22,65

Sonuç olarak Menemen'in güneş enerjisi kurulumu için %65,91'i uygunsuz, %4,18'si az uygunlukta, %7,26'sı orta uygunlukta ve %22,65'i ise yüksek uygunlukta olduğu anlaşılmıştır. Uygun alanlar çoğunlukla Menemen'in batısında ortaya çıkmıştır. Menemen'in genel olarak düşük eğimli oluşu ve enerji nakil hatlarının bölgenin tamamında bulunması nedeniyle yüksek uygunlukta alanlar çalışma sonucunda %22,65 çıkmıştır. Uygunsuz olarak sonuçlanan alanlarda genel olarak eğimin fazla olması veya arazi kullanım sınırlılığı vardır. Çalışmanın bundan sonraki aşamasında ise sadece yüksek uygunlukta sonuçlanan alanların değerlendirmesi yapılacaktır.

4.6 Yüksek Uygunlukla Sonuçlanan Alanların Değerlendirilmesi

Menemen'in %22,65'i GES kurulumu için yüksek uygunluğa sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu alan yaklaşık olarak 172 km^2'ye karşılık gelmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Yüksek uygunluktaki alanlar

Bu aşamadan sonra 1 mW'lık GES baz olarak alınmış ve bölgenin değerlendirilmesi buna göre yapılmıştır. Bir mW'lık GES kurulumu için 20 000 m^2'lik (2 Hektar) bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 4.10'da yüksek uygun olarak sonuçlanan alanlara kaç adet 1 mW'lık GES kurulacağını belirlemek için öncelikle 2 hektardan büyük olan alanlar belirlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 İki hektardan büyük yüksek uygunluklu alanlar

İki hektardan büyük her bir alan, bir parsel olarak düşünülebilir. Her bir parselin alanı Excel ortamına aktarılmış ve 20000'e bölünerek o parselde kaç adet 1 mW'lık GES kurulacağı basit matematiksel işlem ile hesaplanmıştır. Örnek olarak beş parsel Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 Örnek 1 mW'lık kurulum sayıları

OBJECTID	Id	Hücre Değeri	Çevresi	Alanı	Adet	Adet
55	590	-4	4718,56	240701,94	12,04	12
56	591	-4	1480,01	71847,40	3,59	3
57	593	-4	3604,47	367470,98	18,37	18
58	599	-4	1867,70	150492,40	7,52	7
59	601	-4	814,50	26987,03	1,35	1

Her bir parsele kaç adet 1 mW lık GES kurulacağı hesaplanmış ve Şekil 4.11'deki yüksek uygunluktaki alanlara toplamda 7850 adet 1 mW lık GES kurulabileceği anlaşılmıştır. Bu aşamadan sonra ise yenilenebilir enerji santrallerinin teknik, finansal ve çevresel açıdan değerlendirmeleri yapılmıştır.

4.6.1 GES Değerlendirmesi

Çalışma alanı olan Menemen bölgesi dikkate alınarak *RETScreen* programı tarafından tesisin verimliliğini etkileyecek iklimsel veriler analiz edilmiştir. Hava sıcaklığı, bağıl nem, yağış, günlük güneş radyasyonu, atmosferik basınç ve rüzgâr hızı aylara göre Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9 İklimsel veriler

Ay	Hava Sıcaklığı	Bağıl Nem (%)	Yağış (mm)	Günlük Güneş Radyasyonu	Atmosferik Basınç	Rüzgâr (M/s)
Ocak	7,8 °C	70,9	99,00	2,16 kW	97,8 kPa	3,9
Şubat	8,1 °C	67,7	93,96	2,87 kW	97,7 kPa	4,4
Mart	11,0 °C	65,2	74,71	4,19 kW	97,5 kPa	4,1
Nisan	15,4 °C	63,9	58,70	5,20 kW	97,4 kPa	3,8
Mayıs	20,3 °C	58,5	42,11	6,58 kW	97,4 kPa	3,7
Haziran	24,8 °C	51,4	16,21	7,58 kW	97,3 kPa	4,1
Temmuz	27,3 °C	48,6	7,48	7,58 kW	97,1 kPa	4,5
Ağustos	26,6 °C	52,4	10,24	6,70 kW	97,1 kPa	4,2
Eylül	22,7 °C	56,4	28,62	5,41 kW	97,4 kPa	3,7
Ekim	17,7 °C	63,4	57,13	3,73 kW	97,8 kPa	3,5
Kasım	12,7 °C	69,9	111,10	2,38 kW	97,8 kPa	3,6
Aralık	9,2 °C	72,7	119,62	1,79 kW	97,8 kPa	4,1
Kaynak	Yer	Yer	NASA	NASA	NASA	Yer

İkinci adımda ise bir takım finansal değerler sisteme girilmiştir. Elektrik fiyatı İzmir 2018 Kasım ayı faturaları esas alınarak kW bazında 1,26 TL olarak belirlenmiştir. Dolar kuru olarak 6.12.2018 tarihli Türkiye Merkez Bankası verileri kullanılarak 5,36 TL olarak hesaplanmıştır. Gelir vergisi ise %18 olarak kabul edilmiştir.

Bir sonraki adımda enerji santralinin bir takım teknik özellikleri belirlenmiştir. Bunların başında panel markası ve modeli seçimi gelmektedir. Türkiye'de farklı bölgelerde GES için kullanılan birçok marka ve modelde panel yazılımda test edilmiş ve mono silikon tipte Sun Power markanın SPR-X21-255 modelinin, test edilen paneller içerisinde en verimli olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda da SPR-X21-255 model güneş paneli kullanımına karar verilmiştir. Bir mW lık bir santral için her bir panel başına 255 W kapasite olmak üzere toplamda 3925 panele ihtiyaç duyulmaktadır. Yazılım tarafından güneş panellerinin verimliliği %21,1 olarak hesaplanmıştır.

GES değerlendirmesi, panel verimliliğini artırmak için bölgenin coğrafi özelliklerini göz önüne alarak, panel yerleşim açılarının belirlenmesinde, farklı açılara göre panel verimliliklerini sorgulamaya olanak sağlar. En uygun açıyı bulmak için üç farklı açıda yapılan sorgulamaların sonuçları Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'de verilmiştir. Bu sorgulamalar sonucunda güneş panellerinin maksimum verimlilik için yerleşim açıları 30 derece olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.10 25 derece yerleşim açısı için panel verimliliği

Ay	Günlük Güneş Radyasyonu - Yatay (kWh)	Günlük Güneş Radyasyonu - Eğimli (kWh)	Şebekeye Verilen Elektrik (mWh)
Ocak	2,16	3,15	78,198
Şubat	2,87	3,71	82,780
Mart	4,19	4,88	118,056
Nisan	5,20	5,48	125,792
Mayıs	6,58	6,46	149,039
Haziran	7,58	7,19	156,343
Temmuz	7,58	7,30	161,864
Ağustos	6,70	6,90	153,690
Eylül	5,41	6,16	135,631
Ekim	3,73	4,72	110,936
Kasım	2,38	3,37	79,321
Aralık	1,79	2,64	65,474
Yıllık	4,69	5,17	1.417,120

Çizelge 4.11 30 derece yerleşim açısı için panel verimliliği

Ay	Günlük Güneş Radyasyonu - Yatay (kWh)	Günlük Güneş Radyasyonu - Eğimli (kWh)	Şebekeye Verilen Elektrik (mWh)
Ocak	2,16	3,29	81,588
Şubat	2,87	3,82	84,988
Mart	4,19	4,94	119,303
Nisan	5,20	5,45	125,030
Mayıs	6,58	6,34	146,415
Haziran	7,58	7,01	152,663
Temmuz	7,58	7,13	158,446
Ağustos	6,70	6,83	152,092
Eylül	5,41	6,21	136,458
Ekim	3,73	4,84	113,484
Kasım	2,38	3,51	82,449
Aralık	1,79	2,76	68,426
Yıllık	4,69	5,18	1.421,342

Çizelge 4.12 35 derece yerleşim açısı için panel verimliliği

Ay	Günlük Güneş Radyasyonu - Yatay (kWh)	Günlük Güneş Radyasyonu - Eğimli (kWh)	Şebekeye Verilen Elektrik (mWh)
Ocak	2,16	3,42	84,500
Şubat	2,87	3,90	86,727
Mart	4,19	4,97	119,928
Nisan	5,20	5,39	123,650
Mayıs	6,58	6,19	143,065
Haziran	7,58	6,79	148,207
Temmuz	7,58	6,93	154,215
Ağustos	6,70	6,71	149,706
Eylül	5,41	6,21	136,555
Ekim	3,73	4,93	115,405
Kasım	2,38	3,64	85,098
Aralık	1,79	2,87	70,982
Yıllık	4,69	5,17	1.418,038

Çizelge 4.11'e bakıldığında bir tesisin yıllık 1421 mW enerji üreteceği görülmektedir. En uygun parsellerde bulunan diğer 7849 tane 1 mW'lık GES'te hesaplandığında toplamda 11.154.850 mW elektriğe karşılık gelmektedir.

Yapılan analizler sonucunda, İzmir'in Menemen bölgesinde bir tesisin ilk kurulum maliyeti 9.481.973 TL, işletme ve bakım maliyetleri ise 126.426 TL olarak belirlenmiştir. Sistemin kendini 7 sene içerisinde amorti edeceği belirlenmiş ve 25 yılın sonunda toplamda 36.696.439 TL kar elde etmesi hedeflenmektedir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13 Yıllık nakit akışlar

Yıl	Vergi Öncesi (TL)	Vergi Sonrası (TL)	Kümülatif (TL)
0	-9.481.974	-9.481.974	-9.481.974
1	1.693.507	1.474.014	-8.007.960
2	1.727.377	1.497.520	-6.510.439
3	1.761.925	1.521.796	-4.988.644
4	1.797.164	1.546.841	-3.441.803
5	1.833.107	1.572.656	-1.869.147
6	1.869.769	1.599.243	-269.904
7	1.907.164	1.626.606	1.356.702
8	1.945.308	1.654.747	3.011.449
9	1.984.214	1.683.670	4.695.119
10	2.023.898	1.713.380	6.408.499
11	2.064.376	1.743.883	8.152.382
12	2.105.664	1.775.184	9.927.567
13	2.147.777	1.807.290	11.734.857
14	2.190.732	1.840.208	13.575.065
15	2.234.547	1.873.946	15.449.010
16	2.279.238	1.908.511	17.357.522
17	2.324.823	1.943.914	19.301.436
18	2.371.319	1.980.163	21.281.599
19	2.413.746	2.017.269	23.298.867
20	2.467.120	2.055.241	25.354.109
21	2.516.463	2.094.092	27.448.201
22	2.566.792	2.133.832	29.582.033
23	2.618.128	2.174.475	31.756.507
24	2.670.490	2.216.031	33.972.539
25	2.723.900	2.723.900	36.696.439

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bununla birlikte mevcut enerji üretim şekilleri sınırlamalar ve çevresel kaygılardan dolayı gün geçtikçe sıkıntıya girmektedir. Bu durum, dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'yi de yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmak zorunda bırakmaktadır.

Ülkemiz farklı yenilenebilir enerji üretim potansiyellerine sahiptir. Bunlardan biri de güneş enerjisidir. Bu kapsamda Menemen'in GES uygunluk haritası oluşturulması hedeflenmiştir. GES kurulacak alanların belirlenmesinde teknik, çevresel, coğrafi ve ekonomik kriterler göz önünde bulundurularak CBS ortamında yapılan analizler ile pratik bir yöntem uygulanmıştır. Bunun yanında belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılmasında BAHP ile ikili karşılaştırmalar yapılarak daha tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. Bulanık mantık kullanılması ve GES değerlendirmesi ile diğer çalışmaların geliştirilmesi için örnek teşkil etmektedir.

Eğim, arazi kullanımı, akarsulara uzaklık, göllere uzaklık, yollara uzaklık ve enerji nakil hatlarına uzaklık olmak üzere belirlenen altı adet kriter neticesinde yapılan analizler ile Menemen'in güneş enerjisi kurulumu için %65,91'i uygunsuz, %4,18'si az uygunlukta, %7,26'sı orta uygunlukta ve %22,65'i ise yüksek uygunlukta olduğu anlaşılmıştır. Tüm bu sonuçlar neticesinde Menemen'in GES kurulumu için büyük bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu analiz sadece yüksek uygunluktaki alanlara GES kurulması ile elde edilecek 11.154.850 mW elektrik, Atatürk barajının yıllık üretiminin

1,25 katına karşılık gelmesi ile de desteklenmiştir. Bu analizin sonucunda özetle bu bölgedeki en uygun alanların %79'una GES kurulmasıyla Atatürk barajından elde edilen elektrik kadar elektrik üretilebilecektir.

Maliyet açısından sonuçlar değerlendirildiğinde, bir tesisten 25 yılın sonunda 36.696.439 TL kar elde edileceği hesaplanmıştır. Kurulabilecek olan 7850 tesis düşünüldüğünde 25 yılın sonunda toplamda 288 milyar TL kar elde edileceği hesaplanmıştır.

Çevresel faktörler açısından sonuçlar değerlendirildiğinde ise, Menemen'de kurulacak tek bir GES 668,6 ton, 7850 tanesinin ise 5,3 milyon ton sera gazı emisyonunu azaltacağı tespit edilmiştir. Ayrıca 1 mW'lık bir GES'in çevresel faydaları kısaca değerlendirildiğinde:

•278.284,5 litre benzin tüketimini engelleyecek,

•1.554,9 varil ham petrol tüketimini engelleyecek,

•152.000 m^2 karbon emen orman arazisine karşılık gelecek,

•230 ton geri kazanılan atığa karşılık gelecektir.

Elde edilen tüm bu sonuçlar neticesinde Menemen bölgesininde GES kurulması durumunda çevresel ve ekonomik olarak birçok yarar sağlanacağı anlaşılmıştır. Bu bakımdan bu çalışma, Menemen bölgesineki muhtemel GES projelerinde kamu ve özel sektör için rehber niteliği taşımaktadır.

Sonraki çalışmalarda, kriterlerin belirlenmesi ve ağırlıklandırılmasında; literatür taramasının yanında, uzman görüşlerine başvurulması veya ankentler yapılması, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından belirlenen ilgili yönetmelikler dikkate alınması önerilir. Ayrıca, kuşların göç istikametleri, arazinin yapısı gibi birtakım kriterler de göz önünde bulundurularak çevresel yönden daha duyarlı çalışmalar yürütülebilir. Maliyet analizlerini geliştirmek için arazi fiyatları ayrı bir kriter olarak hesaplamaya katılabilir. Çalışmanın güvenirliliği artırmak için SRTM verileri yerine daha yüksek çözünürlüklü yükseklik verileri, sayısallaştırma ile veri elde etmek yerine doğrudan vektör veriler kullanılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Yılmaz, M., (2012). "Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi", Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 4(2): 33-54.

[2] Şahin, A. D., (2009). "1. Türkiye Güneş Enerjisi Kursu", TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, 22-23 Ekim 2009 Ankara.

[3] Uyan, M., (2013). "GIS-Based Solar Farms Site Selection Using Analytic Hierarchy Process (AHP) in Karapinar Region, Konya/Turkey", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 28: 11-17.

[4] Potic, I., Golic, R. ve Joksimovic, T., (2016). "Analysis of Insolation Potential of Knjaževac Municipality(Serbia) Using Multi-Criteria Approach", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56: 235–245.

[5] Noorollahi, E., Fadai, D., Shirazi, M. A. ve Ghodsipour, S. H., (2016). "Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)-A Case Study of Iran", Energy, 9(8): 643.

[6] Garni, H. Z. ve Awasthi, A., (2017). "Solar PV Power Plant Site Selection Using A GIS-AHP Based Approach with Application in Saudi Arabia", Applied Energy, 206: 1225–1240.

[7] Asakereh, A., Soleymani M. ve Sheikhdavoodi, M. J., (2017). "A GIS-Based Fuzzy-AHP Method for The Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in Khuzestan Province, Iran", Solar Energy, 155: 342–353.

[8] Merrouni, A. A., Elalaoui, F. E., Mezrhab, A., Mezrhab, A. ve Ghennioui, A., (2018). "Large Scale PV Sites Selection by Combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case Study: Eastern Morocco", Renewable Energy, 119: 863-873.

[9] Güçlüer, D., (2010). Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanların CBS - Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi ile Belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[10] Gerçek, Y., (2018). Güneş Enerji Santralleri için CBS ile En Uygun Yer Tayini: Malatya İli Örneği, Yüksek lisans tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

[11] Mirzahosseini, A. H. ve Taheri, T., (2012). “Environmental, Technical and Financial Feasibility Study of Solar Power Plants by RETScreen, According to the Targeting of Energy Subsidies in Iran”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5): 2806-2811.

[12] Doğan, B. T., Çolakoğlu, A. ve Kıncay, O., (2012). “RETScreen Analiz Programı ile Hatay’da Rüzgâr Enerji Santrali Fizibilite Analizi”, Tesisiat Mühendisliği, 131: 22-27.

[13] Yerli, B., Özdemir, T., Kaymak, M. K., Sezen İ., Efe B., Eftimiyadis K. ve Şahin A. D., (2013). “500 kWp Kurulu Güce Haiz Bir Fotovoltaik Tesisin İTÜ Maslak Yerleşkesinde Homer ve Retscreen Enerji Model Yazılımları Kullanılarak Fizibilite Analizinin Yapılması”, 6th Atmospheric Science Symposium, 24-26 Nisan 2013, İstanbul.

[14] Özdemir, N., (2016). “İmparatorluktan Cumhuriyete Türkiye’de Elektriğin Tarihsel Gelişimi (1850-1938)”, Osmanlı Medeniyeti Araştırmaları Dergisi, 2(3): 17-32.

[15] Cengizkan, A., (2000). “Türkiye'de Fabrika ve İşçi Konutları: İstanbul Silahtarağa Elektrik Santrali”, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20: 29-55.

[16] Tutuş, A., (2006). “Türkiye’de Elektrik Enerjisinin Tarihsel Gelişimi ve Yeni Piyasa Düzeni İçerisinde Hidroelektrik Enerjinin Yeri”, TMMOB Su Politikaları Kongresi, 21-23 Mart 2006, Ankara.

[17] EMO, Türkiye’de Elektrik Enerjisi Gelişiminin Kısa Tarihçesi ve Genel Üretim Bilgileri, http://www.emo.org.tr/ekler/0082ac261d74f5a_ek.pdf, 19 Aralık 2018.

[18] TEİAŞ, Yıllar İtibariyle Türkiye Kurulu Gücünün Üretici Kuruluşlara Dağılımı (1970-1983), https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc, 19 Aralık 2018.

[19] TETAŞ, (2018). 2017 Yılı Sektör Raporu, Ankara.

[20] Karagöl, E.T. ve Kavaz, İ., (2017). “Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji”, Turkuvaz Haberleşme ve Yayıncılık A.Ş, İstanbul.

[21] T.C. Dış İşleri Bakanlığı, Kyoto Protokolü, http://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa, 22 Aralık 2018.

[22] T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, (2017). Dünya ve Türkiye Enerji Ve Tabii Kaynaklar Görünümü, Yayın No: 15, Ankara.

[23] Kıncay, O., Güneş Enerjisi, http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/GunesEnerjisi.pdf, 25 Aralık 2018.

[24] Çakmak, R. ve Altaş, İ.H., (2013). “Fotovoltaik Panellerle Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminin Dünü, Bugünü ve Yarını”, Uluslararası Katılımlı Çevre Sempozyumu, 24-26 Ekim 2013, Gümüşhane.

[25] Saaty, T. L. ve Vargas, L. G., (2012). “Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process.” 2.basım, Springer International Publishing, New York.

[26] Sakarya Üniversitesi, Analitik Hiyerarşi Prosesi, http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/49858/33743/9.hafta_ahp.pdf, 27 Aralık 2018.

[27] Buckley, J. J., (1985). “Fuzzy Hierarchical Analysis”, Fuzzy Sets Systems, 17(1): 233–247.

[28] Chou, S.W. ve Chang, Y.C., (2008). “The implementation factors that influence the Enterprise Resource Planning Benefits”, Decision Support Systems, 46(1): 149-157.

[29] Ayhan, M. B., (2013). “A Fuzzy AHP Approach for Supplier Selection Problem: a Case Study in a Gearmotor Company”, International Journal of Managing Value and Supply Chains, 4(3):11-23.

[30] Natural Resources Canada, RETScreen, https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465, 06 Aralık 2018.

[31] İzmir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Menemen, http://www.izmirkulturturizm.gov.tr/TR,77463/menemen.html, 19 Mayıs 2018.

[32] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Güneş Enerji Potansiyel Atlası, http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/35.aspx, 31 Aralık 2018.

[33] Enerji Atlası, İzmir Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası, http://www.enerjiatlasi.com/gunes-enerjisi-haritasi/izmir, 31 Aralık 2018.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hüseyin KOCA

Doğum Tarihi ve Yeri : 18.05.1994, İzmir

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : huseyinkoca035@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Harita Mühendisliği	Gazi Üniversitesi	2016
Lise	Fen Bilimleri	Maltepe Askeri Lisesi	2012

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2018-2019	Doğan Harita İnşaat Ltd. Şti.	Harita mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Koca H. ve Uzar A. M., (2018). "CBS ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Güneş Enerji Santrallerinin Yerlerinin Belirlenmesi: Menemen Örneği", VII. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 18-21 Eylül2018, Eskişehir.