CBS VE BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ İLE GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN YERLERİNİN BELİRLENMESİ: MENEMEN ÖRNEĞİ

Hüseyin KOCA¹, Melis UZAR²

¹Müh., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, huseyinkoca035@gmail.com

²Dr. Öğr. Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, auzar@yildiz.edu.tr

ÖZET

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de her geçen gün enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Mevcut durumda bu ihtiyaç çoğunlukla fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların maliyeti, sınırlılığı, dışa bağımlılığı ve çevreye verdikleri zarar düşünüldüğünde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması kaçınılmaz olduğu anlaşılar. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en yaygınlarından biri de güneş enerjisidir. Güneş enerji santrallerinin yerlerinin belirlenmesi ise birçok teknik, ekonomik ve çevresel kriterlere bağlıdır. Bu çalışmada, İzmir Menemen Bölgesi için güneş enerji 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, yol ve demir yollarına uzaklık, 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 uygun olmayan olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: bulanık analitik hiyerarşi prosesi, CBS, çok kriterli karar verme, güneş enerji santrali

ABSTRACT

EVALUATION OF SOLAR POWER PLANTS LOCATION USING GIS AND FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS - CASE STUDY OF MENEMEN

As in the whole world, energy demand is increasing day by day in Turkey. In the current state, this need is mostly supplying by fossil fuels. It is understood that the using of renewable energy sources is inevitable when considering costs, limitations, external dependence and harm to environment of fossil fuels. Solar energy is one of the most common renewable energy sources. The determination of solar power plants depends on many technical, economic and environmental criteria. In this study, it is aimed to establish a solar power plant suitability map for İzmir Menemen region. Selection of Menemen as the study area is due to fact that the area of province is too large, and the land has generally low slope. In the first step of study, six criteria were determined; slope, land use, distance to river, distance to lakes, distance to roads and railways, distance to energy transmission lines and criteria were 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 were found to be in high, moderate, and low suitability and %65,91 of Menemen were unsuitable.

Keywords: fuzzy analytic hierarchy process, GIS, multi criteria decision making, solar energy plant

1. GİRİŞ

Tüm dünyada enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Nüfus artışı, sanayileşme, refah seviyesinde yükselme ve teknolojik gelişmeler bu artışta büyük bir etkiye sahiptir. Önümüzdeki yıllarda ise enerji talebi daha yoğun 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 hidrolik, rüzgâr, jeotermal, güneş, biokütle, dalga, hidrojen vb. yenilenebilir enerji kaynaklarından başta elektrik üretimi olmak üzere çeşitli yollardan yararlanılmaktadır (Yılmaz, 2012).

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 (Şahin, 2009). Güneş enerjisinin minimum maliyet ve maksimum fayda ile kullanılması için güneş enerji santrallerinin yerlerinin belirlenmesi önemli bir faktördür. Güneş enerji santrallerinin yerlerinin belirlenmesi teknik, ekonomik ve çevresel olmak üzere farklı kriterlere bağlıdır. Bu kriterlerin CBS ortamının analizinde, günümüze kadar değişik, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmıştır. ÇKKV yöntemlerinden biri ise Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)’dir.

AHP kullanılarak bu alanda birçok çalışma ortaya konulmuştur. Uyan (2013)'te, Konya'nın Karapınar bölgesi için yapılan çevresel ve ekonomik kriterler olmak üzere 5 kriter belirlenmiş ve AHP kullanılarak bu kriterler ağırlıklandırılmış ve CBS ortamında yapılan analizler sonucunda güneş enerji santrali (GES) kurulumu için çalışma alanının %40,34'ünün uygun, %59,66'sının uygunsuuz olduğu anlaşılmıştır. Potic vd. (2016) tarafından Sırbistan'ın doğusunda bulunan Knjazevac bölgesinin güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için yapılan çalışmada iklim, topoğrafya, gün dönümü ve arazi kullanımı olmak üzere 4 kriter belirlenmiştir. Arazi kullanımı, Landsat 8 uydu görüntülerinin analizleri sonucunda elde edilen veriler ile 6 sınıf olarak elde edilmiştir. Sonuç haritası ise AHP ve CBS kullanılarak oluşturulmuştur. İran'da güneş enerji santrali kurulacak alanların belirlenmesi için Noorollahi (2016) tarafından yapılan çalışmada 11 kriter ele alınmış. Kriterlerin birbirine göre üstünlükleri kesinlik arz etmediği için ağırlıklandırmada Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) kullanılmış ve CBS ortamında İran için GES uygunluk haritası oluşturulmuştur. Ayrıca, ülkenin 1057 bölgesi göz önünde bulundurularak GES için en uygun bölgeler belirlenmiştir. Garni ve Awosthi (2017) tarafından Suudi Arabistan'ın tamamı için AHP ve CBS kullanılarak yapılan 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 (2017) tarafından yapılan çalışmada ise BAHP ve CBS kullanılarak İran'ın Khuzestan şehrinde GES kurulacak alanlar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Khuzestan şehrinin çok büyük bir potansiyele sahip olduğu anlaşılmıştır. En kötü senaryoda dahi bu bölgede üretilecek enerjinin, 2013 yılında İran'ın tamamında üretilen enerjinin 1,75 katı olacağı hesaplanmıştır. Aynı zamanda bölgenin güney ve güneybatısına kurulacak istasyonların bu bölgedeki çölleşmeye karşılıklı etkili olacağı düşünülmektedir. Merrouni vd., (2018)'deki çalışmada, Fas'ın doğusunda GES kurulacak alanların belirlenmesi için iklim, su kaynakları, konum ve topoğrafya olmak üzere 4 ana kriter ve 8 alt kriter belirlenmiş, AHP ve CBS kullanılarak uygunluk haritası oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda Fas'ın doğusunun %19'unu GES kurulumu için yüksek uygunlukta olduğu anlaşılmıştır.

Türkiye ise sahip olduğu coğrafi konum sayesinde güneş enerjisi bakımından birçok ülkeye göre şanslı konumdadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca hazırlanan, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat, yıllık toplam gelen enerjisi 1527 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir [1].

Bu çalışmada ise yıllık ortalama toplam ışınlam şiddeti 1550 kWh/m² olan Menemen'in güneş enerji santralleri için uygunluk haritası yapılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde GES uygunluk haritası oluşturmak için izlenen yol verilmiştir. Sonraki bölümde ise önerilen metodolojiye göre uygulama adımları gerçekleştirilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar ve öneriler verilerek çalışma tamamlanmıştır.

2. METODOLOJİ

GES uygunluk haritasının oluşturulması için 1/50000 ölçekli topoğrafik haritalar sayısallaştırılmıştır. Ayrıca bu veriye ek olarak 30x30m çözünürlüklü Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) verisi de eğim haritası oluşturmak için kullanılmıştır. İlk olarak güneş enerji santrali kurulumuna uygun olmayan bölgeler belirlenmiştir. Daha sonra güneş enerji santralinin kurulumuna etki edecek kriterler tespit edilmiş ve bu kriterler Bulanık AHP ile ağırlıklandırılmıştır. Çalışma alanının güneş enerji santrali için uygunluk seviyeleri haritası belirlenmiştir. Son adımda ise bu uygunluk seviyeleri haritasından uygun olmayan alanlar çıkarılarak sonuç haritası elde edilmiştir. **Şekil.1**'de önerilen yaklaşımın işlem adımları verilmiştir.

Şekil 1. İş akış diyagramı.

2.1 Uygun Olmayan Bölgelerin Belirlenmesi

Bir bölgede güneş enerji 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. Bu koşullar;

- Yerleşim yerlerinden, yasak bölgelerden ve koruma alanlarından 500 metreden yakın olmamak (Arazi kullanımı kategorisinde toplanmıştır.),
- Göllere 400 metreden yakın olmamak,
- Eğimi %11'in altında olmak,
- Akarsulara 400 metreden yakın olmamak,
- Demir yollarına 100 metreden yakın olmamak,
- Kara yollarına 100 metreden yakın olmamaktır.

2.2 Kriterlerin Belirlenmesi

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

2.2.1 Eğim

Güneş enerji santrallerinin yerlerinin belirlenmesinde en önemli faktörlerden birisidir. Genel olarak %11 üzerindeki bölgeler uygunsuz olarak kabul edilir. %4 ve altı eğim ise uygun olarak görülmektedir. Fazla eğim güneş panellerinin birbirine gölge yapmasına neden olacak ve bu da verimliliği etkileyecektir. Bunun yanında yüksek eğim, santralin kurulum maliyetini arttıracaktır (Noorollahi, E., 2016).

2.2.2 Arazi Kullanımı

Arazi kullanımı yerleşim yerlerini, yasak bölgeleri ve koruma alanlarını ifade eder. Güneş enerji santrallerinin bu bölgelere belirli mesafede olmaları gerekmektedir. Çünkü yerleşim yerleri her geçen gün büyümektedir. Uzun vadede düşünüldüğünde ise güneş enerji santrallerinin bu bölgeler içinde kalma ihtimalleri vardır. Ayrıca, güneş enerji santrali kurulması oradaki doğal yaşamı etkileyeceği için koruma alanlarından da belirli bir mesafe uzaklıkta olması gereklidir. Bu nedenle genel olarak güneş enerji santrallerinin bu bölgelere 500 metreden yakın olmaması gerektiği kabul edilir.

2.2.3 Akarsulara Uzaklık

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

2.2.4 Göllere Uzaklık

Gölün boyutları zamanla değişmek gösterdiği için güneş enerji santrallerinin göllerden en az 400 metre uzaklıkta olmalıdır.

2.2.5 Yollara Uzaklık

Kara ve demir yollarının vereceği olumsuz etki göz önünde bulundurulduğunda güneş enerji santrallerinin yollara belirli bir mesafede olması gerektiği belirtilmiştir. Genel olarak literatürde, güneş enerji santrallerinin yollara 100 metreden yakın olmaması kabul görmüştür.

2.2.6 Enerji Nakil Hattına Uzaklık

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

2.3 Bulanık Analitik Prosesi

AHP, Thomas Saaty tarafından ortaya atılmış olup farklı problemlerin çözümünde birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. AHP birden çok kriterin söz konusu olduğu durumlarda kriterlerin önceliklendirilmesi için kullanılan ikili karşılaştırmalara dayanan bir yöntemdir (Saaty ve Vargas, 2012). Kesinlik içermeyen durumlarda ise AHP yetersiz kalmaktadır. Bu gibi durumlarda bulanık mantık yöntemi ile doğru sonuçlar elde edilmesi sağlanmaktadır.

BAHP’de, AHP’den farklı olarak ikili karşılaştırmalarda üçgensel bulanık sayılar (Triangular Fuzzy Number-TFN) kullanılmakta ve kriterlerin ağırlıklandırılması bu şekilde yapılmaktadır (**Çizelge 1**).

Çizelge 1. Kriterlerin önem derecesi.

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

3. UYGUNLUK HARİTASININ OLUŞTURULMASI

3.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Menemen, İzmir’in bir ilçesi olup merkeze 35 km uzaklıktadır. Menemen, 27,4 derece boylam ve 38,35 derece enlemindedir. Doğusu Manisa ili, batısı Foça ilçesi ve Ege Denizi, kuzeyi Aliaga ilçesi, güneyi Çiğli ilçesi ile çevrilidir. Deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 20 m’dir. Yüz ölçüm 655 km² olup nüfusu 170 090’dır. [2]

Şekil 2. Çalışma alanı.

Çalışma alanında kullanılan veriler 1/50000 haritadan sayısallaştırmak sureti ile elde edilmiştir. Sayısallaştırmada ArcMAP 10.3 programı kullanılarak 5 adet katman oluşturulmuştur. Bu katmanlar:

- Göller
- Akarsular
- Arazi kullanımı
- Yollar (Kara ve demir yolları tek bir katman olarak alınmıştır.)
- Enerji nakil hattından oluşmaktadır.

Bu katmanların yanında bir de 30x30m çözünürlüklü Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) verilerinden eğim tabakası elde edilmiştir.

3.2 Uygulama

Öncelikle her bir katman için belirlenen kriterleri doğrultusunda uygunsuz alanların haritası oluşturulmuştur. Daha sonra bu haritalar birleştirilerek Menemen bölgesinde güneş enerji santrali kurulması için uygunsuz olan bölgeler **Şekil 3**'te gösterilmiştir. Bunun sonucunda Menemen'in %65,91'inin güneş enerjisi kurulmasına uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 3. Uygunsuz alanların sonuç haritası.

Çalışma alanı için güneş enerjisi kurulması için uygunsuz alanlar tespit edildikten sonra ikinci adım olarak GES için kriterler belirlenmiştir. Menemen bölgesinde enerji nakil hattına 6000 metreden uzak alan bulunmadığı görülmektedir. Bu bakımdan da bu çalışmada uygunsuz bölgelerin belirlenmesinde bu kriter kullanılmamıştır. Tüm bu kriterlerin uygunluk seviyeleri ise **Çizelge 2**'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Kriterler için uygunluk seviyeleri.

Kriter\Uygunluk	Uygunsuz	Az	Orta	Yüksek
Eğim (%)	>11	11-8	8-4	<4
Arazi Kullanımı (m)	<500	500-1000	1000-1500	>2000
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

Kriterlerin birbirine göre üstünlükleri kesinlik içermediği için bu çalışmada BAHP kullanılmıştır. Öncelikle kriterler BAHP kullanılarak ağırlıklandırılmış ve sonrasında bu ağırlıklarına göre çakıştırılarak bölgenin son uygunluk haritası oluşturulmuştur. Sözel olarak ifadeler **Çizelge 3**'teki üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. **Çizelge 3**'te Excel ortamında oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi verilmiştir. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulurken her bir kriterin diğer kriterler ile karşılaştırması yapılmış ve mevcut kriterin önemine göre üçgensel bulanık sayılardan biri verilmiştir.

Çizelge 3. İkili karşılaştırma matrisi.

Kriter	Enerji Nakil Hattı			Eğim			Arazi 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
Arazi Kullanımı	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
Akarsular	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

İkili karşılaştırma matrisindeki her bir sütün değerleri **Çizelge 4**'teki gibi toplanmış ve her bir hücre kendi sütün toplamına bölünerek o hücrenin yeni değeri hesaplanmıştır. Daha sonra satırlar toplanmış ve toplam değerleri ise o satırdaki eleman sayısına bölünerek o kriterin **Çizelge 5**'teki gibi ağırlığı belirlenmiştir. BAHF sonucunda en yüksek ağırlığa sahip kriter %41,67 ile enerji nakil hattı olmuştur. Bunu sırasıyla %21,94 eğim, %15,99 arazi kullanımı, %9,92 yollar, %5,96 akarsular, %4.52 göller izlemiştir.

Çizelge 4. İkili karşılaştırma matrisi satır toplamları.

Kriter	Enerji Nakil Hattı			Eğim			Arazi Kullanımı			Yollar			Akarsular			Göller		
ENH	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00	3.00	5.00	7.00	3.00	5.00	7.00	5.00	7.00	9.00	5.00	7.00	9.00
Eğim	1.00	0.33	0.20	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00	1.00	3.00	5.00	3.00	5.00	7.00	3.00	5.00	7.00
Arazi Kullanımı	0.33	0.20	0.14	1.00	0.33	0.20	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00	3.00	5.00	7.00	3.00	5.00	7.00
Yollar	0.33	0.20	0.14	1.00	0.33	0.20	1.00	0.33	0.20	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00	1.00	3.00	5.00
Akarsular	0.20	0.14	0.11	0.33	0.20	0.14	0.33	0.20	0.14	1.00	0.33	0.20	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00
Göller	0.20	0.14	0.11	0.33	0.20	0.14	0.33	0.20	0.14	1.00	0.33	0.20	1.00	0.33	0.20	1.00	1.00	1.00
Toplam	3.07	2.02	1.71	4.67	5.07	6.69	6.67	9.73	13.49	8.00	12.67	18.40	14.00	21.33	29.20	14.00	24.00	34.00

Çizelge 5. Kriterlerin ağırlıkları.

Kriter	Enerji Nakil Hattı			Eğim			Arazi Kullanımı			Yollar			Akarsular			Göller			Ağırlık	
ENH	0.33	0.50	0.59	0.21	0.59	0.75	0.45	0.51	0.52	0.38	0.39	0.38	0.36	0.33	0.31	0.36	0.29	0.26	0.42	41.67
Eğim	0.33	0.17	0.12	0.21	0.20	0.15	0.15	0.31	0.37	0.13	0.24	0.27	0.21	0.23	0.24	0.21	0.21	0.21	0.22	21.94
Arazi Kullanımı	0.11	0.10	0.08	0.21	0.07	0.03	0.15	0.10	0.07	0.13	0.24	0.27	0.21	0.23	0.24	0.21	0.21	0.21	0.16	15.99
Yollar	0.11	0.10	0.08	0.21	0.07	0.03	0.15	0.03	0.01	0.13	0.08	0.05	0.07	0.14	0.17	0.07	0.13	0.15	0.10	9.92
Akarsular	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04	0.02	0.05	0.02	0.01	0.13	0.03	0.01	0.07	0.05	0.03	0.07	0.13	0.15	0.06	5.96
Göller	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04	0.02	0.05	0.02	0.01	0.13	0.03	0.01	0.07	0.02	0.01	0.07	0.04	0.03	0.05	4.52
Toplam	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	100.00

Son aşamada ise **Çizelge 5**'te belirlenen ağırlıklara göre bu haritalar çakıştırılmış ve elde edilen sonuçlardan uygun olmayan bölgeler çıkarılarak Menemen için her bir kritere göre ayrı ayrı uygunluk haritaları oluşturulmuştur (**Şekil 4**). **Şekil 5**'te ise çalışma alanına ait GES kurulacak alanların uygunluk haritası verilmiştir.

a) Enerji nakil hattı bakımından uygunluk haritası

b) Eğim bakımından uygunluk haritası

c) Arazi kullanımı bakımından uygunluk haritası

d) Akarsular bakımından uygunluk haritası

e) Yollar bakımından uygunluk haritası

f) Göller bakımından uygunluk haritası

Şekil 4. Her bir kritere göre ayrı ayrı uygunluk haritaları.

Şekil 5. Menemen için GES uygunluk haritası.

4. SONUÇLAR

Çalışma ışığında GES kurulumu için elde edilen uygunluklar **Çizelge 6**'da gösterilmiştir. Her bir kriter için ayrı ayrı ve bu kriterlerin bütünü ele alınarak elde edilen nihai uygunluklar belirtilmiştir. Sonuç olarak Menemen'in güneş enerjisi kurulumu için %65,91'i uygunsuz, %0,12'si az uygunlukta, %10,78'inin orta uygunlukta ve %23,19'unun ise yüksek uygunlukta olduğu anlaşılmıştır. Uygun alanlar genel olarak 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 %23,19 çıkmıştır. Uygunsuz olarak sonuçlanan alanlarda genel olarak eğimi yüksek ve arazi kullanımı sınırlılığı vardır. Sadece yüksek uygunluklu bölgelerin yüzölçümleri, yaklaşık olarak 150 km²'ye tekâmül etmektedir. Bu alanlara çok büyük ölçekli güneş enerji santrali kurulumu mümkündür. Bunun yanında yüksek uygunlukta çıkmayan alanlara da şebekeden bağımsız küçük ölçekli güneş enerji santralleri kurulabilir.

Çizelge 6. 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	0,12	10,78	23,19

Bu çalışmada teknik, çevresel, coğrafi ve ekonomik kriterler göz önünde bulundurularak CBS ortamında yapılan analizler ile güneş enerjisi kurulacak alanların belirlenmesinde pratik bir yöntem uygulanmıştır. Bunun yanında belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılmasında BAHF ile ikili karşılaştırmalar yapılarak kolaylıkla sonuç elde edilmiştir. Aynı zamanda, kriterlerin birbirlerine göre üstünlükleri kesinlik arz etmediği için bulanık mantık kullanılması çalışmaya tutarlılık sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Harita Genel Komutanlığına, sağladığı 1/50000 ölçekli URLA K-17-c ve İZMİR K-18-d topoğrafik haritalar için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Asakereh, A., Soleymani M., 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.
- Garni, H. Z., 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.
- Lin, L., Wang, C.**, 2012. On Consistency and Ranking of Alternatives in Uncertain AHP. *Natural Science*, 4(5): 340-348.
- Merrouni, A. A., Elalaoui, F. E., Mezrhah, A., Mezrhah, A., Ghennioui, A.**, 2018. Large Scale PV Sites Selection by Combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case Study: Eastern Morocco. *Renewable Energy*, 119: 863-873.
- Noorollahi, E., Fadaei, D., Shirazi, M. A., 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.
- Potic, I., Golic, R., Joksimovic, T.**, 2016. Analysis of Insolation Potential of Knjaževac Municipality(Serbia) Using Multi-Criteria Approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56: 235–245.
- Saaty, T. L., Vargas, L. G.**, 2012. *Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. 2.basım, Springer International Publishing, New York. 1-2 sayfa.
- Şahin, A. D.**, 2009, *1. Türkiye Güneş Enerjisi Kursu*. TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Uyan, M.**, 2013. GIS-Based Solar Farms Site Selection Using Analytic Hierarchy Process(AHP) in Karapınar Region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28: 11-17
- Yılmaz, M.**, 2012. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2): 33-54.
- [1] 2018. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, [Erişim Tarihi: 29.07.2018]
- [2] 2018. İzmir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. <http://www.izmirkulturturizm.gov.tr/TR,77463/menemen.html>, [Erişim Tarihi: 19.05.2018]