

## Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması

### GIS-Supported mapping of solar power plant sites using AHP method

Mevlüt UYAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.  
muyan@selcuk.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 01.02.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 24.10.2016

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.59489

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Yenilenebilir enerji kaynakları temiz enerji kaynaklarıdır ve diğer enerji kaynaklarına göre çok daha düşük çevresel etkiye sahiptir. Türkiye'de yenilenebilir enerjiler son on yıl içinde hızla gelişmiştir. Güneş ve rüzgâr enerjisi ile ilgili yenilenebilir enerji üretimi en baskın katılımcı olarak ortaya çıkmıştır. Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi karar vericiler için karmaşık bir mekânsal karar problemidir. Bu çalışmanın amacı, Konya ili Çumra ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulabilecek en uygun alanların Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak belirlenmesidir. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanının %1.5 gibi bir kısmı güneş enerjisi santrali kurulması için yüksek uygunlukta, %26'lık bir kısmı orta uygunlukta ve %11'lik bir kısmı ise düşük uygunlukta.

**Anahtar kelimeler:** Yenilenebilir enerji, Çok kriterli değerlendirme, Coğrafi bilgi sistemi

#### Abstract

Renewable energy sources are energy clean sources and according to other energy sources has a much lower environmental impact. Renewable energy has evolved rapidly over the past decade in Turkey. Renewable energy generation related with solar and wind energy has emerged as the most dominant participants. Site selection of solar power plants is a complex spatial decision problem for decision makers. The purpose of this study was to determine suitable site selection for solar power plant by using Geographical Information System (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP) that one of the multi-criteria decision making (MCDM) methods in the Çumra/Konya. According to the results, 1.5% of the study area has high suitable, 26% has moderate suitable and 11% has low suitable for solar power plant sites.

**Keywords:** Renewable energy, Multi criteria evaluation, Geographic information system

## 1 Giriş

Enerji, sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğun ortadan kaldırılması için önemli bir faktördür. Yaşam için vazgeçilmez unsurdur. Günümüzde enerjinin temel kaynağı fosil yakıtlardır ve dünyada enerji ihtiyacının %80'i temel fosil yakıt olan petrol, kömür ve doğal gazdan karşılanmaktadır. Dünyada tüketilen toplam enerjinin %31'i ham petrolden, %28'i kömürden ve %22'si doğal gazdan karşılanmaktadır [1]. Bütün bunlara rağmen fosil yakıt kaynakları sınırlıdır ve gelecekte tükenecektir. Uzun vadede, fosil yakıtların hızla tükenmesine bağlı olarak fiyatlar çok yüksek seviyelere ulaşacaktır. 21. yüzyıl boyunca, enerjiye küresel talebin iki katına çıkması beklenmektedir [2]. Küresel rezervlerin dengesiz dağılımı nedeniyle günümüzde siyasi ve ekonomik çatışmalar yaşanmaktadır. Dünya enerji arzının büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edilirken, fosil yakıt kullanımının, dünya ekonomisi, ekoloji ve küresel iklim üzerindeki muazzam etkileri vardır. Son yıllarda, petrol ve diğer fosil yakıtların fiyatındaki hızlı artış ve kirlilik etkisi nedeniyle dünya ülkelerinin çoğu bu etkileri azaltmak için yeni politikalar geliştirmektedir.

Fosil yakıtların hızla tükenmesi ve bunun sonucu olan çevre kirliliğine karşı artan ilgi 21. yüzyılda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ön plana çıkarmıştır [3]. Fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş iklim koruma ve enerji güvenliğinin sağlanması için kilit bir stratejidir [4]. Yenilenebilir enerji kaynakları temiz kaynaklardır ve diğer enerji kaynaklarına göre çok daha düşük çevresel etkiye sahiptir. Fosil enerji kaynaklarının aksine,

yenilenebilir enerji kaynakları sınırsızdır. Tüm dünyada, ülkelerin ekonomik ve çevresel politika tedbirlerini karakterize eden yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru bir kayma vardır [5]. Yenilenebilir enerjinin birçok formu vardır. Bu kaynaklar güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, biyokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi olarak sıralanabilir. Günümüzde, güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları hızla gelişmektedir [6]. En genel yenilenebilir enerji şekli güneşten gelendir. Güneş enerjisi üretimi, dünyanın en hızlı büyüyen yenilenebilir kaynaklardan biri olarak ortaya çıkmıştır. Dünyada yaklaşık 40 ülke güneşten enerji üretimi ile ilgili fiyatlandırma yasasını hayata geçirmiştir ve bu yönde enerji pazarında büyüme önemli bir şekilde artmıştır [7]. Türkiye'de yenilenebilir enerjiler son on yıl içinde hızla gelişmiştir. Güneş ve rüzgâr enerjisi ile ilgili yenilenebilir enerji üretimi en baskın katılımcı olarak ortaya çıkmıştır. Türkiye güneş enerjisi santralleri için mükemmel doğal koşullar sunmaktadır. Türkiye, coğrafi konumu ile yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olup, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saate (günlük 7.2 saat); ortalama toplam ışınım şiddeti ise 1.311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük 3.6 kWh/m<sup>2</sup>)'a ulaşmaktadır. Türkiye'nin Güneş Enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmaktadır [8].

Elektrik üretim amaçlı güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi karar vericiler için çok sayıda alternatifler içeren ve farklı tercihler taşıyan karmaşık bir mekânsal karar problemidir. Çünkü bu seçim arazi kullanımı, topografya, trafo merkezlerine uzaklık vb. ekonomik, sosyal ve çevresel pek çok kriteri içinde barındıran karmaşık bir süreçtir. Çok kriterli

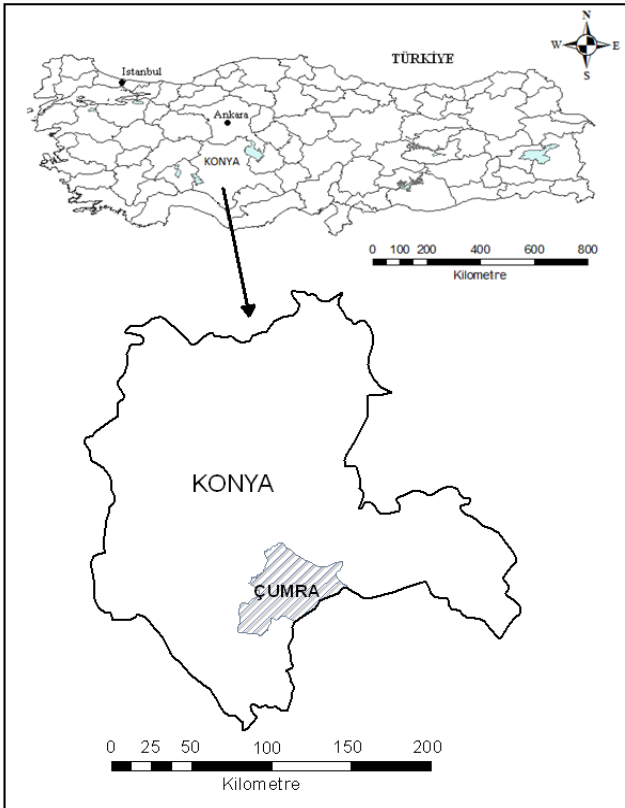
karar verme (ÇKKV) yöntemleri pek çok farklı yer seçimi çalışmaları için başarıyla uygulanmıştır [1],[9]-[13]. ÇKKV birbirine bağımlı fakat birbirinden farklı kriterler arasında en uygun çözümlenmeyi yaparak optimum sonuçları ortaya koyan bir araçtır. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) hızlı bir şekilde gelişmesi, çeşitli ÇKKV metotlarının mekânsal uygulamalar için de uygulanabilirliğini ortaya çıkarmıştır. Karar verme sürecinde, bir mekânsal ÇKKV/CBS yaklaşımı karar vericilere, karar problemlerine derinlemesine nüfuz edilmesinde, rasyonel ve sistematik bir şekilde farklı risk seviyelerinin belirlenmesinde ve olayların tefsirinde yardımcı olabilir [14].

Bu çalışmada Konya ili Çumra ilçe sınırlarında güneş enerjisi santrali kurulabilecek en uygun alanların ÇKKV metotları kullanılarak CBS yardımıyla haritalanması gerçekleştirilmiştir.

## 2 Materyal ve metot

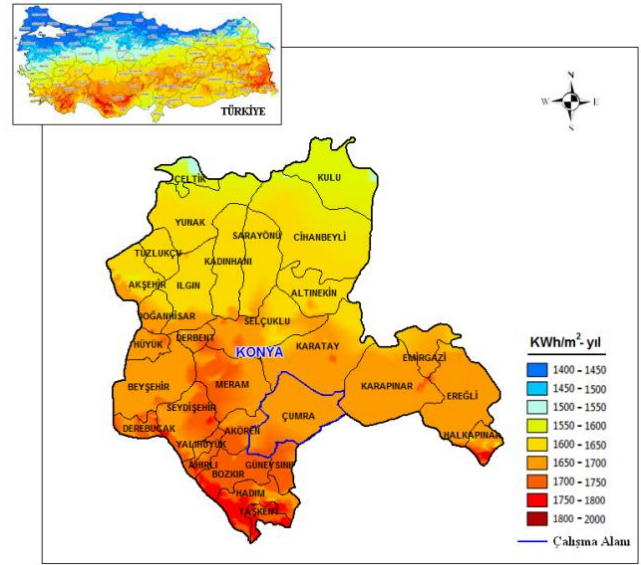
### 2.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı Konya ili Çumra ilçe sınırlarını kapsamaktadır (Şekil 1). Coğrafi olarak 37.250–37.800 kuzey enlemleri ile 32.420–33.210 doğu boylamları arasında yerleşmiştir. Ülkemizin en büyük kapalı havzası olan Konya Ovası'nın güneyinde, Konya iline bağlı bulunan Çumra İlçesi, 2320 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır. Arazi varlığı, arazi kullanım kabiliyetine göre sınıflandırıldığında tarıma elverişli kabul edilen I. II. III. ve IV. sınıf arazilerin toplamı tüm arazinin %58'ini (152 605 ha.) oluşturmaktadır [15]. 2014 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) verilerine göre Çumra ilçesinin toplam nüfusu 65054 kişidir. Ortalama deniz seviyesinden yüksekliği 1009 m'dir.

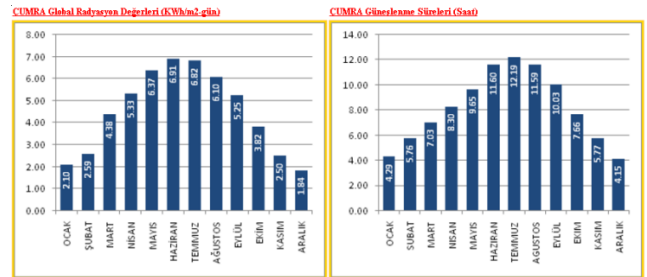


Şekil 1: Çalışma alanı.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 11.08.2011 tarih ve 28022 sayılı Resmi Gazete'nin "Çeşitli İlanlar" kısmındaki 2. maddesine göre güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisi kurmak için yıllık toplam güneş radyasyonu değerinin 1620 KWh/m<sup>2</sup>-yıl'a eşit veya yüksek olması zorunludur. Konya güneş enerjisi yatırımları için Türkiye'de en yüksek potansiyele sahip ildir. Çumra ilçesinin yıllık toplam güneş radyasyonu 1650-1750 KWh/m<sup>2</sup>-yıl arasındadır (Şekil 2). Güneş enerjisinden elektrik üretimi için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 08.01.2011 tarihinde yaptığı açıklama ile toplam 27 bölgede 38 şehre izin ve teşvik çıkmıştır. 38 şehir içinde en fazla kotaya 92 megavat ile Konya sahip olmuştur. Çumra için global radyasyon değerleri güneşlenme süreleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2: Konya toplam güneş radyasyonu değerleri [16].



Şekil 3: Çumra için küresel radyasyon değerleri güneşlenme süreleri [16].

### 2.2 Güneş enerjisi santrali yer seçimi için ÇKKV yöntemlerinin kullanımı

Son yıllarda, pek çok kriter barındıran karmaşık projelerin planlanması ve çözümünde ÇKKV yöntemleri karar vericilerin oldukça dikkatini çekmiştir. Bu yöntemler yardımıyla karar vericiler pek çok kriteri hesaba katarak en iyi çözümü bulmak için alternatifler üretmektedir. ÇKKV yöntemleri, çoklu seçim kriterlerinden ve kriterlerin yönetilmesinde en faydalı çözümü üreten bir yönetim sisteminden meydana gelmiştir. Mekânsal ÇKKV yöntemleri, CBS ve ÇKKV'nin temeline dayalı olarak geliştirilmiş bir alandır. Son yıllarda bu sistemler mekâna ilişkili çok çeşitli alanlarda uygulanmaktadır [17].

ÇKKV yöntemlerinden bazıları aşağıda verilmiştir:

- Analytic hierarchy process (AHP),
- Analytic network process (ANP),
- Inner product of vectors (IPV),
- Multi-attribute value theory (MAVT),
- Multi-attribute utility theory (MAUT),
- Multi-Attribute Global Inference of Quality (MAGIQ),
- Goal programming,
- ELECTRE,
- PROMETHEE,
- Data envelopment analysis,
- The evidential reasoning approach,
- Dominance-based Rough Set Approach (DRSA),
- Aggregated Indices Randomization Method (AIRM).

Bu modellerden hangi modelin seçiminin en uygun olacağı ve hangi modelin karar verici için en rahat olduğu eldeki soruna bağlıdır.

Bu çalışmada, işletme sahiplerinin yeniden tahsis için yaptıkları tercihleri çok kriterli karar verme tekniklerinden olan ve literatürde de sıkça kullanılan AHP tekniği kullanılacak ve tercihler bu metoda göre ağırlıklandırılacaktır. AHP karmaşık problemlerin çözümünde birbiriyle ilişkili kriterleri analiz etmek için kullanılan yapısal bir tekniktir. Bu modelde kriterler arasında gerçekleştirilen ikili karşılaştırmalara dayalı olarak ikili karşılaştırmalar matrisi elde edilmekte sonra bu kriterlerin ağırlıkları belirlenmektedir [18].

Eğer karşılaştırma için n sayıda kriter belirlenmişse bu kriter ağırlıklarını belirlemek için AHP ile aşağıda işlemler gerçekleştirilir [19];

- a) Kriterler arası (n×n) boyutlu ikili karşılaştırmalar matrisi (A) oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$a_{ij}$  değeri  $i$ . faktörün  $j$ . faktörden ne kadar fazla önemli olduğunu işaret eder. Karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerindeki bileşenler, yani  $i=j$  olduğunda, 1 değerini alır. Bu durumda ilgili kriter kendisi ile karşılaştırılmaktadır. Kriterlerin karşılaştırılması, birbirlerine göre sahip oldukları önem değerlerine göre birebir ve karşılıklı olarak Tablo 1'deki değerlere göre yapılır. Karşılaştırmalar, karşılaştırma matrisinin tüm değerleri 1 olan köşegeninin üstünde kalan değerler için yapılır. Köşegenin altında kalan değerler için  $a_{ji}=1/a_{ij}$  formülünü kullanmak yeterlidir.

Tablo 1: AHP değerlendirme ölçeği [20].

( $a_{ij}$ )	Tanım
1	Her iki faktörün eşit önemde olması durumu,
3	$i$ . faktörün $j$ . faktörden biraz daha önemli olması durumu,
5	$i$ . faktörün $j$ . faktörden fazla önemli olması durumu
7	$i$ . faktörün $j$ . faktöre göre çok güçlü bir öneme sahip olması durumu,
9	$i$ . faktörün $j$ . faktöre göre aşırı derecede önemli olması durumu,
2,4,6,8	Ara değerler.

- b) A matrisinde  $j$  sütunundaki her bir değer,  $j$  sütunundaki değerlerin toplamına bölünür. Yeni oluşacak Aw matrisinde her bir sütundaki değerlerin toplamı 1 olacaktır. Bu şekilde normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi bulunur.

$$Aw = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum a_{i2}} & \dots & \frac{a_{1n}}{\sum a_{in}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{n2}}{\sum a_{i2}} & \dots & \frac{a_{nn}}{\sum a_{in}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

- c) Aw matrisinin  $i$  sütunundaki girişlerinin ortalaması olarak  $c_i$  değerleri hesaplanır ve C sütun vektörü (öncelik vektörü) elde edilir.

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum a_{i2}} & \dots & \frac{a_{1n}}{\sum a_{in}} \\ n & n & \dots & n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{n2}}{\sum a_{i2}} & \dots & \frac{a_{nn}}{\sum a_{in}} \\ n & n & \dots & n \end{bmatrix} \quad (3)$$

$c_i$  değerleri  $i$ . kriterin öneminin bağlı derecesini yani ağırlığını verir. Bu değerler ağırlıkların yüzde cinsinden değerleridir ve sütun toplamaları 1 değerini vermelidir.

- d) Kriterlerin karşılaştırılması ile belirlenen ağırlık değerlerinin tutarlılığının kontrol edilmesi için öncelikli olarak tutarlılık vektörü olarak anılan A.C matrisi hesaplanır.

$$A \times C = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

İkinci olarak  $\lambda_{max}$  değeri hesaplanır.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{c_i} \quad (5)$$

Burada,  $\lambda_{max}$  karşılaştırma çiftleri matrisinin öz değeridir. Daha sonra Tutarlılık İndeksi (consistency index (CI)) hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Sonuçta elde edilen Tutarlılık İndeksi (CI) ile bulunan öncelik vektörünün tutarlılığın test edilebilmesi imkânını sağlamaktadır.

Son olarak n değerlerinin tutarlılık derecesinin yeterli olup olmadığını belirlenmesi için CI ile Rastgele İndeks (Random Index (RI)) oranlanır ve Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio (CR)) belirlenir. Rastgele İndeks, Saaty [20] tarafından belirlenmiş standart değerlere sahiptir. Kriter sayısına göre değişen bu değerler Tablo 2'de verilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Eğer  $CR \leq 0.10$  ise yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğu söylenir.  $CR > 0.10$  ise sonuç tutarsızdır. Bu durumda AHP anlamlı sonuçlar veremeyebilir.

### 2.3 Kriterlerin tanımlanması

Karar verme sürecinde kriterler, en uygun alternatifleri belirleyebilmek ve bir yargıya varabilmek için kullanılan, problem ile ilgili alanı karakterize eden ölçülebilir değerlerdir. Güneş enerji santralleri için uygun yer seçimi konusunda Enerji Bakanlığı tarafından belirlenmiş kesin kurallar kesin kurallar bulunmamaktadır. Kısıtlayıcı faktör tarımsal arazi statüsünde olup olmadığıdır. Bununla birlikte uygulanmış projelerden elde edilen tecrübelerle dayanılarak bazı önemli kriterlerin oluşması sağlamıştır. Bu kriterler arazinin eğim durumu, ulaşım durumu, tarımsal statüsü, güneş enerjisi potansiyeli, topoğrafik yapısı, şebeke bağlantısı, jeolojik yapısı, mülkiyet durumu olarak sıralanabilir. Bu çalışmada Çumra ilçesi için güneş enerjisi santralleri kurulabilecek alanları karakterize eden değerlendirme kriterleri literatürdeki örnek çalışmalardan [21]-[23] ve bölgeyi karakterize eden diğer özelliklere göre konuyla ilgili uzman kişilerinde görüşleri alınarak tanımlanmıştır. Bu kriterler Tablo 3'te gösterilmiştir. Çalışmada, genel anlamda önemli olan bazı kriterler çalışma alanına etki etmediği için dikkate alınmamıştır. Örneğin, tüm çalışma alanı 5. derece deprem kuşağındadır ve jeolojik özellik açısından aynı özelliği taşımaktadır. Güneş potansiyeli tüm alan için aynı aralıktadır (1650-1750 KWh/m<sup>2</sup>-yıl). Bunlar gibi çalışma sonucunu etkilemeyecek kriterler çalışmada dikkate alınmamıştır.

Çalışma alanı için CBS veri setleri (Yerleşim alanları, yollar ve demiryolları, nehirler, göller, sulak alanlar, iletim hatları, trafo merkezleri, arazi kullanımı) farklı kaynaklardan toplanmıştır. Verilerin büyük çoğunluğu 1:25000 ölçekli haritalardan sayısallaştırma yoluyla elde edilmiştir. Eğim haritaları SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verileri baz alınarak hazırlanmıştır. Tüm bu veriler ArcGIS CBS yazılımı kullanılarak raster formata dönüştürülmüştür.

Çevresel olarak uygun olmayan alanlar için maskeleye yapılarak bu alanlar çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Kısıtlanmış alanlar aşağıda tanımlanmıştır;

- Yerleşim alanlarından tampon mesafesi=1000 m,
- Nehirler, göller, sulak alanlar, kıyı alanı ve baraj alanlarından tampon mesafesi=1000 m,
- Yol ve demiryollarından tampon mesafesi =100 m,
- Çevre koruma alanlarından tampon mesafesi=100 m.
- Tarım arazileri (I, II, III. sınıf) ve orman alanları.

Bu çalışmada, genel metodoloji Şekil 4'te gösterilmiştir. Çalışma için seçilen kriterler aşağıda açıklanmıştır;

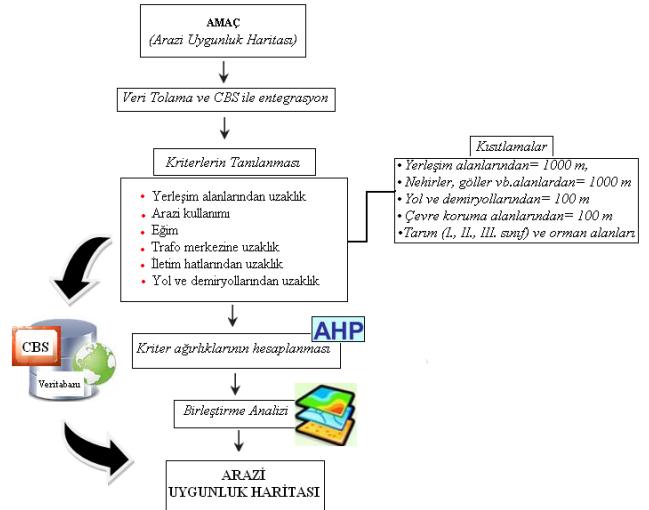
#### 2.3.1 Yerleşim alanlarından uzaklık (m)

Güneş enerji santrallerinin yerleşim alanlarına yakınlığını ekonomik bir faktör olarak alabiliriz. Çalışmada, ilerdeki gelişmeler göz önüne alınarak, yerleşim alanları ile birlikte çevresindeki 1 km'lik alan kısıtlanmış bölge olarak alındı.

Yerleşim alanları için <1000 m tampon bölgeleri 1 olarak, 1000-2000 m tampon bölgeleri 2 olarak, 2000-5000 m tampon bölgeleri 3 olarak ve >5000 m tampon bölgeleri 4 olarak puanlanmıştır (Şekil 5). Çalışmada ayrı ayrı tüm bölgeler için AHP yöntemi ile ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3: Çalışma için belirlenen kriter ve alt kriterler.

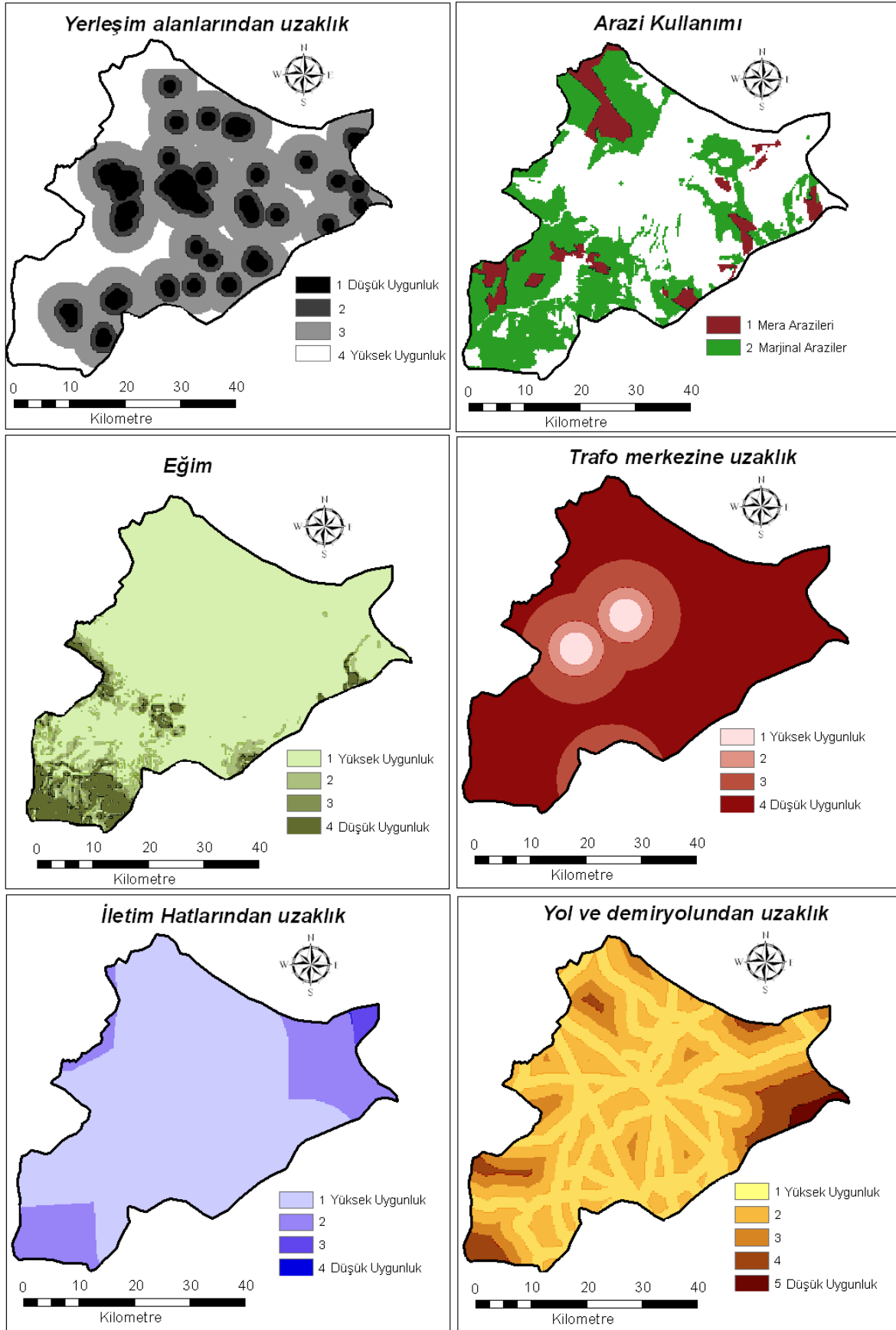
KRITER	ALT KRITER
(a) Yerleşim alanlarından uzaklık (m)	1000>
	1000-2000
	2000-5000
	5000<
(b) Arazi Kullanımı	Marjinal araziler
	Mera
	1>
(c) Eğim (%)	1-2
	2-3
	3<
(d) Trafo merkezine Uzaklık (m)	3000>
	3000-5000
	5000-10000
	10000<
(e) İletim hatlarından uzaklık (m)	3000>
	3000-5000
	5000-10000
	10000<
(f) Yol ve demiryolundan uzaklık (m)	100-1000
	1000-3000
	3000-5000
	5000-10000
	10000<



Şekil 4: Çalışma için genel metodoloji.

Tablo 2: RI çizelge değerleri [20].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59



Şekil 5: Çalışma alanı için belirlenen kriterlerin uygunluğunun CBS ile değerlendirilmesi.

### 2.3.2 Arazi kullanımı

Çalışmada arazi kullanımı kriteri sadece marjinal tarım arazileri ve mera arazileri için seçilmiştir. Çünkü tarım arazilerinin 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı kanununa göre vasıfları değiştirilemez. Ancak mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri ve dikili tarım arazileri dışında kalan, toprak ve topoğrafik sınırlamaları nedeniyle üzerinde sadece geleneksel toprak işlemeli tarımın yapıldığı araziler olan marjinal tarım arazileri, yerel önemi olan ve kullanım kararlarının yerel ihtiyaçlara göre belirlendiği araziler olduğu için bu tür yatırımlar için tahsis edilebilmektedir. Yine aynı şekilde mera alanları da bu kapsamda değerlendirilebilmektedir. Çalışmada marjinal tarım arazileri dışında kalan tarım arazileri ile orman arazileri ve çevre koruma alanları kısıtlanmış bölgeler içine alınmıştır. Arazi kullanım haritası Şekil 5'te gösterilmiştir. Çalışmada uygun alanlar için AHP yöntemi ile ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

### 2.3.3 Eğim

Eğim güneş santralleri kurulumu için önemli bir faktördür. Uygun tesis alanları için eğimin %3'ten küçük olması istenmektedir [24]. Eğim dört alt kritere bölünmüştür. %1'den az eğimli olan alanlar 1 olarak, %1-2 arası eğimli alanlar 2 olarak, %2-3 arası eğimli alanlar 3 olarak ve %3'ten büyük eğimli alanlar ise 4 olarak puanlanmıştır (Şekil 5). Çalışmada ayrı ayrı tüm bölgeler için AHP yöntemi ile ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

### 2.3.4 Trafo merkezine uzaklık

İlçede 2 adet trafo merkezi mevcuttur. Trafo merkezine uzaklık ekonomik yönden önemli bir faktördür. Merkezden uzaklaştıkça üretilen elektriğin merkezlere aktarımı daha maliyetli olacaktır. Çalışmalarda tesis kurulacak alanların trafo merkezlerine uzaklığının 10 km'yi geçmesi istenilen bir durum değildir. Çalışmada, trafo merkezinden uzaklığın 3000 m'den küçük olduğu uzaklıklar 1 olarak, 3000-5000 m arası uzaklıklar 2 olarak, 5000-10000 m arası uzaklıklar 3 olarak ve 10000 m'den daha fazla olan uzaklıklar ise 4 olarak puanlanmıştır (Şekil 5). Çalışmada ayrı ayrı tüm bölgeler için AHP yöntemi ile ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

### 2.3.5 İletim hatlarından uzaklık

Trafo merkezleri gibi iletim hatlarına olan uzaklıkta ilk tesis maliyetleri için önemli bir kriterdir. Çalışmada, iletim hatlarından uzaklığın 3000 m'den küçük olduğu uzaklıklar 1 olarak, 3000-5000 m arası uzaklıklar 2 olarak, 5000-10000 m arası uzaklıklar 3 olarak ve 10000 m'den daha fazla olan uzaklıklar ise 4 olarak puanlanmıştır (Şekil 5). Çalışmada ayrı ayrı tüm bölgeler için AHP yöntemi ile ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

### 2.3.6 Yol ve demiryollarından uzaklık

Bir güneş santralının yola yakınlığı da bir ekonomik kriter olarak kabul edilebilir. Yeni kurulacak bir tesisin yollara yakınlığı alt yapı çalışmaları için ek maliyetleri engeller ve çevre arazilerin de yeni ulaşım yolları kurulmasından dolayı zarar görmesini engeller. Bu çalışmada yola, 100-1000 m uzaklık 1 olarak, 1000-3000 m uzaklık 2 olarak, 3000-5000 m uzaklık 3 olarak, 5000-10000 m uzaklık 4 olarak ve 10000 m'den daha fazla uzaklık 5 olarak puanlanmıştır (Şekil 5). Ayrı ayrı tüm tampon bölgeler AHP ile ağırlıklandırılmıştır.

## 3 Analiz sonuçları

Çalışmada güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi için ÇKKV yöntemleri ile CBS'nin birlikte kullanımına odaklanılmıştır. ÇKKV yöntemlerinden birisi olan AHP yöntemi ile yer seçimi işlemi için kullanılacak kriterlerin ikili karşılaştırmalar ile ağırlıkları ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu yöntemle ağırlıkların belirlenmesi oldukça sağlıklı sonuçlar vermektedir. Her bir kriter ve alt kriterlerin ağırlıkları Microsoft Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama işlemi için altı kriter ve yirmi üç tane alt kriter kullanılmıştır. Ana kriterler için ikili karşılaştırmalar matrisi Tablo 4'te verilmiştir. Bu matris güneş enerjisi santralleri için yer seçimi konusunda çalışmalarda bulunmuş özel sektör temsilcileri ile Konya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ÇED şube Müdürlüğü'nde görevli uzmanlarca yapılan görüşmeler ile oluşturulmuştur.

AHP yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıkları yerleşim alanlarından uzaklık için %5, arazi kullanımı için %39, Eğim için %4, Trafo merkezine uzaklık için %21, iletim hatlarından uzaklık için %21 ve yol ve demiryollarına uzaklık için %10 olarak hesaplanmıştır (Tablo 5). Ana kriterler için yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu tutarlılık oranı (CR) 0.083 olarak hesaplanmıştır. CR değerinin 0.10'dan küçük olması güvenilirliğin bir kanıtı olduğuna göre elde ettiğimiz sonuçların güvenilir olduğundan bahsedebiliriz. Tabloya göre en önemli kriter %39 ile arazi kullanımı olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kısıtlanmış alanlar uygulamaya alınmamıştır. Bu alanlardan en fazlasını tarım alanları kapsamaktadır. Çumra ilçesi Türkiye'nin en verimli arazilerinin bulunduğu bir bölgedir. Tarım alanlarından yalnızca marjinal araziler ve meralar uygulama için kullanılacak alanlar olarak belirlenmiştir.

Belirlenen ağırlıklar daha önce CBS ortamında düzenlenen verilerle birleştirilmiştir. ArcGIS yazılımının Mekânsal Analiz modülü kullanılarak ağırlıklandırılmış bindirme işlemi sonucu güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu için en uygun alanlar belirlenmiştir. Çalışma için yazılımın model builder fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 6).

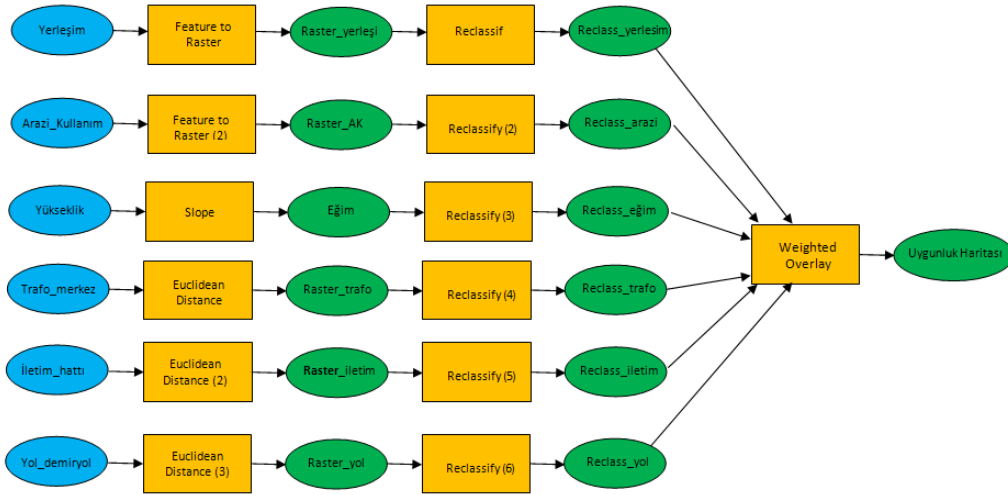
Çumra ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanlar için uygunluk haritası CBS ile AHP metodu birleştirilerek oluşturulmuştur (Şekil 7). Çalışma alanının genel özelliklerine göre seçilen kriterler AHP ile elde edilmiş ağırlık değerleri kullanılarak ArcGIS yazılımı ile birleştirilmiş ve güneş enerjisi santrali kurulumuna uygun alanlar tespit edilmiştir. Uygunluk haritası "düşük uygunluk", "orta uygunluk" ve "yüksek uygunluk" olarak üç kategoriye ayrılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanının 2685 ha'lık bir alanı güneş enerjisi santrali kurulması için oldukça uygun bir alandır. Ancak bu değer çalışma alanının yalnızca %1.5 gibi bir kısmını kapsamaktadır. Çalışma alanının %26'lık bir kısmı orta uygunlukta ve %11'lik bir kısmı ise düşük uygunlukta. Çalışma alanının %62'lik kısmı güneş enerjisi santrali kurulması için kesinlikle uygun değildir. Uygun olmayan alanların bu kadar yüksek olmasının sebebi bölgenin tarımsal açıdan oldukça verimli arazilerinin oldukça geniş bir alanı kapsamamasından kaynaklanmaktadır.

## 4 Tartışma

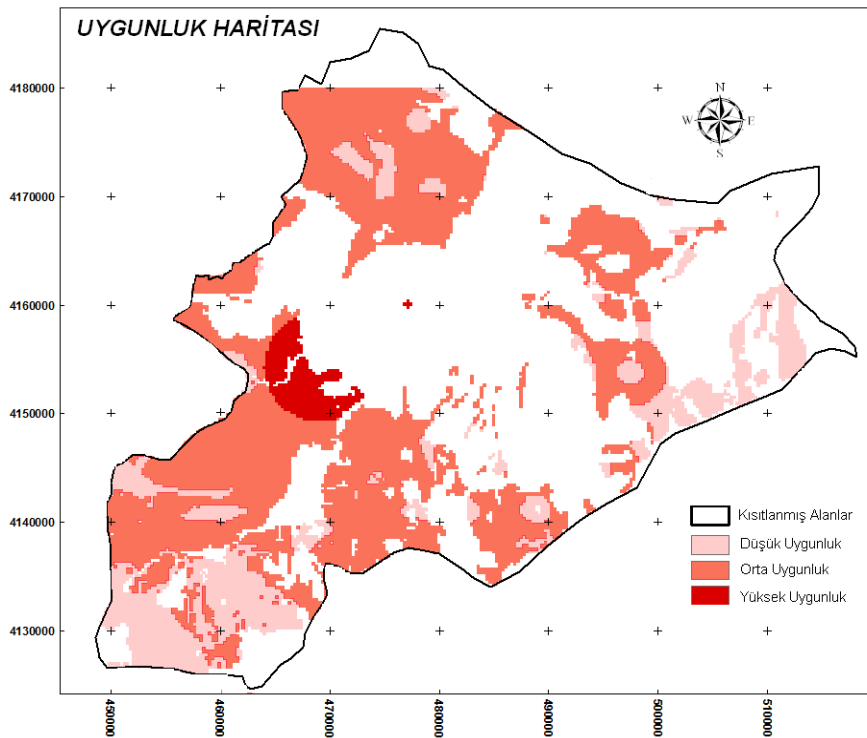
Hızlı ve en uygun kararların alınmasında CBS tabanlı ÇKKV yöntemleri, yer seçimi çalışmaları için önemli bir karar destek mekanizmasıdır. Yöntemler ne kadar güçlü olursa olsun

sonucu etkileyen en önemli konu, olaya etki eden kriterlerin doğru bir biçimde belirlenmesidir. Genellikle uzman görüşleri ile değerlendirilen ve sübjektif yargılardan dolayı hatalı sonuçların ortaya çıkmasının muhtemel olduğu kriterler ne kadar doğru tespit edilirse sonuçlar da o derece doğru değerlendirilebilir. Literatürde güneş enerji santralleri yer seçimi ile ilgili ÇKKV yöntemleri ve CBS sistemlerinin entegrasyonu ile yapılmış pek çok çalışma mevcuttur [25]-[29]. Bu çalışmalarda yer seçimine etki eden pek çok kriter tanımlanmıştır. Ancak bu kriterlerden bazıları birbirinden farklıdır. Bu durum çalışma alanlarının topoğrafik, iklim, jeolojik, ulaşım gibi şartlar açısından birbirinden farklı özellikler göstermesinden dolayıdır. Çalışmamızda, daha önce yapılan çalışmalar da örnek alınarak pek çok kriter benzer

şekilde değerlendirilmiştir. Ancak bazı kriterler de değerlendirilmeye alınmamıştır. Bunun nedeni ilgili kriterlerin çalışmanın sonucunu etkilemeyecek derecede olmasından kaynaklanmaktadır. CBS tabanlı ÇKKV yöntemleri ile yapılan yer seçimi çalışmalarında kriterler konuyla ilgili uzman kişilerce değerlendirilmelidir. Çünkü giriş verilerinin hassasiyeti sonuca doğrudan etki eder. Çalışmamızda kullanılan kriterler, yer seçimi konusunda çalışmalarda bulunmuş özel sektör temsilcileri ile Konya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ÇED şube Müdürlüğü'nde görevli uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları yine bu uzmanlarca incelenmiş ve belirlenen alanların güvenilirliği teyit edilmiştir.



Şekil 6: Yer seçimi akış diyagramı.



Şekil 7: Güneş enerjisi santrali yer seçimi için uygunluk haritası.

Tablo 4: Ana kriterler için oluşturulmuş ikili karşılaştırmalar matrisi.

Ana Kriterler	a	b	c	d	e	f
a	1.000	5.000	0.333	7.000	7.000	3.000
b	0.200	1.000	0.143	3.000	3.000	1.000
c	3.000	7.000	1.000	7.000	7.000	3.000
d	0.143	0.333	0.143	1.000	1.000	0.200
e	0.143	0.333	0.143	1.000	1.000	0.200
f	0.333	1.000	0.333	5.000	5.000	1.000
<b>Toplam</b>	<b>20.000</b>	<b>2.210</b>	<b>24.000</b>	<b>5.600</b>	<b>5.600</b>	<b>16.533</b>

(a): Yerleşim alanlarından uzaklık, (b): Arazi Kullanımı, (c): Eğitim, (d): Trafo merkezine uzaklık, (e): İletim hatlarından uzaklık, (f): Yol ve demiryollarından uzaklık.

Tablo 5: Ana kriterler için oluşturulmuş normailize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi.

Ana Kriterler	a	b	c	d	e	f	Öncelik Vektörü	Ağırlık %
a	0.050	0.091	0.042	0.036	0.036	0.020	0.046	5
b	0.250	0.453	0.292	0.536	0.536	0.302	0.395	39
c	0.050	0.065	0.042	0.036	0.036	0.012	0.040	4
d	0.250	0.151	0.208	0.179	0.179	0.302	0.211	21
e	0.250	0.151	0.208	0.179	0.179	0.302	0.211	21
f	0.150	0.091	0.208	0.036	0.036	0.060	0.097	10

## 5 Sonuçlar

ÇKKV yöntemleri ve CBS yer seçimi çalışmalarında birçok alternatif arasından en iyi tercihin seçilmesine imkân sağlayan bir araçtır. ÇKKV yöntemleri arasında en çok kullanılan ve tercih edilen AHP yöntemi ise bunların arasında en güvenilir yöntemlerden biridir. Çalışmada Konya ili Çumra ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların belirlenebilmesi amacıyla bir ÇKKV modeli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrudan seçilen kriterler ile ilişkilidir. Güneş santralleri yatırımlarının ilk tesis maliyetleri oldukça yüksek olduğundan kriterlerin konu hakkında uzman kişilerce oluşturulması çalışmanın doğruluğu açısından büyük önem taşır. CBS farklı kriterlerin birleştirilerek kullanıcıya sunulmasında oldukça gelişmiş yazılımlardır.

## 6 Kaynaklar

- [1] Uyan M. "GIS-Based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey". *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17, 2013.
- [2] Minelli A, Marchesini I, Taylor FE, De Rosa P, Casagrande L, Cenci M. "An open source GIS tool to quantify the visual impact of wind turbines and photovoltaic panels". *Environmental Impact Assessment Review*, 49, 70-78, 2014.
- [3] Lee AHI, Lin CY, Kang HY, Lee WH. "An integrated performance evaluation model for the photovoltaics industry". *Energies*, 5, 1271-1291, 2012.
- [4] Yue CD, Chen CS, Lee YC. "Integration of optimal combinations of renewable energy sources into the energy supply of Wang-An Island". *Renewable Energy*, 86, 930-942, 2016.
- [5] Arnold U, Yıldız Ö. "Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures-A Monte Carlo Simulation approach". *Renewable Energy*, 77, 227-239, 2015.

- [6] Cheng-Wei, C, Chien-Yao L, Kun-Hung C, Yaow-Ming C. "Modeling and controller design of a semiisolated multiinput converter for a hybrid PV/Wind power charger system". *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(9), 4843-4853, 2015.
- [7] Mondino EB, Fabrizio E, Chiabrando R. "Site selection of large ground-mounted photovoltaic plants: A GIS decision support system and an application to Italy". *International Journal of Green Energy*, 12(5), 515-525, 2015.
- [8] Topcu C, Yünsel DT. "Yenilenebilir Enerji Raporu". <http://www.cka.org.tr/dosyalar/enerji.pdf> (19.01.2016).
- [9] Erol İ, Sencer S, Ozmen A, Searcy C. "Fuzzy MCDM framework for locating a nuclear power plant in Turkey". *Energy Policy*, 67, 186-197, 2014.
- [10] Wu Y, Geng S. "Multi-criteria decision making on selection of solar-wind hybrid power station location: A case of China". *Energy Conversion and Management*, 81, 527-533, 2014.
- [11] Khan D, Samadder SR. "A simplified multi-criteria evaluation model for landfill site ranking and selection based on AHP and GIS". *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 23(4), 267-278, 2015.
- [12] Guo S, Zhao H. "Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective". *Applied Energy*, 158, 390-402, 2015.
- [13] Xu JP, Song XL, Wu YM, Zeng ZQ. "GIS-modelling based coal-fired power plant site identification and selection". *Applied Energy*, 159, 520-539, 2015.
- [14] Chen, K, Blong R, Jacobson C. "MCE-RISK: Integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards". *Environmental Modelling & Software*, 16(4), 387-397, 2001.
- [15] Tapur T, Tuncer B. "Çumra ilçesinde kırsal yerleşmeler". *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27, 277-295, 2012.



- [16] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. "Güneş Potansiyel Atlası". <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/42.aspx> (22.01.2016).
- [17] Uyan, M. Arazi Düzenlemesi Çalışmalarında Mekansal Karar Destek Sistemleri Kurulumu ve Uygulaması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2011.
- [18] Kazakis N, Kougias I, Patsialis T. "Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope-Evros region, Greece". *Science of the Total Environment*, 538, 555-563, 2015.
- [19] Cay T, Uyan M. "Evaluation of reallocation criteria in land consolidation studies using the Analytic Hierarchy Process (AHP)". *Land Use Policy*, 30(1), 541-548, 2013.
- [20] Saaty TL. "How to make a decision: the analytic hierarchy process". *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26, 1990.
- [21] Tahri M, Hakdaoui M, Maanan M. "The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco". *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 51, 1354-1362, 2015.
- [22] Watson JJW, Hudson MD. "Regional scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation". *Landscape and Urban Planning*, 138, 20-31, 2015.
- [23] Sanchez-Lozano JM, Teruel-Solano J, Soto-Elvira PL, Garcia-Cascales MS. "Geographical information systems (GIS) and multi-criteria decision making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain". *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 24, 544-556, 2013.
- [24] Hang, Q, Jun Z, Xiao Y, Junkui C. "Prospect of concentrating solar power in China-the sustainable future". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2505-2514, 2008.
- [25] Effat, HA. "Selection of potential sites for solar energy farms in ismailia governorate, egypt using SRTM and multicriteria analysis". *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 2(1), 205-220, 2013.
- [26] Suh J, Brownson JRS. "Solar farm suitability using geographic information system fuzzy sets and analytic hierarchy processes: Case study of Ulleung Island, Korea". *Energies*, 9(8), 648-671, 2016.
- [27] Yun-na, W, Yi-sheng Y, Tian-tian F, Li-na K, Wei L, Luo-jie F. "Macro-site selection of wind/solar hybrid power station based on Ideal Matter-Element Model". *Electrical Power and Energy Systems*, 50, 76-84, 2013.
- [28] Lozano, JMS, Solano JT, Elvira PLS, Cascales MSG. "Geographical information systems (GIS) and Multi-criteria decision making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 544-556, 2013.
- [29] Janke JR. "Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado". *Renewable Energy*, 35(10), 2228-2234, 2010.