

Güneş Enerjisi Santrali Kuruluş Yerinin AHS ve VIKOR Yöntemlerine Dayalı Bütünleşik Yaklaşım ile Değerlendirilmesi

Bülent ÖZDEMİR¹, Burcu ÖZCAN¹, Zerrin ALADAĞ^{1*}

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

(Alınış / Received: 23.03.2017, Kabul / Accepted: 22.08.2017, Online Yayınlanma/ Published Online: 29.08.2017)

Anahtar Kelimeler

Yenilenebilir enerji,
Güneş enerjisi santrali,
Çok Kriterli Karar Verme,
Analitik Hiyerarşi Süreci,
VIKOR

Öz: Enerji, insanlığın varoluşu ile ortaya çıkan ve gün geçtikçe artan bir ihtiyaçtır. Özellikle 19. Yüzyılda gerçekleşen Endüstri Devrimi sonrasındaki sanayileşme süreciyle enerjiye olan talep katlanarak artmaya devam etmiştir. Enerji ihtiyacının çok büyük bir bölümünün yenilenemeyen enerji kaynakları ile karşılanması sonucunda, özellikle fosil kaynaklı yakıtlarda darboğazlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu durumun sonucu olarak da Güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle, dalga gibi yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarına yönelik kaçınılmaz hale gelmiştir. Yenilenebilir enerji yatırımlardan en yüksek getiriye sağlayabilmek ve yatırımın geri dönüş süresini en aza indirebilmek için atılması gereken ilk ve en önemli adım, kuruluş yerine doğru karar vermekle başlamaktadır. Kuruluş yeri alternatifleri ve yatırım için gerekli kriterlerin sayısı arttıkça, en doğru kuruluş yerine karar verebilmek de giderek daha karmaşık bir hale gelecektir. Bu çalışmada, Türkiye’de kurulması düşünülen bir Güneş Enerjisi Santrali (GES) için, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri kullanılarak mevcut alternatif iller içerisinde en doğru kuruluş yerinin seçilmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla birinci aşamada Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile kriterlere ait ağırlık değerleri hesaplanmış, ikinci aşamada ise Vise Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemi ile belirlenmiş olan alternatiflerin üstünlük derecelerine göre sıralanması sağlanarak uzlaşık çözüm elde edilmiştir.

Evaluation of Solar Power Plant Facility Location with an Integrated Approach Based on AHP and VIKOR Methods

Keywords

Renewable energy,
Solar power plant,
Multi Criteria Decision
Making,
Analytic Hierarchy Process,
VIKOR

Abstract: Energy is a necessity that begins with the existence of humanity and grows day by day. The demand for energies continued to increase exponentially with the industrialization process especially after the 19th Century Industrial Revolution. As a large part of the energy needs is met by non-renewable energy sources, bottlenecks have begun to emerge, especially in fossil fuels. Because of this situation, renewable and alternative energy sources such as the sun, wind, geothermal, biomass, and wave have become inevitable. The first and most important step to be taken in order to ensure the highest return on renewable energy investments and to reduce the investment return process is to make the right decision the location of facility. As the number of alternatives and the number of criteria required for investment increase, it becomes increasingly difficult to decide the most appropriate organization. In this study, it was aimed to select the most suitable installation place from existing alternatives by using Multi Criteria Decision Making (MCDM) techniques of a Solar Power Plant (SPP), which is considered to be established in Turkey. For this purpose, the weight values of the criteria were determined with the Analytical Hierarchy Process (AHP) method and then the solutions determined by the Vise Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje (VIKOR) method were ranked according to their superiority ratings.

1. Giriş

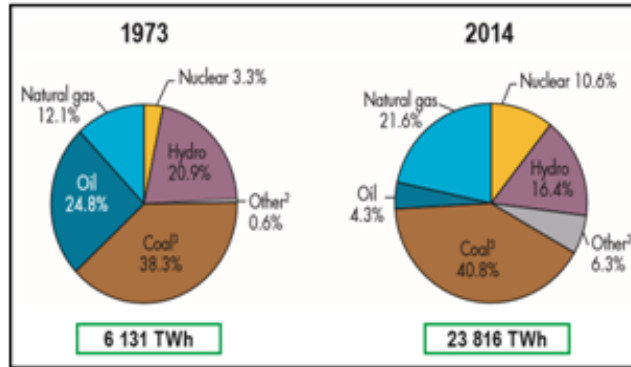
Küresel anlamda enerjiye olan ihtiyaç, nüfus artışı ve kentleşme hızına paralel olarak her geçen gün katlanarak artmakta, buna bağlı olarak da fosil kökenli enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Bu hızlı tükeniş karşısında yeterli farkındalık yaratılmayıp gerekli önlemler alınamazsa, küresel bir enerji krizi kaçınılmaz hale gelecektir. Amerika'da yapılan bir araştırmaya göre 2050 yılına kadar insanlığı bekleyen 10 büyük darboğaz, tehdidin büyüklük derecesine göre Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu araştırmaya göre insanlığı küresel anlamda etkileyecek en büyük tehdit enerji darboğazıdır. Bu sorunla mücadele edebilmenin en kolay, ucuz ve temiz yolu ise yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektir.



Şekil 1. İnsanlığı bekleyen 10 büyük darboğaz [1]

1.1. Küresel Elektrik Üretimi

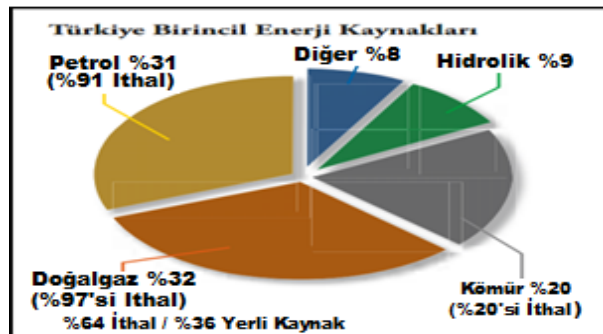
Çeşitli dönüşümler sonucunda üretilen elektrik enerjisi, insanlığın vazgeçilmez ve en önemli ihtiyaçlarından birisidir. Teknolojinin gelişimi ve modern hayatın gereksinimleri doğrultusunda elektrik enerjisine olan ihtiyaç da katlanarak artmaktadır. Şekil 2'deki grafiklerde, küresel elektrik enerjisi üretiminde kullanılan birincil enerji kaynaklarının 1973 yılından 2014 yılına kadar olan süredeki değişimi ve elektrik enerjisi ihtiyacındaki artış miktarı görülmektedir. Bu veriler incelendiğinde, 1973 yılından 2014 yılına kadar olan süreç içerisinde küresel elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık 4 kat artmış olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Küresel elektrik arzındaki değişim [2]

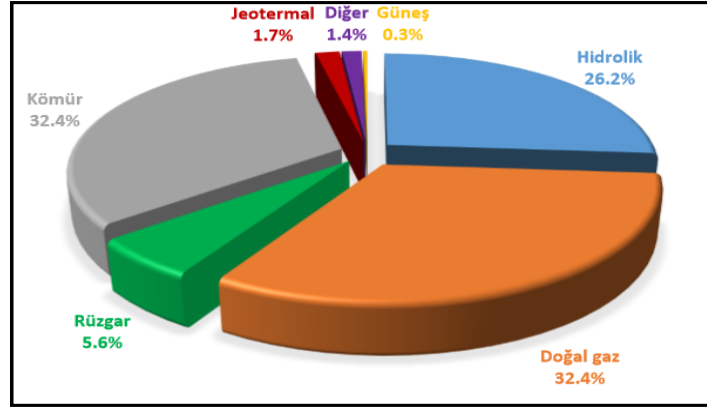
1.2. Türkiye'nin Birincil Enerji Kaynak Potansiyeli ve Elektrik Enerjisi Üretimi

Türkiye, fosil kaynaklı enerji potansiyeli açısından oldukça sınırlı öz kaynaklara sahiptir. Şekil 3'deki "Türkiye'nin birincil enerji kaynak temini" grafiğinden görüleceği üzere petrolün %93'ü, doğalgazın ise %97'si ithalat yoluyla temin edilmektedir.



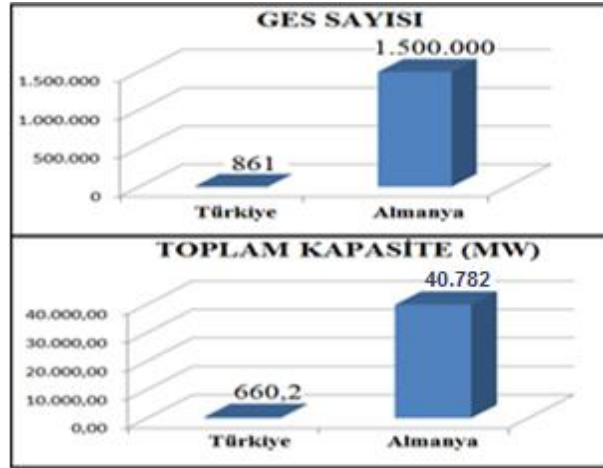
Şekil 3. Türkiye'nin birincil enerji kaynak temini [3]

Şekil 4'deki "Türkiye'nin elektrik üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı" grafiğine göre elektrik üretiminin yaklaşık %65'inin, neredeyse tamamına yakını ithalat yoluyla temin edilen fosil kökenli birincil enerji kaynakları ile üretilmekte olduğu görülmektedir. Bu durum ise Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına verdiği önemi arttırmasının aciliyetini ve önceliğini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Türkiye'nin elektrik üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı [4]

Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük potansiyele sahiptir. Kuruluş yeri etüdü doğru yapılmış bir GES yoluyla; yapılacak olan yatırımdan yüksek faydalar sağlayabilmek mümkündür. Güneş enerjisi ile elektrik üretimi, aynı zamanda çevreye zarar vermeyen bir enerji dönüşümü yöntemidir. Bu yöntem son yıllarda cazibesini giderek arttırmakta ve özellikle gelişmiş ülkelerdeki yatırımcıların ilgi odağı haline gelmektedir. Türkiye, Yıllık ortalama güneşlenme süreleri açısından çoğu gelişmiş ülkeye oranla oldukça şanslı bir coğrafyada bulunmasına rağmen bu kapasiteyi gerektiği kadar etkin bir şekilde kullanamamaktadır. 2016 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla Türkiye'de 660,2 MW toplam kurulu güce sahip 861 lisanssız GES işletmedir [4]. Oysa yıllık ortalama güneşlenme süresi Türkiye'den 1,7 kat daha az olan Almanya, 2016 Kasım ayı itibarı ile kurulu 1,5 milyon GES'in sahip olduğu 40.782 MW elektrik üretim kapasitesine sahiptir [5]. Türkiye ve Almanya'nın GES sayıları ve toplam elektrik üretim kapasiteleri karşılaştırması Şekil 5'deki grafikte görülmektedir.



Şekil 5. Türkiye ve Almanya'nın GES sayıları ve kapasiteleri

GES yatırımı için en önemli kriter, kuruluş yeri seçiminin doğru yapılmasıdır. Doğru yere kurulacak olan bir GES sayesinde hem yapılmış olan yatırımın geri dönüş süresini kısaltacak, hem de tesisin işletme ömrü boyunca düzenli ve yüksek kar akışına sahip olmasını sağlayacaktır.

1.3. Literatür Araştırması

Yenilenebilir enerji kapsamında pek çok çalışma mevcuttur. KILIÇ (2011), Türkiye'nin yedi bölgesindeki yedi ayrı ili rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyeli kapsamında değerlendirmiştir [6]. ŞENGÜL, TAN, ATAK ve ŞENGÜL (2014), Gökçeada'daki yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelini su, jeotermal, rüzgâr, güneş ve biyoyakıt enerjileri açısından incelemiştir [7]. ARSLAN (2016), Manisa ilinin yenilenebilir enerji potansiyelini rüzgâr, güneş, jeotermal, hidroelektrik ve biyokütle enerjileri kapsamında değerlendirmiş ve yenilenebilir enerji konusundaki teşviklerin arttırılması gerektiğine dikkat çekmiştir[8]. YILMAZ ve HOTUNLUOĞLU (2015)

yaptıkları çalışmada, Türkiye’de enerji ile ilgili kanunları ve yenilenebilir enerjiye verilen teşvikleri incelemiştir [9]. WIMMLER, HEJAZI, FERNANDES, MOREIRA, ve CONNORS (2015) çalışmalarında çok kriterli karar destek yöntemlerini adalardaki yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde incelemiştir[10].

Çok kriterli karar verme teknikleri ile yapılmış olan kuruluş yerine karar verme çalışmaları da oldukça yaygındır. BAŞKAYA ve ÖZTÜRK (2011), yaptıkları çalışmada bir alışveriş merkezi zincirine dâhil edilecek olan yeni bir mağazanın kuruluş yeri seçim problemini bulanık AHS ile değerlendirerek, üç aday mağaza arasından karar verici tarafından belirlenen kriterler doğrultusunda en uygun yeri belirlemiştir[11]. ELEREN (2010) çalışmasında, deri sektöründe kuruluş yeri seçimini AHP yöntemi ile belirlemiştir [12]. ÖMÜRBEK, ÜSTÜNDAĞ ve HELVACIOĞLU (2014)’nun yaptıkları çalışmada AHS yöntemi ile Isparta ilinde hayvancılık yapılabilecek alanların değerlendirilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir[13]. ERDİN (2013), AHS yöntemi ile mobilya sektöründe kuruluş yeri seçimi için örnek bir çalışma oluşturmuştur [14].

Bütünleşik yöntemin yenilenebilir enerji alanına uygulandığı çalışmalardan birisi de SAEEDPOOR ve VAFADARNİKJOO (2015)’nun yaptıkları çalışmadır. Çalışmalarında, AHS ve VIKOR bütünleşik metodolojisini uygulayarak İstanbul için yenilenebilir enerji kuruluş yeri değerlendirmesi yapmışlar ve sonuç olarak rüzgâr türbinleri kurulumu için en uygun yerin Çatalca bölgesi olduğu sonucuna ulaşmışlardır [15]. Bir diğer çalışmada ise ERTAY, KAHRAMAN ve KAYA (2010), Macbeth ve bulanık AHS yöntemlerini birlikte kullanarak güneş, rüzgâr, su ve jeotermal enerji alternatiflerini Türkiye’deki mevcut potansiyel açısından değerlendirmişlerdir [16]. Bu konuda yapılan çalışmalar, genellikle önceden belirlenmiş olan bir bölgede hangi yenilenebilir enerji kaynağının tercih edilmesine yöneliktir.

Bu çalışma, Türkiye’de kurulması düşünülen bir GES kuruluş yerinin AHS ve VIKOR yöntemleri ile tespitine yönelik bir uygulama sunmaktadır. Bu kapsamda Türkiye’nin değişik coğrafi bölgelerinden seçilmiş olan 13 il, tespit edilmiş olan 5 ayrı kritere göre birbirleri arasında mukayese edilmiştir. Bu çalışmanın GES yatırımcılarına ve yenilenebilir enerji araştırmacılarına yol gösterici olması amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

GES kuruluş yeri tercihinin etki edecek pek çok kriter mevcut olmasına rağmen, karar verme değerlendirmesinde en önemli kriter şüphesiz ki seçilecek bölgenin yıllık ortalama güneşlenme süreleridir. Kriter sayısı (n) arttıkça, mevcut alternatifler arasından en doğru kararı verebilmek de karmaşık bir hale gelmektedir. GES’lere ait tüm kriterler arasında yapılan inceleme sonucunda değerlendirilme kapsamına alınacak olan en önemli beş kriter belirlenmiş ve Tablo 1’de listelenmiştir.

Tablo 1. GES Kuruluş Yeri için Belirlenmiş Olan Kriterler

Kriter No.	Kriter Adı
1	Elektrik enerjisi üretebilme kapasiteleri
2	Arazi metrekare birim fiyatları
3	Terör eylemi olmama ihtimali
4	Depremsellik
5	GES sanayisine yakınlık

GES kuruluş yeri kapsamında belirlenmiş olan kriterlere göre değerlendirilecek olan alternatif iller ise Tablo 2’de listelenmiştir.

Tablo 2. Değerlendirilmeye Alınacak Alternatif İller

Alternatif No.	Alternatif İller
1	Van
2	Malatya
3	İstanbul
4	Kayseri
5	Antalya
6	Konya
7	Aksaray
8	Kocaeli
9	Burdur
10	Nevşehir
11	Adana
12	Denizli
13	Sinop

Bu çalışma kapsamında öncelikle AHS yöntemi ile belirlenmiş olan kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması, daha sonra ise kriter ağırlıkları referans alınarak VIKOR yöntemi ile alternatiflerin birbirlerine göre öncelik derecelerinin belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilecektir.

2.1. AHS Yöntemi

AHS, 1970'li yıllarda Wharton School of Business'da Thomas L. Saaty tarafından, karmaşık çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir. Tüm kriterler ile ilgili göreceli önem derecelerinin belirlenmesinde karar vericinin görüşlerine ihtiyaç duyan bir tekniktir. Karar vericiler kriterleri ve alt kriterleri Saaty'nin 1-9 ölçeği kullanarak karşılaştırırlar. Böylece; karar alternatifleri için kriter ağırlıkları baz alınarak öncelik yapısı elde edilir. AHS yönteminin özellikleri aşağıdaki gibidir [17]:

- Problemin etki yönü sadece yukarıdan aşağıya doğrudur.
- Kriterler ve alt kriterlerin önem dereceleri belirlenerek çok boyutlu problem tek boyuta indirgenir.
- Kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapar, kantitatif ve kalitatif performansın ölçülmesinde kullanılan sayısal ölçeğin kalibrasyonunu gerçekleştirir.
- Çok bireyli, çok kriterli, karmaşık ve çok periyotlu problemlerin hiyerarşik yapıları oluşturulabilir.
- Süreç tamamen karar vericilerin kişisel yargılarına dayanmaktadır.
- Tüm kriterler görecelidir ve bu kriterler için kesin ölçü değerleri atanmamaktadır.
- Kriterler hiyerarşik olduğu için sürece sonradan yeni bir kriter eklendiğinde tüm süreç yeniden düzenlenmelidir.
- Aynı seviyede olan kriterler birbirlerinden etkilenmezler, birbirlerinden bağımsızdırlar.
- Amaç dikkate alınarak birinci kriter ile ikinci kriter arasında hangisinin daha önemli olduğuna yanıt aranır.

2.1.1. AHS Karşılaştırma Ölçeği

AHS yönteminde kriterler ve alternatifler ikili karşılaştırma ölçeği kullanılarak önem derecelerine göre karşılaştırılır. Bu karşılaştırma ile birbirlerine karşı olan üstünlük veya eşitlik tercihleri tespit edilir. Tablo 3'de AHS ikili karşılaştırma ölçeklerinde kullanılan numaralandırmaların anlamları açıklanmıştır.

Tablo 3. İkili Karşılaştırma Ölçeği [17]

Önem Derecesi	Değer Tanımları	Açıklaması
1	Eşit Önemli	Her iki faaliyet amaca eşit katkıda bulunur.
3	Orta Önemli (Az Üstünlük)	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre biraz daha tercih edilir.
5	Güçlü Önemde (Fazla Üstünlük)	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre çok daha tercih edilir.
7	Çok Güçlü Önemde (Çok Üstünlük)	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü şekilde tercih edilir.
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)	Bir faaliyet diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2, 4, 6, 8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)	Bir değerlendirmeyi yapmakta sözler yetersiz kalıyorsa, sayısal değerlerin ortasındaki bir değer verilir.

2.1.2. AHS Yönteminin Uygulama Aşamaları

AHS Yöntemi aşamaları aşağıda sıralanmıştır [17].

- Adım 1. Problem tanımı ve problemin amacının belirlenmesi.

Adım 2. Amaca uygun olan ve bu amacın gerçekleştirilmesini sağlayacak karar kriterleri sıralanması.

Adım 3. Karar alternatifleri belirlenmesi.

Adım 4. Probleme ait hiyerarşik yapının kurulması.

Adım 5. Hiyerarşinin her seviyesi için kriterlerin ikili karşılaştırılması ve öz değer/öz vektörlerden yararlanarak kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi.

Adım 6. Kriterlere göre alternatiflerin ikili karşılaştırılması ve önceliklerinin hesaplanması.

Adım 7. Tutarlılık oranının hesaplanması.

Adım 8. Göreceli öncelik değerlerine göre alternatiflerin sıralanması.

Adım 9. Duyarlılık analizi yapılması.

Bu çalışma kapsamında AHS yöntemi ile sadece kriterlerin birbirleri ile karşılaştırılması ve bunun sonucunda da VIKOR yönteminde kullanılmak üzere kriter ağırlıklarının belirlenmesi kapsamında AHS yönteminden faydalanılacaktır.

Tablo 4'de belirlenmiş olan kriterlerin birbirleri ile karşılaştırma matrisi gösterilmiştir. Buradaki karşılaştırma, anket yöntemiyle GES yatırımcıları ve GES uzmanlarından elde edilen verilere göre yapılmıştır.

Tablo 4. Kriterlerin AHS Ölçeğine Göre Birbirleri ile Karşılaştırılması

Elektrik Üretim Kapasiteleri	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Arazi Metrekare Birim Fiyatları
Elektrik Üretim Kapasiteleri	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Deprem Olmama İhtimali
Elektrik Üretim Kapasiteleri	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Terör Eylemi Olmama İhtimali
Elektrik Üretim Kapasiteleri	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	GES Sanayisine Yakınlık
Arazi Metrekare Birim Fiyatları	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Deprem Olmama İhtimali
Arazi Metrekare Birim Fiyatları	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Terör Eylemi Olmama İhtimali
Arazi Metrekare Birim Fiyatları	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	GES Sanayisine Yakınlık
Deprem Olmama İhtimali	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Terör Eylemi Olmama İhtimali
Deprem Olmama İhtimali	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	GES Sanayisine Yakınlık
Terör Eylemi Olmama İhtimali	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	GES Sanayisine Yakınlık

Tablo 4'deki karşılaştırma işlemleri sonucunda elde edilen değerler, Tablo 5'deki ikili karşılaştırma matrisinde gösterilmiştir.

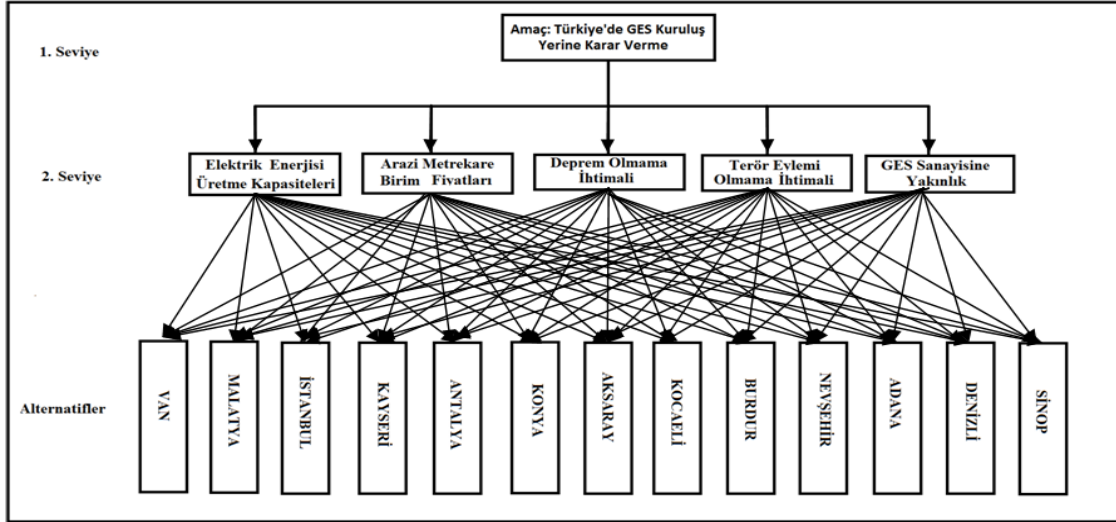
Tablo 5. İkili Karşılaştırma Matrisi

Kriterler	Elektrik Üretim Kapasitesi	Arazi m ² Fiyatları	Deprem İhtimali	Terör Olayı İhtimali	GES Sanayisine Yakınlık
Elektrik Üretim Kapasitesi	1	3	2	3	4
Arazi m ² Birim Fiyatları	0,33	1	0,5	0,5	1
Deprem Olmaması	0,5	2	1	2	2
Terör İhtimali	0,33	2	0,5	1	1
GES Sanayisine Yakınlık	0,25	1	0,5	1	1
TOPLAM	2,41	9	4,5	7,5	9

2.1.4. AHS Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHS yönteminin tercih edilmesinin sebebi, bu yöntemin subjektif ve sayısal olmayan verilerin değerlendirilebilmesine imkân verebiliyor olmasıdır.

AHS yönteminde kriterler ve alternatifler belirlendikten sonraki ilk adım, çözülecek problemin amacını, kriterlerini, alt kriterlerini ve alternatiflerini gösteren hiyerarşik yapısının oluşturulmasıdır. Kuruluş yeri seçimi probleminde ait hiyerarşik yapı Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Kuruluş yeri seçimi probleminde ait hiyerarşik yapı

Tablo 5'deki ikili karşılaştırma matrisinden elde edilen veriler sayesinde Tablo 6'daki sütunlararası normalizasyon değerlerinin hesaplanması; devamında da öncelikler vektörünün (A_j) belirlenmesi maksadıyla satır ortalamalarının hesaplanması işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Duyarlılık analizinin yapılabilmesi için ise, Tablo 5'deki ikili karşılaştırma matrisi ile Tablo 6'daki öncelikler vektörünün çarpılması suretiyle Tüm Öncelikler Matrisi (B_j) değerleri hesaplanmıştır. Özdeğerler (C_j) ise, Formül (1) yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanmış olan özdeğerlerin (C_j) ortalamasının alınması suretiyle En Büyük Özdeğer (λ_{max}) 5,068 olarak hesaplanmıştır.

$$C_j = \frac{B_j}{A_j} \quad (1)$$

Tüm bu hesaplanan değerler Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 6. Normalizasyon ve Öncelik Oranları Belirleme Matrisi

Kriterler	Elektrik Üretim Kapasiteleri	Arazi Metrekare Birim Fiyatları	Deprem Olmama İhtimali	Terör Eylemi Olmama İhtimali	GES Sanayisine Yakınlık	Öncelikler Vektörü (A_j)	Tüm Öncelikler Matrisi (B_j)	Özdeğer (C_j)(B_j/A_j)
Elektrik Enerjisi Üretim Kapasiteleri	0,415	0,333	0,444	0,400	0,444	0,41	2,056	5,047
Arazi Metrekare Birim Fiyatları	0,137	0,111	0,111	0,067	0,111	0,11	0,539	5,019
Deprem Olmama İhtimali	0,207	0,222	0,222	0,267	0,222	0,23	1,151	5,044
Terör Eylemi Olmama İhtimali	0,047	0,286	0,071	0,143	0,143	0,14	0,715	5,184
GES Sanayisine Yakınlık	0,104	0,111	0,111	0,133	0,111	0,11	0,575	5,044
						λ_{max} (Ortalama)		5,068

Uyum indeksi (CI) Formül (2) yardımıyla hesaplanmıştır:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1} = \frac{(5,068 - 5)}{5 - 1} = 0,017 \quad (2)$$

Formül (2)'deki (n), kriter sayısını sembolize etmektedir.

Kriter sayısına göre seçilmesi gereken rastgele indeks sayısını (RI) tavsiye eden birçok ölçek vardır. Bu çalışmada Tablo 7’de görülen Wharton Ölçeği tercih edilmiştir.

Tablo 7. Wharton Rastgele İndeks Tablosu[17]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Rastgele Değer İndeksi	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Wharton Ölçeği’ne göre karar kriterleri sayısı olan 5’e karşılık gelen rastgele indeks değeri 1,12’dir. Uyum oranı (CR) Formül (3) yardımıyla hesaplanmıştır:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,017}{1,12} = 0,015 \quad (3)$$

$CR < 0,1$ yani $0,015 < 0,1$ ’dir ve sonuç tutarlıdır.

Son adım ise belirlenmiş olan ağırlık değerlerinin listelenmesidir. Kuruluş yeri seçimi kapsamında belirlenmiş olan kriterlerin AHS yöntemi yardımıyla belirlenmiş ve duyarlılık analizi değerlendirmesini yapılmış olan ağırlık değerleri Tablo 8’de verilmiştir. Bu tablodan görüleceği üzere Elektrik Üretme Kapasiteleri kriteri, diğer 4 kriterin ağırlıkları toplamına yaklaşan bir öneme sahiptir. Bu sebeple alternatif sıralamasında yönlendirici ve baskın kriter olma özelliği taşımaktadır.

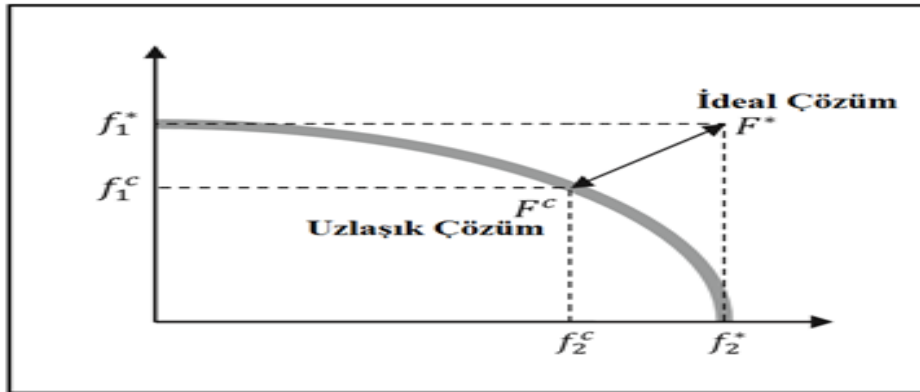
Tablo 8. Kriterlerin Ağırlık Değerleri Tablosu

Kriterler	Kriter Ağırlıkları
Elektrik Üretme Kapasiteleri	0,41
Arazi Metrekare Birim Fiyatları	0,11
Deprem Olmama İhtimali	0,23
Terör Eylemi Olmama İhtimali	0,14
GES Sanayisine Yakınlık	0,11

2.2. VIKOR Yöntemi

Çok kriterli karmaşık sistemlerin optimizasyonu için geliştirilmiş bir tekniktir. VIKOR yöntemi, birbirleri ile çelişkili kriterler olduğunda seçenekler arasında seçim ve sıralama yapmaya odaklı bir yöntemdir[18]. Opricovic tarafından 1998 yılında geliştirilmiştir. Uzlaşık çözüm prensibiyle hareket eder ve karar vericilerin son kararlarına ulaşmalarına yardımcı bir tekniktir.

Her seçeneğin her bir kriter fonksiyonuna göre değerlendirildiği varsayıldığında uzlaşık sıralama, her bir alternatifin ideal çözüme yakınlığı karşılaştırılarak oluşturulabilir. Şekil 7’de VIKOR yönteminin ideal ve uzlaşık çözüm aralığını gösteren grafik görülmektedir. Uzlaşık çözüm (F^c), ideal çözüm (F^*)’a en yakın çözümdür.



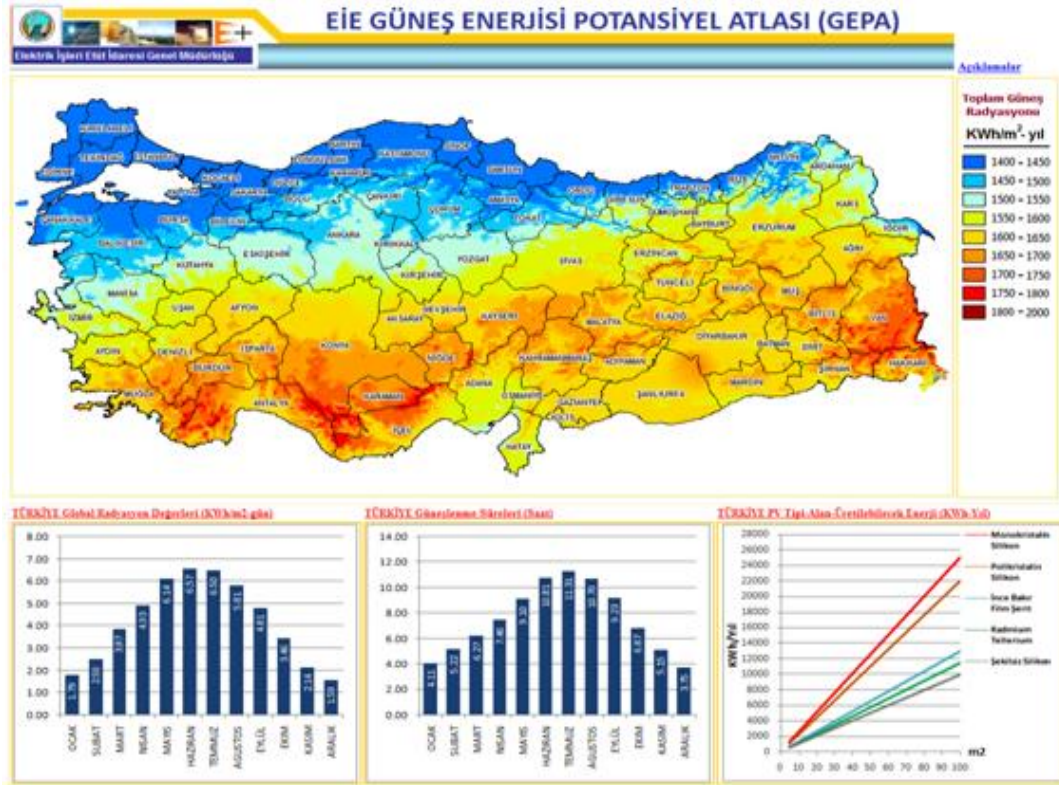
Şekil 7. İdeal ve Uzlaşık Çözüm Grafiği [17]

2.2.1. AHS Yönteminde Ağırlıklandırılacak Olan Kriterlerin Alternatiflere Göre Sayısallaştırılması

Bu bölümde GES kuruluş yerine karar verme problemi için belirlenmiş olan beş kriterin, tercih edilmiş olan 13 alternatif ile göre sayısallaştırılıp VIKOR yönteminde işlenebilir hale getirilme aşaması gerçekleştirilecektir.

2.2.1.1. Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretme Kapasiteleri Kriteri

Tablo 2’de listelenmiş olan alternatif illerin “Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretebilme” kapasitelerini belirlemek amacıyla Elektrik İşleri Etüt İdaresi’nden elde edilen bölgelere göre güneşlenme değerleri atlasından faydalanılmıştır. Güneş ışınım miktarları ve radyasyon değerleri kıstas alındığında, Şekil 8’de kırmızı renk ile gösterilmiş olan bölgeler; GES kurulmasına en uygun bölgelerdir. Bu bölgelerin yıllık ortalama güneşlenme değerleri, diğerlerine oranla daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.



Tablo 9’de, seçilmiş olan 13 ilde bir yılda üretilebilecek olan elektrik enerjisi miktarları (kWh/yıl) görülmektedir. Sadece elektrik enerjisi üretme kapasiteleri değerlendirildiğinde Van ve Antalya alternatifleri ön plana çıkmaktadır.

Tablo 9. Yıllık Üretilebilecek Elektrik Enerjisi Miktarları

Alternatif No.	Alternatif İller	Üretilebilecek Elektrik Enerjisi (kWh/yıl)
1	Van	26.900
2	Malatya	26.300
3	İstanbul	21.700
4	Kayseri	26.300
5	Antalya	26.800
6	Konya	26.500
7	Aksaray	26.000
8	Kocaeli	21.800
9	Burdur	26.200
10	Nevşehir	26.000
11	Adana	26.000
12	Denizli	26.200
13	Sinop	22.400

2.2.1.2. Arazi Metrekare Birim Fiyatları Kriteri

GES yatırımı için seçilecek olan bölgedeki arazi metrekare fiyatlarının yüksek olması, yatırımın geri dönüş süresini uzatacak önemli etkenlerden birisidir. Bu yüzden metrekare birim fiyatı düşük olan bir bölgeye yatırım yapılması oldukça önemlidir. Belirlenen alternatif illere ait arazi metrekare birim fiyatları Tablo 10'de gösterilmiştir.

Tablo 10. Arazi Metrekare Birim Fiyatları Tablosu [20]

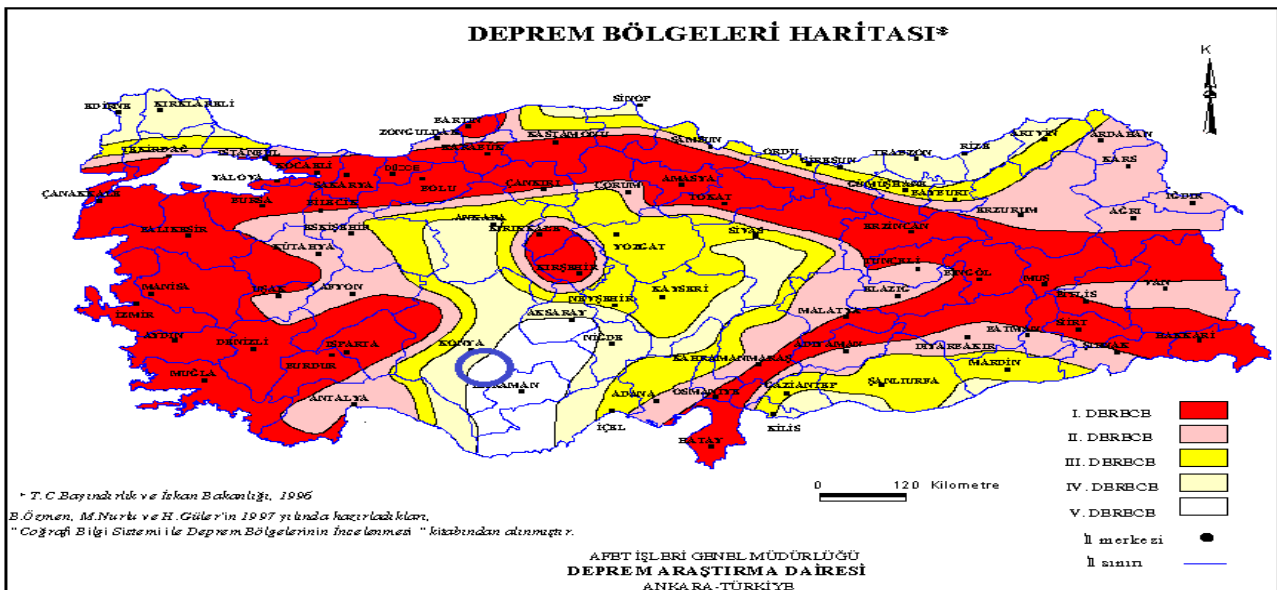
Alternatif İller	Arazi Metrekare Birim Fiyatları (TL/m ²)
Van	0,41
Malatya	0,14
İstanbul	1,97
Kayseri	0,04
Antalya	0,70
Konya	0,25
Aksaray	0,35
Kocaeli	2,83
Burdur	0,37
Nevşehir	0,21
Adana	0,62
Denizli	0,24
Sinop	0,56

Bu kritere ait sayısal veriler belirlenirken; alternatif olarak belirlenmiş olan iller arasındaki sağlayabilmek maksadıyla, ilçe merkezlerindeki kiraç arazilerin metrekare fiyatlarının ortalama değerleri belirlenerek değerlendirilmeye alınmıştır. Bu fiyatlar, takdir komisyonlarınca belirlenmiş olan ve Emlak Vergisi Kanunu gereğince "Vergi Değeri"nin hesabında esas alınan "Arsa ve arazilere ait asgari ölçüde metrekare birim değerleri" dir. 2014 yılına ait olan bu değerler dört yılda bir belirlenmektedir.

Sadece Arazi metrekare birim fiyatları kriterleri değerlendirildiğinde Kayseri ve Malatya alternatifleri ön plana çıkmaktadır.

2.2.1.3. Deprem Olmama İhtimali Kriteri

Türkiye deprem kuşağındadır. GES yatırımının, deprem olmama ihtimali kriteri göz önüne alınmadan herhangi bir bölgeye yapılması, oluşabilecek bir deprem sonrasında yatırımın yok olmasına veya zarar görmesine sebep olabilecektir. Bu yüzden deprem olmama ihtimali kriteri de dikkate alınarak yatırım yapılacak bölge seçimi yapılmalıdır. Deprem bölgeleri 1'den 5'e kadar olan sayılarla derecelendirilmiştir. Düşük derece yüksek depremselliği, yüksek derece ise düşük depremselliği sembolize etmektedir. Şekil 9'de Türkiye'nin deprem kuşakları görülmektedir.



Şekil 9. Deprem Bölgeleri Haritası [21]

Bu haritaya göre belirlenmiş olan alternatiflerin depremsellik dereceleri Tablo 11’de listelenmiştir.

Tablo 11. Depremsellik Tablosu

No.	Alternatif İller	Depremsellik Derecesi
1	Van	1. Derece Deprem Bölgesi
2	Malatya	2. Derece Deprem Bölgesi
3	İstanbul	1. Derece Deprem Bölgesi
4	Kayseri	3. Derece Deprem Bölgesi
5	Antalya	2. Derece Deprem Bölgesi
6	Konya	5. Derece Deprem Bölgesi
7	Aksaray	4. Derece Deprem Bölgesi
8	Kocaeli	1. Derece Deprem Bölgesi
9	Burdur	1. Derece Deprem Bölgesi
10	Nevşehir	3. Derece Deprem Bölgesi
11	Adana	3. Derece Deprem Bölgesi
12	Denizli	1. Derece Deprem Bölgesi
13	Sinop	3. Derece Deprem Bölgesi

Sadece deprem olmama ihtimali kriteri değerlendirildiğinde Konya ve Aksaray alternatifleri ön plana çıkmaktadır.

2.2.1.4. Terör Eylemi Olmama İhtimali Kriteri

Yatırım yapılacak olan bölgede gerçekleştirilebilecek olan bir terör olayı, yatırımı olumsuz yönde etkileyebilecek bir duruma sebep olabilecektir. Bu durum da yatırım için ödenmesi gereken sigorta bedellerinin anormal derecede artmasına, buna bağlı olarak da işletme giderlerinin artmasına neden olacaktır. Bu ve bunun gibi sebeplerden dolayı sık bir şekilde terör eylemi yaşanan bölgeler yatırımcılar tarafından tercih edilmemektedir. Seçilen alternatif illere ait terör eylemi olma ihtimali, aktüel olaylar referans alınarak belirlenip sayısallaştırılmıştır. Terör eylemi olma ihtimali, Tablo 12’de görülmektedir.

Tablo 12. Terör Eylemi Olma İhtimali Tablosu

Alternatif No.	Alternatif İller	Terör Eylemi Olma İhtimali (%)
1	Van	85
2	Malatya	42
3	İstanbul	65
4	Kayseri	48
5	Antalya	46
6	Konya	20
7	Aksaray	18
8	Kocaeli	37
9	Burdur	18
10	Nevşehir	20
11	Adana	72
12	Denizli	26
13	Sinop	12

Sadece Terör eylemi olmama ihtimali kriteri dikkate alındığında Sinop, Aksaray ve Burdur alternatifleri ön plana çıkmaktadır.

2.2.1.5. GES Sanayisine Yakınlık Kriteri

Yatırımın ilk kuruluşu esnasındaki nakliye ve işçilik maliyetleri ve yatırım gerçekleştirildikten sonra oluşabilecek bir arızanın onarılması, yedek parça temini ve rutin bakımların gerçekleştirilmesi ve zaman kaybı yaşanmaması açısından bakıldığında, GES sanayisine yakınlık da kuruluş yerinin seçilmesindeki önemli kriterlerden birisidir. Bu kriter için, mevcut GES sanayilerinin kuruluş yerleri incelenmiş ve GES sanayilerine Yakın, Çok Yakın, Uzak ve Çok Uzak olmak üzere dört kademeli bir değerlendirme yapılarak sayısallaştırılmıştır. Bu kritere ait değerlendirme Tablo 13’de gösterilmiştir.

Tablo 13. GES Sanayisine Yakınlık Tablosu

Alternatif No.	Alternatif İller	GES Sanayisine Yakınlık	
		4: Çok Yakın	3: Yakın
1	Van	1	
2	Malatya	2	
3	İstanbul	4	
4	Kayseri	3	
5	Antalya	3	
6	Konya	4	
7	Aksaray	3	
8	Kocaeli	3	
9	Burdur	2	
10	Nevşehir	3	
11	Adana	3	
12	Denizli	2	
13	Sinop	1	

Sadece GES sanayisine yakınlık kriteri değerlendirildiğinde İstanbul ve Konya alternatifleri ön plana çıkmaktadır.

2.2.2. VIKOR Yönteminin Uygulanması

VIKOR yöntemi, alternatifler arasından birden fazla sayıda ve aynı anda uygulanabilen kriterlere bağlı olarak en iyi tercihin seçilmesine imkân sağlayan bir yöntemdir. VIKOR yöntemi ile farklı kriterlere bağlı olarak seçilen alternatifler kümesinden elemanların sıralanması ve seçimi yapılmaktadır[17].

Tablo 14’de, Bölüm 2.1.4’deki AHS yöntemiyle belirlenmiş olan kriterlerin ağırlık değerlerinin de eklenmesiyle oluşturulmuş olan karar verme matrisi görülmektedir.

Tablo 14. Kuruluş Yerine Karar Verme Veri Matrisi

Kriterler	Ağırlıklar (wi)				
	41%	11%	23%	14%	11%
	Elektrik Üretim Kapasiteleri	Arazi m ² Fiyatı	Deprem Derecesi	Terör Olasılığı	GES Sanayisine Yakınlık
Birim	kWh/yıl	TL	Derece	%	Derece
Hedef	max	min	max	max	max
Van	26900	0,41	1	85	1
Malatya	26300	0,14	2	42	2
İstanbul	21700	1,97	1	65	4
Kayseri	26300	0,04	3	48	3
Antalya	26800	0,7	2	46	3
Konya	26500	0,25	5	20	4
Aksaray	26000	0,35	4	18	3
Kocaeli	21800	2,83	1	37	2
Burdur	26200	0,37	1	18	2
Nevşehir	26000	0,21	3	20	3
Adana	26000	0,62	3	72	3
Denizli	26200	0,24	1	26	2
Sinop	22400	0,56	3	12	1

2.2.2.1. En İyi ve En Kötü Kriterlerin Belirlenmesi

Tablo 14’deki veri setinden yararlanarak her bir kriterin en iyi ve en kötü değerleri belirlenerek Tablo 15’de gösterilmiştir. Bu tablo oluşturulurken kriterlerin artan veya azalan kriter özelliğine dikkat edilerek seçim yapılmalıdır.

Tablo 15. En İyi ve En Kötü Değer Tablosu

Kriterler	Elektrik Üretim Kapasiteleri	Arazi m ² Birim Fiyatı	Deprem Bölgesi Derecesi	Terör Eylemi Olasılığı	GES Sanayisine Yakınlık
En iyi değer f _j [*]	26900	0,04	5	85	4
En kötü değer f _j ⁻	21700	2,83	1	12	1

2.2.2.2. Normalizasyon Matrisinin Oluşturulması

Normalizasyon matrisinin (R) değerlerinin hesaplanması, Formül (4) yardımıyla gerçekleştirilir.

$$r_{ij} = \frac{f_j^* - X_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (4)$$

Formül (4) kullanılarak oluşturulan normalizasyon matrisi, Tablo 16'de gösterilmiştir.

Tablo 16. Normalizasyon Matrisi(R)

Kriterler	Elektrik Üretim Kapasiteleri	Arazi m ² Birim Fiyatı	Deprem Bölgesi Derecesi	Terör Eylemi Olasılığı	GES Sanayisine Yakınlık
Van	0,000	0,133	1,000	1,000	1,000
Malatya	0,115	0,036	0,750	0,411	0,667
İstanbul	1,000	0,692	1,000	0,726	0,000
Kayseri	0,115	0,000	0,500	0,493	0,333
Antalya	0,019	0,237	0,750	0,466	0,333
Konya	0,077	0,075	0,000	0,110	0,000
Aksaray	0,173	0,111	0,250	0,082	0,333
Kocaeli	0,981	1,000	1,000	0,342	0,667
Burdur	0,135	0,118	1,000	0,082	0,667
Nevşehir	0,173	0,061	0,500	0,110	0,333
Adana	0,173	0,208	0,500	0,822	0,333
Denizli	0,135	0,072	1,000	0,192	0,667
Sinop	0,865	0,186	0,500	0,000	1,000
Van	0,000	0,133	1,000	1,000	1,000

2.2.2.3. Ağırlıklandırılmış Normalize Matrisinin Oluşturulması

AHS yöntemi ile Bölüm 2.1.4'de hesaplanmış olan kriterlere ait ağırlık değerleri ile Tablo 16'daki normalizasyon matrisinin her bir (r_{ij}) değerinin çarpılması ile Tablo 17'de görülen ağırlıklandırılmış normalize matrisi elde edilmiştir.

Tablo 17. Ağırlıklandırılmış Normalizasyon Matris Tablosu

Ağırlıklar					
(wi)	41%	11%	23%	14%	11%
Kriterler	Elektrik Üretim Kapasiteleri	Arazi m² Birim Fiyatı	Deprem Bölgesi Derecesi	Terör Eylemi Olasılığı	GES Sanayisine Yakınlık
Birim	kWh/yıl	TL	Derece	%	Derece
Hedef	max	min	Max	max	max
Van	0,000	0,015	0,230	0,140	0,110
Malatya	0,047	0,004	0,173	0,058	0,073
İstanbul	0,410	0,076	0,230	0,102	0,000
Kayseri	0,047	0,000	0,115	0,069	0,037
Antalya	0,008	0,026	0,173	0,065	0,037
Konya	0,032	0,008	0,000	0,015	0,000
Aksaray	0,071	0,012	0,058	0,012	0,037
Kocaeli	0,402	0,110	0,230	0,048	0,073
Burdur	0,055	0,013	0,230	0,012	0,073
Nevşehir	0,071	0,007	0,115	0,015	0,037
Adana	0,071	0,023	0,115	0,115	0,037
Denizli	0,055	0,008	0,230	0,027	0,073
Sinop	0,355	0,021	0,115	0,000	0,110

2.2.2.4. Her Bir Alternatif İçin Ortalama (S_i)/ En Kötü Grup Skorları (R_i) ve Maksimum Grup Faydasının (Q_i) Belirlenmesi

Ortalama (S_i) değerleri, Formül (5) yardımıyla hesaplanır.

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{n} \quad (5)$$

En kötü grup skorları (R_i) ise alternatiflere karşılık gelen kriterlerdeki maksimum değerler Formül (6) yardımıyla hesaplanır.

$$R_i = \max_j r_{ij} \quad (6)$$

Maksimum grup faydasının hesaplanması için öncelikle beş ayrı grup değeri olan q={0,00; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00} parametreleri belirlenmiş ve bu parametrelerin her birine göre Q_i değerleri Formül (7) yardımıyla hesaplanmıştır:

$$Q_i = \frac{q \cdot (S_i - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1 - q) \cdot (R_i - R^*)}{R^- - R^*} \quad (7)$$

Hesaplanmış olan tüm (S_i), (R_i) ve (Q_i) değerleri, Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 18. Alternatiflerin Önceliklerine Göre Sıralanması

Alternatifler	0	0,25	0,5	0,75	1	S _i	R _i
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅		
Van	8	10	10	10	10	10	8
Malatya	6	7	7	7	6	6	6
İstanbul	13	13	12	12	12	12	13
Kayseri	3	4	4	4	4	4	3
Antalya	6	6	6	5	5	5	6
Konya	1	1	1	1	1	1	1
Aksaray	2	2	2	2	2	2	2
Kocaeli	12	12	13	13	13	13	12
Burdur	8	8	8	8	8	8	8
Nevşehir	3	3	3	3	3	3	3
Adana	5	5	5	6	7	7	5
Denizli	8	9	9	9	9	9	8
Sinop	11	11	11	11	11	11	11

3. Bulgular

3.1. Problemin Çözümünün Doğruluk Kontrolü

Formül 7 yardımıyla hesaplanmış olan S_i , R_i ve Q_i değerlerinin küçükten büyüğe sıralanması yoluyla Tablo 18’de görülen 7 ayrı alternatif sıralaması elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra alternatiflere ait sıralamaların Kabul Edilebilir Avantaj ve Kabul Edilebilir İstikrar koşullarını sağlayıp sağlamadıkları kontrol edilir. Bu iki koşulun kontrolünden sonra ise duyarlılık analizi tamamlanarak problemin çözümünün doğruluk kontrolü işlemi gerçekleştirilmiş olur.

3.3.1 Kabul Edilebilir Avantaj Koşulu:

Q_i değerlerinin küçükten büyüğe sıralanması sonucunda en küçük ve dolayısıyla ilk sırada yer alan alternatif A_1 , ikinci sırada yer alan alternatif de A_2 ile sembolize edildiğinde, kabul edilebilir avantaj koşulunun geçerli olabilmesi için hesaplanan değer, Formül (8)’de belirtilen koşulu sağlamalıdır [17].

$$Q(A_1) - Q(A_2) \geq DQ \quad (8)$$

Burada kullanılacak olan Alternatif sayısına Bağlı Parametre Değeri (DQ), alternatif sayısına (m) bağlıdır ve Formül (9) yardımıyla hesaplanır.

$$DQ = \frac{1}{m-1} = \frac{1}{13-1} = 0,083 \quad (9)$$

3.3.2 Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu:

Q_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralandığında oluşan sıralama, S_i ve R_i değerleri için de geçerliyse uzlaşık çözüm, karar verme problemi için geçerlidir.

Eğer belirtilmiş olan koşulların her ikisi de doğruysa bulunan uzlaşık çözüm kümesi geçerli; her ikisi de doğru değilse geçersizdir. Eğer iki koşuldan sadece bir tanesi sağlanmıyorsa, uzlaşık çözüm kümesi aşağıdaki şekilde önerilir [17]:

- Eğer kabul edilebilir istikrar koşulu sağlanmıyorsa A_1 ve A_2 alternatiflerinin her ikisi de uzlaşık ortak çözüm olarak kabul edilir.
- Eğer kabul edilebilir avantaj koşulu sağlanmıyorsa A_1, A_2, \dots, A_m alternatiflerinin tamamı uzlaşık en iyi ortak çözüm kümesinde yer alır. Burada üst sınır değeri olan maksimum değer, $Q(A_m) - Q(A_1) < DQ$ ilişkisine göre belirlenir.

Her iki koşulun da denetlenmesine ait sonuçlar Tablo 19'da görülmektedir. Bu tablodaki sonuçlara göre her iki koşul da geçerli ve kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir.

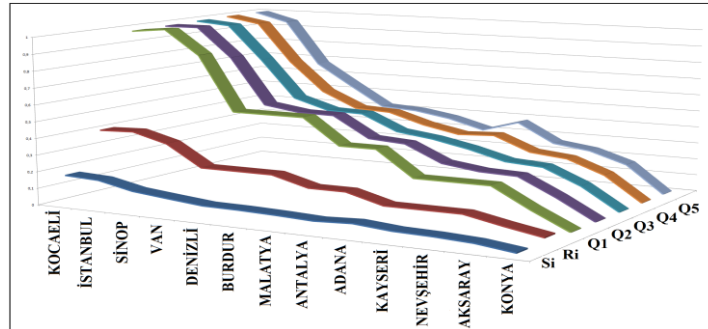
Tablo 19. (S_i),(R_i)ve (Q_i) Değerleri Tablosu

S _i , R _i ve Q _i Hesaplamaları			0	0,25	0,5	0,75	1
Kriterler	S _i (Ortalama)	R _i (En Kötü)	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅
Van	0,099	0,230	0,524	0,529	0,534	0,539	0,544
Malatya	0,071	0,173	0,372	0,372	0,371	0,371	0,371
İstanbul	0,164	0,410	1,000	0,986	0,972	0,958	0,944
Kayseri	0,054	0,115	0,221	0,231	0,242	0,253	0,263
Antalya	0,062	0,173	0,372	0,358	0,343	0,328	0,313
Konya	0,011	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Aksaray	0,038	0,071	0,104	0,119	0,135	0,150	0,165
Kocaeli	0,173	0,402	0,979	0,984	0,990	0,995	1,000
Burdur	0,077	0,230	0,524	0,495	0,465	0,435	0,406
Nevşehir	0,049	0,115	0,221	0,224	0,228	0,231	0,234
Adana	0,072	0,115	0,221	0,260	0,299	0,339	0,378
Denizli	0,079	0,230	0,524	0,498	0,471	0,445	0,418
Sinop	0,120	0,355	0,854	0,809	0,764	0,719	0,674
Min S _i	S*	0,011					
Maks S _i	S-	0,173					
MinR _i	R*	0,032					
MaksR _i	R-	0,410					

Bu tabloda:

- R* Her Bir Alternatif için En Kötü Grup Skorlarının En Küçüğünü,
R- Her Bir Alternatif için En Kötü Grup Skorlarının En Büyüğünü,
S* Her Bir Alternatif için Ortalama Değerlerin En Küçüğünü
S- Her Bir Alternatif için Ortalama Değerlerin En Büyüğünü ifade etmektedir.

Şekil 10'daki grafik, Tablo 19'dan elde edilen(S_i), (R_i)ve (Q_i)'ler sayesinde oluşturulmuştur. Bu grafikten de görüleceği üzere; alternatif illerin (S_i), (R_i) ve (Q_i) sıralamalarına ait verilerdeki artış oranları, birbirleriyle paralellik göstermektedir.



Şekil 10. Duyarlılık Grafiği

Tablo 20'de gösterilmiş olan koşulların denetlenmesi tablosuna ve Şekil 10'daki grafiğe göre kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar koşulları sağlanmıştır. Bu sebeple GES kuruluş yerine karar verme probleminin VIKOR yöntemiyle çözümü sonrasında oluşturulmuş olan alternatiflerin sıralaması geçerlidir. Tablo 20'deki Q(A_i)'ler, Alternatif sıralamasının sayısal değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 20. Koşulların Denetlenmesi Tablosu

Q(A ₂)	0,104	0,124	0,143	0,163	0,183
Q(A ₁)	0	0	0	0	0
Q(A ₂)-Q(A ₁)	0,104	0,124	0,143	0,163	0,183
DQ	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
Koşul 1	Doğru	Doğru	Doğru	Doğru	Doğru
Koşul 2	Doğru	Doğru	Doğru	Doğru	Doğru

Kuruluş yeri seçimi problemi için yapılan VIKOR analizine göre $q=\{0,00; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00\}$ değerleri için kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar koşulları aynı anda sağlanmıştır. Bu kapsamda belirlenmiş 13 alternatif il arasında güneş enerjisi santrali kurulması için en uygun iller Konya ve Aksaray'dır. Alternatifler arasında yatırımın en verimsiz olacağı değerlendirilen iller ise Kocaeli ve İstanbul olarak belirlenmiştir.

Alternatiflerin öncelik sıralamalarını belirleme analizi sayısal verilerle ve VIKOR yöntemi ile yapılmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırma işleminin ise AHS yöntemi ile yapılmış olması suretiyle ortaya çıkan sonuca uzman görüşü de eklenmiştir. Alternatiflerin sıralı listesi Tablo 21'de görülmektedir.

Tablo 21. Alternatif Öncelik Sıralaması

Sıra	Alternatif
1	Konya
2	Aksaray
3	Nevşehir
4	Kayseri
5	Adana
6	Antalya
7	Malatya
8	Burdur
9	Denizli
10	Van
11	Sinop
12	İstanbul
13	Kocaeli

4. Tartışma ve Sonuç

Güneş enerjisinden elektrik üretimi amacıyla kurulan GES'lerin ilk yatırım maliyeti, kurulacak olan tesisin büyüklüğü ile orantılı olarak değişmekle birlikte oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu yüksek kurulum maliyetlerine rağmen yanlış tercih edilmiş bir kuruluş yeri; hem yatırımın geri dönüş süresinin uzamasına, hem de GES'in işletme hayatı boyunca karlılığının düşük seyretmesine sebep olacaktır. Bu yüzden kuruluş yeri tespitinin bilimsel yöntemlerle ve ÇKKV ile yapılmasının gerekliliği tartışılmazdır.

Bu çalışmada, Konya ve Aksaray alternatiflerini tercih edilmesi gereken iller olarak öne çıkaran tek bir kriterin olmadığı açıkça görülmektedir. Kriter ağırlığı 0.41 olan **elektrik üretme kapasitesi**, bu kriter için avantajlı görünen Van ve Antalya illeri için yeterli koşulu sağlamakla birlikte, 0.23 kriter ağırlığına sahip **deprem olmama ihtimali** Konya ve Aksaray illeri için uygun koşulları yerine getirmektedir. Van ve Antalya illeri ise sırasıyla 1. ve 2. deprem bölgesinde yer almaktadır. Bu noktada verilen kararın Çok Kriterli ölçekte olması ve tüm kriterleri uzlaşma düzeyinde sağlaması sonuca yansımaktadır.

Aralık 2014 tarihinde yayınlanmış olan Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'na göre 2023 yılında tüketilen elektrik enerjisinin en az yüzde 30'unun yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşılabildiği takdirde 21 milyar m³ daha az doğalgaz ithalatı sağlanmış olacak ve bu çerçevede 47 milyon ton daha az CO₂ emisyonu gerçekleşmiş olacaktır [4].

Yenilenebilir enerji denilince akla ilk Güneş enerjisi gelmekle birlikte; rüzgâr enerjisi, su enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerji gibi daha birçok yenilenebilir enerji çeşidi sıralanabilir. Bu çalışmada; güneş enerjisinden elektrik üretimi kapsamında yapılmış ve Türkiye'de kurulacak olan bir GES'in belirlenmiş alternatif illerden hangisine kurulursa daha verimli olacağı sorusuna çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamdaki çalışmaların diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını da kapsayacak şekilde çeşitlendirilmesi sonucunda, Türkiye'de hangi yenilenebilir enerji kaynağı yatırımının hangi bölgede daha randımanlı olabileceği konusu giderek netleşecek ve böylece yatırımcıların yenilenebilir enerji alanına yatırım yapma isteği ve ilgisi de artacaktır. Bu durumun doğal sonucu olarak; yatırımcılar doğru yatırımlara yönelecek, fosil kökenli yakıtların yanması sonucunda oluşan çevre kirliliği azalacak ayrıca enerji konusundaki Türkiye'nin dışa olan bağımlılığı azalacaktır.

Kaynakça

- [14] Oak Ridge National Laboratory U.S. Department of energy, Basic Research Needs to Assure a Secure Energy Future http://www.neutrons-old.ornl.gov/workshops/nmi3/presentations/horton_edited.pdf (Erişim Tarihi: 23.10.2016).
- [15] © OECD/IEA Key World Energy Statics 2016, IEA Publishing..Licence: www.iea.org/t&c(Erişim Tarihi: 21.01.2017).
- [16] Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışma Raporu “Yeşil Ekonomiye Geçiş”. Enver Enerji Derneği, Iconomy Vezir Consultancy, Haziran 2010, 39
- [17] ALBAYRAK, B.,2016. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2017 Yılı Bütçe Sunumu. TBMM Genel Kurulu, 8Aralık
- [18] "[Photovoltaikanlagen: Datenmeldungen sowie EEG-Vergütungssätze](https://www.bundesnetzagentur.de/)" (Monthly reported new installations of PV systems and current feed-in tariffs in German).Bundesnetzagentur. <https://www.bundesnetzagentur.de/> (Erişim Tarihi 25Ocak 2017).
- [19] KILIC, B., "Evaluating of Renewable Energy Potential in Turkey". International Journal Of Renewable Energy Research 1 (2016): 259-264
- [20] ŞENGÜL, Ü., TAN, S., ATAK, Ş., ŞENGÜL, A. "TÜRKİYE GÖKÇEADA'DA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ POTANSİYELİ". Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD) 6 (2014): 41-55
- [21] Arslan, F., "MANİSA İLİNİN YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME". Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 14 (2016): 313-337
- [22] YILMAZ, O., HOTUNLUOĞLU, H., "Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye". Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2 (2015): 74-97
- [23] WIMMLER, C.,HEJAZI, G., FERNANDES, E., MOREIRA, C., CONNORS, S., "Multi-Criteria Decision Support Methods for Renewable Energy Systems on Islands ". Journal of Clean Energy Technologies, 3 (2015): 185-195
- [24] BAŞKAYA, Z., ÖZTÜRK, B., "Facility Location Selection at a Shopping Center with Fuzzy Analytic Hierarchy Process". Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi 9 (2011): 110-133
- [25] ELEREN, A., "KURULUŞ YERİ SEÇİMİNİN ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ; DERİ SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ". Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi 20 (2010): 405-416
- [26] ÖMÜRBEK, N., ÜSTÜNDAĞ, S., HELVACIOĞLU, Ö., "Use of Analytic Hierarchy Process (AHP) in Location Decision: A Study in Isparta Region". Yönetim Bilimleri Dergisi 11 (2014): 101-116
- [27] ERDİN, C . "Mobilya Sektörü Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Uygulaması". Sosyal Bilimler Dergisi (2013): 109-121
- [28] SAEEDPOOR, M.,VAFADARNIKJOO A., "Multicriteria Renewable Energy Planning Using and Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of Istanbul". Journal of Energy(2010), [35](#)(2010): 2517–2527
- [29] ERTAY, T., KAHRAMAN, C., KAYA, İ., " Evaluation of Renewable Energy Alternatives Using Macbeth and Fuzzy AHP Multicriteria Methods: thecase of Turkey". Journal of Technologicaland Development of Economy(2010), [19](#) (2010):38-62
- [30] YILDIRIM, B.F. ÖNDER, E. 2014. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.1. Baskı. Dora Yayınevi, İstanbul.AHS: 21-64s, VIKOR: 117-125s
- [31] BÜYÜKÖZKAN, G.,RUAND. (2008) “Evaluation of Software Development Projects Using a Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach” Journal of Mathematics and Computers in Simulation 77 (2008) 464-475

- [32] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, *Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası*,
- [33] <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, (Erişim tarihi: 25 Aralık 2016)
- [34] 2014 Yılı Asgari Ölçüde Arsa ve Arazi Birim Metrekare Değerleri, https://intvd.gib.gov.tr/2014_Emlak_Arsa/, (Erişim tarihi: 25 Aralık 2016)
- [35] Deprem Bölgeleri Haritası, Kandilli Rasathanesi, http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/bilgi/tDeprem_bolgeleri.htm, (Erişim tarihi: 25 Aralık 2016)