

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI YATIRIM PROJELERİNİN ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ¹

EVALUATION OF THE RENEWABLE ENERGY INVESTMENT PROJECT WITH ANALYTIC HIERARCHY PROCESS METHOD

Doç.Dr. Tuba YAKICI AYAN²
Arş.Gör. Hakan PABUÇCU³

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; Analitik Hiyerarşi Süreci Yaklaşımı kullanarak Türkiye için yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları arasında bir öncelik sıralaması belirlemektir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010–2014 Stratejik Planından hareketle, problem için bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Bu yapıdaki kriterlerin uzman mühendisler ve akademisyenler tarafından birbirleriyle göreceli olarak karşılaştırılmaları sonucunda elde edilen bilgilere dayanılarak, kriter ve kaynak alternatifleri için ağırlıklar hesaplanmıştır. Analiz sonucunda; sırası ile hidroelektrik, rüzgâr, biyoyakıt, jeotermal enerji ve son olarak da güneş enerjisi yatırımlarının uygun olabileceği tespit edilmiştir. Bu sonuçlarda ekonomik faktörler, enerji ile ilgili faktörler, çevresel faktörler ve kurumsal faktörler etkili olmuştur.

ABSTRACT

The main purpose of this study is to determine the ranking of the renewable energy investments by using the analytic hierarchy process approach for Turkey. Based on the Strategic Plan of the Ministry of Energy and Natural Resources for 2010-2014, a hierarchical structure was created for the problem. The criteria in this structure were compared relatively to each other by expert engineers and academicians. Weights were calculated for the criteria and the energy source alternatives. As a result of analysis; the priority ranking of hydropower, wind, biomass geothermal and solar energy have been identified for renewable energy investments in Turkey. Factors affecting this sequence were economic, energy, environmental, and institutional in order of importance.

¹ Bu makale Gediz Üniversitesinde düzenlenen 12. Üretim Araştırmaları Sempozyumunda (27-29 Eylül 2012) sunulan aynı başlıklı bildirinin gözden geçirilmiş ve genişletilmiş halidir.

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü.

³ Bayburt Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Süreci
Key Words: Renewable Energy, Multi Criteria Decision Making, Analytic Hierarchy Process

1. GİRİŞ

Dünyada nüfus artışı, kentleşme, olguları, sanayileşme ve küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları enerjiye ve doğal kaynaklara olan talebi artırmıştır. Bu yüzden enerji kaynaklarının tüketicilere yeterli, kaliteli, düşük maliyetli, güvenli bir şekilde ve çevre konusunda da azami ölçüde duyarlılık gösterilerek sunulması gerekmektedir.

Enerji sektörü, ülkelerin kalkınma politikaları içinde hayati önem taşıyan stratejik bir alan niteliğindedir. Fosil yakıtlar hızla tükenirken buna alternatif enerji kaynaklarının artan talebi karşılayacak ticari olgunluğa henüz erişememiş olması, artan enerji fiyatları ve küresel ısınma gibi sorunların da ortaya çıkması sebebiyle ülkelerin enerji güvenliği konusundaki kaygıları her geçen gün daha da artmaktadır.

Enerji sektöründe gerek maliyet ve fiyat artışları gerekse artan enerji talebi çerçevesinde, arz güvenliğinin sağlanması ve enerji üretiminin sürdürülebilirliği konusunda yeni tedbirler alınmaktadır. Yeni alternatif enerji kaynaklarının kullanımı için bir takım girişimlerde bulunmaktadır.

Dünyada enerji üretiminin çok önemli bir kısmı fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Ancak fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması, çevresel problemlere neden olması ve ülkeleri dışa bağımlı kılmaları gibi bazı etkenler dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi ve talebi artırmaktadır (Güler, 2006: 143).

Türkiye yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli ve çeşitliliği bakımından oldukça zengin bir ülke olmasına rağmen enerjide dışa bağımlı bir ülke konumundadır. 106 milyar dolarlık dış ticaret açığının yarıya yakını enerji ithalatından kaynaklanmaktadır. Sürdürülebilir bir kalkınma için enerji üretiminde yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılması gerekliliği açıkça görülmektedir. (TÜİK, 2011).

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE TÜRLERİ

Fosil yakıt kaynaklarının gelecekte sürdürülebilir gelişimi sağlaması mümkün gözükmemektedir. Fosil kaynaklı üretim hem sürdürülebilir değildir, hem de dış kaynaklara bağımlı olan bir alternatiftir (Liu ve Wang, 2009: 1506).

Enerji politikalarının ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma hedeflerini sürdürülebilir şekilde gerçekleştirmede ki önemi büyüktür. Diğer ülkelerin olduğu gibi Türkiye'nin de enerjideki temel politikası 2010–2014 stratejik planına göre; enerjinin zamanında, güvenilir, yeterli, rekabet

edilebilir fiyatlarla ve bütün çevresel etkiler göz önünde tutularak sağlanmasıdır.

Yenilenebilir enerji politikaları kapsamında, enerji arz güvenliğinin sağlanması, kaynak çeşitlendirmesi, doğalgaz depolama kapasitesinin artırılması, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve geliştirilmesine öncelik tanınması, enerji üretiminden tüketimine kadar tüm aşamalarda verimliliğin artırılması, alternatif temiz enerji kaynaklarının kullanımına olanak sağlanması, enerji sektörünün şeffaflığı ve rekabeti esas alacak şekilde yapılandırılması, bölgesel işbirliği ve entegrasyonun sağlanması gibi etkenlerin göz önünde bulundurulması önemlidir.

Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çeşitliliği bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Gelişmekte olan ülke konumundan gelişmiş ülke konumuna yükselmek için hızlı bir büyüme gösteren Türkiye, bu kaynak zenginliğine rağmen artan enerji talebi ve tedarik sıkıntısı ile yüz yüzedir.

Türkiye'nin dış ticaret dengelerine bakılacak olunursa 2011 yılı itibarı ile ihracat 134 milyar USD, toplam ithalat ise 240 milyar USD olarak gerçekleşmiştir. Toplamda 106 milyar USD olan dış ticaret açığının %51'i enerji ithalatından kaynaklanmaktadır (TÜİK, 2011)

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının stratejik planına göre yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi içindeki payının 2023 yılında %30 seviyelerine çıkarılması hedeflenmektedir. 2009 yılı sonu itibarıyla kurulu rüzgâr gücü yaklaşık 809 MW (megawatt), kurulu jeotermal gücü 78 MW düzeyine ulaşmıştır. 5000MW'lık hidroelektrik santrallerin de 2013 yılı sonuna kadar tamamlanması planlanmaktadır. (ETKB, 2012). Aşağıda Türkiye' de mevcut olan ve bu çalışma kapsamında dikkate alınan yenilenebilir enerji türleri özetlenmektedir.

• **Güneş Enerjisi:** Güneş enerjisi, temel olarak Güneş tarafından yayılan elektromanyetik enerjidir. Güneş, içeriğinde %92 hidrojen %8 helyum ve çok az miktarda diğer bazı atom ve elementleri bulduran plazmik bir enerji kaynağıdır. Plazma ise çok yüksek sıcaklıktan kaynaklı olarak elektronların çekirdekten ayrılmış halde bulunduğu, maddenin hallerinden bir tanesidir (Nelson, 2011: 35). Güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça zengin olan Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama yıllık toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m² (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır (ETKB, 2012).

• **Biyoyakıt:** Biyokütle hayvansal atıklar, tarım ve orman sanayi yan ürünleri, gübre ve organik materyal atıkları gibi çok çeşitli hammaddeleri içerir. Biyoenerji ise, çeşitli teknoloji ve teknolojik sistemler kullanılarak biyokütleden elde edilen enerji olarak tanımlanır (EREC, 2010: 41). Türkiye'nin atık potansiyeli yaklaşık 8,6 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (TEP) olup bunun 6 milyon TEP' i ısınma amaçlı kullanılmaktadır. 2008 yılında

biyokütle kaynaklarından elde edilen toplam enerji miktarı 66 bin TEP' tir (ETKB, 2012).

• **Jeotermal:** Jeotermal enerji yer kabuğunun derinliklerindeki ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli olarak bölgesel atmosferik yıllık ortalama sıcaklığın üzerinde olan, çevresindeki sulara göre daha fazla erimiş madde ve gaz içerebilen, doğal olarak çıkan veya teknik yöntemlerle yeryüzüne çıkarılan su, buhar ve gazlar ile kızgın kuru kayalardan elde edilen su, buhar ve gazlardan doğrudan, dolaylı ve entegre kullanım ile üretilen her türlü enerji olarak tanımlanmaktadır (Doğu Marmara Kalkınma Ajansı [DMKA], 2011: 20).

Türkiye, Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer aldığından oldukça yüksek jeotermal potansiyele sahip olan bir ülkedir. Ülkemiz jeotermal potansiyeli 31.500 MW olup dünyada ilk on ülke arasındadır. Ülkemizde potansiyel oluşturan alanlar Batı Anadolu'da (%77,9) yoğunlaşmıştır. Bu güne kadar potansiyelin %13'ü (4.000 MW) MTA tarafından kullanıma hazır hale getirilmiştir (ETKB, 2012).

• **Rüzgâr:** Rüzgâr enerjisi, ısıları farklı olan hava kütlelerinin yer değiştirmesiyle oluşur. Güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin %1-2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Türkiye'nin coğrafi özellikleri göz önünde bulundurulursa, rüzgâr enerji potansiyeli açısından zengin bir ülke konumunda olduğu görülebilir. Meteoroloji tarafından yapılan ölçümler sonucunda Ege, Güneydoğu Anadolu ve Marmara Bölgesinin rüzgâr gücü yoğunluğu bakımından diğer bölgelere göre oldukça zengin olduğu tespit edilmiştir (Ata, 1998: 46). 2007 yılında gerçekleştirilmiş olan Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ile ülkemizde yıllık rüzgâr hızı 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5.000 MW, 7,0 m/s'nin üzerindeki bölgelerde ise en az 48.000 MW büyüklüğünde rüzgâr enerjisi potansiyeli bulunduğu tespit edilmiştir (ETKB, 2012,). Rüzgâr enerjisi yatırımda son 5 yılda önemli mesafeler alınmıştır. 2005 yılında 20 MW olan kurulu güç Mart 2011'de 1.414 MW' a ulaşmıştır (DMKA, 2011: 16). 2000 yılı itibariyle dünya toplam rüzgâr kurulu gücü 18039 MW iken 2007 sonunda 93849 MW değerine ulaşmıştır. Bu gücün %60' ı Avrupa'da bulunmaktadır (Ata, 2010: 50). 2020 yılı tahminlerine göre ise dünya ülkelerinde elektrik üretiminin %10'u rüzgâr enerjisinden elde edilecektir (Joselin vd., 2007: 1118).

• **Hidroelektrik:** Çeşitli enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri çevre dostu olmaları ve düşük potansiyel risk taşımaları sebebiyle tercih edilmektedir (Çukurçayır ve Sağır, 2007: 267). Türkiye'de teknik olarak değerlendirilebilir hidroelektrik potansiyeli 140 GWh/yıl'dır. 2009 yılı sonu itibariyle işletmede bulunan 150 adet HES (hidroelektrik santrali) 14.417 MW' lık kurulu güce ve toplam potansiyelin yaklaşık %38'ine karşılık gelmektedir. Teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek tüm hidroelektrik potansiyelin 2023 yılına kadar elektrik enerjisi üretiminde kullanılması hedeflenmektedir (ETKB, 2012). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre mevcut hidroelektrik potansiyelin yaklaşık %35'i kullanılmakta, %14'ü inşaat aşamasında, kalan %51'lik bölüm ise değerlendirilmeyi beklemektedir. Dünya da ise yaklaşık 150 ülke hidroelektrik santraller ile elektrik üretmektedir. 2010 yılına kıyasla

bu santrallerle üretilen elektrik enerjisi miktarı %5 oranında artmıştır (REN21, 2011: 25).

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ SEÇİMİNDE KULLANILAN KRİTERLER

Yenilenebilir kaynak seçimi için Komor ve Bazilian (2005)' te bir hiyerarşik model önerisinde bulunulmuştur. Yine Shen vd (2011)' de kullanılan bazı alt kriterler Türkiye için uygun görünmekte ve modelde kullanılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye için enerji bakanlığının stratejik hedefleri göz önünde bulundurularak önerilen hiyerarşik model revize edilmiş ve bu yapı üzerinden analitik hiyerarşi süreci uygulanması yapılmıştır.

Hiyerarşik modelde ana kriter olarak; ekonomik, enerji, çevresel ve kurumsal hedefler ve bu hedefler için de alt hedefler belirlenmiştir. Yenilenebilir kaynak alternatifleri olarak güneş, jeotermal, hidroelektrik, biyoyakıt ve rüzgâr enerji kaynakları belirlenmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2010–2014 stratejik planına göre; enerji ve maden kaynaklarını etkin, verimli, güvenli, zamanında ve çevreye duyarlı bir şekilde değerlendirerek dışa bağımlılığı azaltmak ve ülke refahına en yüksek katkıyı sağlayarak, Türkiye'yi bölgesel anlamda liderliğe taşımak, uluslararası arenada söz sahibi konuma getirmek öncelikli hedef olarak belirtilmiştir. Bu çözümleme dört başlık altında şu şekilde açıklanabilir:

• **Ekonomik hedefler:** Ekonomik hedefler doğrultusunda, yenilenebilir enerji politikalarının özellikle ülke içinde yerel ekonomik gelişimi arttırması ve artan işsizliği azaltıcı yönde bir etkide bulunması beklenmektedir. Bu bağlamda ekonomik hedefler altında; yerel ekonomik gelişime katkı, istihdam yapısına etki, ticarileşme potansiyeli, pazar büyüklüğü, yatırım maliyetlerinin uygunluğu ve ithalat riski alt hedefleri belirlenmiştir (ETKB, 2010: 33; Komor ve Bazilian, 2005: 1876).

a) Yerel Ekonomik Gelişime Katkı: Türkiye'de yenilenebilir kaynak kullanımı 1998 yılı verilerine göre % 0,9 seviyesinde iken 2010 yılı verileri yenilenebilir kaynak kullanımının % 11 seviyesine yükseldiğini göstermektedir (TÜİK, 2012). Enerji bakanlığı stratejik planında belirlenen hedef ise bu seviyenin 2023 yılı itibarıyla % 30 düzeyine çıkarılması yönündedir.

b) Artan İstihdam Yapısı: Türkiye ve dünyada son yıllardaki küresel krizin de etkisiyle işsizlik oranlarındaki artış dikkat çekicidir. Yenilenebilir enerji politikasının hedeflerinden bir tanesi de yeni iş imkânları yaratarak işsizlik sorununu çözmeye katkıda bulunmaktır (Lior, 2010: 3978).

c) Ticarileşme Potansiyeli: Yenilenebilir enerjinin farklı türleri olmasına rağmen birçoğu gelişmemiş sadece pilot uygulamalar şeklinde kalmış ve böylece ne ekonomiye ne de istihdama hiçbir katkıları olmamıştır. Birçok ülke politika hedeflerini yenilenebilir enerji kaynaklarının gerek yerel gerekse küresel düzeyde gelişmesi ve ticarileşmesi üzerine oluşturmuştur (Hakkila, 2006: 284).

d) Pazar Büyüklüğü: Ekonomik büyüme sağlamak ve artan istihdamı teşvik eden ekonomik hedeflere ulaşabilmek için, yurt içi ve yurt dışındaki yenilenebilir enerji pazar potansiyelleri ve ilgili teknolojiler dikkatlice değerlendirilmelidir (Lior, 2010: 3985). Endüstriyel rekabetin oluşturulmasında, yenilenebilir enerji teknolojilerinin potansiyel pazar büyüklüklerinin çok önemli bir rolü vardır (Lee vd., 2007; Lewis ve Wiser, 2007; Lund, 2007;).

e) Yatırım Maliyetlerinin Uygunluğu: Yenilenebilir enerjiye ilişkin risk ve yatırım maliyetleri halen çok yüksek olduğu için ekonomik bakışa göre karlı bir yatırım olarak görülmemektedir (Powell ve Hill, 2010: 4585). Birçok çalışmada (Afgan ve Carvalho, 2002; Begic ve Afgan, 2007) yenilenebilir enerji yatırım maliyetlerinin dikkate alınması gerektiği özellikle belirtilmektedir.

f) İthalat Riskleri: Enerjide dışa bağımlılıktan kaynaklanan risklerin azaltılması hayati önem arz etmektedir. Bu sebeple enerji alanında çeşitliliğin sağlanması ve depolama kapasitesinin artırılması öncelikli hedefler arasında gelmektedir (ETKB, 2010: 22).

• **Çevresel hedefler:** Enerji üretimi ve tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları, insan kaynaklı iklim değişikliğinin temel nedeni olarak kabul edilmekte, iklim değişikliğinin yaşam kalitesi, çevre, su, tarım ve gıda kaynakları ve ulusal ekonomiler üzerindeki olumsuz etkileri çerçevesinde enerji sektöründe küresel ölçekte yeni arayışlar gündeme gelmektedir. İklim değişikliği ile mücadelede enerji sektörünün etkin rol oynaması öngörülmekte, bu durum enerji arzı ve talebinde yeni yönelimleri beraberinde getirmektedir (ETKB, 2010: 31). Çevre ile ilgili kriterler kapsamında; karbon salınımının azaltılması, SO_x ve NO_x emisyon oranlarının azaltılması, düşük alan gereksinimi, çevreye uyum planlarına uygunluk olmak üzere 4 kriter belirlenmiştir.

a) Karbon Salınımının Azaltılması: Dünyadaki CO₂ emisyonunun %76'sı enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Türkiye'de 407 milyon ton toplam emisyonun 258 milyon tonunu enerji sektörü atmosfere salmaktadır (Türkiye Enerji Verimliği Meclisi [TEVEM], 2010: 40). Fosil kaynaklı enerji üretim ve kullanımının çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Kömür yakıldığında yanan kömürün dört misli CO₂ açığa çıkmaktadır. Sıkça dillendirildiği gibi CO₂ sera etkisine neden olan bir gazdır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise CO₂ emisyon oranları çok düşük olduğu için çevre ve insan sağlığı için herhangi bir tehdit oluşturmamaktadır (Altın, 2004: 4).

b) SO_x ve NO_x Emisyon Oranlarının Azaltılması: Fosil yakıtların tamamına yakınının bileşiminde kükürt ve azot bulunur. Kükürt yanma sonucu SO_x emisyonuna dönüşür ve insanlarda solunum rahatsızlıklarına yol açar (Güler ve Çobanoğlu, 1997: 36). Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan NO_x emisyonu da kirletici, solunması halinde akciğer dokusunu tahrip eden, bitki örtüsünü en fazla etkileyen ve sera etkisine sebep olan gazlardandır (Güler ve Çobanoğlu, 1997: 234).

c) Düşük Alan Gereksinimi: Rüzgâr ve güneş kaynakları kullanılarak yapılan üretimde enerji yoğunluğunun düşük olması nedeniyle, birim alan başına düşen enerji miktarı düşük olmaktadır. Enerji yoğunluğunun düşük ve bazı enerji konvertörlerinin de çok geniş alana ihtiyaç duyması, özellikle bazı araç ve makineler için, yüksek maliyetli olmaktadır. Bu sebeple kaynak seçiminde bu değişkenin çok önemli bir rolü vardır (Hirsch, 2002: 174).

d) Çevreye Uyum Planlarına Uygunluk: Yenilenebilir kaynakları cazip kılan en önemli özellik bu kaynakların çevreye olan duyarlılıklarıdır. Sera gazı etkilerini önemli derecede azaltması, iklim değişiklikleri ve bitki örtüsü üzerindeki etkileri ve güvenli olmaları nedeniyle daha avantajlıdır (Mutlu, 2002: 66). Bakanlık 2010–2014 stratejik planında belirtildiği gibi enerji üretim faaliyetlerinin çevreye uyum planları çerçevesinde yürütülmesi bu bakımdan önem arz etmektedir.

• **Enerji hedefi:** Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2010–2014 stratejik planına göre enerji hedefi altında; enerji fiyat istikrarı, arz güvenliği, üretim istikrarı, dışa bağımlılığın azaltılması, enerji verimliliği gibi hedeflerin gerçekleştirilmesi hayati önem taşımaktadır.

a) Enerji Fiyat İstikrarı: Enerji fiyatları, gelişmekte olan ülkelerde daha etkili olmak üzere; doğal felaketler, fosil yakıt ücretleri, artan enerji talebi gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Komor ve Bazilian, 2005: 1875). Yerli kaynaklar kullanılarak üretilen enerji bu faktörlerden çok fazla etkilenmeyecektir.

b) Enerji Arz Güvenliği: Enerji arz güvenliği; “yeterli miktardaki kaliteli ve temiz enerjinin, uygun fiyatlarla ve kesintisiz olarak temin edilmesi” şeklinde ifade edilmektedir (Bahgat, 2006: 965). Türkiye’de son yıllarda enerji arz güvenliği bağlamında, enerji piyasasının rekabete dayalı ve şeffaf bir piyasa çerçevesinde yeniden yapılandırılması, yenilenebilir kaynak potansiyeli tespiti ve kullanımı gibi alanlarda önemli çalışmalar yapılmaktadır.

c) Enerji Üretim İstikrarı: Yenilenebilir enerjinin en yaygın kabul gören dezavantajı kaynak gücünün hava koşullarıyla sürekli değişiklik göstermesi nedeniyle elektrik üretiminin kesintili gerçekleşmesi ve kaynak gücü değişiminin tahmin edilememesidir. Bu yönüyle elektrik üretimi için yenilenebilir enerji, özellikle de rüzgâr ve güneş enerjisi çok elverişli olmamakta ve bu da üretim istikrarını etkilemektedir (Liu ve Wang, 2009: 1505).

d) Dışa Bağımlılık: Enerji yönünden dışa bağımlılığı azaltmak adına, Türkiye’nin yerli ve yenilenebilir kaynak potansiyellerinin belirlenmesi ve bu kaynaklarının tamamının enerji üretimi için seferber edilmesi öncelikli hedefler arasındadır.

e) Enerji Verimliliği: Enerji verimliliği; gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarının önlenmesi, çeşitli atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi, ileri teknoloji ile üretim düşürülmeden enerji talebinin azaltılması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin bütünüdür (TEVEM,

2010: 33). Enerji Verimliliği Kanunu ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından belirlenen hedef, Türkiye'nin enerji yoğunluğunu 2020 yılına kadar %15 azaltmaktır. Bu hedef, aynı enerji ile daha fazla üretimin önünü açacak, enerji yatırım ihtiyaçlarını ve ithalat bağımlılığını azaltacak, ayrıca temiz çevrenin korunmasına önemli katkılarda bulunacaktır.

• **Kurumsal Hedefler:** Enerji ve tabii kaynakların yönetiminde ve yürütülen ilgili politikalarda etkinliği artırmak ve enerjinin her alanında yeniliğe açık olmak bakanlığın kurumsal hedefleri olarak belirlenmiştir.

a) **Politika Etkinliği:** Stratejik planda (2010–2014) belirtilen hedeflerin etkin ve etkili bir şekilde hayata geçirilebilmesi için güçlü devlet politikalarına ve uygulayıcılara ihtiyaç duyulmaktadır.

b) **Yenilikçi Ve Destekleyici Olma:** Enerji ve tabii kaynaklar alanında yenilikçiliğin öncüsü ve destekleyicisi olmak adına, AR-GE faaliyetleri ve yatırımları artırılacak, enerji araştırmaları programı uygulamaya konulacaktır.

4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ SEÇİMİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Yenilenebilir enerji kaynakları portföy oluşturma sürecinde matematiksel modeller ve çok kriterli karar verme teknikleri gibi bir çok yöntem kullanılmaktadır. Nitel ve nicel faktörleri aynı anda sisteme dâhil edememeleri, uzman ve yönetici görüşlerini dikkate almamaları ve uygulama aşamasında karşılaşılan güçlükler sebebiyle matematiksel modeller bu konularda yaygın olarak kullanılmamaktadır (Huang vd., 2008: 1040). Buna karşın, bir çok karar verme probleminde belirli bir amacı gerçekleştirmek üzere birden fazla nicel ya da nitel kriter, bunlara ait alt kriterler ve alternatifler söz konusu olabilmektedir. Bunlardan bazıları birbirleriyle çeliştiğinde kullanılacak en uygun yöntemler ise çok kriterli karar verme teknikleri olarak ortaya çıkmaktadır (Yakıcı Ayan ve Perçin, 2012: 241).

Yapılan çalışmalara bakıldığında, Kahraman vd. (2009), Bulanık aksiyomatik tasarımı ve bulanık analitik hiyerarşi süreci yaklaşımı kullanarak Türkiye için hangi kaynağa yatırımın daha uygun olacağını tespit etmişlerdir. Yine Wang vd. (2010), Çin için yaptıkları çalışmada hiyerarşik bir karar modeli oluşturmuş ve yenilenebilir kaynakların yanında fosil yakıtları da sisteme dahil etmişlerdir. Abanda (2012), Kamerun için yaptığı çalışmada enerji kaynak potansiyellerini, maliyetlerini, faydalarını ve çevre duyarlılıklarını göz önünde bulundurarak uygun yatırımı belirlemeye çalışmıştır.

Halkos ve Tzeremes (2012), veri zarflama analizi ile Yunanistan' da yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların etkinliklerini değerlendirmiş; rüzgar ve hidroelektrik enerji firmalarının en etkin üretim yaptığını belirtmiştir. Davoudpour vd. (2012), yenilenebilir teknoloji portföyü oluşturmak için analitik hiyerarşi süreci ve tam sayılı programlama kullanmışlardır. Yüksel (2008), Türkiye için yenilenebilir kaynaklarla ilgili hazır verilerden hareketle, bu kaynakların avantajlarını ve dezavantajlarını

sıralamış ve bu sonuçlara göre en uygun alternatifin hangi kaynak olacağı konusunda görüş bildirmiştir. Aşağıda tablo 1’ de yapılan diğer çalışmalar sıralanmıştır.

Tablo 1: Yenilenebilir kaynak seçiminde kullanılan yöntemler

Yazarlar	Değerlendirme yöntemi
Daim ve Cowan (2010)	Hedef Programlama
Terrados vd. (2009)	SWOT Analizi-Delphi
Daim vd. (2010)	Bulanık Hedef Programlama
Cristobal (2011)	VIKOR Yöntemi
Beccali (2003)	ELECTRE Yöntemi
Barry (2011)	Vaka İncelemesi
Yi vd. (2011)	Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)-Fayda-Maliyet Analizi
Kaya ve Kahraman (2010)	Fuzzy VIKOR ve AHS

5. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ilk olarak 1970’li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından ortaya atılan, karmaşık problemlerin çözümünde sıkça kullanılan ve karar verme sürecinde objektif faktörlerin yanı sıra subjektif faktörleri de sürece dâhil edebilen güçlü ve kolay anlaşılır bir, tahmin ve karar verme yöntemidir (Armacost, 1994: 386).

AHS üç temel aşamada modellenebilir. Bu aşamalar; ayrıştırma, ikili karşılaştırmalar ve önceliklerin hesaplanması aşamalarıdır (Saaty, 1994: 337). AHS’ nde ilk adım amacın belirlenip o amaç doğrultusunda kriterlerin ve alt kriterlerin belirlenmesi yani; ayrıştırma adımıdır. Daha sonra belirlenen kriterler için alternatifler oluşturulup problem durumu hiyerarşik bir düzen içerisinde ifade edilir (Scholl vd., 2005: 763). Daha basit bir şekilde ifade edilecek olursa, karar problemi için çözüm araştırılırken problem bileşenlerine ayrılarak hiyerarşik bir yapı oluşturulur. Oluşturulan hiyerarşideki kriterler bir üst düzeydeki bileşenler açısından ikili olarak karşılaştırılır. Hiyerarşinin en alt seviyesinden itibaren her bileşenin amaca göre görece önem düzeyleri belirlenerek modeli çözüm aşamasına geçilir (Başkaya ve Akar, 2005:275; Saaty, 2008: 85). İkili karşılaştırmalar alternatiflerin ve kriterlerin öncelik değerlerinin diğer bir ifade ile kriter ve alternatif ağırlıklarının belirlenmesi için yapılır. Yani modeldeki bileşenler görece önem düzeylerinin belirlenmesi için bir üst seviyedeki bileşenler açısından ikili olarak karşılaştırılır (Chandran vd., 2005: 2236). Bir bileşenin diğer bileşenlere göre ne derece önemli olduğunu gösteren ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulabilmesi için bir önem skalasına ihtiyaç vardır. Saaty (1980) tarafından geliştirilen 1–9 arası karar ölçülerinin bulunduğu önem skalası Tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 2: 1–9 AHS Görelî Önem Ölçeđi

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunmaktadır
3	Birinin diğeri göre orta derecede önemli olması	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğeri göre biraz daha fazla tercih edilir.
5	Kuvvetli düzeyde önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğeri göre çok daha fazla tercih edilir.
7	Çok kuvvetli düzeyde önemli	Bir faaliyet diğeri göre çok kuvvetli tercih edilir. Faaliyetin üstünlüğü uygulamada da ispatlanmaktadır.
9	Son derece önemli	Bir faaliyet diğeri göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2,4,6,8	İki faaliyet arasında kalan değerler	İki faaliyet arasında uzlaşma gerektiğinde sayısal değerlerin ortasında bir değer verilir.

Kaynak: Saaty ve Vargas, 2001: 6.

Modelde n adet kriter mevcut olduğunda $n \times n$ boyutlu bir matris oluşturulur ve i . sıradaki bileşenin j . sütundaki elemana göre ne kadar önemli olduğu bu matristeki değerlere bakılarak görülebilir. Hiyerarşik düzende belirlenen düzey (n) elemana sahipse toplamda $n(n-1)/2$ tane karşılaştırma yapılmalıdır (Byun, 2001: 290).

Kriterler için Tablo 3' deki matriste w_i/w_j terimi, amaç açısından bakıldığında i . kriterin j . kriterden ne derece daha önemli olduğunu göstermektedir. Bu tabloyu oluşturabilmek için görelî önem ölçeği kullanılmaktadır. Örneğin bu değer 3 ise, i . kriterin j . kritere göre orta derecede önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu değerlendirmenin tersini de yapmak mümkündür. Yani j . kriter i . kritere göre $1/3$ düzeyinde önemlidir (Vargas, 1990:4).

Öncelik vektörleri hesaplanırken karşılaştırma matrislerinin özdeğer vektörleri hesaplanır. Hesaplanan en büyük özdeğer vektörü (λ_{\max}) o faktörün öncelik değeridir. Bir matrisin en büyük özdeğeri o matrisin boyutuna (n) eşit veya daha büyüktür. Eğer ikili karşılaştırmalarda tutarsızlık yok ise $\lambda_{\max}(n) = n$ e eşit olacaktır. $\lambda_{\max}(n)$ e ne kadar yakın olursa tutarlılık o kadar yüksek olacaktır (Başkaya ve Akar, 2005: 276).

• Özvektör hesaplama yöntemi:

Özvektör şu formülle hesaplanabilir (Srdjevic, 2005: 1901; Ramadhan vd., 1999: 29):

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

W_i = özvektör, a_{ij} = karşılaştırma matrisinde i. satır ile j. sütun elemanı, n= matristeki satır eleman sayısını ifade eder.

Öncelik değerleri hesaplanırken; ikili karşılaştırma matrisindeki her bir sütun değeri o sütun toplamına bölünür ve matris sütun toplamaları 1 e eşit olacak şekilde normalleştirilmiş olur. Sonrasında ise her satırın aritmetik ya da geometrik ortalaması alınır. Bulunan değerler her bir kriter için hesaplanan öncelik değerlerini verir (Işıklar ve Büyüközkan, 2007:270; Perçin ve Ustasüleyman, 2009: 16).

Tablo 3: Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter n
Kriter 1	w_1/w_1	w_1/w_2	w_1/w_n
Kriter 2	w_2/w_1	w_2/w_2	w_2/w_n
Kriter n	w_n/w_1	w_n/w_2	w_n/w_n

Kaynak: Saaty, 1990: 4.

İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı hesaplanırken, ilk olarak her matris için göreceli ağırlıklar veya özvektörler hesaplanır. Oluşturulan her matris için tutarlılık indeks değeri şu şekilde hesaplanır (Gupta vd., 2011: 5622).

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

Bir sonraki adım tutarlılık oranı olan CR' nin hesaplanmasıdır. Tutarlılık oranının kabul edilebilmesi için 0,1 değerinden küçük olması gerekmektedir. Tutarlılık oranı şu şekilde hesaplanmaktadır (Güngör ve İşler, 2005: 24).

$$CR = CI / RI \quad (3)$$

Burada RI rastlantısal olarak oluşturulan karşılaştırmaların ortalama tutarlılık oranını göstermektedir. Tablo 4' de bu indeks değerleri görülmektedir. Bu değerler 1-15 boyutlu matrisler için hesaplanan değerlerdir. Kriterlerin çokluğu tutarlı sonuç elde etme ihtimalini azaltmaktadır (Kwiesielewicz ve Uden, 2004: 714).

Tablo 4: Rastlantısal İndeks Değerleri

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

Kaynak: Shen vd., 2011: 2594.

• Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi genellikle kriterlerin modelin çıktıklarına olan etkilerinin derecesini belirlemek için kullanılır. Bu şekilde bir analiz, AHS ile varılan sonuçlara farklı varyasyonlar sunarak, problem sonuçlarının değişimini göstermesi açısından faydalı olabilir (Winebrake ve Creswick, 2003: 369). AHS sürecinde, sonuçlar karar vericilerin öznel algıları ile verecekleri cevaplara bağlıdır. Duyarlılık analizi ile varsayımlar şeklinde senaryolar üretilerek, karar vericilere farklı durumlar ortaya çıktığında kararın ne yönde değişim göstereceğinin tahmini gibi daha fazla bilgi sunulabilir (Shen vd., 2011: 2594). Duyarlılık analizi ile özellikle kararın subjektif olduğu veya belirsiz olduğu durumlarda birçok olası durum üretilerek, bunların sonuçları test edilebilir (Özdemir ve Saaty, 2006: 350).

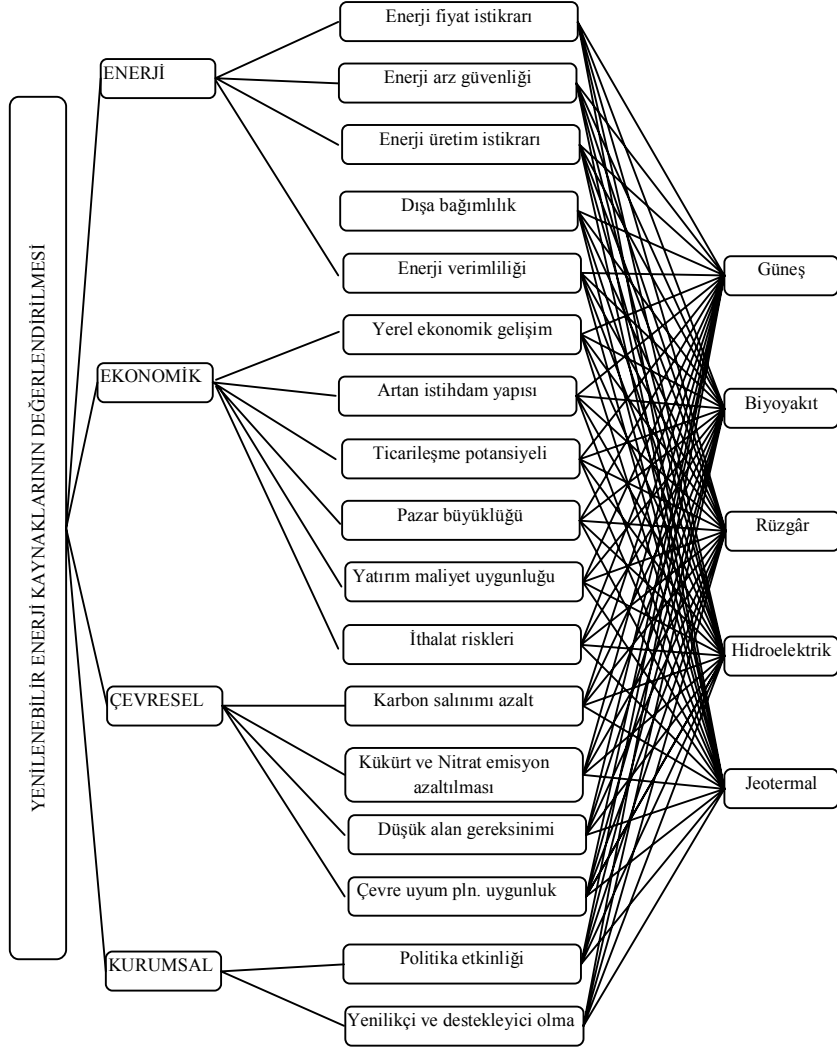
V. UYGULAMA

Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve yatırım yapılabilecek en uygun alternatifin belirlenebilmesi için enerji kaynakları konusunda uzman mühendislerin ve akademisyenlerin bilgi ve deneyimleriyle analitik hiyerarşi süreci yaklaşımı uygulanmıştır. Uygulama sonucunda elde edilen bulgular, bazı hedef ve kriterler için ikili karşılaştırma matrisleri ve hesaplanan ağırlık değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi için oluşturulan hiyerarşik model şekil 1’ de sunulmaktadır. Bu yapı incelenirse hiyerarşinin en üst seviyesinde ana hedef olan yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi hedefi yer alır. Bir alt seviyede ise, amaç ile ilgili seçim kriterleri olan; enerji, ekonomik, çevresel ve kurumsal kriterler yer alır. Ana kriterlere bağlı olan alt kriterler ise bir alt düzeyde yer almaktadır.

Enerji kriteri altında enerji fiyat istikrarı (EFİ), enerji arz güvenliği (EAG), enerji üretim istikrarı (EÜİ), dışa bağımlılık (DB), ve enerji verimliliği (EV) alt kriterleri yer alır. Ekonomik kriter altında yerel ekonomik gelişim (YEG), artan istihdam yapısı (AİY), ticarileşme potansiyeli (TP), pazar büyüklüğü (PB), yatırım maliyetleri uygunluğu (YMU) ve ithalat riskleri (İR) alt kriterleri bulunur. Çevresel kriter altında karbon salınımının azaltılması (KEA), SO_x ve NO_x salınımının azaltılması (SOVENO), düşük alan gereksinimi (DAİ), çevre uyum planlarına uygunluk (ÇUPU) yer alırken kurumsal kriter altında ise, politika etkinliği (PE), yenilikçi ve destekleyici olma (YDO) alt kriterleri bulunmaktadır. Hiyerarşinin en son basamağı seçim alternatifleri yani; yenilenebilir enerji kaynakları alternatiflerinin yer aldığı hiyerarşik düzeydir. Seçim alternatifleri de güneş, biyoyakıt, hidroelektrik, rüzgâr ve jeotermal enerji kaynaklarıdır.

Şekil 1: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesine İlişkin Hiyerarşik Yapı



Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra kriter, alt kriter ve alternatiflerin görelî önemlerini (ağırlıkları) hesaplamak için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. İlk olarak, nihai hedef açısından kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5’de gösterilmiştir. Tablo 5’deki karşılaştırma matrisi verileriyle kriterlerin görelî önemleri yani öncelik değerleri hesaplanmıştır. Özdeğer vektörü hesabı için (1) numaralı formülden yararlanılmıştır. Karşılaştırma matrisinde; ekonomik faktörlerin kurumsal faktörlere göre orta derecede önemli (3), ekonomik faktörlerin enerji ve çevresel faktörlere göre eşit önemde (1) olduğu görülmektedir. Saaty önem ölçeğine göre, bu durumun tersi kurumsal faktörlerin ekonomik faktörlere

göre 1/3 oranında önemli olduğudur. Karşılaştırma matrisi verilerine göre; ekonomik 0,32; enerji ve çevre 0,28; kurumsal hedef için ise 0,12 hesaplanan öncelik değerleridir. Burada ekonomi kriterinin en önemli kriter olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 5: Nihai Hedef Açısından Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi.

Kriterler	Ekonomik	Enerji	Çevresel	Kurumsal	Özvektör
Ekonomik	1	1	1	3	0,32
Enerji	1	1	1	2	0,28
Çevresel	1	1	1	2	0,28
Kurumsal	1/3	1/3	1/2	1	0,12

CR=0,02<0,10

Nihai hedef için kriterler karşılaştırıldıktan sonra, kriterler altındaki alt kriterlerin de kendi aralarında ikili karşılaştırmaları yapılmalıdır. Aşağıda Tablo 6'da enerji kriteri altındaki alt kriterlerin karşılaştırma matrisi ve özvektörleri verilmiştir.

Tablo 6: Enerji Kriteri Altındaki Alt Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi

Alt kriter	DB	EAG	EFİ	EV	EÜİ	Özvektör	Nrm. özvekt.
DB	1	1/2	1	1	1	0,166667	0,041667
EAG	2	1	2	2	2	0,333333	0,083333
EFİ	1	1/2	1	1	1	0,166667	0,041667
EV	1	1/2	1	1	1	0,166667	0,041667
EÜİ	1	1/2	1	1	1	0,166667	0,041667

CR=0,01<0,10

Tablo 6'da enerji arz güvenliğinin önem sıralamasında birinci sırada diğer kriterlerin ise eşit önemle ikinci sırada yer aldıkları görülmektedir. Son sütundaki normalleştirilmiş özvektör değerleri, aynı hiyerarşik düzeyde yer alan bütün alt kriterlere göre yeniden hesaplanıp normalize edilen değerleri göstermektedir. Yani karşılaştırma matrisinde ağırlığı 0,33 olan enerji arz güvenliğinin model içerisindeki nihai ağırlığı diğer bir deyişle modele etkisi 0,08 düzeyindedir.

Tablo 7: Alt Kriterler İçin Özvektör (ağırlık) Değerleri

Ekonomik (CR=0,01)	Norm. Özvektör	Çevre (CR=0,005)	Norm. Özvektör	Kurumsal (CR=0)	Norm. Özvektör
AİY	0,03585	DAİ	0,022228	PE	0,062265
İRA	0,03585	KEA	0,08891	YDO	0,187735
PB	0,02062	SOVENO	0,098526		
TP	0,03585	ÇUPU	0,040337		

Tablo 6'da yapılan bütün işlemler diğer ana kriterler altındaki alt kriterler için de yapılmıştır. Bu işlemler sonucu elde edilen özvektör değerleri yani alt kriterlerin ağırlıkları Tablo 7'de verilmiştir.

Ekonomi kriteri altındaki alt kriterlerden 0,06 ile yatırım maliyetlerinin uygunluğu; çevre kriteri altında 0,098 ile kükürt ve nitrat emisyon oranlarının azaltılması ve kurumsal kriter altında 0,18 ile yenilikçi ve destekleyici olma kriteri ağırlıkları en yüksek olarak belirlenmiştir.

Alt kriterler de kendi aralarında ikili olarak karşılaştırıldıktan sonra alternatiflerin her bir alt kriter açısından ikili olarak karşılaştırılması gerekmektedir. Bu sebeple 17 alt kriter için alternatiflerin birbiriyle karşılaştırıldığı 17 farklı karşılaştırma matrisi oluşturulmalıdır. Yerel ekonomik gelişim alt kriteri için alternatiflerin kıyaslandığı matris aşağıda Tablo 8’de verilmiştir. Yerel ekonomik gelişim açısından bakıldığında 0,37 ile biyoyakıt en yüksek ağırlığa sahip alternatif olarak gözükmektedir. Rüzgâr alternatifi ise 0,07 ile en düşük ağırlığa sahip alternatif olmuştur.

Tablo 8: Yerel Ekonomik Gelişim İçin Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisi

YEG-Alternatif CR=0,08	Biyoyakıt	Güneş	Hidro-elektrik	Jeotermal	Rüzgâr	Özvektör
Biyoyakıt	1	3	3	2	3	0,373953
Güneş	0,33	1	3	2	3	0,242618
Hidroelektrik	0,33	0,33	1	2	3	0,165564
Jeotermal	0,5	0,5	0,5	1	3	0,145751
Rüzgâr	0,33	0,33	0,33	0,33	1	0,072115

Burada hesaplanan ağırlıklar sadece yerel ekonomik gelişim açısından hesaplanan ağırlıklardır. Alternatiflerin nihai ağırlıkları ise bütün karşılaştırmalar yapıldıktan sonra, kriterlerin ağırlıklarının alternatiflerin ağırlıklarıyla çarpılıp her alternatif için toplanmasıyla elde edilmiştir. Nihai sonuçlar Tablo 9’da sunulmaktadır.

Tablo 9: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi İçin Hesaplanan Nihai Ağırlıklar

Alternatifler	Ağırlık	Kriter	Ağırlık
Biyoyakıt	0,18	Ekonomik	0,32
Güneş	0,17	Enerji	0,28
Hidroelektrik	0,25	Çevresel	0,28
Jeotermal	0,18	Kurumsal	0,12
Rüzgâr	0,22		

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Analitik hiyerarşi süreci uygulaması sonucunda 0,25 oranla hidroelektrik enerjinin Türkiye için en uygun yatırım alternatifi olabileceğine karar verilmiştir. Devamında ise 0,22 oranla rüzgâr enerjisinin, 0,18 oranla jeotermal ve biyoyakıt enerjinin ve 0,17 oranla ise güneş enerji yatırımının Türkiye için uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu seçim yapılırken 0,32 oranla

ekonomik faktörler, 0,28 oranla enerji faktörleri yine 0,28 oranla çevresel faktörler ve 0,12 oranla kurumsal faktörler etkili olmuştur.

Türkiye'nin coğrafi konumu, ekonomik kapasitesi ve çevre konusundaki duyarlılığı göz önünde bulundurulursa sonuçların gerçekleşme ihtimalini söylemek mümkündür. Türkiye'nin akarsular yönünden zengin bir ülke konumunda olması ve hidroelektrik santrallerin yatırım maliyetlerinin diğer alternatiflere oranla uygunluğu, hidroelektrik santrallerin Türkiye için neden uygun bir yatırım olabileceği sorusunun cevabı olarak verilebilir. Güneş enerji yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu, biyoyakıt enerjinin bireysellikten kurtulup ciddi yatırımlara dönüştürülebilmesi makro anlamda enerji ihtiyacını karşılayabilecek duruma getirilmesinin zor olması ve üretim istikrarı konusunda dezavantajlı olarak görülmesi diğer alternatifler arasında geride kalmış olmalarının sebebi olarak gösterilebilir.

Yukarıdaki bulgulara ilaveten yapılan duyarlılık analizleri ilginç sonuçlar ortaya koymuştur. Ana kriter ağırlıklarındaki değişimlerin kararı nasıl etkileyeceği irdelenirken, ekonomi, enerji ve çevre politikası olmak üzere üç farklı senaryo düşünülmüştür. İlk olarak bu hedeflerin modele bir etkilerinin olmadığı varsayılmıştır. Ardından bu politikaların farklı ağırlıklarla etkin oldukları varsayılarak bunun yatırım kararını nasıl değiştirdiği tespit edilmiştir. Bu senaryolarla ilgili sonuçlar şu şekilde gerçekleşmiştir.

- **Ekonomi Politikası:** Ekonomi hedefinin modele bir etkisinin olmadığı varsayıldığında yani; ağırlığı 0 kabul edildiğinde; biyoyakıt (0,13), güneş enerjisi (0,19) hidroelektrik (0,25), jeotermal enerji (0,19), rüzgâr enerjisi (0,24) olarak hesaplanmıştır. Ekonomi hedefi için (0,85) ağırlık değeri atandığında ise, biyoyakıt (0,25), güneş enerjisi (0,14), hidroelektrik (0,25), jeotermal enerji (0,17), rüzgâr enerjisi (0,19) olarak hesaplanmıştır. Burada ekonomi hedefinin modele etkisi arttıkça biyoyakıt enerjinin 0,13'ten 0,25'e doğru bir yükselme trendine girdiği gözlenmiştir. Buradaki politika değişiminden en çok etkilenen yatırım alternatifinin biyoyakıt enerji ve en az etkilenen yatırım alternatifinin ise hidroelektrik enerji alternatifi olduğu gözlenmiştir.

- **Enerji Politikası:** Enerji hedefindeki değişimlerin yatırım kararını nasıl etkilediğini görmek için ilgili hedefin ağırlığı 0 ile 0,90 arasında değiştirilmiş ve yatırım kararına olan etkileri incelenmiştir. Enerji hedef ağırlığı 0 varsayıldığında biyoyakıt (0,20), güneş enerjisi (0,20), hidroelektrik (0,25), jeotermal enerji (0,16) ve rüzgâr enerjisi (0,20) olarak; enerji hedef ağırlığı 0,90 varsayıldığında ise biyoyakıt (0,15), güneş enerjisi (0,11) hidroelektrik (0,26), jeotermal enerji (0,23), rüzgâr enerjisi (0,26) olarak gerçekleşmiştir. Burada en büyük değişim (0,20) önemden (0,11) önem düzeyine doğru düşüş trendi gösteren güneş enerjisinde gerçekleşmiştir. En küçük değişim ise (0,01)'lik artışla hidroelektrik enerjide meydana gelmiştir. Hidroelektrik enerjinin politika değişimlerinden etkilenmemesi Türkiye için en uygun yatırım kaynağı olabileceğinin bir işareti olarak gösterilebilir.

- **Çevre Politikası:** Çevre politikasındaki değişimler ise en fazla güneş enerjisi üzerinde etkili olmuştur. Çevre politikasının etkisi 0 dan 0,90

seviyelerine yükselirken güneş enerjisi (0,13) önem derecesinden (0,13) lük artışla (0,26) düzeyine yükselmiştir. Bu politika senaryosunda rüzgâr enerjisinde herhangi bir değişim olmamış, yani rüzgâr enerjisi çevre politikasındaki değişikliklere tepki vermemiştir. Hesaplanan ağırlıklar 0 önem düzeyi için biyoyakıt (0,21), güneş enerjisi (0,13), hidroelektrik (0,25), jeotermal enerji (0,20), rüzgâr enerjisi (0,22) ve (0,90) önem düzeyi için biyoyakıt (0,12), güneş enerjisi (0,26) hidroelektrik (0,26), jeotermal enerji (0,15), rüzgâr enerjisi (0,22) olarak gerçekleşmiştir.

KAYNAKÇA

1. ABANDA, Fonbeyin Henry (2012), “Renewable Energy Sources in Cameroon: Potentials, Benefits and Enabling Environment”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cilt 16, sayı 7, s. 4557–4562.
2. AFGAN, Naim H. and Maria G. Carvalho (2002), “Multi-Criteria Assessment of New and Renewable Energy Power Plants”, *Energy*, cilt 27, sayı 8, s. 739–755.
3. ALTIN, Vural (2004), “Enerji Sorunu ve Türkiye”, *Mimar ve Mühendis Dergisi*, sayı 33, s. 4-6.
4. ARMACOST, Robert L., (1994), “Identification of Determinant Attributes Using The Analytic Hierarchy Process”, *Journal of Academy of Marketing Science*, cilt 22, sayı 4, s. 383-392.
5. ATA, Raşit (1998), “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Değerlendirmesi”, *Ege Bölgesi Enerji Sorunları Forumu, İzmir*, s. 45–47.
6. ATA, Raşit (2010), “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Jeotermal ve Rüzgâr Enerjisinin Gelişimi ve Çevresel Değerlendirmesi”, *CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, cilt 2, sayı 13, s. 47-54.
7. BAHGAT, Gawdat (2006), “Europe’s Energy Security: Challenges and Opportunities”, *International Affairs*, cilt 82, sayı 5, s. 961-965.
8. BASKAYA, Zehra ve Cüneyt Akar (2005), “Üretim Alternatifi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci: Tekstil İşletmesi Örneği”, *Sosyal Bilimler Dergisi*, cilt 5, sayı 1, s. 273-286.
9. BARRY, Marie-Louise, Herman Steyn and Alan Brent (2011), “Selection of renewable energy technologies for Africa: Eight case studies in Rwanda, Tanzania and Malawi”, *Renewable Energy*, cilt 36, sayı 11, s. 2845-2852.
10. BECCALI, Marco, Maurizio Cellura and Marina Mistretta (2003), “Decision-Making in Energy Planning. Application of The Electre Method at Regional Level for the Diffusion of Renewable Energy Technology”, *Renewable Energy*, cilt 28, sayı 13, s. 2063–2087.

11. BEGIC, Fajik and Naim H.Afgan (2007), “Sustainability Assessment Tool for the Decision Making in Selection of Energy System: Bosnian Case” *Energy, cilt 32, sayı 10, s. 1979–1985*.
12. BYUN, Dae-Ho (2001), “The AHP Approach for Selecting an Otomobile Purchase Model”, *Information & Managment, cilt 38, sayı 5, s. 289–297*.
13. CHANDRAN, Bala, Bruce Golden and Edward Wasil (2005), “Linear Programming Models for Estimating Weights in The Analytic Hierarchy Process”, *Computers & Operations Research, cilt 32, sayı 9, s. 2235–2254*.
14. CRÍSTÓBAL, San J.R (2011), “Multi-Criteria Decision-Making in The Selection of a Renewable Energy Project in Spain: The Vikor Method”, *Renewable Energy, cilt 36, sayı 2, s. 498-502*.
15. ÇUKURÇAYIR M.Akif. ve Hayriye Sağır (2008), “Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları”, *S.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, sayı 20, s. 1302–1796*.
16. DAİM, Tugrul and Kelly Cowan (2010a), “Assessing Renewable Energy Portfolio Futures with Multiple Perspectives: The Case of The Northwest US”, *Technology in Society, cilt 32, sayı 4, s. 255–263*.
17. DAİM, Tugrul U., Gulgun Kayakutlu and Kelly Cowan (2010b), “Developing Oregon’s Renewable Energy Portfolio Using Fuzzy Goal Programming Model”, *Computers & Industrial Engineering, cilt 59, sayı 4, s. 786–793*.
18. DAVOUDPOUR, Hamid, Sara Rezaee and Maryam Ashrafi (2012), “Developing a Framework for Renewable Technology Portfolio Selection: A Case Study at A R&D Center”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews, cilt 16, sayı 6, s. 4291– 4297*.
19. DOĞU MARMARA KALKINMA AJANSI, <http://www.jeotermalhaber.com/tag/dogu-marmara-kalkinma-ajansi>, 29.10.2012
20. ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI (ETKB), <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=enerji&bn=215&hn=12&nm=384&id=384>, 11.08.2012
21. ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI (ETKB), http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/ETKB_2010_2014_Stratejik_Plani.pdf, 29.10.2012
22. EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (EREC): Renewable energy in Europe : markets, trends, and Technologies 2010,. <http://www.solarthermalworld.org/files/Renewable%20Energy%20in%20Europe%20-%20Markets%20Trends%20and%20Technologies%20-%20EREC.pdf>

23. GUPTA, Pankaj, Masahiro Inuiguchi and Mukesh Kumar Mehlawat (2011), “A Hybrid Approach for Constructing Suitable and Optimal Portfolios”, *Expert Systems with Applications*, cilt 38, sayı 5, s. 5620–5632.
24. GÜLER, Çağatay ve Zakir ÇOBANOĞLU (1997), “Enerji ve Çevre, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi”, Sağlık Bakanlığı Yayını, no 41.
25. GÜLER, Önder (2006), “Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Durumu ve Geleceği”, *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi*, s.143-151.
26. GÜNGÖR, İbrahim ve Didar B İşler, (2005), “Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı İle Otomobil Seçimi”, *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, cilt 1, sayı 2, s. 21-33.
27. HAKKILA, Pentti (2006), “Factors Driving the Development of Forest Energy in Finland”, *Biomass and Bioenergy*, cilt 30, sayı 4, s. 281-288.
28. HALKOS, George E. And Nickolaos G. Tzeremes (2012), “Analyzing the Greek Renewable Energy Sector: A Data Envelopment Analysis Approach”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cilt 16, sayı 5, s. 2884– 2893.
29. HIRSCH, Robert L. (2002), “Electric Power from Renewable Energy: Realities for Policy-Makers”, *Journal of Fusion Energy*, cilt 21, sayı 3,4, s. 173–180.
30. HUANG, C-C., Chu, P-Y. and Chiang, Y-H. (2008) “A Fuzzy AHP Application in Government Sponsored R&D Project Selection”, *Omega*, cilt 36, sayı 6, s. 1038-1052
31. IŞIKLAR, Gülfem ve Gülçin Büyüközkan (2007), “Using a Multi-Criteria Decision Making Approach to Evaluate Mobile Phone Alternatives”, *Computer Standards & Interfaces*, cilt 29, sayı 2, s. 265–274.
32. JOSELİN, Herbert G.M., İniyan S., Sreevalsan E., S. Rajapandian (2007), “A Review Of Wind Energy Technologies”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, cilt 11, sayı 6, s. 1117–1145.
33. KAHRAMAN, Cengiz, İhsan Kaya and Selçuk Çebi, (2009), “A Comparative Analysis for Multiattribute Selection Among Renewable Energy Alternatives Using Fuzzy Axiomatic Design and Fuzzy Analytic Hierarchy Process”, *Energy*, cilt 34, sayı 10, s. 1603–1616.
34. KAYA, Tolga ve Cengiz Kahraman (2010), “Multicriteria Renewable Energy Planning Using an Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The case of Istanbul”, *Energy*, cilt 35, sayı 6, s. 2517-2527.
35. KOMOR, Paul and Morgan BAZİLİAN (2005), “Renewable Energy Policy Goals, Programs and Technologies”, *Energy Policy*, cilt 33, sayı 14, s. 1873–1881.

36. KWIESIELEWICZ, Mirosław and Ewa Van Uden (2004), “Inconsistent and Contradictory Judgements in Pairwise Comparison Method in the AHP”, *Computers & Operations Research*, cilt 31, sayı 5, s. 713-719.
37. LEE, Seong Kon, Yong Jin Yoon and Jong Wook Kim (2007), “A Study on Making a Long-Term Improvement in The National Energy Efficiency and GHG Control Plans by The AHP Approach”, *Energy Policy*, cilt 35, sayı 5, s. 2862–2868.
38. LEWIS, Joanna I. and Ryan H. Wiser (2007), “Fostering a Renewable Energy Technology Industry: An International Comparison of Wind Industry Policy Support Mechanisms”, *Energy Policy*, cilt 35, sayı 5, s. 1844-1857.
39. LİOR, Noam (2010), “Sustainable Energy Development: The Present (2009) Situation and Possible Paths to The Future”. *Energy*, cilt 35, sayı 10, s. 3976–3994.
40. LİU, Li-qun and Zhi-xin. Wang (2009), “The Development and Application Practice of Wind-Solar Energy Hybrid Generation Systems in China”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, cilt 13, sayı 6,7, s. 1504-1512.
41. LUND, Peter D. (2007), “The Link Between Political Decision-Making and Energy Options: Assessing Future Role of Renewable Energy and Energy Efficiency in Finland”, *Energy*, cilt 32, sayı 12, s. 2271–2281.
42. MUTLU, Ahmet (2002), “Nükleer Demodelik mi, Sürdürülebilir Enerji mi”, *Standart*, cilt 41, sayı 487, s. 64-72.
43. NELSON, Vaughn (2011), *Introduction to Renewable Energy*, Taylor & Francis Group, USA.
44. ÖZDEMİR, Muğgan S. and Thomas L. Saaty, (2006), “The Unknown in Decision Making What to do About It”, *European Journal Of Operational Research*, cilt 174, sayı 1, s. 349–359.
45. PERÇİN, Selçuk ve Talha USTASÜLEYMAN, (2009), “Analitik Hiyerarşi Süreci ve Kalite Fonksiyon Göçerimi Yardımıyla Bakım Stratejisi Seçimi”, *Celal Bayar Üniversitesi S.B.E.Dergisi*, cilt 7, sayı 2, s. 11-26.
46. POWELL, Erin and Gordon E., Hill (2010), “A. Carbon Dioxide Neutral, Integrated Biofuel Facility”, *Energy*, cilt 35, sayı 1, s. 4582-4586.
47. RAMADHAN, H. Rezaqallah., Hamad Al-Abdul Wahhab and Salih Duffuaa (1999). “The Use Of An Analytical Hierarchy Process İn Pavement Maintenance Priority Ranking”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, cilt 5, sayı 1, s. 25–39.
48. REN21, 2011, *Renewables 2011 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat).

49. SAATY, Thomas L. (1980); *The Analytical Hierarchy Process*, McGraw-Hill Company, New York.
50. SAATY, Thomas L. (1990); “An Overview of the Analytic Hierarchy Process and Its Applications”, *European Journal of Operational Research*, cilt 48, sayı 1, s. 1-17.
51. SAATY, Thomas L. (1994). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh.
52. SAATY, Thomas L. (2008); “Decision Making with the Analytic Hierarchy Process”, *International Journal of Services Sciences*, cilt 1, sayı 1, s. 83-98 .
53. SAATY, Thomas L. ve Luis G. VARGAS (2001), *Models, Methods, Concepts & Application of the Analytic Hierarchy Process* Kluwer Academic Publishers, Boston.
54. SCHOLL, Armin, Laura Manthey, Roland Helm and Michael Steiner (2005), “Solving Multiattribute Design Problems with Analytic Hierarchy Process and Conjoint Analysis: an Empirical Comparison”, *European Journal of Operational Research*, cilt 164, sayı 3, s. 760-777.
55. SHEN, Yung-Chi, Chiyang James Chou and Grace T. R. Lin (2011); “The Portfolio of Renewable Energy Sources for Achieving the Three E Policy Goals” *Energy*, cilt 36, sayı 5, s. 2589–2598.
56. SRDJEVIĆ, Bojan, (2005), “Combining Different Prioritization Methods İn The Analytic Hierarchy Process Synthesis”, *Computers & Operations Research*, cilt 32, sayı 7, s. 1897–1919.
57. TERRADOS, Julio, Gabino Almonacid and Pedro Pe’Rez-Higueras (2009), “Proposal for a Combined Methodology for Renewable Energy Planning, Application to a Spanish Region”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cilt 13, sayı 8, 2022–2030.
58. Türkiye Enerji Verimliği Meclisi (2010), Türkiye Enerji Ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu “Yeşil Ekonomiye Geçiş” Temmuz 2010.
59. TÜRKİYE İSTATİSTİK KURUMU, Hazır Tablolar, http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?alt_id=12, 22.10.2012.
60. VARGAS, Luis G. (1990); “An Overview of The Analytic Hierarchy Process and Its Applications”, *European Journal of Operational Research*, cilt 48, sayı 1, s. 2–8.
61. WANG, Bing, F. Dündar Kocaoglu , U. Tugrul Daim, Jiting Yang (2010), “A Decision Model for Energy Resource Selection in China” *Energy Policy*, cilt 38, sayı 11, s. 7130–7141.

62. WİNEBRAKE, James J. and Brian P. Creswick (2003), “The Future Of Hydrogen Fueling Systems For Transportation: An Application Of Perspective-Based Scenario Analysis Using The Analytic Hierarchy Process”, *Technological Forecasting and Social Change*, cilt 70, sayı 4, s. 359–384.
63. YAKICI AYAN Tuba, Selçuk PERÇİN (2012), “Ar-Ge Projelerinin Seçiminde Grup Kararına Dayalı Bulanık Karar Verme Yaklaşımı”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, cilt 26, sayı 2, s. 237-256.
64. YI, Sul-Ki, Hwa-Young Sin and Eunnyeong Heo (2011), “Selecting Sustainable Renewable Energy Source for Energy Assistance to North Korea”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cilt 15, sayı 1, s. 554–563.
65. YÜKSEL, İbrahim (2008), “Global Warming And Renewable Energy Sources for Sustainable Development in Turkey”, *Renewable Energy* cilt 3, sayı 4, s. 802–812.