



Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesinde Analitik Ağ Süreci (AAS) Yöntemi İle Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk (FFMR) Analizinin Kullanılması

Utkucan ŞAHİN

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Ula Ali Koçman Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 48640, Ula/MUĞLA

Received: 16.09.2016; Accepted: 18.11.2016

Özet: Bu çalışmada, Türkiye elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakların sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesinde Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemi kullanılmıştır. Sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde sera gazı emisyonu, sosyal kabul edilebilirlik, istihdam yaratma, alan gereksinimi, su tüketimi, kapasite faktörü, enerji verimliliği, kazalar ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti olmak üzere toplam dokuz adet kriter kullanılmıştır. Hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle olmak üzere toplam beş adet seçenek belirlenmiştir. Bununla birlikte, AAS yönteminde Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk (FFMR) analizi kullanılmıştır. Oluşturulan ağ biçimindeki modelin çözümlenmesi Super Decisions 2.6.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar, FFMR analizindeki toplamsal ve çarpımsal hesaplama yöntemlerine göre sürdürülebilirlik açısından rüzgar enerjisinin Türkiye elektrik enerjisi üretiminde en iyi yakıt türü olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Analitik Ağ Süreci, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Enerji Politikası, FFMR

Sustainability Assessment of Renewable Energy Sources for Electricity Production in Turkey Using Analytic Network Process (ANP) with Benefits, Opportunities, Costs and Risks (BOCR) Analysis

Abstract: In this study, Analytic Network Process (ANP) was used for evaluation of sustainability of renewable energy sources for electricity production in Turkey. Totally 9 criteria which are *green house gas emission, social acceptability, job creation, land requirement, water consumption, capacity factor, energy efficiency, accidents and levelized cost of energy* were used for sustainability assessment. Totally 5 alternatives which are hydro, solar, wind, geothermal and biomass energy were selected. Additionally, Benefits, Opportunities, Costs and Risks (BOCR) analysis was used in Analytic Network Process (ANP) method. The analysis of network model was done by using Super Decisions 2.6.0 software. Results show that wind energy is the best fuel type in terms of sustainability for electricity production in Turkey according to the additive and multiplicative calculation methods in BOCR analysis.

Keywords: Sustainability, Analytic Network Process, Renewable Energy Sources, Energy Policy, BOCR.

1. GİRİŞ

2015 yılında Dünya birincil enerji tüketim değeri 13147.3 MTEP olup, Türkiye 131.3 MTEP birincil enerji tüketim değeri ile 19. sırada yer almıştır. Bununla birlikte, dünya elektrik enerjisi üretimi 24097.7 TWh gerçekleşmiş olup, ülkemiz 259.7 TWh'lik elektrik enerjisi üretimi ile dünyada 17. sırada yer almıştır. Ülkemizin 2016 yılı haziran ayı sonu itibariyle elektrik enerjisi tüketimi 133.8 TWh olup, elektrik enerjisi tüketimindeki artış oranı ise 2014 yılında %4.4 ve 2015 yılında %2.7 olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizin elektrik enerjisi kurulu gücü 2016 yılı haziran sonu itibariyle 76550 MW olup bunun %57.6'sını termik, %34.3'ünü hidrolik, %6.5'ini rüzgar, %0.9'unu jeotermal ve %0.7'sini ise güneş enerjisi oluşturmaktadır. Buna ek olarak, ülkemizin yerli ve ithal kaynak bazında elektrik enerjisi kurulu gücü ele alındığında 2016 yılı haziran sonu itibariyle toplam kurulu gücümüzün %55.7'sini yerli kaynaklar oluştururken % 44.3'ünü ise ithal kaynaklar oluşturmaktadır [1]. Ülkemizde elektrik enerjisi

* Corresponding author. Email address: usahin@mu.edu.tr

tüketim değerleri artmakla beraber enerji kaynaklarının gerek arz güvenliği gerekse de meydana getirdiği çevresel sorunlar, bu kaynakların değerlendirilmesi konusunda enerji politikalarının oluşturulma gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemi, ilk kez Saaty tarafından geliştirilen, nitel ve nicel verileri bir arada kullanmayı sağlayan düşünmeyi, bilgiyi ve tecrübeyi ele alan çok ölçütlü bir karar verme yöntemidir [2, 3]. AAS yöntemi, karar verme problemlerinde kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yönteminin genel bir formu olmakla beraber AHS yönteminin daha genelleştirilmiş ve geliştirilmiş halidir [4]. AHS yönteminden farklı olarak AAS yöntemi karar verme problemlerinde amaca etki eden öğeleri hiyerarşik bir yapıda tek yönlü olarak modellememekte ve aynı seviyedeki birbirinden bağımsız kriterlerin birbiriyle olan etkileşimlerine izin verebilmektedir [5]. Bununla birlikte AAS yöntemi Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk (FFMR) analizi ile birlikte kullanılarak, karar verme problemlerinde kriterlerin amaç üzerindeki olumlu ve olumsuz etkilerini başarılı bir biçimde çözebilmektedir [6]. Literatürde enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde AAS yönteminin FFMR analizi ile birlikte kullanıldığı çalışmalar mevcuttur [7-10].

Bu çalışmanın amacı, Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemini Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk (FFMR) analizi ile birlikte kullanılarak Türkiye elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakların sürdürülebilirliğini değerlendirmektir.

2. GEREÇ ve YÖNTEM

2.1 AAS Yöntemi ve FFMR Analizi

Analitik Ağ Süreci (AAS) yönteminde model bir ağ yapısı şeklinde oluşturulmadan önce en üst seviyede amaç ve bu amaca etki eden Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk (FFMR) alt şebekeleri yer almaktadır. Burada Fayda ve Fırsat alt şebekeleri amaca olumlu yönde etki edenleri, Maliyet ve Risk alt şebekeleri ise amaca olumsuz yönde etki edenleri belirtmektedir. FFMR alt şebekelerinde bu çalışmada sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde literatürdeki çalışmalardan elde edilen kriterler yer almaktadır. Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi teknolojik, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan ele alınmış ve buna göre tespit edilen kriterler Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesinde enerji verimliliği, kapasite faktörü, alan gereksinimi, su tüketimi, sera gazı emisyonları, seviyelendirilmiş enerji maliyetleri, sosyal kabul edilebilirlik, istihdam yaratma ve kazalar olmak üzere toplam dokuz adet kriter kullanılmıştır.

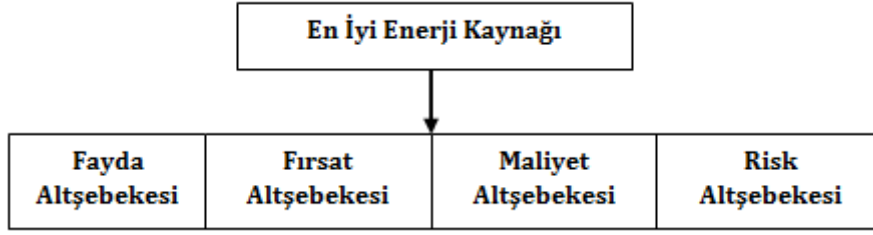
Tablo 1. Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler

Sürdürülebilirlik	Kriterler	Kaynaklar
Teknolojik	Enerji verimliliği, Kapasite faktörü	[11-14]
Çevresel	Alan gereksinimi, Su tüketimi, Sera gazı emisyonları	
Ekonomik	Seviyelendirilmiş enerji maliyetleri	
Sosyal	Sosyal kabul edilebilirlik, İstihdam yaratma, Kazalar	

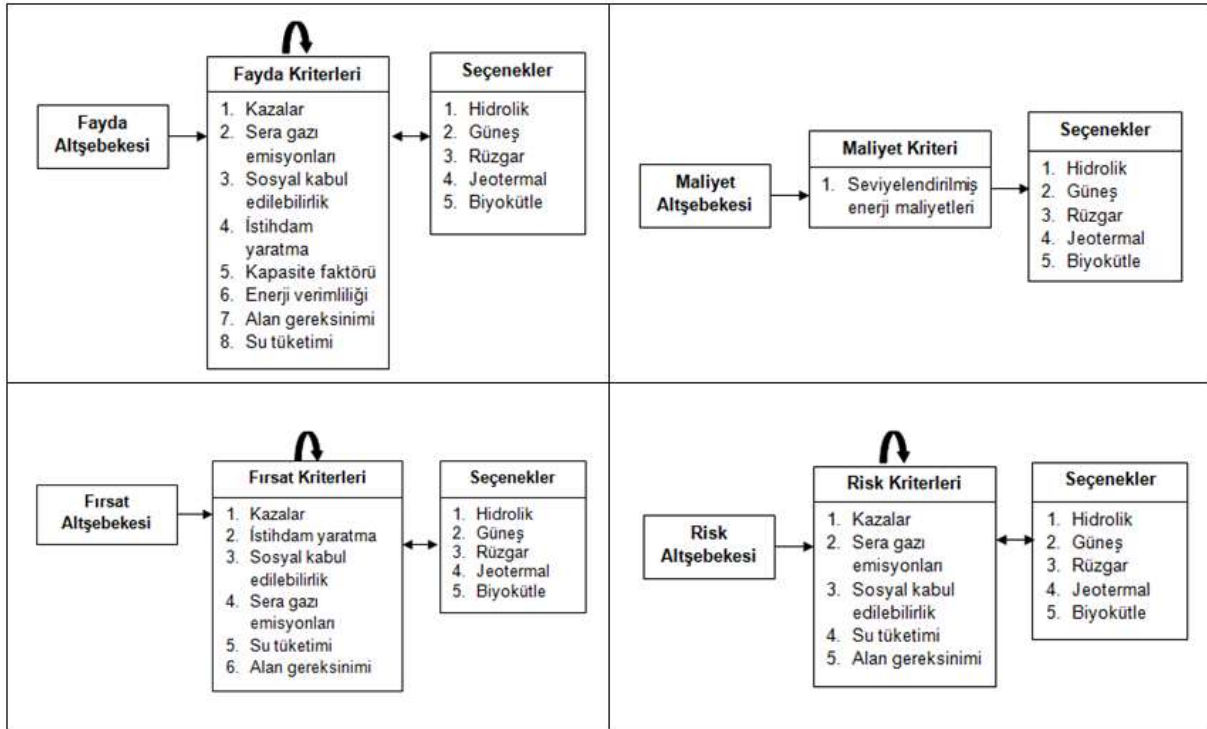
Bu çalışma için oluşturulan şebeke ve alt şebeke modelleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmektedir. Burada, kriterler ile seçenekler arasında iki farklı bağlantı biçimi mevcuttur. İki küme arasındaki ilişki tek yönlü ise oklar tek uçlu, çift yönlü ise oklar iki uçlu olarak gösterilmektedir. Bununla birlikte, kümelerin üzerindeki oklar ise geribildirim göstermekte olup küme içindeki kriterlerin birbiriyle etkileşim halinde olduğunu belirtmektedir [5]. FFMR alt şebekelerinde yer alan kriterler ise

Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan

seçeneklere etki etmektedir. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları olarak hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle enerjisi olmak üzere toplam beş adet seçenek belirlenmiştir.



Şekil 1. AAS yönteminde oluşturulan şebeke yapısı



Şekil 2. Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk alt şebekeleri

AAS yönteminde model bir ağ yapısı biçiminde oluşturulduktan sonra, önce küme içerisinde yer alan kriterlerin seçeneklerle ikili karşılaştırılma matrisleri sonra da kriterlerin birbiriyle olan ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmaktadır. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasında Tablo 2'de belirtilen 1-9 ölçeği kullanılmaktadır [2].

Tablo 2. İkili karşılaştırma matrislerinde kullanılan temel ölçek ve tanımları

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit Derecede Önemli
3	Orta Derecede Önemli
5	Kuvvetli Derecede Önemli
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli
9	Kesin Önemli
2, 4, 6, 8	Ara Değerler

ŞAHİN

Bu çalışmada, enerji verimliliği, kapasite faktörü, alan gereksinimi, su tüketimi, seviyelendirilmiş enerji maliyetleri, sosyal kabul edilebilirlik, istihdam yaratma, kazalar ve sera gazı emisyonları ile ilgili veriler Tablo 3-5'te verilmektedir.

Tablo 3. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji verimliliği, kapasite faktörü, istihdam yaratma ve seviyelendirilmiş enerji maliyetleri ile ilgili veriler

Yakıt türü	Enerji verimliliği ^a (%)	Kapasite faktörü ^b (%)	İstihdam yaratma ^c (İş/GWh)	Seviyelendirilmiş enerji maliyetleri ^d (\$/MWh)
Hidrolik	92.5	37.3	1.32	82.9
Güneş	15.0	25.9	1.32	291.55
Rüzgar	35.5	34.0	0.54	93.66
Jeotermal	15.0	74.0	0.18	78.91
Biyokütle	40.0	58.9	0.79	91.51

^a[15], ^b[16], ^c[17], ^d[18].

Tablo 4. Yenilenebilir enerji kaynaklarının su tüketimi, alan gereksinimi, ölümcül kazalar ve sosyal kabul edilebilirlik ile ilgili veriler

Yakıt türü	Su tüketimi ^a (m ³ /MWh)	Alan gereksinimi ^b (km ² /TWh)	Kazalar ^c (Ölüm/TW _{elektrik})	Sosyal kabul edilebilirlik ^d
Hidrolik	18.50	2.06	2.70	0.84
Güneş	0.01	0.4	0.25	0.84
Rüzgar	0.00	1.57	1.78	0.84
Jeotermal	7.20	0.74	1.86	0.51
Biyokütle	1.55	12.65	14.90	0.51

^a[19] ve [20]'den elde edilen verilerin ortalaması kabul edilmiştir, ^b [12], ^c [21]'de OECD üyesi, OECD üyesi olmayan ve Avrupa Birliği üye ülkelerinden elde edilen verilerin ortalaması kabul edilmiştir, ^d [12]'de yüksek seviye olan 0.68-1.00 ve orta seviye olan 0.34-0.67 değerlerinin ortalaması kabul edilmiştir.

Tablo 5. Yenilenebilir enerji kaynaklarında sera gazı emisyon değerleri

Yakıt türü	CO ₂ (g/kWh)	NO _x (mg/kWh)	SO ₂ (mg/kWh)
Hidrolik	23.2 ^a	33.1 ^b	15.7 ^b
Güneş	70.0 ^c	238.0 ^b	260.5 ^b
Rüzgar	23.7 ^c	32.3 ^d	37.9 ^d
Jeotermal	150.5 ^e	20.0 ^f	2710.0 ^f
Biyokütle	41.8 ^a	1167.5 ^c	449.5 ^c

Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan

^a[22], [23] ve [24]'deki verilerin ortalaması, ^b [24] ve [25]'deki verilerin ortalaması, ^c [22], [23], [24] ve [26]'daki verilerin ortalaması, ^d [24], [25] ve [27]'deki verilerin ortalaması, ^e [22] ve [24]'teki verilerin ortalaması, ^f [24]'teki veriler.

Tablo 5'te verilen yenilenebilir enerji kaynaklarının CO₂, NO_x ve SO₂ sera gazı emisyonları çevreye zarar vererek dışsal maliyete denem olmaktadır. Bu emisyonların dışsal maliyet değerleri Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Sera gazı emisyonlarının dışsal maliyetleri [28]

Emisyon türleri	Dışsal maliyet (€/ton)
CO ₂	20.5
NO _x	2450
SO ₂	2950

2.2 İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

Seçeneklerin kriterlere göre ağırlıklandırılması Tablo 3-5'teki verilerin toplanıp normalize edilmesiyle bulunmaktadır. Burada, bir kriter FFMR alt şebekelerinin herhangi birinde yer alabilir. Eğer bu kriter fayda veya fırsat alt şebekesinde yer alıyorsa amaca olumlu yönde etki etmekte, maliyet veya risk alt şebekesinde yer alıyorsa amaca olumsuz yönde etki etmektedir. Örneğin sera gazı emisyonu kriteri fayda, fırsat ve risk alt şebekelerinde yer almaktadır. Sera gazı emisyonu kriteri risk alt şebekesinde ele alındığında CO₂, NO_x ve SO₂ emisyonları bakımından en riskli yakıt türünün sırasıyla jeotermal, biyokütle ve jeotermal olduğu Tablo 7'de görülebilmektedir.

Tablo 7. Risk alt şebekesindeki enerji kaynaklarının sera gazı emisyon değerlerine göre ağırlıklandırılması

Yakıt türü	CO ₂ (g/kWh)	Normalize edilmiş	NO _x (mg/kWh)	Normalize edilmiş	SO ₂ (mg/kWh)	Normalize edilmiş
Hidrolik	23.2	0.0750	33.1	0.0222	15.7	0.0051
Güneş	70.0	0.2265	238.0	0.1596	260.5	0.0847
Rüzgar	23.7	0.0766	32.3	0.0217	37.9	0.0123
Jeotermal	150.5	0.4867	20.0	0.0134	2710.0	0.8817
Biyokütle	41.8	0.1352	1167.5	0.7831	449.5	0.1462
Toplam	309.2	1.0000	1490.9	1.0000	3073.6	1.0000

Sera gazı emisyonu kriteri fayda veya fırsat alt şebekesinde ele alındığında CO₂, NO_x ve SO₂ emisyonları bakımından en iyi yakıt türünün sırasıyla hidrolik, jeotermal ve hidrolik olduğu Tablo 8'de görülebilmektedir.

Tablo 8. Fayda veya fırsat alt şebekesindeki enerji kaynaklarının sera gazı emisyon değerlerine göre ağırlıklandırılması

Yakıt türü	CO ₂		NO _x		SO ₂	
	Normalize	1/Normalize	Normalize	1/Normalize	Normalize	1/Normalize
Hidrolik	0.0750	0.3312	0.0222	0.2599	0.0051	0.6600
Güneş	0.2265	0.1098	0.1596	0.0361	0.0847	0.0398
Rüzgar	0.0766	0.3242	0.0217	0.2664	0.0123	0.2734
Jeotermal	0.4867	0.0511	0.0134	0.4302	0.8817	0.0038
Biyokütle	0.1352	0.1838	0.7831	0.0074	0.1462	0.0231
Toplam	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Bununla birlikte, Tablo 6'da verilen sera gazı emisyonlarının dışsal maliyet değerleri kullanılarak CO₂, NO_x ve SO₂ emisyonlarının risk, fayda veya fırsat alt şebekesine göre ağırlıklandırılması Tablo 9'da verilmektedir.

ŞAHİN

Tablo 9. Sera gazı emisyonlarının fayda, fırsat ve risk alt şebekesindeki ağırlıklandırılması

Emisyon türleri	Dışsal maliyet (€/ton)	Risk alt şebekesi	Fayda veya fırsat alt şebekesi
		Normalize edilmiş	1/Normalize edilmiş
CO ₂	20.5	0.0038	0.9849
NO _x	2450	0.4520	0.0082
SO ₂	2950	0.5442	0.0068
Toplam	5420.5	1.0000	1.0000

Tablo 7 ve 8'deki enerji kaynaklarının emisyon değerlerine göre ağırlıklandırılması ile Tablo 9'da verilen sera gazı emisyonların birbirine göre ağırlıklandırılması kullanılarak enerji kaynaklarının sera gazı emisyonu açısından fayda, fırsat ve risk alt şebekesine göre ağırlıklandırılması Tablo 10'da gösterilmektedir. Buna göre, sera gazı emisyonu kriteri açısından jeotermal enerjinin en riskli yakıt türü olduğu, fayda ve fırsat bakımından ise hidrolik enerjinin en iyi yakıt türü olduğu söylenebilir.

Tablo 10. Fayda veya fırsat alt şebekesindeki enerji kaynaklarının sera gazı emisyon değerlerine göre ağırlık oranları

Yakıt türü	Sera gazı emisyonu	
	Fayda ve Fırsat alt şebekesi	Risk alt şebekesi
Hidrolik	0.5077	0.0128
Güneş	0.0570	0.1138
Rüzgar	0.4050	0.0160
Jeotermal	0.0150	0.4325
Biyokütle	0.0153	0.4249
Toplam	1.0000	1.0000

Kriterlerin birbirine göre ağırlıklandırılması Tablo 2'deki 1-9 ölçeği kullanılarak yapılmıştır. Enerji verimliliği kriterinin kapasite faktörü kriteri ile, sosyal kabul edilebilirlik kriterinin istihdam yaratma kriteri ile ve kazalar kriterinin alan gereksinimi kriteri ile olan ikili karşılaştırma matrisleri literatürden [29] elde edilmiş ve sırasıyla Tablo 11, 12 ve 13'te gösterilmiştir. Bunun dışında, diğer kriterlerin birbiriyle olan ikili karşılaştırmalarında kriterler birbirine göre eşit derecede önemli kabul edilmiştir.

Tablo 11. Enerji verimliliği ile kapasite faktörü kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklandırılması

	Enerji verimliliği	Kapasite faktörü	Normalize edilmiş
Enerji verimliliği	1	3	0.7500
Kapasite faktörü	1/3	1	0.2500

Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan

Tablo 12. Sosyal kabul edilebilirlik ile istihdam yaratma kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklandırılması

	Sosyal kabul edilebilirlik	İstihdam yaratma	Normalize edilmiş
Sosyal kabul edilebilirlik	1	3	0.7500
İstihdam yaratma	1/3	1	0.2500

Tablo 13. Kazalar ile alan gereksinimi kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklandırılması

	Kazalar	Alan gereksinimi	Normalize edilmiş
Kazalar	1	5	0.8333
Alan gereksinimi	1/5	1	0.1667

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada oluşturulan ağ yapısı ve ikili karşılaştırma matrislerinin çözümü Super Decisions 2.6.0 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk alt şebekelerinde seçeneklerin ağırlıklandırılması Tablo 14'te verilmektedir. Buna göre; fayda açısından rüzgar enerjisinin en iyi yakıt türü olduğu, fırsat açısından ise en iyi yakıt türünün güneş enerjisi olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, en az riskli yakıt türünün güneş enerjisi olduğu ve en az maliyetli yakıt türünün ise jeotermal enerji olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 14. Seçeneklerin fayda, fırsat, maliyet ve risk alt şebekelerindeki ağırlık oranları.

Yakıt türü	Fayda	Fırsat	Maliyet	Risk
Hidrolik	0.2319	0.2044	0.1298	0.2345
Güneş	0.2636	0.3201	0.4566	0.0772
Rüzgar	0.2794	0.3181	0.1467	0.0853
Jeotermal	0.1206	0.0945	0.1236	0.1940
Biyokütle	0.1045	0.0630	0.1433	0.4091
Toplam	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Bu çalışmada, FFMR alt şebekelerindeki seçeneklerin amaca göre ağırlıklandırılması hesaplanırken toplamsal ve çarpımsal olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır [6].

Toplamsal hesaplama yöntemi:

$$P_i = fa * Fa_i + fi * Fl_i + m * (1/M_i)_{Normalize\ edilmiş} + r * (1/R_i)_{Normalize\ edilmiş} \quad (1)$$

Çarpımsal hesaplama yöntemi:

$$P_i = (Fa_i * Fl_i) / (M_i * R_i) \quad (2)$$

Eşitlik (1) ve (2)'de; Fa_i fayda alt şebekesindeki seçeneklerin ağırlık oranını, Fl_i fırsat alt şebekesindeki seçeneklerin ağırlık oranını, M_i maliyet alt şebekesindeki seçeneklerin ağırlık oranını, R_i risk alt şebekesindeki seçeneklerin ağırlık oranını, fa , fi , m ve r ise sırasıyla fayda, fırsat, maliyet ve risk alt şebekelerinin amaca göre ağırlık oranlarını belirtmektedir. Bu çalışmada fayda, fırsat, maliyet ve risk alt şebekelerinin amaca göre önem derecesi eşit kabul edilmiştir.

Sonuçlar, Türkiye elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirlik açısından her iki hesaplama yöntemine göre değerlendirildiğinde rüzgar enerjisinin birinci sırada yer aldığını ve bunu sırasıyla güneş, hidrolik, jeotermal ve biyokütle enerjisinin takip ettiğini göstermektedir (Tablo 15).

Tablo 15. En iyi yakıt türünün belirlenmesinde kullanılan toplamsal ve çarpımsal hesaplama yönteminin sonuçları

Yakıt türü	Toplamsal	Sıralama	Çarpımsal	Sıralama
Hidrolik	0.1988	3	0.1337	3
Güneş	0.2517	2	0.2055	2
Rüzgar	0.2832	1	0.6103	1
Jeotermal	0.1527	4	0.0408	4
Biyokütle	0.1135	5	0.0096	5

Bu çalışmada, Türkiye elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği teknolojik, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan ele alınmış ve çok kriterli karar verme yöntemi olan Analitik Ağ Süreci yönteminin Fayda Fırsat, Maliyet ve Risk analizi ile birlikte kullanılmasıyla en iyi enerji kaynağı türü tespit edilmiştir. Gerek enerji kaynağı türlerinin ve sürdürülebilirliğe etki eden diğer kriterlerin oluşturulan ağ modeline eklenmesiyle gerekse de diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılmasıyla elde edilecek sonuçların Türkiye enerji politikasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

4. TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma, Bozok Üniversitesi tarafından 6-8 Ekim 2016 tarihleri arasında düzenlenen 1. Uluslararası Yer Altı Zenginlikleri ve Enerji Konferansı'nda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR

1. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü: 1 Temmuz 2016 itibarıyla, http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fEnerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC%2fSayi_13.pdf. Erişim tarihi: 16 Kasım 2016.
2. Saaty T.L., Decision making with dependence and feedback: the analytic network process, *Pittsburgh: RWS Publications*, January 1996.
3. Ravi V., Shankar R., Tiwari M.K., Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach. *Computers and Industrial Engineering*, 48, 327-356, 2005.
4. Cheng E.W.L., Li H., Application of ANP in process models: An Example of Strategic Partnering. *Building and Environment*, 42, 278- 287, 2007.
5. Dağdeviren M., Eraslan E., Kurt M., Çalışanların toplam iş yükü seviyelerini belirlenmesine yönelik bir model ve uygulaması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20, 517-525, 2005.
6. Wang W.-M., Lee A.H.I., Peng L.-P., Wu Z.-L., An integrated decision making model for district revitalization and regeneration project selection, *Decision Support Systems*, 54, 1092–1103, 2013.
7. Kabak M., Dağdeviren M., Prioritization of renewable energy sources for Turkey by using a hybrid MCDM methodology, *Energy Conversion and Management*, 79, 25-33, 2014.
8. Köne A.Ç., Büke T., An Analytical Network Process (ANP) evaluation of alternative fuels for electricity generation in Turkey, *Energy Policy*, 35, (10), 5220-5228, 2007.
9. Ulutaş B.H., Determination of the appropriate energy policy for Turkey, *Energy*, 30, 1146–1161, 2005.

10. Dağdeviren M., Eraslan E., Priority determination in strategic energy policies in Turkey using analytic network process (ANP) with group decision making, *International Journal of Energy Research*, 32, 1047-1057, 2008.
11. Wang J-J., Jing Y-Y., Zhang C-F., Zhao J-H., Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2263-2278, 2009.
12. Maxim A., Sustainability assessment of electricity generation technologies using weighted multi-criteria decision analysis, *Energy Policy*, 65, 284-297, 2014.
13. Roldan M.C., Martinez M., Pena R., Scenarios for a hierarchical assessment of the global sustainability of electric power plants in Mexico, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 154-160, 2014.
14. Atilgan B. Azapagic A., An integrated life cycle sustainability assessment of electricity generation in Turkey, *Energy Policy*, 93, 168-186, 2016.
15. EURELECTRIC, 2003. Efficiency in electricity generation, Union of the Electricity Industry-VGB PowerTech e.V.
16. EIA, 2016. Electric Power Monthly with Data for November 2015, The U.S. Energy Information Administration (EIA), <https://www.eia.gov/electricity/monthly/pdf/epm.pdf>.
17. Yılmaz S.A., Yeşil işler ve Türkiye'deki yenilenebilir enerji alanındaki potansiyeli. Uzmanlık Tezi, Kalkınma Bakanlığı, Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, 2014.
18. IEA-NEA-OECD, 2010. "Projected Costs of Generating Electricity," 2010 edition.
19. Rio Carrillo, A.M., Frei, C., 2009. Water: A key resource in energy production. *Energy Policy*, 37: 4303-4312.
20. Kyle P., Davies E.G.R., Dooley J.J., Smith S.J., Clarke L.E., Edmonds J.A., Hejazi M., Influence of climate change mitigation technology on global demands of water for electricity generation, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 13, 112-123, 2013.
21. Burgherr P., Hirschberg S., Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector, *Energy Policy*, 74, 1, 45-56, 2014.
22. Evans A., Strezov V., Evans T.J., Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1082-1088, 2009.
23. WNA, 2011. World Nuclear Association Report, Comparison of lifecycle greenhouse gas emissions of various electricity generation sources. <http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf>.
24. Rentizelas A., Georgakellos D., Incorporating life cycle external cost in optimization of the electricity generation mix. *Energy Policy*, 65, 134-149, 2014.
25. Pehnt M., Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. *Renewable Energy*, 31, 55-71, 2006.
26. Nugent D., Sovacool B.K., Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. *Energy Policy*, 65, 229-244, 2014.
27. Sovacool B.K., Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. *Energy Policy*, 36, 2950-2963, 2008.
28. Holmgren K., Amiri S., Internalising external costs of electricity and heat production in a municipal eberg system. *Energy Policy*, 35, 5242-5253, 2007.
29. Atmaca E, Basar H.B., Evaluation of power plants in Turkey using Analytic Network Process (ANP). *Energy*, 44, 555-563, 2012.