

BULANIK ÇOK-KRİTERLİ KARAR VERME PERSPEKTİFİNDEN TÜRKİYE İÇİN ENERJİ KAYNAKLARI DEĞERLENDİRMESİ

Hayriye SAĞIR*

Burcu DOĞANALP**

Özet: Bu çalışma, enerji üretimi için Türkiye özelinde farklı enerji kaynaklarının değerlendirilmesine ilişkin bulanık çok-kriterli bir karar verme modeli sunmaktadır. Temel amaç çeşitli enerji alternatiflerinin değerlendirilmesi için Bulanık TOPSIS metodunu kullanarak karar kriterlerinin önem ağırlıklarını belirlemek ve bu enerji kaynaklarını saptanan karar kriterleri doğrultusunda değerlendirmektir. Bu çalışmada yer verilen üç enerji kaynağı yenilenebilir enerji, fosil enerji ve nükleer enerji kaynağıdır. Çalışmada, enerji konusunda uzmanlığa sahip olan dört akademisyen karar verici olarak yer almıştır. Dördü maliyet, sekizi fayda kriteri olan toplam on iki kriter üzerinde fikir birliği sağlanmıştır. Maliyet kriterleri maliyet, çevresel etki, risk ve iklim değişimi üzerine etki; fayda kriterleri ise güvenilirlik, rezerv miktarı, üretim kapasitesi, sürdürülebilirliğe olan katkı, hükümet politikalarınca desteklenme, ülke ekonomisi açısından sahip olunan önem, basitlik ve kamu kabulüdür. En uygun enerji kaynağının belirlenmesine karar verme açısından en önemli bulunan karar kriterleri aynı ağırlığa sahip olan (0.750, 0.950, 1.000) güvenilirlik, maliyet, risk ve ülke ekonomisi açısından sahip olunan önem kriterleridir. Türkiye için üç enerji kaynağının karar vericiler tarafından değerlendirilmesi sonucunda elde edilen veriler Bulanık TOPSIS yönetiminin algoritmasında kullanılarak enerji kaynakları alternatiflerinin sıralaması, yakınlık katsayısı en yüksekte en düşüğe doğru, yenilenebilir enerji kaynakları, nükleer enerji kaynakları ve fosil enerji kaynakları olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yenilenebilir Kaynaklar, Yenilenemeyen Kaynaklar, Bulanık Çok-Kriterli Karar Verme, Bulanık TOPSIS.

Jel Kodu: Q2, Q3, Q4, Q54, Q58

*Yrd. Doç. Dr., Selçuk Üniversitesi, İ.İ.B.F., Kamu Yönetimi Bölümü, S. yazar, hayriyesamur@selcuk.edu.tr.

**Yrd. Doç. Dr., Selçuk Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü, burcudoganalp@selcuk.edu.tr.

ENERGY RESOURCES EVALUATION FOR TURKEY FROM THE PERSPECTIVE OF FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING

Abstract: This paper presents a fuzzy multi-criteria decision-making model relating to the assessment of different energy resources for energy production of Turkey. The main purpose is to determine importance weights of decision criteria and assess energy resources in accordance with predetermined decision criteria by using Fuzzy TOPSIS method for identifying the most suitable one among various energy alternatives. Three energy resources included in this study are renewable energy resources, fossil energy resources and nuclear energy resources. Four academicians that have expertise in energy has been involved as decision makers in the study. Consensus has been reached on twelve criteria. Four of these criteria are cost criteria and eight of the criteria are benefit criteria. While cost criteria are cost, environmental effect, risk, and impact on climate change; the benefit criteria are reliability, reserve amount, production capacity, contribution to sustainability, being supported by government policies, level of significance for the national economy, simplicity, and public acceptance. In the study it has been concluded that the most important decision criteria for determining the most suitable energy resource are reliability, cost, risk, and level of significance for the national economy with the same importance weight (0.750, 0.950, 1.000). The data obtained from the evaluation of three energy resources by decision makers for Turkey have been used in the algorithm of Fuzzy TOPSIS method. Energy resources have been ranked from the best to the worst with respect to the calculated closeness coefficients. The rankings of the energy resources are as follows: renewable energy resources, nuclear energy resources, and fossil energy resources.

Keywords: Energy, Renewable Resources, Nonrenewable Resources, Fuzzy Multi-Criteria Decision Making, Fuzzy TOPSIS.

GİRİŞ

Çağımız bilgi ve teknoloji çağı olduğu için her geçen gün artan bir ivme ile teknolojik değişim ve dönüşümler yaşanmaktadır. Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme süreçleri ise konunun bir başka boyutunu oluşturmaktadır. Tüm bu yaşanan gelişmeler neticesinde ise enerjisiz bir yaşam kaçınılmaz olmaktadır. Sayısal göstergeler, enerji ihtiyacının hızla artan dünya nüfusunun vazgeçilmez bir unsuru olduğunu ortaya koymaktadır. Enerjiye olan talep sürekli artmaktadır. Bu nedenle ülkelerin enerji ihtiyaçlarını kesintisiz ve güvenli bir şekilde karşılamaları enerji politikalarını belirlerken dikkat etmeleri gereken en önemli nokta olarak karşımıza çıkmaktadır.

Enerji değişen dünyanın en temel girdisidir; bununla birlikte toplumsal ve ekonomik gelişmelerden de etkilenen bir sistem olması nedeni ile konunun çok yönlü ele alınması bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsan ve toplum üzerinde derin etkileri bulunan enerji konusunda sürdürülebilir enerji planlaması gibi kavram ve tanımlamaların bulunması nedeni ile teknik uzmanlar kadar sosyal bilimcilerinde üzerlerine düşen birtakım görevler bulunmaktadır. Enerji konusunun sosyal, teknik ve çevresel unsurlarla birlikte ve uluslararası niteliklerle birlikte değerlendirilmesi, çağdaş politikalar ve doğru stratejiler bağlamında bilimsel bilgi ve veriler

ışığında kamu-özel sektör işbirliği ile kamusal yararın sağlanması amacıyla ele alınması gerekmektedir (Palabıyık, 2010: 17-22).

Günümüzde ekonomik büyüme, enerji talebi ve çevre ilişkisi her zamankinden önemli bir hale gelmiştir. Enerji kaynakları bakımından zengin kaynaklara sahip ülkeler için bile enerjiyi verimli kullanma ve çevresel etkinin ön planda tutulması enerji politikalarında ana gündemi oluşturmaktadır. Türkiye 2003-2013 döneminde ortalama %5 oranında bir büyüme hızı yakalamıştır, bu büyümenin sağlanmasında enerji sektörü ise hayati bir role sahiptir. Dünya dengelerinin kırılgan bir yapılanmada sürekli değişim gösterdiği günümüzde, enerji talebi artmaya devam eden Türkiye'nin belirleyeceği enerji stratejileri çok kritik ve uzun dönemli etkileri olacak bir konudur (ETKB, 2015: 7-17). Bir yandan ekonomik büyümeye bağlı olarak artan enerji talebini karşılamak diğer yandan ise ithal yakıtlara bağımlılığı kırmak bu iki nokta enerji politikalarının ana hedefi olarak uygulanması gereken stratejilerin başında gelmektedir (WWF, 2014: 5).

Enerji kaynaklarının neden oldukları çevresel sorunlar özellikle son yıllarda küresel arenada en çok tartışılan konuların başında gelmekte ve konuyla ilgili sürekli bir gündem oluşturulmaktadır. Aralık 2015 tarihinde Paris'te toplanan uluslararası topluluğun gündem maddesi olan iklim değişikliği sorunu küresel olarak tüm dünya toplumlarını ilgilendirmekte ve her ülkeye, her bireye farklı boyutlarda sorumluluk yüklemektedir. İklim değişikliğine neden olan olay ise küresel ısınmadır. Atmosferde yoğun olarak biriken sera gazları dünyada ısı artışına buna bağlı olarak da iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Küresel ısınmada baş aktör ise enerji kullanımı sonucu açığa çıkan sera gazlarıdır. Bu nedenle ülkeler enerji politikalarını belirlerken çevresel açıdan sürdürülebilir seçenekleri tercih etmek sorumluluğundadırlar.

Gelişmiş ülkelerde geçerli olan anlayış; ekoloji-ekonomi-enerji dengesini gözetilen bir planlama yaklaşımı ile kaynak çeşitliliği ve jeopolitik gerçekleri ön planda tutan enerji güvenliği modelleridir. Birincil enerji kaynaklarından elde edilen enerji depo edilememektedir; bu nedenle uygulanması gereken ve kaynakların optimum fayda ile kullanılabilmesi için vazgeçilmemesi gereken bir başka temel unsur ise planlamadır. Bu doğrultuda çağdaş enerji politikalarında hedeflenen, kişi başına kullanılan enerji ya da elektrik tüketim miktarını arttırmanın yanında enerjiyi verimli bir şekilde kullanabilecek sistemleri geliştirerek, en az enerji harcaması ile en fazla enerjiyi üretebilecek, iletecek ve tüketecek yapıyı kurabilmektir (Pamir, 2003: 1).

Enerji piyasalarının hızlı bir değişim yaşadığı ülkemizde hükümetin artan enerji talebini karşılaması bunun yanında ithal kaynaklara olan bağımlılığı kırmak için kritik kararlar vermesi gerekmektedir. Türkiye'nin mevcut enerji stratejisi ve politikaları öncelikle kömür, sonra nükleer ve en son olarak da yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirme odaklıdır. Türkiye'nin birincil enerjide dışa bağımlılık oranı %75'tir. Kullanılan doğalgazın %98,6'sı, petrolün %93'ü ve taş kömürünün ise %92'si ithal edilmektedir. Bu doğrultuda söz konusu kaynakların ithalatında politik, lojistik gibi nedenlerle oluşabilecek arz kesintileri ile fiyat dalgalanmalarına karşı oldukça hassas bir konumdadır (WWF, 2014: 10).

Enerji üretimi için en uygun olanı belirlemek adına enerji kaynaklarını değerlendirme süreci, karar verme açısından birçok karar kriterinin eş zamanlı olarak değerlendirilmesini gerektirmesi, karar vericilerin değerlendirme yaparken belirsizlik ve muğlaklık yaratan dilsel değişkenleri kullanmaları nedeniyle karmaşık ve belirsizle karakterize edilen bir süreçtir (Talinli vd., 2010: 4479). Belirsiz ve muğlak veriyi yorumlamak, bu verilerden çıkarımda bulunmak,

karar vericinin sezgilerine dayanan sürecin sübjektifliğini yok etmede bulanıklığı modellemek için bulanık mantık yaklaşımını kullanmak oldukça uygundur.

Enerji üretimi için enerji kaynaklarını değerlendirme süreci aynı zamanda birçok karar kriterini göz önünde bulundurmayı gerektirdiğinden bir çok kriterli karar verme(ÇKKV) sürecidir. Literatürde ÇKKV yöntemleri olarak AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci-Analytic Hierarchy Process), ANP (Analitik Ağ Süreci-Analytic Network Process), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında; bulanık AHP, bulanık ANP ve bulanık TOPSIS (BTOPSIS) yöntemlerinin de bulanık mantık ve AHP, ANP ve TOPSIS ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanıldığı teknikler olarak yaygın bir biçimde literatürde yer alan çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir. ÇKKV yaklaşımlarının, nicel verilerden çok nitel verilere dayanması ve kişisel görüşlere yer vermesi nedeniyle son yıllarda bu tür verileri analiz etmeye daha uygun olan bulanık mantık yaklaşımı çoğunlukla tercih edilmeye başlamıştır ve çoğu kez farklı ÇKKV yöntemlerinin bulanık mantık yaklaşımıyla hibrid biçimde kullanımı tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’de enerji üretimi için üç farklı enerji kaynağı olarak yenilenebilir, fosil ve nükleer enerji kaynakları BTOPSIS yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve içlerinden en uygun olanı belirlenmeye çalışılmıştır. Enerji alanında uzman dört akademisyen ilk önce dördü maliyet sekizi fayda kriteri olan toplam on iki karar kriterinin önem ağırlığını, daha sonra ise bu karar kriterlerine göre üç enerji kaynağını dilsel değişkenler yoluyla değerlendirmişlerdir. Daha sonra, bu sözel veriler üçgen bulanık sayılara çevrilerek BTOPSIS yöntemine ait algoritmada kullanılmıştır. Enerji kaynakları hesaplanan yakınlık katsayıları dikkate alınarak en iyiden en kötüye doğru sıralanmıştır.

1. KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE

Dünya üzerindeki enerji kaynaklarını yenilenebilir enerji ve yenilenemeyen enerji kaynakları olmak üzere iki farklı düzeyde sınıflandırmak mümkündür. Şayet kullanılan kaynaktan enerji elde edimi sonrası, kaynağın rezervinde bir değişiklik oluyorsa ve rezerv miktarı sınırlı ise bu enerji kaynağı yenilenemeyen enerji olarak adlandırılmaktadır. Enerji elde etmek amacıyla kullanılan kaynaktan miktar açısından herhangi bir değişiklik olmuyor ve bu kaynaktan enerji üretimini sınırsız bir şekilde gerçekleştirilebiliyorsa söz konusu kaynak yenilenebilir enerji olarak adlandırılmaktadır. Bunun yanında enerji kaynağı herhangi bir işleme tabi tutulmadan kullanılıyorsa birincil enerji kaynağı olarak adlandırılmaktadır. Şayet enerji kaynağı bir takım süreçler sonucunda kullanılabilir hale geliyorsa bu kaynak da ikincil enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Kömür, petrol, doğalgaz, nükleer enerji ve yenilenebilir enerjiler birincil enerji kaynağıdır.

Milyonlarca yıl öncesinin bitki ve hayvan fosilleri petrol, doğalgaz ve kömür olarak fosil yakıtları oluşturmaktadır. Fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması ve kullandıkça tükenmeleri nedeniyle bu yakıtlar yenilenemeyen enerji kaynağıdır. Söz konusu yakıtların dünya enerji üretimindeki payları oldukça yüksektir. Bununla birlikte bu kaynaklar ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadırlar. Tüm dünyanın en önemli çevre sorunu olarak belirlediği küresel iklim değişiminde en önemli sebep yoğun fosil yakıt kullanımı ve bunun sonucunda açığa çıkan CO2 gazıdır. Yine kömür kullanımı asit yağmurları gibi bir başka soruna yol açmaktadır. Kısacası fosil yakıtlar, insanoğlunun yaşam alanını oluşturan en temel bileşenlerde; havada, toprakta ve suda ciddi oranlarda kirliliğe neden olmaktadır. Bunun sonucunda ise biyolojik çeşitlilikte tür kaybı, iklim değişimi gibi küresel boyutlarda çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Bir diğer yenilenemeyen enerji çeşidi ise nükleer enerjidir. Nükleer enerji fosil yakıtlar kadar olmasa da gerek gelişmiş gerekse gelişmekte olan ülkelerde yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Ancak nükleer enerji konusunda Çernobil Kazası gibi olumsuz bir deneyimin yaşanması bu enerji türü ile ilgili yoğun tartışmaların yaşanmasına neden olmaktadır.

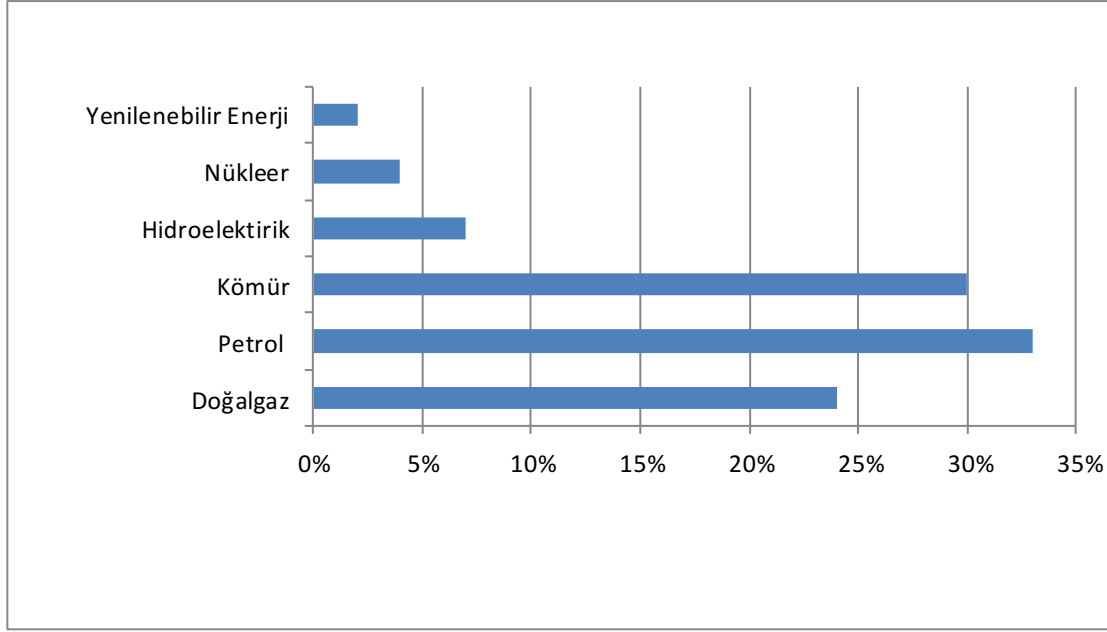
Dünya genelinde nükleer enerji konusunda; gelecekte ihtiyaç duyulacak enerji için nükleer enerjinin bir seçenek olarak kullanılmasının gerekliliğini savunanlar ile nükleer enerjinin tehlikeli ve maliyetli bir seçenek olduğunu iddia edenler olmak üzere, rekabet eden başlıca iki zıt görüş bulunmaktadır. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa her iki tarafın tutumunun da eksik ve hatalı olduğunu söylemek mümkündür. Sonuçta dünya enerji sistemi içinde nükleer enerjinin var olması için önemli gerekçeler bulunmaktadır. Enerji sistemi içinde nükleer enerjinin önemli teknolojik kazanımlarının bulunması herkesçe kabul edilen bir gerçektir (Palabıyık vd., 2010: 21-22).

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal bir çevrim sürecinde aynen kalabilen kullanılsalar dahi miktarlarında herhangi bir azalma meydana gelmeyen kaynaklardır (Kaya ve Koç, 2015: 62). Bu enerji kaynakları kullanımları sırasında ya da daha sonra herhangi bir zararlı gaz açığa çıkarmadıkları için temiz enerjiler veya yeşil enerjiler olarak da adlandırılmaktadırlar, alternatif enerji kaynakları ise bu tip enerji kaynaklarına verilen bir diğer isimdir. Yenilenebilir enerji bir ülkenin kendi öz kaynaklarından elde edilen bir enerji çeşididir. Bu nedenle bu enerji kaynakları yerel ve bölgesel kalkınmanın sağlanmasına yardımcı olurlar. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, su gücü enerjileri (büyük ölçekli barajlar hariç; çünkü bu barajlarda, baraj suları altında kalan bitki ve hayvan kalıntıları nedeni ile metan gazı açığa çıkmaktadır. Metan gazı ise küresel ısınmaya etki eden bir başka gazdır), biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi (hidrojen, doğada serbest olarak bulunmayan bir gazdır. Bu nedenle hidrojen gazı elde etmek için ülkeler farklı yöntemlere başvurumaktadırlar. Kömürden, rüzgârdan, sudan hidrojen elde edilmesi mümkündür. Bu nedenle hidrojen gazı elde etmek amacıyla kullanacağımız madde de elde edeceğimiz enerjinin temiz enerji olup olmayacağını belirlemektedir.) gibi enerjiler yenilenebilir enerjileri oluşturmaktadır. Bu enerjilerinde çevresel açıdan neden oldukları bir takım zararları bulunsa da, söz konusu zararlar fosil yakıtlarla kıyaslandığında oldukça sınırlı olmaktadır. Sonuçta enerji elde etmek amacıyla hangi yöntemi tercih ederseniz edin mutlaka çevresel açıdan zararları olacaktır. Burada önemli olan sebep olunacak zararların telafi edilebilir nitelikte olmasıdır. Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımıyla hedeflenen temel amaçta gelecek kuşakların haklarını ellerinden almadan kalkınmanın sağlanmasıdır. Yani doğal kaynakları kullanırken ölçüt alınması gereken temel nokta hem gelecek kuşaklara hem de aynı kuşaktaki bireylere hakkaniyetli davranılmasıdır.

Artan nüfus ve ekonomik gelişmeler hem enerji talebinde artışa neden olmakta hem de enerji temininde yeni teknolojik gelişme ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Yeni teknolojilerde temel amaç enerjinin, işletim ve üretim maliyetleri düşük, çevreyle uyumlu, sosyal değerlere duyarlı etkin bir biçimde temin edilmesidir; bununla birlikte enerjide arz güvenliği, kaynak çeşitliliği, dışa bağımlılığın azaltılması, çevresel duyarlılık gibi amaçların gerçekleştirilmesi için devlet desteğinin sağlanması göz önünde bulundurulması gereken hususlardır. Kalkınma ve yaşam kalitesinin yükseltilmesi için gerekli olan enerjinin güvenilir, emniyetli, ulaşılabilir, kesintisiz, ekonomik, çevreci, kaliteli niteliklerde temin edilmesinin planlanarak buna uygun stratejik uygulamaların ve politika önlemlerinin geliştirilmesi ülkelerin öncelikli konuları arasında yer almaktadır (Palabıyık vd., 2010: 3).

Enerji kaynağı tercihinde kriter olarak alınan başlıca parametreleri, kaynağın fiyatı, elde edilme kolaylığı, sürekli elde edilebilirliği, ülkenin kendi ihtiyacını karşılayabilirliği ve üretim faaliyetlerinin sebep olduğu çevre ve sağlık etkileri olarak sıralamak mümkündür. Enerji kaynakları dünya üzerinde aynı oranda bulunmamaktadır. Bu nedenle kaynak dağılımı ve tüketimi birbirleriyle örtüşmemektedir. Bu doğrultuda kendi kendine yeterlilik kriteri günümüzde çoğu ülke tarafından sağlanamamaktadır (Palabıyık vd., 2010: 4).

Grafik 1: 2013 Yılı Küresel Birincil Enerji Tüketim Oranları



Kaynak: BP, 2014.

Yenilenemeyen –fosil yakıtlara bağımlılık oldukça yüksek seviyelerdedir. Fosil yakıtlar içinde petrol ise en fazla kullanım oranına sahip kaynak olarak ilk sırada yer almaktadır. Önümüzdeki yıllarda petrol başat rolünü sürdürürken yapılan projeksiyonlarda doğalgazın petrolün yerini alacağı öngörülmektedir. Bunun iki temel nedeni bulunmaktadır: ilki petrol rezervlerinin 2050’li yıllara kadar tükeneyeceğinin tahmin edilmesi, diğeri ise doğalgazın çevresel açıdan petrolden daha az zararlı bir enerji kaynağı olmasıdır. Yinede dünya enerji sektöründe köklü değişimler yaşanmazsa fosil yakıtlara olan bağımlılık uzun yıllar sürecekmiş gibi görünmektedir. Ancak çoğu ülke yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talepte gün geçtikçe artış göstermektedir. Özellikle iklim değişimiyle mücadele politikalarında yenilenebilir enerji kaynakları kullanım oranlarının artırılması öncelik verilen stratejiler içinde yer almaktadır.

Gelişen ekonomik yapısıyla Türkiye, dünyadaki önemli enerji tüketici ülkeler içinde yer almaktadır. 2013 yılı verilerine göre Türkiye’nin birincil enerji arzında doğal gaz %31’lik pay ilk sırayı almıştır. Doğalgazı %28’lik oranla petrol takip etmiş, daha sonra %18’lik ithal kömür kullanımı, %11’lik linyit kullanımı, %4’lük hidrolik enerji kullanımı ve %4’lük diğer yenilenebilir enerji kullanımı gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında birincil enerji tüketiminin %26’sı konutlarda, %25’i sanayide, %26’sı elektrik üretiminde ve %19’u ulaştırma sektöründe kullanılmıştır. Birincil talebin yerli üretimden karşılanma oranı 2012 yılında %27,5 olarak

gerçekleşmiştir. Yani Türkiye enerjide %72,5 oranında dışa bağımlı bir ülkedir (TPSGDB, 2015: 34-37).

1. LİTERATÜR

Haralambopoulos ve Polatidis (2003), Yunan adalarında bulunan bir jeotermal kaynaktan yararlanılması ile ilgili bir vaka çalışması bağlamında yenilenebilir enerji projeleri ile ilgili karar verme sürecini PROMETHEE II yöntemi ile ele almışlardır. Balezentiene, Streimikiene ve Balezentiene 2013'te yayımlanan çalışmalarında sürdürülebilir enerji üretimi seçimi sürecini bulanık MULTIMOORA yöntemi çerçevesinde değerlendirmiştir. Streimikiene vd. (2012) MULTIMOORA ve TOPSIS metodunu kullanarak 33 elektrik üretim teknolojisini ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarıyla sürdürülebilirlik kriteri karşısında karşılaştırarak öncelik sırasına koydukları makalelerinde yenilenebilir enerji kaynakları temelli elektrik üretim teknolojilerinin (özelde hidro ve güneş enerjileri) en çok tercih edilenler olması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Zohrul Kabir ve Shihan güneş, rüzgâr ve biyogaz enerjilerini birim maliyet, teknik faktörler, yer faktörleri, çevre faktörleri ve sosyal etki kriterlerine göre Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemiyle Bangladeş için değerlendirmişler ve teknolojik sınırlamalara rağmen güneş enerjisinin en tercih edilen alternatif olduğunu ve bu enerji kaynağını biyogaz ve rüzgârın takip ettiğini bulgulamışlardır. Erdoğan ve Kaya (2015) Türkiye'deki enerji alternatifleri arasından seçim yapmak için kriter ağırlıklarını belirlemede aralık tip 2 bulanık kümeye dayanan bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemini ve alternatifleri değerlendirmede ise aralık tip 2 bulanık kümeye dayanan TOPSIS yöntemini kullanarak yenilenebilir enerji alternatiflerinin gelecekteki Türkiye enerji yatırımları açısından en uygun enerji alternatifi olduğunu ortaya koymuştur. Çok kriterli karar verme tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Süreci metodunu kullandığı çalışmasında Stojanovic (2013), yenilenebilir enerji türleri olarak jeotermal, güneş, rüzgar, su gücü ve biokütleli dört ana kriter olan teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal faktörler bağlamında ele almış ve alt kriterleri ekosisteme etki ve karbon emisyonu olan çevresel faktörlerin yenilenebilir enerji kaynakları arasından seçim yapmada en önemli faktör olduğu ve bu faktörler bağlamında da rüzgar enerjisinin en etkin yenilenebilir enerji kaynağı olduğu sonucuna ulaşmıştır. Yakıcı Ayan ve Pabuçcu (2013), Analitik Hiyerarşi Süreci yaklaşımı kullanarak Türkiye için yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları arasında bir öncelik sıralaması yaptıkları çalışmalarında en uygun yatırımların sırasıyla hidroelektrik, rüzgâr, biyoyakıt, jeotermal enerji ve son olarak da güneş enerjisi olduğunu bulgulamışlardır. Talinli, Topuz ve Akbay (2010), Türkiye için üç farklı enerji üretim senaryosunu (nükleer ve termal güç ve rüzgâr gücü) Chang'ın Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Yaklaşımını kullanarak analiz etmişler ve termal güç istasyonlarının yerini yenilenebilir enerji opsiyonlarının alacağı çıkarımında bulunmuşlardır.

2. METODOLOJİ

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Yöntemi, ÇKKV problemlerinin çözümü için literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır ve TOPSIS yönteminin temel prensibi, pozitif ideal çözüme (PIS) en yakın uzaklığa ve negatif ideal çözüme (NIS) en fazla uzaklığa sahip olan alternatifi seçmeye dayanmaktadır (Chen, 2000: 2). Yani, TOPSIS yöntemi pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak alternatifi "en iyi alternatif" olarak kabul etmektedir. Fayda kriterini maksimize eden ve maliyet kriterini minimize eden çözüm pozitif ideal çözüm olarak adlandırılmaktadır. Bunun tam tersine, negatif ideal çözüm, maliyet kriterini maksimize ederken fayda kriterini minimize etmektedir (Wang ve Elhag, 2006: 310).

TOPSIS yöntemi sırasıyla şu adımlardan oluşmaktadır: karar matrisinin oluşturulması, normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması, ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması, pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi, alternatiflerin tüm kriterlere göre pozitif ve negatif ideal çözümlerden Öklid uzaklığının hesaplanması, alternatiflerin yakınlık katsayılarının hesaplanması ve bu katsayılara göre sıralanması.

Birçok koşulda kesin veriler gerçek hayatta karşılaşılan durumları modellemek için uygun olmayabilir. Tercihleri de kapsayan insan yargıları genellikle belirsizdir ve bu yargıları kesin sayısal değerlerle ifade etmek mümkün olmayabilir. Bu nedenle; problemdeki kriterlerin önem ağırlıklarının ve alternatif skorlarının dilsel değişkenlerle değerlendirilmesi önerilmektedir (Chen, 2000: 2). Bu bağlamda, Bulanık TOPSIS (BTOPSIS) yönetimi; kesin değerler olarak sayılar yerine dilsel değişkenlerin bulanık sayı karşılıklarının kullanılması açısından TOPSIS yönteminden farklılaşmaktadır.

Bulanık TOPSIS Yönteminin Algoritması

Bu çalışmada Chen (2000) tarafından geliştirilen algoritma kullanılmıştır

Adım 1: x_{ij}^k i. alternatifin j kriterine göre değerini göstermek üzere, K tane karar vericiden oluşan bir grupta, alternatiflerin kriter değerleri,

$$x_{ij} = \frac{1}{K} [x_{ij}^1(+)x_{ij}^2(+)\dots(+x_{ij}^K)] \quad (1)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır.

Adım 2: w_j^k j. karar kriterinin önem ağırlığını göstermek üzere, K tane karar vericiden oluşan bir grupta karar kriterlerinin önem ağırlıkları,

$$w_j = \frac{1}{K} [w_j^1(+)\dots(+w_j^K)] \quad (2)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır.

Bir bulanık çok kriterli karar verme probleminin matris olarak gösterimi

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad W = [w_1 \quad w_2 \quad \dots \quad w_n] \quad (3)$$

şeklinde. Burada x_{ij} ($\forall i, j$) ve w_j $j=(1,2,\dots,n)$ dilsel değişkenler olmak üzere, A_1, A_2, A_m karar vericilerin aralarında seçim yaptıkları alternatifleri; C_1, C_2, \dots, C_n alternatiflerin

performanslarının ölçüldüğü karar kriterlerini; x_{ij} A_i alternatifinin C_j kriterine göre değerini ve w_j ise C_j kriterinin ağırlığını göstermektedir.

Bu dilsel değişkenler $x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ve $w_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ şeklinde üçgensel bulanık sayılar ile ifade edilebilmektedir. D matrisine bulanık karar matrisi, W matrisine ise bulanık ağırlıklar matrisi adı verilmektedir.

Adım 3: Bulanık karar matrisinden elde edilen normalize edilmiş bulanık karar matrisi

$$R = [r_{ij}]_{m \times n} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, r_{ij}

$$r_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), j \in B, \quad c_j^* = \max_i c_{ij}, \quad (5)$$

ya da

$$r_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), j \in C, \quad a_j^- = \min_i a_{ij}, \quad (6)$$

eşitlikleriyle hesaplanır. B ve C sırasıyla fayda ve maliyet kriter kümesin göstermektedir.

Normalize edilmiş bulanık karar matrisi, karar kriterinin fayda kriteri olması durumunda her sütundaki elemanların, bu sütundaki elemanların üçüncü bileşenleri bazında en büyük değere bölünmesiyle elde edilir. Maliyet kriteri söz konusu olduğunda ise, her sütundaki ilk elemanların minimum değeri dikkate alınır. Normalizasyon işlemi, normalize edilmiş üçgensel bulanık sayıların $[0,1]$ aralığında olması özelliğini korur.

Adım 4: Her bir karar kriterinin farklı ağırlıkları göz önünde bulundurularak ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi,

$$V = [v_{ij}]_{m \times n} \quad i=1,2,\dots,m ; j=1,2,\dots,n \quad (7)$$

şeklinde oluşturulur. Burada,

$$v_{ij} = r_{ij}(\cdot)w_j \quad (8)$$

eşitliğinden hesaplanır. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi, normalize edilmiş bulanık karar matrisi ile bulanık ağırlıklar matrisinin çarpımıyla elde edilen matristir. Ağırlıklı

normalize edilmiş bulanık karar matrisine göre $V_{i,j}$ için V_{ij} 'nin elemanları normalize edilmiş üçgensel bulanık sayıdır ve $[0,1]$ aralığında yer alırlar.

Adım 5: Bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS),

$$A^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*), \quad (9)$$

ve bulanık negatif ideal çözüm (FNIS)

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-), \quad (10)$$

olarak tanımlanır. Burada, $v_j^* = (1,1,1)$ ve $v_j^- = (0,0,0)$ 'dir. Karar kriteri sayısı kadar $(1,1,1)$ ve $(0,0,0)$ vardır.

Her bir alternatifin FPIS ve FNIS' ten olan uzaklığı sırasıyla,

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^*) \quad , \quad i=1,2,\dots,m \quad (11)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^-) \quad , \quad i=1,2,\dots,m \quad (12)$$

eşitlikleriyle hesaplanır. Burada $d(.,.)$ iki bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermekte ve Vertex Metodu yardımıyla hesaplanmaktadır.

İki üçgensel bulanık sayı $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$, olmak üzere bu sayılar arasındaki uzaklığın Chen tarafından önerilen Vertex Metodu ile hesaplanması:

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (13)$$

şeklindedir.

Step 6: Yakınlık katsayısı,

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} \quad , \quad i=1,2,\dots,m \quad (14)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanır.

Yakınsaklık katsayıları 0 ile 1 arasında bir değer alır ve yakınlık katsayısı ile alternatiflerin sıralaması yapılır. En büyük yakınlık katsayısına sahip alternatif seçilir; çünkü bu alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak alternatif olduğu anlamına gelir.

4. ENERJİ KAYNAKLARININ BTOPSIS YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada, enerji konusunda uzmanlığa sahip olan ikisi iktisat, biri kamu yönetimi, bir diğeri ise elektrik-elektronik mühendisliği bölümünde görev yapan dört akademisyen karar verici olarak yer almıştır. Karar kriterleri oluşturulurken literatür taraması yapıldıktan sonra karar vericilerle istişarede bulunulmuş ve dördü maliyet, sekizi fayda kriteri olan toplam on iki kriter üzerinde fikir birliği sağlanmıştır. Çalışmada yer alan on iki karar kriteri ve her bir kriterin açıklaması şöyledir:

C₁: güvenilirlik, C₂: rezerv miktarı, C₃: maliyet, C₄: çevresel etki, C₅: risk, C₆: üretim kapasitesi, C₇: iklim değişimi üzerine etki, C₈: sürdürülebilirliğe olan katkı, C₉: hükümet politikalarınınca desteklenme, C₁₀: ülke ekonomisi açısından sahip olunan önem, C₁₁: basitlik, C₁₂: kamu kabulü.

Güvenilirlik: Enerjiyi ihtiyaç duyulduğu anda kesintisiz bir şekilde temin edebilmektir. Buda kullanılan kaynağının sürekliliği ile alakalı bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Arz güvenliği, talep, arz ve talep ile arzın fiziki olarak buluşmasına olanak tanıyan altyapı olarak birbirini bütünleyen üç farklı bileşen şeklinde ele alınmakta ve bu üç kalemde birinin eksikliği arz güvenliğinin etkin yönetilememesi anlamına gelmektedir. Bu doğrultuda enerji altyapısının güçlü ve güvenilir hale getirilmesi, istenilen yerde istenilen zamanda enerjiye ulaşımı mümkün kılacak olup arz güvenliğine ve enerji piyasalarında istenilen rekabet düzeyine ulaşılmasına imkân tanıyacaktır (ETKB, 2015: 27). Enerji politikalarının belirlenmesinde arz güvenliği açısından ülkenin kendi öz kaynaklarının geliştirilmesinin yanında en çok dikkat edilmesi gereken nokta ithal edilecek kaynaklarda gerek kaynak türü gerekse kaynakların temin edildiği ülkeler açısından kaynak çeşitliliğinin sağlanmasıdır (Pamir, 2003: 3).

Rezerv Miktarı: Enerji kaynağının kullanılabilme potansiyelidir. Enerji arz güvenliğinde seçilecek olan enerji kaynağının rezerv miktarı tercih sebeplerinin başında gelmektedir.

Çevresel Etki: Enerji kaynağının kullanımından sonra yol açabileceği çevre sorunlarıdır. Enerji üretimi ve tüketimi aşamalarında her enerji çeşidinin mutlaka çevresel bir etkisi olacaktır. Ancak burada önemli olan enerji kaynağının neden olabileceği sorunlardan daha küçük ölçekli olanının tercih edilmesidir. Örneğin fosil yakıtlarının kullanımının etkileri ile yenilenebilir enerji kaynaklarının neden olacakları çevresel sorunların boyutları aynı olmayacaktır.

Maliyet: Seçilecek kaynaktan enerji elde etmek için katlanılan bedeldir.

Risk: Bir faaliyet yada olayın tehlikeli-zararlı sonucu veya bunların meydana gelme olasılığı risk olarak tanımlanmaktadır (Palabıyık vd., 2010: 156). Konumuz özelinde ise enerji üretimi sırasında gerçekleşmesi istenilemeyen tehlikeli ve zararlı durumların ortaya çıkma ihtimalidir. Enerji kaynağının üretimi ya da kullanımı aşamalarında ölüme yol açıp açmaması, iş kazalarına neden olup olmaması, halk sağlığı açısından bir tehlike oluşturup oluşturmaması konu ile ilgili verilebilecek örneklerdir.

Enerji Miktarı: Kullanılması planlanan enerji kaynağının yıllık üretim kapasitesidir.

İklim Değişimine Etkisi: Günümüzün en önemli çevre sorununun küresel iklim değişimi olduğu tüm çevrelerce kabul edilen bir gerçektir. İklim değişiminin dünyanın her yerinde yol açtığı ya da açacağı olumsuz etkiler sorunun küresel bir sorun olarak ele alınmasına neden olmaktadır. Küresel toplum, iklim değişimi ile mücadele etmek amacıyla çeşitli platformlarda bir araya gelmekte ve ortak çözüm yolları aramaktadır. En son 2015 yılı Aralık ayında Paris'te yapılan iklim müzakerelerinde sıcaklığın 2° ile sınırlandırılması gerektiği, yenilenebilir enerji kaynakları ve düşük karbonlu enerji kaynaklarına yönelmesi gerektiği konusunda uzlaşmaya varılmıştır.

Sürdürülebilirliğe Katkı: Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı, kalkınma ve çevrenin birbirleriyle çatışmayan kavramlar olduğunu öne süren bir kalkınma anlayışıdır. Burada amaçlanan kalkınmanın toplumun her kesimine yayılmasının sağlanması ve gelecek kuşakların haklarını da gözetilen bir anlayışla kalkınma faaliyetlerine yön verilmesidir. Bu nedenle tercih edilecek olan enerji kaynağının çevresel etkisinin minimum düzeyde olması ve kaynakları kullanırken gelecek kuşakların da ihtiyaçlarını gözetilecek oranda bir kaynak miktarının ayrılması sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır.

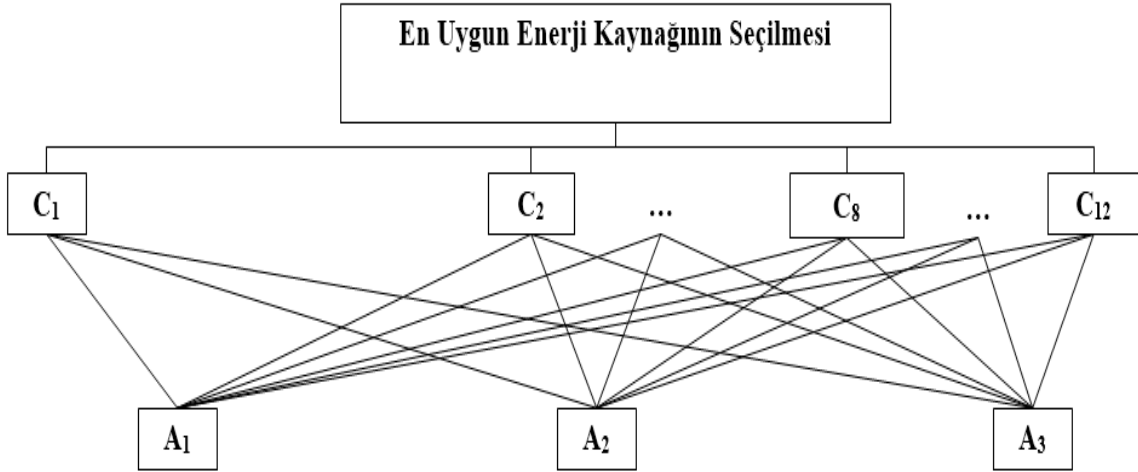
Hükümet Politikalarınca Destek: 2009/15199 sayılı Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Karar, 16.07.2009 tarihli ve 27290 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmak sureti ile yürürlüğe girmiştir. Yapılan bu düzenlemenin temel amacı, kararın 1. maddesinde şu şekilde belirtilmiştir “*Kalkınma Planları ve Yıllık Programlarda öngörülen hedefler ile uluslararası anlaşmalara uygun olarak, tasarrufları katma değeri yüksek yatırımlara yönlendirmek, üretimi ve istihdamı artırmak, yatırım eğiliminin devamlılığını ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak, uluslararası rekabet gücünü artıracak teknoloji ve araştırma-geliştirme içeriği yüksek büyük ölçekli yatırımları özendirme, doğrudan yabancı yatırımları artırmak, bölgesel gelişmişlik farklılıklarını gidermek, çevre korumaya yönelik yatırımlar ile araştırma ve geliştirme faaliyetlerini desteklemektir*”. Bu doğrultuda sürdürülebilir kalkınma ve çevre korumaya yönelik faaliyetler hükümet politikalarınca desteklenmektedir. Enerji yatırımları da bu doğrultuda desteklenmektedir.

Ülke ekonomisi açısından taşıdığı önem: Herhangi bir kaynaktan enerji elde etme noktasında ülkeler açısından iki husus büyük önem taşımaktadır: bunlardan ilki enerji elde etmek amacıyla tercih edeceğimiz kaynaktan arz güvenliği sağlamak, ikincisi ise dışa bağımlılığı olabildiği ölçüde azaltmaktır. Enerjide dışa bağımlılık ülke ekonomisi için büyük bir külfet oluşturmaktadır. Bununla birlikte enerji kaynakları stratejik açıdan büyük önem arz etmektedirler. Yani ülkeler arasında gerektiği zaman siyasi bir yaptırım unsuru olarak kullanılabilme potansiyelleri bulunmaktadır. Bir diğer önemli nokta ise, enerji üretiminde ülkenin öz kaynaklarından yararlanması yerel ve bölgesel kalkınmaya da katkı sağlayacaktır.

Basitlik: Enerji üretiminin kurulum ve işletim kolaylığıdır.

Kamu Kabulü: Halkın enerji üretimi amacıyla kullanılacak olan kaynağa karşı olumlu düşüncelere sahip olması konu ile ilgili politikaları desteklemesidir.

Karar kriterlerinden maliyet, çevresel etki, risk ve iklim değişimi üzerine etki maliyet; diğerleri ise fayda kriteri olarak ele alınmıştır. Türkiye için enerji üretimi açısından en uygun enerji kaynağının seçiminin hiyerarşik yapısı Şekil 1’de gösterilmektedir.

Şekil 1: Problemin Hiyerarşik Yapısı

Dört karar verici (D1, D2, D3, D4) karar kriterlerinin önem ağırlıklarını dilsel değişkenler yoluyla değerlendirmişlerdir. Çalışmada kullanılan dilsel değişkenler ve bunların üçgen bulanık karşılıkları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1: Kriterlerin Önem Ağırlığı İçin Kullanılan Dilsel Değişkenler ve Bulanık Karşılıkları

Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.2)
Düşük (D)	(0, 0.2, 0.4)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Yüksek (Y)	(0.6, 0.8, 1)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.8, 1, 1)

Karar vericilerin her bir karar kriterinin önem ağırlığı için yaptıkları Tablo 2’de verilen dilsel değerlendirmeler Tablo 1 kullanılarak üçgen bulanık sayılara çevrilmiş, Eşitlik (2) yardımıyla her bir kriterin önem ağırlığı hesaplanmış ve Tablo 3’te gösterilen bulanık ağırlıklar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 2: Kriterlerin Önem Ağırlığı İçin Yapılan Dilsel Değerlendirmeler

Kriter (C)	Karar Verici (D)			
	D1	D2	D3	D4
C ₁	ÇY	Y	ÇY	ÇY
C ₂	ÇY	ÇY	Y	Y
C ₃	ÇY	ÇY	Y	ÇY
C ₄	Y	ÇY	O	ÇY
C ₅	Y	ÇY	ÇY	ÇY
C ₆	Y	Y	Y	Y
C ₇	Y	O	O	Y
C ₈	O	Y	Y	ÇY
C ₉	O	Y	ÇY	Y
C ₁₀	Y	ÇY	ÇY	ÇY
C ₁₁	O	O	O	Y
C ₁₂	O	Y	O	Y

Tablo 3: Bulanık Ağırlıklar Matrisi

Kriter (C)	
C ₁	(0.750, 0.950, 1.000)
C ₂	(0.700, 0.900, 1.000)
C ₃	(0.750, 0.950, 1.000)
C ₄	(0.625, 0.825, 0.925)
C ₅	(0.750, 0.950, 1.000)
C ₆	(0.600, 0.800, 1.000)
C ₇	(0.450, 0.650, 0.850)
C ₈	(0.575, 0.775, 0.925)
C ₉	(0.575, 0.775, 0.925)
C ₁₀	(0.750, 0.950, 1.000)
C ₁₁	(0.375, 0.575, 0.775)
C ₁₂	(0.450, 0.650, 0.850)

Dört karar verici tarafından en uygun enerji kaynağının belirlenmesine karar verme açısından en önemli bulunan karar kriterleri aynı ağırlığa sahip olan (0.750, 0.950, 1.000) C_1 (güvenilirlik), C_3 (maliyet), C_5 (risk) ve C_{10} (ülke ekonomisi açısından sahip olunan önem) kriterleridir. Bu kriterleri sırasıyla rezerv miktarı (0.700, 0.900, 1.000), çevresel etki (0.625, 0.825, 0.925) kriterleri takip etmektedir. Karar vericiler tarafından bu kararda en az etkisi bulunduğu ifade edilen kriter ise basitliktir(0.375, 0.575, 0.775).

Alternatifleri oluşturan enerji kaynakları ise sırasıyla yenilenebilir enerji kaynakları, fosil enerji kaynakları ve nükleer enerji kaynakları olarak çalışmada yer almıştır. Karar vericiler enerji kaynaklarını da daha önce belirlenen karar kriterleri doğrultusunda dilsel değişkenler yoluyla değerlendirmişlerdir. Enerji kaynaklarını değerlendirirken karar vericilerin kullandıkları dilsel değişkenler ve bu değişkenlerin karşılığı olan üçgen bulanık sayılar Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4: Alternatif Değerlendirmeleri İçin Kullanılan Dilsel Değişkenler ve Bulanık Karşılıkları

Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 2)
Kötü (K)	(0, 2, 4)
Orta (O)	(3, 5, 7)
İyi (İ)	(6, 8, 10)
Çok İyi (Çİ)	(8, 10, 10)

Enerji kaynaklarının dört karar verici tarafından değerlendirilmeleri sonucunda ortaya çıkan sonuçlar Tablo 5'te verilmektedir.

Algoritmanın diğer adımı için, Tablo 4, Tablo 5 ve Eşitlik (1) kullanılarak bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Bulanık karar matrisi Tablo 6'da verilmektedir

C_3 , C_4 , C_5 ve C_7 maliyet kriteri olduğu için Eşitlik (6), diğer kriterler fayda kriteri olduğu için Eşitlik (5) kullanılarak normalize edilmiş değerler hesaplanmış ve Tablo 7'de verilen normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra ise ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinin oluşturulması için Eşitlik (8) kullanılmıştır. Hesaplanan ağırlıklı normalize edilmiş değerler ile Tablo 8 elde edilmiştir.

Tablo 5: Karar Vericilerin Alternatif Değerlendirmeleri

Alternatifler (A)	Kriterler (C) 1. Karar Verici											
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
A ₁	Çİ	O	İ	Çİ	O	O	İ	İ	İ	İ	O	O
A ₂	Çİ	O	O	Çİ	İ	O	İ	İ	O	O	İ	O
A ₃	K	O	O	K	K	O	O	O	İ	O	O	O
Alternatifler (A)	Kriterler (C) 2. Karar Verici											
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
A ₁	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	K	Çİ	O	Çİ
A ₂	O	K	K	ÇK	O	O	ÇK	K	İ	Çİ	İ	O
A ₃	İ	İ	O	İ	İ	İ	Çİ	İ	K	İ	K	K
Alternatifler (A)	Kriterler (C) 3. Karar Verici											
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
A ₁	Çİ	İ	Çİ	O	İ	İ	O	İ	İ	İ	İ	İ
A ₂	O	O	İ	O	O	İ	K	O	İ	İ	Çİ	İ
A ₃	Çİ	İ	İ	İ	O	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	O
Alternatifler (A)	Kriterler (C) 4. Karar Verici											
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
A ₁	Çİ	Çİ	K	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ
A ₂	O	O	O	ÇK	O	O	ÇK	ÇK	İ	ÇK	İ	ÇK

A ₃	İ	Çİ	K	İ	K	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	K	O
----------------	---	----	---	---	---	----	----	---	----	----	---	---

Tablo 6: Bulanık Karar Matrisi

Alternatifler (A)	Kriterler (C)			
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A ₁	(8.00, 10.00, 10.00)	(6.25, 8.25, 9.25)	(5.00, 7.00, 8.50)	(6.75, 8.75, 9.25)
A ₂	(4.25, 6.25, 7.75)	(2.25, 4.25, 6.25)	(3.00, 5.00, 7.00)	(2.75, 3.75, 5.25)
A ₃	(5.00, 7.00, 8.50)	(5.75, 7.75, 9.25)	(3.00, 5.00, 7.00)	(4.50, 6.50, 8.50)
Alternatifler (A)	Kriterler (C)			
	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
A ₁	(6.25, 8.25, 9.25)	(6.25, 8.25, 9.25)	(6.25, 8.25, 9.25)	(7.00, 9.00, 10.00)
A ₂	(3.75, 5.75, 7.75)	(3.75, 5.75, 7.75)	(1.50, 2.50, 4.50)	(2.25, 3.75, 5.75)
A ₃	(2.25, 4.25, 6.25)	(5.75, 7.75, 9.25)	(6.25, 8.25, 9.25)	(5.75, 7.75, 9.25)
Alternatifler (A)	Kriterler (C)			
	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
A ₁	(5.00, 7.00, 8.50)	(7.00, 9.00, 10.00)	(4.50, 6.50, 8.50)	(6.25, 8.25, 9.25)
A ₂	(5.25, 7.25, 9.25)	(4.25, 5.75, 7.25)	(6.50, 8.50, 10.00)	(3.00, 4.50, 6.50)
A ₃	(5.50, 7.50, 8.50)	(6.25, 8.25, 9.25)	(2.75, 4.75, 6.25)	(2.25, 4.25, 6.25)

Tablo 7: Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

Alternatifler (A)	Kriterler (C)			
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A ₁	(0.800, 1.000, 1.000)	(0.676, 0.892, 1.000)	(0.353, 0.429, 0.600)	(0.297, 0.314, 0.407)
A ₂	(0.425, 0.625, 0.775)	(0.243, 0.459, 0.676)	(0.429, 0.600, 1.000)	(0.524, 0.733, 1.000)
A ₃	(0.500, 0.700, 0.850)	(0.622, 0.838, 1.000)	(0.429, 0.600, 1.000)	(0.324, 0.423, 0.611)
Alternatifler (A)	Kriterler (C)			
	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
A ₁	(0.243, 0.273, 0.360)	(0.676, 0.892, 1.000)	(0.162, 0.182, 0.240)	(0.700, 0.900, 1.000)
A ₂	(0.290, 0.391, 0.600)	(0.405, 0.622, 0.838)	(0.333, 0.600, 1.000)	(0.225, 0.375, 0.575)
A ₃	(0.360, 0.529, 1.000)	(0.622, 0.838, 1.000)	(0.162, 0.182, 0.240)	(0.575, 0.775, 0.925)
Alternatifler (A)	Kriterler (C)			
	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
A ₁	(0.541, 0.757, 0.919)	(0.700, 0.900, 1.000)	(0.450, 0.650, 0.850)	(0.676, 0.892, 1.000)
A ₂	(0.568, 0.784, 1.000)	(0.425, 0.575, 0.725)	(0.650, 0.850, 1.000)	(0.324, 0.486, 0.703)
A ₃	(0.595, 0.811, 0.919)	(0.625, 0.825, 0.925)	(0.275, 0.475, 0.625)	(0.243, 0.459, 0.676)

Tablo 8: Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

Alternatifler (A)	Kriterler (C)			
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A ₁	(0.600, 0.950, 1.000)	(0.473, 0.803, 1.000)	(0.265, 0.407, 0.600)	(0.186, 0.259, 0.377)
A ₂	(0.319, 0.594, 0.775)	(0.170, 0.414, 0.676)	(0.321, 0.570, 1.000)	(0.327, 0.605, 0.925)
A ₃	(0.375, 0.665, 0.850)	(0.435, 0.754, 1.000)	(0.321, 0.570, 1.000)	(0.202, 0.349, 0.565)
Alternatifler (A)	Kriterler (C)			
	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
A ₁	(0.182, 0.259, 0.360)	(0.405, 0.714, 1.000)	(0.073, 0.118, 0.204)	(0.403, 0.698, 0.925)
A ₂	(0.218, 0.372, 0.600)	(0.243, 0.497, 0.838)	(0.150, 0.390, 0.850)	(0.129, 0.291, 0.532)
A ₃	(0.270, 0.503, 1.000)	(0.373, 0.670, 1.000)	(0.073, 0.118, 0.204)	(0.331, 0.601, 0.856)
Alternatifler (A)	Kriterler (C)			
	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
A ₁	(0.311, 0.586, 0.850)	(0.525, 0.855, 1.000)	(0.169, 0.374, 0.659)	(0.304, 0.580, 0.850)
A ₂	(0.326, 0.607, 0.925)	(0.319, 0.546, 0.725)	(0.244, 0.489, 0.775)	(0.146, 0.316, 0.597)
A ₃	(0.342, 0.628, 0.850)	(0.469, 0.784, 0.925)	(0.103, 0.273, 0.484)	(0.109, 0.299, 0.574)

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinin meydana getirilmesinden sonra (çalışmada $v_j^* = (1,1,1)$ ve $v_j^- = (0,0,0)$ olduğu kabul edilmiştir) her bir alternatifin Tablo 9'da gösterilen pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıkları Eşitlik (13) kullanılarak Vertex Metodu yardımıyla hesaplanmıştır. Son olarak üç enerji alternatifinin yakınlık katsayıları Eşitlik (14) yardımıyla bulunmuş ve enerji kaynakları alternatiflerinin sıralaması A_1 , A_3 , A_2 olarak belirlenmiştir. Alternatiflere ilişkin yakınlık katsayıları ve alternatif sıralaması Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 9: Alternatiflerin FPIS ve FNIS'ten Uzaklıkları

Alternatifler (A)	d^*	d^-
A_1	6.125	6.770
A_2	6.644	6.495
A_3	6.338	6.781

Tablo 10: Yakınlık Katsayıları ve Alternatif Sıralaması

Alternatifler (A)	Yakınlık Katsayıları	Sıralama
A_1	0.525	1
A_2	0.494	3
A_3	0.517	2

SONUÇ

Enerji, hızla artış gösteren dünya nüfusunun ihtiyaç duyduğu kaynakların başında yer almaktadır. Bu ihtiyacın ise kesintisiz ve güvenli bir şekilde karşılanması gerekmektedir. Enerji kaynağının tercihinde sürdürülebilir kalkınma yaklaşımıyla soruna çözüm bulmak çevresel açıdan ortaya çıkacak olan problemlerin önlenmesinde daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Soruna enerji politikası açısından yaklaşacak olursak enerji temini için göz önünde bulundurulması gereken en önemli husus dışa bağımlılığı olabildiğince azaltmaktır. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmını

yenilenemeyen kaynaklardan karşılayan Türkiye, bu tür enerji kaynakları açısından zengin bir ülke değildir. Bu nedenle enerjide dışa bağımlılık oranı oldukça yüksek bir ülkedir. Enerji sorunu oldukça karmaşıktır, disiplinlerarası bir niteliğe sahiptir. Sorunun çözümü işbirliği ve eşgüdüm gerektiren bir yapıdadır. Her disiplin soruna kendi bakış açısıyla yaklaşmaktadır. Örneğin iktisatçılar için dışa bağımlılık, maliyet, ülke ekonomisi açısından taşıdığı önem öncelik verilmesi gereken konuların başında yer alırken, çevreciler için çevresel açıdan ortaya çıkabilecek olan zararlar, sürdürülebilirliğe katkısı, iklim değişimine etkisi birincil derecede önem taşıyabilmektedir. Ya da bir mühendis için önem verilmesi gereken kriter güvenlik, basitlik, maliyet, rezerv olarak belirlenebilmektedir. Enerji kaynağı seçimi stratejik bir karardır ve bu nedenle etkin, bir karar verme yaklaşımını belirlemek büyük önem arz etmektedir.

Enerji üretimi için en uygun olanı belirlemek adına enerji kaynaklarını değerlendirme süreci, karar verme açısından birçok karar kriterinin eş zamanlı olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu doğrultuda karar vericilerin değerlendirme yaparken belirsizlik ve muğlaklık yaratan dilsel değişkenleri kullanmaları karmaşık ve belirsizlikle karakterize edilen bir süreçtir (Talinli vd., 2010: 4479). Belirsiz ve muğlak veriyi yorumlamak, bu verilerden çıkarımda bulunmak, karar vericinin sezgilerine dayanan sürecin sübjektifliğini yok etmede bulanıklığı modellemek için bulanık mantık yaklaşımını kullanmak oldukça uygundur.

Enerji üretimi için enerji kaynaklarını değerlendirme süreci aynı zamanda birçok karar kriterini göz önünde bulundurmaya gerektirdiğinden bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) sürecidir. Literatürde ÇKKV yöntemleri olarak AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci-Analytic Hierarchy Process), ANP (Analitik Ağ Süreci-Analytic Network Process), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. ÇKKV yaklaşımlarının, nicel verilerden çok nitel verilere dayanması ve kişisel görüşlere yer vermesi nedeniyle son yıllarda bu tür verileri analiz etmeye daha uygun olan bulanık mantık yaklaşımı çoğunlukla tercih edilmeye başlamıştır ve çoğu kez farklı ÇKKV yöntemlerinin bulanık mantık yaklaşımıyla hibrid biçimde kullanımı tercih edilmektedir.

Çalışmada, Türkiye’de enerji üretimi için en uygun enerji kaynağını belirleme amacıyla Bulanık TOPSIS yönteminden yararlanılmıştır. Alternatif enerji kaynakları olarak yenilenebilir enerji, fosil enerji ve nükleer enerji kaynakları kullanılmıştır.

Karar vericiler hem karar kriterlerin önem ağırlıklarını hem de enerji kaynaklarını çalışmada kullanılan ölçekler doğrultusunda dilsel verilerle değerlendirmişlerdir. Bu sözel veriler üçgen bulanık sayılara çevrilerek BTOPSIS yöntemine ait algoritmada kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan yöntem bağlamında dört karar verici tarafından Türkiye için en uygun enerji kaynağının belirlenmesine karar verme açısından en önemli bulunan karar kriterleri aynı ağırlığa sahip olan (0.750, 0.950, 1.000) güvenilirlik, maliyet, risk ve ülke ekonomisi açısından sahip olunan önem kriterleridir. Bu kriterleri sırasıyla rezerv miktarı (0.700, 0.900, 1.000), çevresel etki (0.625, 0.825, 0.925) kriterleri takip etmektedir. Karar vericiler tarafından bu kararda en az etkisi bulunduğu ifade edilen kriter ise basitliktir (0.375, 0.575, 0.775).

Türkiye için üç enerji kaynağının karar vericiler tarafından değerlendirilmesi sonucunda Bulanık TOPSIS yönetiminin algoritması kullanılarak enerji kaynakları alternatiflerinin sıralaması yakınlık katsayısı en yüksekten en düşüğe doğru yenilenebilir enerji kaynakları (0.525), nükleer enerji kaynakları (0.517) ve fosil enerji kaynakları(0.494) olarak belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

16.07.2009 tarihli ve 27290 sayılı Resmi Gazete.

Balezentiene, L.; Streimikiene, D. and Balezentis, T. (2013), “Fuzzy Decision Support Methodology for Sustainable Energy Crop Selection”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 17, 83-93.

BP (2014), “Review of World Energy”, http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2015/bp-world-energy-outlook_booklet_2035.pdf, Erişim Tarihi: 12.11.2015.

Chen, C. (2000), “Extensions of the TOPSIS for Group Decision Making Under Fuzzy Environment”, **Fuzzy Sets and Systems**, 114, 1-9.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETBK) (2015), “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı (2015-2019)”, Ankara.

Erdoğan, M. ve Kaya, İ. (2015), “An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Methodology Based on Type-2 Fuzzy Sets for Selection Among Energy Alternatives in Turkey”, **Iranian Journal of Fuzzy Systems**, 12 (1), 1-25.

Haralambopoulos, D. A. and Polatidis, H. (2003), “Renewable Energy Projects: Structuring A Multi Criteria Group Decision-Making Framework”, **Renewable Energy**, 28, 961-973.

Kaya, K.ve Koç, E. (2015), “Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi”, **Mühendis ve Makine**, 56 (660), 61-68.

Palabıyık, H.; Yavaş, H. ve Aydın, M. (2010), **Nükleer Enerji ve Sosyal Kabul**, USAK Yayınları, Ankara.

Pamir, N. A. (2003), “Dünyada ve Türkiye'de Enerji, Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları”, 1-39, http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134_73100.pdf, Erişim Tarihi: 01.10.2015.

Stojanovic, M. (2013), “Multi-Criteria Decision-Making for Selection of Renewable Energy Systems”, **Safety Engineering**, 3 (3), 115-120.

Streimikiene, D.; Balezentis, T., Krisciukaitiene, I. and Balezentis, A. (2012), “Prioritizing Sustainable Electricity Production Technologies: MCDM Approach”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16 (5), 3302-3311.

Talinli, İ.; Topuz, E. ve Akbay, M. U. (2010), “Comparative Analysis for Energy Production Processes (EPPs): Sustainable Energy Futures for Turkey”, **Energy Policy**, 38, 4479–4488.

Türkiye Petrolleri Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı (TPSGDB) (2015), “Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu”, <http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r+Raporu%2FHP DG SEKTOR RPR.pdf>, Erişim Tarihi: 12.11.2015.

Wang, Y. M. and Elhag, T. M. S. (2006), “Fuzzy TOPSIS Method Based on Alpha Level Sets with an Application to Bridge Risk Assessment”, **Expert Systems with Applications**, 31, 309-319.

World Wild Life Fund (WWF) (2014), **Türkiye'nin Yenilenebilir Gücü: Türkiye İçin Alternatif Elektrik Enerjisi Arz Senaryoları**, Ofset Yapımevi, İstanbul.

Yakıcı Ayan, T. ve Pabuçcu, H. (2013), "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Değerlendirilmesi", **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 18 (3), 89-110.

Zohrul Kabir, A. B. M. and Shihan, S. M. A. (2003), "Selection of Renewable Energy Sources Using Analytic Hierarchy Process", **ISAHF 2003**, Bali, Indonesia, 7-9 August, 267-276.

Extended Abstract: This paper presents a fuzzy multi-criteria decision-making model relating to the assessment of different energy resources for energy production of Turkey. The main purpose is to determine importance weights of decision criteria and assess energy resources in accordance with predetermined decision criteria by using Fuzzy TOPSIS method for identifying the most suitable one among various energy alternatives. In the study, the conceptual framework for energy resources has been given, summary information about the studies discussing assessment of energy resources in the context of multi-criteria decision making methods has been presented and in the methodology section the algorithm of Fuzzy TOPSIS method has been explained. Finally, for Turkey renewable, fossil and nuclear energy resources have been evaluated with Fuzzy TOPSIS technique. Four academicians (two of them are working in economy department, one of them is the staff of public administration department and one of them is in electric-electronic department) that have expertise in energy has been involved as decision makers in the study. While identifying decision criteria firstly, literature review has been conducted. After that process, the determined criteria have been discussed with the decision makers and consensus has been reached on twelve criteria. Four of these criteria are cost criteria and eight of the criteria are benefit criteria. While cost criteria are cost, environmental effect, risk, and impact on climate change; the benefit criteria are reliability, reserve amount, production capacity, contribution to sustainability, being supported by government policies, level of significance for the national economy, simplicity, and public acceptance.

Decision makers have evaluated the importance weights of the decision criteria and the energy resources by using linguistic variables in accordance with the scales used in the study. Then, these verbal data have been transformed into triangular fuzzy numbers and used in the algorithm of Fuzzy TOPSIS technique.

In the study it has been concluded that the most important decision criteria for determining the most suitable energy resource are reliability, cost, risk, and level of significance for the national economy with the same importance weight (0.750, 0.950, 1.000). Reserve amount (0.700, 0.900, 1.000), and environmental effect (0.625, 0.825, 0.925) has followed them respectively. Decision makers has expressed that the criteria having the least effect on this decision is simplicity (0.375, 0.575, 0.775).

The data obtained from the evaluation of three energy resources by decision makers for Turkey have been used in the algorithm of Fuzzy TOPSIS method. Energy resources have been ranked from the best to the worst with respect to the calculated closeness coefficients. The rankings of the energy resources are as follows: renewable energy resources (0.525), nuclear energy resources (0.517), and fossil energy resources (0.494).