



Journal of Turkish Operations Management

Türkiye'nin elektrik üretiminde doğalgaz talep tahminleri

Çetin Önder İNCEKARA

BOTAŞ, Transit Pipe Line Manager, Ankara

e-mail: cetinincekara@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-1927-8208>

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 27.01.2020
Revize: 10.07.2020
Kabul: 20.09.2020

Anahtar Kelimeler:

Doğal gaz,
Elektrik üretimi,
Bulanık mantık,
Çok kriterli karar verme,
Bulanık TOPSIS

Özet

Elektrik, günlük yaşantımızda en çok ihtiyaç duyduğumuz ve kullandığımız enerji türüdür. Ülkemizde elektrik üretiminde doğal gazın kullanım oranı 1990 yılında %6 iken bu rakam 2014 yılında %48' dir. Ülkemizde son yıllarda yenilenebilir enerji santrallerine yapılan yatırımlar artmış olsa da elektrik üretiminde doğal gaz kullanımı 2017 yılında %37 civarına inmiştir. Ülkemiz fosil enerji kaynakları açısından fakir olmasından dolayı fosil enerji kaynaklarını ithal etmektedir. Elektrik üretiminde kullandığımız doğal gazı; Rusya, İran Azerbaycan, Cezayir, Nijerya ve Katar' dan "Al ya da öde" hükümlü uzun süreli doğal gaz anlaşmaları ile ithal etmektedir. Bu sözleşmeler ülkemiz ekonomisine ağır bir yük oluşturmaktadır. Söz konusu durumun iyi planlanması için; çalışmada enerji konusunda uzman kişilerle görüşülerek ülkemizin doğalgaz talep tahmini için bir bulanık matematiksel model (Bulanık AHP+ Bulanık TOPSIS modeli kullanarak) geliştirilmiştir. Matematiksel model ile ülkemizin yüksek ve düşük doğal gaz talep senaryoları altında ülkemizin 2019-2030 yılları arasında ülkemizin elektrik üretiminde kullandığı doğal gaz miktarı yüksek ve düşük talep senaryoları altında hesaplanmıştır. Matematiksel modelin analiz sonucu; ülkemizde 2019 ile 2030 yılları arasında elektrik üretiminde yüksek talep senaryosunda toplam doğal gaz kullanımı % 58 oranında artarak 77,8 bcm (milyar m³)' e ulaşacağı, elektrik üretiminde kullanılan doğal gaz miktarı % 40 oranında artarak 38,2 bcm' e ulaşacağı, düşük talep senaryosunda ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların artması sonucu elektrik üretiminde kullanılan doğal gaz miktarı % 36 oranında azalarak 13,9 bcm' e seviyesine düşeceği hesaplanmıştır.

Turkey 's natural gas demand projection in electricity generation

Article Info

Article History:

Received: 27.01.2020
Revised: 10.07.2020
Accepted: 20.09.2020

Keywords:

Natural gas,

Abstract

Electricity is the type of energy that we use/need in our daily life. In Turkey the usage of natural gas in electricity generation is 6% in 1990, it is increased and reached 48% in 2014. Although new renewable power plant investments are made in Turkey in recent years, the usage of natural gas in electricity generation is approximately 37% in 2017. Since in terms of fossil energy sources Turkey is not lucky, it imports fossil energy sources. Natural gas that is used in Turkey's electricity generation is imported from Russia, Iran, Azerbaijan, Algeria, Nigeria and Qatar by signing long term "Take or Pay" contracts. These contracts constitute a heavy economic load on Turkey's economy. To ensure that these contracts are good/timely planned; interviews with energy experts are performed in this study and fuzzy mathematical model

Electricity generation,
Fuzzy logic,
Multi-criteria decision making,
Fuzzy TOPSIS

(by using Fuzzy AHP+ Fuzzy TOPSIS) is developed to calculate Turkey's natural gas demand under high and low scenarios. With the help of model, the usage of natural gas amount in Turkey's electricity generation between 2020 and 2030 is calculated. In the study, between 2019 and 2030 under high demand scenario natural gas usage in Turkey will be increased by 53% and reached to 77,8 bcm, the total natural gas demand in Turkey's electricity generation will increased by 40% and reached to 38,2 bcm and under low demand scenario it is decreased by 36% and reached to 13,9 bcm due to increase in renewable energy investments in Turkey.

1. Giriş

Gelişen dünyada enerji günlük hayatımızın bir parçası olmuştur. Elektrik enerjisi en yaygın kullanılan enerjidir. Elektrik yaşamımızın vaz geçilmezi olmuştur, elektrik olmadan hiç bir elektrikli cihaz çalıştırılmaz. Elektrik; kömür, rüzgâr, güneş, jeotermal, doğal gaz, petrol, nükleer, hidrolik ve diğer doğal kaynakların dönüştürülmesiyle elde edilir. Dünya çapında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yatırımları hızla devam etmesine rağmen dünyada birincil enerji kaynakları içinde fosil kaynakların kullanımı IEA verilerine göre 2016 yılı verilerine göre %85,3'lük pay ile ilk sırada yer almaktadır.

Doğalgaz verimi yüksek kullanım alanı geniş fosil türevli bir enerji kaynağıdır. Doğalgazın kesintisiz ve her zaman kullanıma açık bir enerji kaynağı olması doğalgazın değerini yükseltmektedir. Doğalgaz günümüzde stratejik bir enerji kaynağı olarak konut, işyerleri, fabrikalarda, elektrik üretiminde ve endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemiz fosil kaynakları açısından fakir olmasına rağmen doğal gaz gibi fosil kaynaklardan yoğun bir şekilde kullanmasından dolayı fosil kaynaklarındaki fiyat artışları ülkemiz ekonomisine ağır bir yük oluşturmaktadır.

2. Doğal Gaz Tüketimi

2.1. Küresel Doğal Gaz Tüketimi

Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2013 yılında yayınladığı raporun Yeni Politikalar Senaryosunda; gaz talebinin 2035 yılına kadar ortalama yıllık % 1,6 artış göstererek 5 trilyon m³'e ulaşması ve bu artışın % 85'inin OECD dışı ülkelerin talebinden kaynaklanması beklenmektedir. Asya Pasifik'te, enerji tüketimindeki payı sınırlı olan gaz talebinin, özellikle Çin'de beklenen yüksek talebe bağlı olarak dört kat artacağı tahmin edilmektedir. Avrupa Birliği (AB) enerji ihtiyacının yaklaşık %50'sinde dışa bağımlıdır ve bu rakamın 2020 yılına kadar %70'e ulaşması beklenmektedir. AB ülkelerine ihraç edilen doğalgaz ve petrolün %30'u Rusya Federasyonu'ndan gelmektedir. Orta Doğu'nun AB enerji arzındaki payı ise % 45'tir. AB gelecekte en büyük gaz ithalatçı konumunu sürdürecektir. 2001 yılında 496 milyar m³ (bcm) seviyesindeki Avrupa doğalgaz tüketiminin 2020'de 634 milyar m³ ulaşacağı hesaplanmıştır (UNECE, 2016).

2.2. Türkiye'nin Doğal Gaz Tüketimi

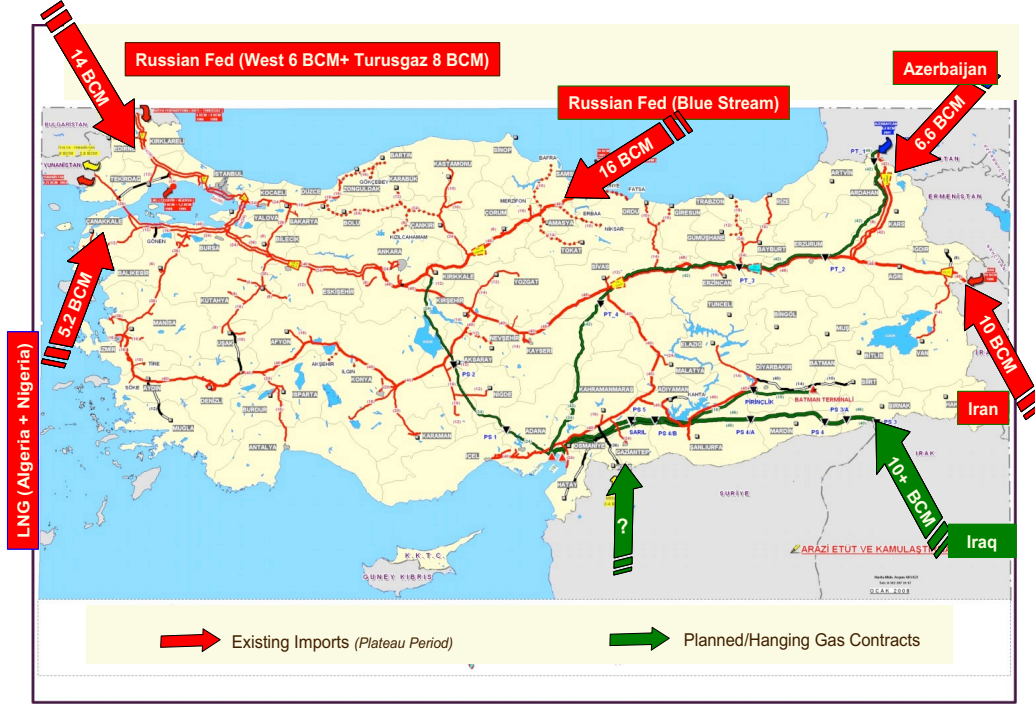
Türkiye'nin artan enerji talebi ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi amacıyla BOTAŞ 18 Eylül 1984 tarihinde Türkiye ile Sovyetler Birliği arasında Hükümetler arası Anlaşma çerçevesinde, BOTAŞ ile SOYUZGAZEXPORT arasında 14.02.1986 tarihinde 6 milyar m³/yıl miktar için ilk Doğal Gaz Alım Satım Anlaşması imzalanmıştır. Ülkemizin doğal gaz arz çeşitlendirilmesi, arz güvenliğinin ve arz esnekliğinin sağlanması için çeşitli anlaşmalar imzalanmış olup doğal gaz anlaşmalarımız Tablo 1.'de sunulmuştur.

Tablo 1. Doğal Gaz Alım ve Satış Anlaşmaları (BOTAŞ, 2016)

Mevcut Anlaşmalar	Miktar (Plato) (milyar m ³ /yıl)	İmzalanma Tarihi	Süre (yıl)
Rus. Fed. (Batı)	6	14 Şubat 1986	25
Cezayir (LNG*)	4	14 Nisan 1988	20
Nijerya (LNG)	1,2	9 Kasım 1995	22
İran	10	8 Ağustos 1996	25

Rus. Fed. (Mavi Akım)	16	15 Aralık 1997	25
Rus. Fed. (Bati)	8	18 Şubat 1998	23
Türkmenistan	16	21 Mayıs 1999	30
Azerbaycan (Faz 1)	6,6	12 Mart 2001	15
Azerbaycan (Faz 2)	6	25 Ekim 2011	15
Azerbaycan (TANAP)	16 (6 bcm Türkiye için)	20 May 2014	49
Rusya (Türk Akım)	31.5 (yarısı Türkiye için)	10 Kasım 2016	49
Yunanistan (Satış)	0,75	10 Nisan 2007	15

*LNG: Sıvılaştırılmış Doğal Gaz



Şekil 1. Doğal Gaz Alım Miktarları ve Yerleri (BOTAŞ, 2016)

Ülkemiz sahip olduğu jeostratejik konumu itibariyle, bölgesel petrol ve doğal gaz projelerinde öncü rol oynamak suretiyle gerek ulusal arz güvenliğinin sağlanmasında gerekse de Avrupa başta olmak üzere bölgesel arz istikrarına katkıda bulunma konusunda büyük bir potansiyele sahiptir. Bu kapsamda, Ortadoğu, Hazar Bölgesi ve Orta Asya'nın zengin hidrokarbon kaynakları ile Avrupa ve Dünya'daki tüketici ülkeler arasında güvenilir, istikrarlı ve ekonomik bir enerji merkezi olma doğrultusunda uluslararası planlanan;

- Türkiye - Yunanistan – İtalya Doğal Gaz Boru Hattı (ITGI)
- Nabucco Doğal Gaz Boru Hattı
- Trans-Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı (TANAP)
- Trans-Adriyatik Doğal Gaz Boru Hattı (TAP)
- Mısır-Türkiye (Arap) Doğal Gaz Boru Hattı
- Irak-Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı
- Hazar geçişli Türkmenistan-Türkiye-Avrupa Doğal Gaz Boru
- Türk Akım Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (Faz: 1, 2, 3, 4)
- İsrail - Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı
- Katar Doğal Gaz Boru Hattı

projeleri bulunmaktadır.

Türkiye'nin 2006-2019 yılları arasında ülkelere göre ithal ettiği doğal gaz miktarları Tablo 2.' de sunulmuştur.

Tablo 2. Türkiye'nin Ülkelerden Doğal Gaz İthalat Miktarları(m³x10⁶) (EPDK, 2020)

Yıl	Rusya	İran	Azerbaycan	LNG (Cezayir+Nijerya+Spot)	Toplam
2006	19.316	5.594	-	5.311	30.221
2007	22.762	6.054	1.258	5.768	35.842
2008	23.159	4.113	4.580	5.498	37.350
2009	19.473	5.252	4.960	6.171	35.856
2010	17.576	7.765	4.521	8.174	38.036
2011	25.406	8.190	3.806	6.473	43.875
2012	26.491	8.215	3.354	7.862	45.922
2013	26.212	8.730	4.245	6.083	45.270
2014	26.715	8.924	5.921	7.864	49.424
2015	26.383	8.644	6.118	7.352	48.497
2016	25.540	7.705	6.480	6.627	46.352
2017	28.690	9.251	6.544	10.765	55.250
2018	23.642	7.863	7.527	11.328	50.360
2019	15.196	8.468	8.853	12.694	45.211

2.3. Türkiye'nin Elektrik Üretim ve Tüketimi Verileri

Ülkemizin elektrik tüketimi Tablo 3.'de sunulmuştur.

Tablo 3. Türkiye'nin Elektrik Tüketimi (MMO, 2020)

Yıllar	Tüketim (Milyon kWh)
1995	85.552
1996	94.789
1997	105.517
1998	114.023
1999	118.485
2000	128.276
2001	126.871
2002	132.553
2003	141.151
2004	150.018
2005	160.794
2006	174.637
2007	190.000
2008	198.058
2009	193.472
2010	208.700
2011	229.344
2012	242.370
2013	246.357
2014	257.220
2015	265.724
2016	278.345
2017	289.975
2018	292.172
2019	290.431

Ülkemizde 1990-2018 yılları arası elektrik enerjisi üretiminde doğal gazın kullanım oranı Tablo 4.' de verilmiştir.

Tablo 4. Türkiye’de Doğal Gazdan Elektrik Üretimi (MMO, 2020)

Yıl	GWh	Yıl	GWh
1990	10.192	2005	73.445
1991	12.589	2006	80.691
1992	10.814	2007	95.025
1993	10.788	2008	98.685
1994	13.822	2009	96.095
1995	16.579	2010	98.144
1996	17.174	2011	112.481
1997	22.086	2012	116.323
1998	24.837	2013	114.713
1999	36.345	2014	128.804
2000	46.217	2015	119.611
2001	49.549	2016	111.498
2002	52.496	2017	123.813
2003	63.536	2018	105.085
2004	62.242		

3. Hesap Yöntemi: Bulanık Mantık

Gerçek dünya karmaşıktır ve bu karmaşıklık, genel olarak belirsizlik ve kesin karar verilemeyeşten kaynaklanmaktadır. Günümüzde birçok konuda; sosyal ve teknik konular dâhil tam bir karara varamadığımızdan, kesin kararımızı tam olarak ifade edemediğimizden dolayı günlük hayatımızda her zaman belirsizlikler yer almaktadır. Bu nedenle bilimsel dünyada karar verme sürecine bulanık mantık teorisinin dâhil edilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bulanık mantık; karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgilere dayanarak tutarlı ve doğru kararlar vermeyi sağlayan düşünme ve karar verme mekanizmasıdır (İncekara, 2019).

3.1 Bulanık Mantık Teorisi

Bulanık mantık teorisi ilk olarak 1965 yılında Zadeh (1965) tarafından “Bulanık Kümeler” isimli makalesinde bulanık kümeler teorisinin temel kavramlarını ve matematiksel özellikleri literatürde ilk defa ele alınmıştır. Zadeh, klasik kümelerdeki bir takım özellikleri, bulanık kümelerde uygulanacak şekilde tanımlamıştır. Zadeh tarafından bulanık küme; “sürekli üyelik derecelerine sahip olan ve her elemana 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesi atayan bir üyelik fonksiyonuyla tanımlanan bir küme” olarak tanımlanmıştır (İncekara, 2019). Bulanık mantıkta, herhangi bir problemin yaklaşık olarak modellenmesine, matematiksel olarak karmaşık olmayacak çözümlerle denetim altına alınması hedeflenmektedir. Bulanık mantıkta karar vericilerin değerlendirmelerinin dilsel değişkenler vasıtasıyla çözüm sürecine dâhil edilmiştir. Dilsel değişkenlerin bulanık sayılarla çözüm sürecine dâhil edilmesinin çok kriterli karar verme problemlerinde karşılaşılan belirsizliklerin giderilmesini sağladığı için literatürde sıklıkla kullanılmaktadır (İncekara, 2018).

3.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi

Bulanık AHP (Analytic Hierarchy Process), KV’lerin dilsel değişkenler ile problemi değerlendirmeleri ile problemin çözümüne katkı sağlamaları ile AHP (Saaty 2008)’in avantajlarını bünyesinde barındıran bir yöntemdir. Bulanık yöntemin en büyük avantajı problemin çözümünde dilsel değişkenler kullanılması ile çok-kriterli-karar-verme

yöntemlerinde karşılaşılan belirsizlikler giderilmektedir. İlk Zadeh ile başlayan bulanık mantık kullanımı sonrasında literatürde çok sık kullanılmış olup çok sayıda çalışma yapılmıştır. Çalışmada kullanılan Bulanık AHP yöntemi ile literatürde pek çok çalışma (Chan vd, 2007; Buckley, 1985; Chang, 1996; Chen vd, 1992; Deng, 1999; Kahraman, vd, 2003; Klir, 1995; Leung, 2000; Shukla, 2014; Thengane, 2014; Wang, 2008; Incekara, 2018; Incekara, 2019; Incekara, 2020) yapılmıştır. Çalışmanın çözümünde üçgen bulanık sayılardan faydalanılmış olup çalışmada kullanılan dilsel ifadeler, karşılık gelen ilgili bulanık sayıları Tablo 5’de sunulmuştur.

Tablo 5. Çalışmada Kullanılan Dilsel ifadeler ile bunlara Karşılık Gelen Bulanık Sayılar

Dilsel ifadeler	Bulanık Sayılar	Ters Bulanık Sayılar
Eşit Önem	(1, 1, 3)	(1/3, 1, 1)
Biraz Daha Önemli	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1)
Oldukça Önemli	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Çok Önemli	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Son Derece Önemli	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)

Günlük hayatımızda karar problemleri belirsizlikler içerdiğinden, bu durum dikkate alındığında Bulanık AHP, AHP yöntemine göre daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Bulanık AHP bireysel kararlar yanında grup kararı vermeye uygun bir karar verme yöntemi olma özelliğini taşımaktadır. Chang 1996 yılında üçgen bulanık sayılarla karşılaştırmaların yapay mertebeye değerleri hesaplamasına dayanan Bulanık AHP modeli ortaya koymuştur. Chang’ın 1996 yılında ileri sürmüş olduğu Bulanık AHP yöntemi en çok kullanılan Bulanık AHP yöntemlerinden birisidir. Chang’ın bulanık AHP yöntemi matematiksel olarak çok hesaplama gerektirmemesi ve klasik AHP adımlarının uygulanması nedeniyle tercih edilen bir yöntemdir.

Bu kapsamda çalışmada bulanık sayıların ağırlıklarını hesaplanmak için Chang (1996) tarafından geliştirilen Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_p\}$ nesne seti ve $L = \{l_1, l_2, \dots, l_r\}$ amaç seti; alınan her nesne ve amaç için “r ölçüde” büyüklük analizi yapılmıştır.

$$X^1_{hi}, X^2_{hi}, \dots, X^r_{hi} \quad (i=1,2,\dots,p; j=1,2,\dots,r) \quad (1)$$

Burada, tüm X^j_{hi} ($i=1,2,\dots,r$) ler üçgen bulanık sayılardır. i. nesne için bulanık sentetik mertebeye değeri formül (2) ile gösterilmiştir.

$$S_i = \sum_{j=1}^r X^j_{hi} \otimes \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^r X^j_{hi} \right]^{-1} \quad (2)$$

$X_1 \geq X$ ’nin olabilirlik derecesi formül (3) ile gösterilmiştir.

$$B(X_1 \geq X_2) = \sup_{k \geq t} [\min(\mu_{X_1}(k), \mu_{X_2}(t))] \quad (3)$$

$h \geq t$ ve $\mu_{X_1}(k) = \mu_{X_2}(t)$ durumunu sağlayan (k, t) gibi bir çift varsa; $B(X_1 \geq X_2) = 1$ ’dir. X_1 ve X_2 iki konveks bulanık sayı olduğundan;

$$X_1 \geq X_2 \text{ ise; } B(X_1 \geq X_2) = \mu_{X_1}(e) \quad (4)$$

Burada e , μ_{X_1} ve μ_{X_2} arasındaki en yüksek kesişim noktası olan E ’nin ordinatıdır.

$X_1 = (a_1, b_1, c_1)$ ve $X_2 = (a_2, b_2, c_2)$ olduğunda; E ’nin ordinatı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$B(X_2 \geq X_1) = \frac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)} \quad (5)$$

X_1 ve X_2 ’nin karşılaştırılmasının yapılabilmesi için $B(X_1 \geq X_2)$ ve $B(X_2 \geq X_1)$ değerlerinin her ikisine de ihtiyaç vardır. Konveks bir bulanık sayının f adet konveks bulanık sayıdan X_i ($i=1,2,\dots,f$) daha büyük olabilirlik derecesi aşağıdaki biçimde tanımlanır.

$$B(X \geq X_1, X_2, \dots, X_f) = B[(X \geq X_1) \text{ ve } (X \geq X_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (X \geq X_f)]$$

$$= \min B(X \geq X_i), \quad (i=1,2,3,\dots,f) \quad (6)$$

$d'(A_i) = \min B(S_i \geq S_f)$ ve $k = 1,2,3,\dots,v$; $f \neq i$ için ağırlık vektörü aşağıda gösterilmiştir.

$$W' = (d'(Z_1), d'(Z_2), \dots, d'(Z_f))^T \quad (7)$$

“W” bulanık olmayan bir sayı olup; normalize ağırlık vektörü aşağıdaki gösterilmiştir:

$$W = (d(Z_1), d(Z_2), \dots, d(Z_i))^T \quad (i=1,2,\dots,f) \quad (8)$$

3.2. Bulanık TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) temelinde, karar noktalarının pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıklarının belirlenmesi ve karar noktaları arasında bir sıralama yapılması yatmaktadır (Chen, 2000). Pozitif ideal çözüm; karar noktalarının yaklaşması arzu edilen noktayı yansıtırken; aksine negatif ideal çözüm; kaçınılması gereken noktayı ifade etmektedir. TOPSIS yönteminde herhangi bir karar noktasının negatif ideal çözümden uzaklaştıkça, pozitif çözüme yaklaştığı kabul edilir ki; bu söz konusu karar noktasının tercih edilebilirliğini artıran bir durumdur. Yöntemde pozitif ideal çözüme “1”, negatif ideal çözüm ise “0” değeri ile temsil edilir. Bu durumda; karar noktalarının “0” ile “1” değerleri arasında değerler alırlar (Incekara, 2013). Yöntemde; seçeneklerin/alternatiflerin pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerlerinden hareketle her bir karar noktasına ait yakınlık katsayısı (H) hesaplanır ve çalışmadaki seçenekler/alternatifler yakınlık katsayılarına göre sıralanır. TOPSIS yönteminde ideal çözüm ya da en uygun alternatif, fayda kriterini maksimize ederken maliyet kriterini minimum yapan çözümdür.

Bulanık TOPSIS yöntemini ilk kez Chen (2000) bir sistem analizi mühendisi seçim probleminin çözümü için kullanmıştır. Bulanık TOPSIS nicel ve nitel çok kriterli karar problemlerinde alternatiflerin seçim sıralama ve değerlendirilmesinde yararlanılan bir karar verme yöntemidir. Bulanık nitelikteki durum ve olaylarda TOPSIS yönteminin kullanılması halinde insan yargı ve düşüncelerini çözüme yansıtmak mümkün olmamaktadır. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinden Bulanık TOPSIS karar problemlerinde bulanık ortamlarda karar verilebilmesine imkân vermektedir. Yöntemin uygulanması sırasında karar vericiler, karar kriterleri ve alternatiflerle ilgili değerlendirmelerini dilsel olarak ifade ederler. Karar vericilerin kriterler ve alternatiflerle ilgili değerlendirmeleri bulanık sayılara dönüştürülerek alternatifler için yakınlık katsayısı hesaplanır. Hesaplanan yakınlık katsayıları yardımıyla alternatifler sıralanarak çözüm ortaya konur. Çalışmada uygulanan ve Chen (2000) tarafından geliştirilen Bulanık TOPSIS yöntemi bireysel ya da grup kararı verilmesinde uygulanabilen bir yöntemdir. Chen tarafından önerilen ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değerlendirmeler ve bulanık sayı karşılıkları aşağıda sunulmuştur:

Tablo 6. Değerlendirilmede Kullanılan Sözel Değişkenler ve İlgili Bulanık Sayısı (Chen, 2000)

Sözel Değişken	Üçgen Bulanık Sayı
Çok Kötü	(0, 0, 1)
Kötü	(0, 1, 3)
Biraz Kötü	(1, 3, 5)
Orta	(3, 5, 7)
Biraz İyi	(5, 7, 9)
İyi	(7, 9, 10)
Çok İyi	(9, 10, 10)

K tane karar vericinin bulunduğu bir grupta karar problemine etkileyen w_j^K ' nın j. karar kriterlerinin önem ağırlığı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{w}_{ij}^1 \oplus \tilde{w}_{ij}^2 \oplus \tilde{w}_{ij}^K] \tag{9}$$

K tane karar vericinin bulunduğu bir grupta karar problemindeki X_{ij}^K 'nin i. alternatifin önem ağırlığı ise aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{X}_{ij}^1 \oplus \tilde{X}_{ij}^2 \oplus \tilde{X}_{ij}^K] \tag{10}$$

Bir çok kriterli karar verme probleminin karar matrisi ve kriter ağırlıkları aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}, \quad \tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2 \dots \tilde{w}_n] \tag{11}$$

Burada \tilde{x}_{ij} ve \tilde{w}_j dilsel değişkenlerdir. $A_1, A_2, A_3 \dots A_m$, alternatifleri; K karar vericileri ve sayısını; $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ karar kriterlerini; \tilde{x}_{ij} , C_j karar kriterine göre A_i alternatifinin kriter değerini ve \tilde{w}_j de C_j kriterlerinin önem ağırlığını ifade etmektedir. \tilde{D} bulanık karar matrisi olarak ve \tilde{W} bulanık ağırlıklar matrisi olarak ifade edilir. Matrisin elemanları ve ağırlıkları birer bulanık sayı olarak $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ve $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ şeklinde gösterilir.

Bulanık karar matrisinin oluşturulmasından sonra normalize edilmiş bulanık karar matrisi hesaplanır. Bu matris aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad i=1,2,3 \dots, m \quad j=1,2,3 \dots, n \tag{12}$$

Normalize edilmiş bulanık karar matrisinin her bir elemanı B fayda ve C maliyet kriterini göstermek üzere aşağıdaki formüller ile hesaplanır:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right), \quad c_j^+ = \max c_{ij}, \quad \forall j \in B \tag{13}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad a_j^- = \min a_{ij}, \quad \forall j \in C \tag{14}$$

Formülden de görüleceği gibi normalize edilmiş bulanık karar matrisi, karar kriterinin fayda kriteri olması durumunda her sütundaki elemanların, bu sütundaki elemanların üçüncü bileşenleri içinde en büyük değere sahip olana bölünmesi yoluyla elde edilir. Maliyet kriterlerinin normalize edilmesinde ise her sütundaki ilk elemanların en küçük değeri dikkate alınır. Normalize edilmiş bir matriste bulanık sayı değerlerinin [0,1] aralığında olması sağlanır.

Normalize edilmiş karar matrisinin hesaplanmasından sonra kriterlerin önem ağırlığını dikkate alarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi hesaplanır. $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ şeklinde gösterilen ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (8) nolu formül ile hesaplanır.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j \tag{15}$$

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi normalize edilmiş bulanık karar matrisi ile bulanık ağırlıklar matrisinin çarpımıyla elde edilir. Bu durumda hesaplanan \tilde{V} matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \tilde{r}_{11} & \cdots & \tilde{w}_n \tilde{r}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{w}_1 \tilde{r}_{m1} & \cdots & \tilde{w}_n \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix} \tag{16}$$

Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi \tilde{V} 'nin hesaplanmasından sonra bulanık pozitif ideal çözüm A^+ ve bulanık negatif ideal A^- çözümünün hesaplanması gerekir.

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}, \text{ burada } i=1,2,3,\dots,m \text{ ve } j=1,2,3,\dots,n \text{ olmak üzere;}$$

$$\tilde{v}_j^* = \max_i \{v_{ij3}\} \text{ ve } \tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij1}\} \quad (17)$$

formülleri ile bulunur. Daha sonra alternatiflerin A^+ ve A^- 'den uzaklıklarının hesaplanması gereklidir. Bu hesaplamada d uzaklıkları ifade eder ve hesaplama aşağıdaki formüller ile yapılır:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), i=1,2,3,\dots,m \quad (18)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i=1,2,3,\dots,m \quad (19)$$

Yöntemde son olarak alternatiflerin ideal çözüme yakınlıkları hesaplanır. Bunun için bulanık sayıların birine olan uzaklıklarının hesaplanmasında kullanılan Vertex metodu kullanılır. $\tilde{A}=(a_1,a_2,a_3)$ ve $\tilde{B}=(b_1,b_2,b_3)$ gibi iki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklık vertex yöntemine göre aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$d_v(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (20)$$

Alternatifler arasında seçim yapılabilmesi veya alternatiflerin değerlendirilebilmesi için yakınlık katsayıları hesaplanmalıdır. Yakınlık katsayısı her bir alternatif için aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır (Chen, Lin, ve Huang, 2006).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (21)$$

Alternatifler için yakınlık katsayısı CC_i değerlerine göre sıralanarak karar verilir. Yakınlık katsayısı 1'e eşit ise söz konusu alternatifin değeri bulanık pozitif ideal çözüme, yakınlık katsayısı 0'a eşitse alternatifin değeri bulanık negatif ideal çözüme eşittir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.4. Uygulama

Çalışmada Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bulanık TOPSIS (Bulanık AHP+ Bulanık TOPSIS) yöntemleri ile bütünlük bir karar destek modeli önerilmiştir. Yöntemde enerji sektöründe çalışan yöneticilerle yapılan görüşmeler sonrasında yapılan anket çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda doğal gaz sektörünün geleceği, enerji sektöründeki beklentileri değerlendirilmiş; konu Bulanık AHP+Bulanık TOPSIS yöntemleri ile araştırılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada; karar vermede etkili olan kriterlerin önem ağırlıkları Bulanık AHP ile belirlenmiş, alternatiflerin sıralaması ise Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Araştırma kapsamında çalışmada kullanılan kriterler ve alt kriterlerinin ağırlıklarının, sıralamasının belirlenmesi için enerji sektöründe çalışan uzman, müdür, yönetici 28 kişi ile (KV) görüşülmüştür. Görüşülen kişilerin dağılımı şu şekildedir: özel sektörde çalışan enerji şirketi yöneticilerinin sayısı 15 (7' i 15 yıl ve üzeri, 4' ü 10-15 yıl, 4' ü 8-10 yıl tecrübeli) dir, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı enerji şirketlerinde çalışan yöneticilerinin sayısı ise 13 (5' i 15 yıl ve üzeri, 5' i 10-15 yıl, 3' ü 8-10 yıl tecrübeli) dir. Çalışmada enerji sektöründe çalışan yöneticilerle yapılan görüşmeler neticesinde kriterler ve alt kriterlerin oluşturulmuştur. Sonrasında oluşturulan kriterler ve alt kriterlerin (7 ana kriterler/21 alt kriterler) değerlendirilmesi için araştırmayı temsil edebilecek şekilde enerji sektöründe çalışan uzman 65 kişiye yönelik bir anket çalışması (dilsel ifadelerin yer aldığı bir anket çalışması) yapılmıştır. Çalışmada enerji uzmanları tarafından ülkemizin doğal gaz talebi için ülkemizde 2030 yılında elektrik üretiminde olması muhtemel iki doğal gaz talep senaryosu çalışılmıştır. Bu kapsamda çalışmada yüksek ve düşük iki enerji senaryosunun kriterleri ağırlıkları bulanık AHP yöntemi ile belirlenirken, sıralaması Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır.

Bulanık AHP (sözel karşılaştırma matrisi oluşturulmuş, değerlerin ortalaması alınmış, bulanık üçgen sayıların geometrik ortalaması bulunmuş, bulanık ağırlık değerleri hesaplanmış, durulaştırılmış, son aşamada normalize edilmiştir) ve Bulanık TOPSIS yöntemleri (kriterler KV'ler vasıtasıyla değerlendirilmiş bulanık sayılara dönüştürülmüş, yakınlık katsayısı hesaplanmış, hesaplanan yakınlık katsayıları yardımıyla alternatifler sıralanarak çözüm hesaplanmıştır) kullanılarak oluşturulan/doldurulan anketler ve görüşmeler neticesinde değerlendirilecek,

elektrik sektörü için iki doğalgaz senaryosu (düşük ve yüksek talep senaryosu) oluşturulmuştur. Çalışmada Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak, en uygun seçim kararının alınması hedeflenmiştir.

Dünyada doğal gaz talebini doğalgazın satış fiyatı belirlemekte olup satış fiyatı birçok faktöre göre değişmektedir. Doğalgaz fiyatlarında ülkemiz için ana belirleyici unsur gazın uluslararası anlaşmalarla (çok azı spot piyasalardan LNG olarak) ithal edilmesidir. Doğalgazı yurt dışından ithal ettiğimiz için uluslararası enerji piyasalarındaki doğalgazın üretim ve satışında önemli olan diğer kaynakların fiyatları ile tedarikçi ülkelerle yapılan anlaşmalar gizli fiyat formülleri (anlaşmalarda aldığımız doğal gazın fiyatları gizlidir) belirleyici olmaktadır. Doğal gazın fiyatını; petrol, altın, kömür fiyatları ile faiz (libor+) oranları, döviz kurları, ihracatçıların pazar çeşitliliği, uluslararası anlaşmalar, boru hattıyla/gemiyle(LNG) gaz temini gibi birçok farklı unsur (anlaşmadaki ağırlıkları oranında), çevresel etkiler, enerji santrali yapım maliyeti, işletim ve bakım onarım maliyetleri belirlemektedir/etkilemektedir. Örnek olarak, doğalgaz alım satımında petrol fiyatlarının esas alınmasından dolayı petrol fiyatlarının artışı doğal gaz fiyatlarında da artışa sebep olmaktadır. Çalışma kapsamında söz konusu kriterler/alt kriterler olarak dikkate alınmıştır. İhracatçı ülkelerin satış yapabilecekleri pazarların çeşitlilik göstermesi, talebin üretimlerinden fazla olması doğal gaz fiyatlarını yükseltmektedir. Daha az maliyetli olarak iletimi sağlayan boru hatları yatırımlarının yapım bedelleri dünya çapında düşüş göstermektedir. Kömürün alternatifi olarak kullanılabilen doğalgaz; kömür ve petrol fiyatları arttığında yoğun talep görür ve bu sebeple doğal gazın fiyatı artar. Döviz kurlarındaki dalgalanmalar uluslararası alım satımlarda etkili olduğundan ülkelerin para birimi değer kaybettiğinde doğalgaz satış fiyatı artmaktadır. Görüldüğü üzere doğalgaz fiyatı, ithal edilen bir ürün/emtia olarak arz/talep, taşıma masrafları ile alternatiflerin çokluğu veya azlığı gibi ekonomik etkenlerden yoğun şekilde etkilenmektedir. Söz konusu gerekçeler çalışma kapsamında kriter/alt kriterler olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda çalışmada dikkate alınan kriterler ve ilgili alt kriterler aşağıda sunulmuştur:

1. Çevresel Etkiler: Çevresel Atıklar, Çevreye Verdiği Zararlar, Su Kaynaklarının Kullanımı
2. Santral Teknolojisi Etkisi: Kapasite Kullanım Oranı, Kullanılan Teknolojinin Güvenilirliği, Yedek Parça Temini.
3. Santral Etkileri: İstihdam, Turizme Etkisi, Bölgeye Katkısı.
4. Santral Karlılık Durumu: Yatırım Maliyeti, Elektrik Satış Fiyatı, Başabaş Noktasının Analizi, İşletme Giderleri, Ham Madde Maliyeti.
5. Santral Kurulum: Kurulum Süresi, Coğrafi Uygunluk, Elektrik Şebeke Yapısı.
6. Santral Birim Elektrik Üretim Maliyeti: Santral İşletme, Bakım, Rehabilitasyon ve Yakıt Maliyetleri.
7. Santralde Kullanılan Doğalgazın Fiyatı: Doğalgazın Uluslararası/Anlaşmalardaki, Ülkemizdeki Fiyatı, Petrol/Altın/Kömür/Yenilenebilir Kaynakların Fiyatları, Boru Hattıyla/Gemiyle(LNG) Tedarikinin Etkisi.

Bulanık ikili karşılaştırma matrisleri için Tablo 5'te gösterilen bulanık sayılar kullanılmıştır. Bulanık karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasından sonra mertebeye analizi kullanılarak ağırlıklar hesaplanmıştır. Çalışmada ülkemizi imzaladığı uluslararası "al ya da öde" hükümlü anlaşmalar Çok Kriterli Karar Verme yönteminde kısıt olarak verilmiştir.

3.4.1. Türkiye'nin Elektrik Üretiminde 2019-2030 yılları arası Doğal Gaz Talebi

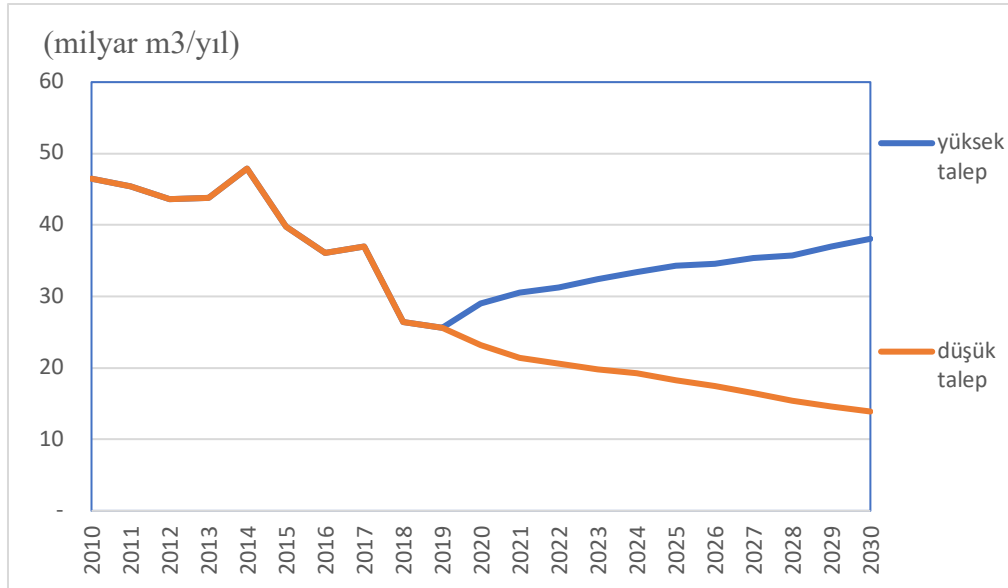
Ülkemizin doğal gaz kullanımı ilk 1987 yılında başlamış olup müthiş bir artış göstererek 2017 yılında yaklaşık 53,8 milyar metre küp ile tepe noktasına ulaşmış olup 2018 yılında 49,3 milyar metre küpe, 2019 yılında 46,8 milyar metre küptür. Söz konusu artışta en önemli pay doğal gazın elektrik üretiminde kullanılmasıdır. Türkiye' de elektrik üretiminde doğal gazın kullanım oranı 1990 yılında % 6 iken bu rakam pik yaparak 2015 yılında % 48,5'e ulaşmıştır. Ülkemizde sektörlerdeki doğal gaz kullanımı Tablo 7.' de sunulmuştur.

Tablo 7. Türkiye'nin Sektörlere göre Doğal Gaz Kullanımı (BOTAŞ, 2016)

Sektörler	2012 yılı Talep (x1000 m3)*	2013 yılı Talep (x1000 m3)*	2014 yılı Talep (x1000 m3)*	2015 yılı Talep (x1000 m3)*
SANAYİ	13.568	14.022	13.580	14.802
KONUT	10.611	11.262	10.670	11.630
ELEKTRİK	19.807	19.876	23.523	25.404
GÜBRE	561	561	561	561
TOPLAM	44.546	45.721	48.333	52.398

1990 yılında BOTAS ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yapılan doğal gaz talep projeksiyonlarında; 2020 yılında doğal gaz talebinin 82,7 milyar metre küp civarı olacağı tahmin edilmiştir. EPDK, 2008 yılında 2030 yılında doğal gaz talebinin 75 milyar metre küp civarında olacağını tahmin etmiştir. (ETKB, 2013) Söz konusu senaryoda yeni yapılması planlanan doğal gaz elektrik santrallerinin yeri büyüktür. Zaman içinde doğal gaz talep projeksiyonları azalmış ve Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2012 yılında yaptığı projeksiyonda 70 milyar metre küpe düşmüştür. (ETKB, 2013) ETKB 2009 yılında yaptığı bir çalışmada ise ülkemizde doğal gaz kullanımının yıllık artış oranı % 5 civarında olacağını öngörmüş, 2016 yılında ise bu oranı % 4' e düşürmüştür. Çalışma kapsamında ETKB, EPDK ve BOTAS'ın enerji senaryoları irdelendikten sonra enerji uzmanları vasıtasıyla çalışmanın kriterleri belirlenmiştir.

Literatürde konu hakkında çok az çalışma yapılmış olup yapılan çalışmalar (Saaty, 1980; Saaty, 1990, 1994, 2008; Kumar, 2016; Ghodsypour, 1998; Buckley, 2003; Incekara, 2017; Incekara 2019, Incekara 2020) enerji sektörü ile ilgilidir. Bulanık AHP (sözel karşılaştırma matrisi oluşturulmuş, değerlerin ortalaması alınmış, bulanık üçgen sayıların geometrik ortalaması bulunmuş, bulanık ağırlık değerleri hesaplanmış, durulaştırılmış, son aşamada normalize edilmiştir) ve Bulanık TOPSIS yöntemleri (Alternatiflerin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları ve bu değerlerle hesaplanan yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. Yakınlık katsayısı 1'e en yakın değer en uygun ve aranan niteliklerdeki çözümü ifade ederken '0' değerine en yakın değer ise uygun olmayan çözümü ifade etmektedir) kullanılarak oluşturulan/doldurulan anketler ve görüşmeler neticesinde değerlendirilerek/ önceliklendirilerek/ağırlıklandırılarak, söz konusu iki doğalgaz senaryosu (düşük ve yüksek) oluşturulmuştur. Çalışmada doğal gaz ve enerji sektöründeki çok farklı projeksiyonlar/senaryolardan dolayı -görülen lüzum üzerine- Bulanık AHP+Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanarak yeni bir matematiksel model kullanarak 2019-2030 yılları arası ülkemizin yüksek ve düşük talep senaryosu altında elektrik sektöründe doğal gaz kullanımı hesaplanmıştır. Çalışma sonucu 2019-2030 yılları arası ülkemizde elektrik üretiminde doğalgaz kullanım miktarı (yüksek ve düşük senaryo altında) Şekil 2' de verilmiştir. 2019 ile 2030 yılları arasında yüksek doğal gaz kullanım talep senaryosuna göre elektrik sektöründe doğal gaz kullanımı % 40 oranında artarak 38,2 bcm' e ulaşacağı, düşük talep senaryosuna göre ise elektrik sektöründe doğal gaz kullanımı %36 azalarak 13,9 bcm seviyesine düşeceği hesaplanmıştır.



Şekil 2. Türkiye'nin 2019-2030 yılları arası Elektrik Üretimde Doğalgaz Kullanım Miktarı

Çalışmanın yüksek talep senaryosunda; doğal gaz talebinin tarihsel gelişimine paralel olarak enerji sektörü gelecekte gaz tüketiminin itici gücü olacağı durumuna paralel bir talep ile %40 artacağı hesaplanmıştır. Çalışmanın düşük talep senaryosunda; Türkiye'nin doğal gaz talebinin; elektrik üretiminde doğalgazın payının AB'nin enerji hedefleri doğrultusunda ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artışı olması beklendiğinden dolayı ülkemizde doğal gaz kullanımının azalacağı görüşünün etkisiyle ülkemizde elektrik üretiminde doğal gaz kullanımının %36' lık bir azalış göstereceği hesaplanmıştır.

4. Sonuç

2012 yılında, ülkemizde enerji sektörünün toplam kurulu kapasitesinin yaklaşık üçte birini doğal gaz çevrim santralleri oluşturuyordu. Aynı yıl doğal gazdan elektrik üreten santraller, doğal gazın yaklaşık % 43,6' ini (ETKB,2013; Incekara, 2017) kullanmıştır.

Doğal gaz talebinin gelecekte alacağı şekle/senaryoya bağlı olarak, Türkiye'nin enerji ithalatı faturası ağırlaşacak ve dışa bağımlılığı artacak, ya da ağır bir yük olmaktan çıkacaktır. Bu kapsamda doğal gazın doğru/gerçeğe yakın projeksiyon tahminlerinin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Doğal gazda imzalanan uluslararası sözleşmeler “al ya da öde” hükmünde olduğundan imzalanacak fazla doğal gaz anlaşmalarının ülkemiz ekonomisine yükü çok ağır olacaktır (Incekara, 2019). Bu durum ancak doğru projeksiyonlarla ve önlemlerle ülkemizin dış borç yükü azalabilecektir. Şöyle ki; ülkemizin doğal gaz ihtiyacı doğru bir şekilde hesaplandıktan sonra fazla olan doğal gazın Avrupa'ya ihracı için gerekli anlaşmalar önceden imzalanırsa ülkemizin “al ya da öde” hükmünden doğacak yükü hafiflemiş olacaktır. 2020 yılından sonra devreye girecek olan Türk Akım(Rus gazı), TANAP, Doğu Akdenizdeki Offshore sahaları, Irak doğal gaz boru hattı projeleri ile Yunanistan'a ve AB' e doğal gaz net satış miktarımız hesaplanarak ülkemizin gelecekteki doğal gaz ithalat talebi belirlenebilecektir.

Türkiye'nin doğalgaz talebi 2018 yılında 48,5 milyar metre küp olup; çalışmada bulanık mantıklı bir matematiksel model (Bulanık AHP+Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanarak) ile ülkemizde elektrik üretiminde kullanılan doğalgaz miktarı yüksek ve düşük talep senaryoları hesaplanmıştır. Bulanık AHP (sözel karşılaştırma matrisi oluşturulmuş, değerlerin ortalaması alınmış, bulanık üçgen sayıların geometrik ortalaması bulunmuş, bulanık ağırlık değerleri hesaplanmış, durulaştırılmış, son aşamada normalize edilmiştir) ve Bulanık TOPSIS yöntemleri (Alternatiflerin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları ve bu değerlerle hesaplanan yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. Yakınlık katsayısı 1'e en yakın değer en uygun ve aranan niteliklerdeki çözümü ifade ederken '0' değerine en yakın değer ise uygun olmayan çözümü ifade etmektedir) kullanılarak oluşturulan/doldurulan anketler ve görüşmeler neticesinde değerlendirilerek/önceliklendirilerek/ağırlıklandırılarak, ülkemizin elektrik üretiminde muhtemel iki doğal gaz senaryosu oluşturulmuştur. Çalışmada enerji uzmanları tarafından ülkemizin elektrik üretiminde doğal gaz talebi için yüksek ve düşük iki doğal gaz senaryosu kriterlerinin ağırlıkları Bulanık AHP yöntemi ile belirlenirken, sıralaması Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Çalışmada Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak, en uygun seçim kararının alınması hedeflenmiştir.

Dünyada doğal gaz talebini doğalgazın satış fiyatı belirlemekte olup satış fiyatı birçok faktöre göre değişmektedir. Doğalgaz fiyatlarında ülkemiz için ana belirleyici unsur gazın uluslararası anlaşmalarla ithal edilmesidir. Doğalgazı yurt dışından ithal ettiğimiz için uluslararası enerji piyasalarındaki doğalgazın üretim ve satışında önemi olan diğer kaynakların fiyatları ile tedarikçi ülkelerle yapılan anlaşmalar gizli fiyat formülleri (anlaşmalarda aldığımız doğal gazın fiyatı gizlidir) belirleyici olmaktadır. Bu kapsamda çalışmada yüksek ve düşük talep senaryolarında kullanılan kriterler ve alt kriterlerinin ve ağırlıklarının belirlenmesi için enerji sektöründe çalışan uzman, müdür, yönetici 28 kişi ile (KV) görüşülmüştür. Çalışmada enerji sektöründe çalışan yöneticilerle yapılan görüşmeler neticesinde kriterler ve alt kriterlerin oluşturulmuştur. Sonrasında oluşturulan kriterler ve alt kriterlerin (7 ana kriterler/21 alt kriterler) değerlendirilmiştir.

Çalışmanın yüksek talep senaryosunda; doğal gaz talebinin tarihsel gelişimine paralel olarak enerji sektörü gelecekte gaz tüketiminin itici gücü olacağı görüşü ağırlık kazanmıştır. 2019 ile 2030 yılları arasında yüksek talep senaryosuna göre elektrik sektöründe doğal gaz kullanımı % 40 oranında artarak 38,2 bcm' e ulaşacağı hesaplanmıştır. Yüksek talep senaryosunda; Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın doğalgaz talebinin (küresel) 2018-2035 döneminde yüzde 40 artış beklemesinin (çalışmada birinci sırada yer alan neden) ve LNG talebinin yüzde 100'ün üzerinde artarak 700 milyar metreküp seviyelerine çıkması, LNG' nin yüzde 32'lik payının 2035 yılında % 50'e çıkmasını öngörmesinin etkisi büyüktür. IEA' a göre; günümüzde dünya doğalgaz ticaretinin yüzde 32'sini LNG oluştururken, kalan yüzde 68'i boru gazından gelmektedir. ABD' nin küresel LNG piyasasındaki payı 2030' da % 20'e yükselecek olması (kendi kaya gazını LNG yapması ile) ve bu kapsamda doğal gaz fiyatları (özellikle boru gaz fiyatları) çok fazla düşecek olması tahmini ile; dünyada doğal gazın daha yaygın olarak kullanılacak olması görüşü etkisiyle ülkemizde doğal gaz kullanımının artacağı beklenmektedir. Çalışmada düşük talep senaryosunda; 2019 ile 2030 yılları arasında elektrik üretiminde yerli/yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneleceği görüşü (Kyoto Protokolü ile Paris Anlaşmasındaki taahhütlerimiz (çalışmada birinci sırada yer alan neden) ile AB enerji politikaları/hedefleri/direktifleri/programları etkisiyle...) etkisiyle toplam elektrik sektöründe doğal gaz kullanımı %36 azalarak 13,9 bcm seviyesine düşeceği hesaplanmıştır. Her iki senaryonun yıllara göre değişimi Şekil 2' de sunulmuştur.

Çalışmada yüksek ve düşük doğal gaz talep senaryoları altında yapılan hesaplamalarda 2030 yılında ülkemizin elektrik üretiminde doğal gaza ihtiyaç duyduğu görülmüştür. Bu amaç doğrultusunda; ülkemiz doğal gaz arz güvenliğini sağlamak, çeşitlendirmek için Doğu-Batı Enerji koridoru çerçevesinde “Al ya da öde” hükümlü doğal gaz anlaşmaları imzalamak için çeşitli proje çalışmaları yapmaktadır (Incekara, 2019). Doğu-Batı Enerji Koridoru, Kafkasya ve Orta Asya ülkelerinin enerji kaynaklarının Batı pazarlarına güvenli güzergah üzerinden ulaştırılması hedefi doğrultusunda ülkemizden geçen TANAP, Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı, İran, Mavi Akım, Türk Akım doğal gaz boru hattı projelerine benzer doğal gaz projelerini (Hazar Geçişli (Türkmenistan-Türkiye-Avrupa), NABUCCO, Kazakistan, Türkmenistan, Doğu Akdeniz Offshore, Irak, Mısır, İsrail, Katar) gerçekleştirerek, ülkemizin hem enerji/doğal gaz arz güvenliğini artıracak hem de ülkemizin 2030 yılında ihtiyaç duyduğu doğal gazı çok daha ucuza ithal edebilecektir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

BOTAŞ, (2012). Yıllık Faaliyet Raporu. 35-44.

BOTAŞ, (2016). Yıllık Faaliyet Raporu. 33-46.

Buckley, J.J. (1985). Fuzzy Hierarchical Analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17: 233-247. doi:[10.1016/0165-0114\(85\)90090-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9)

Buckley, J.J. (2003). *Fuzzy Probabilities. New Approach and Applications*, Physica-Verlag, New York. Erişim adresi: <https://www.springer.com/gp/book/9783540250333>

Chan, F.T.S., Kumar N. (2007). Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-based Approach. *Omega International Journal of Management Science*, 35:417-431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.08.004>

Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95: 649-655. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)

Chen, S.J., Hwang, C.L. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*. Berlin Heidelberg: Springer. Erişim adresi: <https://www.amazon.com/Fuzzy-Multiple-Attribute-Decision-Making/dp/0387549986>

Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 119. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)

Chen, C.T. (2001). A Fuzzy Approach to Select the Location of the Distribution Center. *Fuzzy Sets and Systems*, 118: 65–73. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(98\)00459-X](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00459-X)

Chen, G., Pham, T.T. (2001). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*. CRC Press, USA. doi: <https://doi.org/10.1115/1.1421114>

Chen, C.T., Lin, C.T., Huang, S.F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102: 289-301. doi: [10.1016/j.ijpe.2005.03.009](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.009)

Deng, H. (1999). Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparison. *International Journal of Approximate Reasoning*, 21: 215-231. doi: [https://doi.org/10.1016/S0888-613X\(99\)00025-0](https://doi.org/10.1016/S0888-613X(99)00025-0)

Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2000). Enerji Raporu. 61-80.

Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2010). Enerji Raporu. 78-91.

Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2013). Enerji Raporu. 23-84.

EPDK (2020). Türkiye'nin Enerji Görünümü Raporu. 44-63.

Ghodsypour, S.H., O'Brien, C. (1998). A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *Int. J. Production Economics*, 56-57. doi: [10.1016/S0925-5273\(97\)00009-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00009-1)

Incekara, C.O. (2020). Turkey's Natural Gas Demand Projections. *EJONS International Journal On Mathematics, Engineering & Natural Sciences*, Volume (4), Issue (15): 489-505. doi: <http://dx.doi.org/10.38063/ejoms.269>

Incekara, C.O. (2020). Evaluation of Turkey's International Energy Projects by Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Methods. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, Volume (8), Issue (9): 206-217. Erişim adresi:

https://www.euroasiajournal.org/Makaleler/492214988_23%2098%20143%20%20c3%a7etin%20206-217.pdf

Incekara, C.O. (2020). Enerji Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir İşletmede İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi, Cilt 4, 1, 152-177. doi: doi.org/10.31200/makuubd.678400

Incekara, C.O. (2019). Use of an Optimization Model for Optimization of Turkey's Energy Management by inclusion of Renewable Energy Sources. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Springer, 121-133. doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02221-w>

Incekara, C.O. (2019). Türkiye ve AB'nin Enerji Stratejileri ve Politikaları. *Journal of Turkish Operations Management*, Cilt 3, Sayı 2: 298-313. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/920598>

Incekara, C.O. (2019). Turkey's Energy Management Plan by using Fuzzy Modeling Approach. *Scholars' Press, Book*, 38-52. Erişim adresi: <https://www.amazon.com/Turkeys-Energy-Management-Modeling-Approach/dp/6138829697>

İncekara, Ç.Ö. (2018). Ülkemizdeki Enerji Santral Yatırımlarının AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4): 185-196. Erişim adresi: [https://muhendislik.cu.edu.tr/tr/Dergi/\(33_4_2018\)/18.pdf](https://muhendislik.cu.edu.tr/tr/Dergi/(33_4_2018)/18.pdf)

Incekara, C.O., Ogulata, S.N. (2017). Turkey's energy planning considering global environmental concerns. *Ecological Engineering*, Elsevier, 589-595. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.033>

İncekara, Ç.Ö. (2013). Turkey's Energy Strategies. *SOSBİLKO 2013*, 113-129.

İncekara, Ç.Ö., Ogulata, S.N. (2010). Dünya'nın ve Türkiye'nin Enerji Senaryoları. *YAEM 2010*, Sabancı Üniversitesi.

Junior, F.R.L., Osiro, L., Carpinetti, L.C.R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 21:194-209. doi: [10.1016/j.asoc.2014.03.014](https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.03.014)

Kahraman, C., Cebeci, U., Ulukan, Z. (2003). Multi-Criteria Supplier Selection Using Fuzzy AHP. *Logistics Information Management*, 16 (6):382-394. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1108/09576050310503367>

Klir, G.J. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications*. Prentice Hall PTR, New Jersey. Erişim adresi: www.b-farhadinia.ir/bfarhadiaadmin/file/stdfile/Klir.pdf

Kumar, S.A, Datta, S., Mahapatra, S.S. (2016). Evaluation and selection of resilient suppliers in fuzzy environment. *Benchmarking: An International Journal*, 23(3):651-673. doi: [10.1108/BIJ-11-2014-0109](https://doi.org/10.1108/BIJ-11-2014-0109)

Leung, L., Cao, D. (2000). On Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 124: 102-113. doi: [10.1016/S0377-2217\(99\)00118-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00118-6)

MMO (2020). MMO Enerji Raporu. 42-46.

Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, Newyork. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2805-6_12

Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, 48. doi:[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)

Saaty, T.L. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. Interfaces, 24(6): 19-43. doi: <https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19>

Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences, 1(1): 83-98. doi: [10.1504/IJSSCI.2008.017590](https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590)

Shukla, R.K., Gray, D., Agarwal, A. (2014). An integrated approach of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS in modeling supply chain coordination. Production & Manufacturing Research, 2(1): 415-437. doi: <https://doi.org/10.1080/21693277.2014.919886>

Thengane, S.K., Hoadley, A., Bhattacharya, M.S., Bandyopadhyay, S. (2014). Cost-benefit analysis of different hydrogen production technologies using AHP and Fuzzy AHP. International Journal of Hydrogen Energy, 39: 152-159. doi: [10.1016/j.ijhydene.2014.06.015](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.06.015)

UNECE Raporu, Birleşmiş Milletler Avrupa Enerji Komitesi Raporu (2016). 26-39.

Wang, Y.M., Luo, Y., Hua, Z. (2008). On the Extent Analysis Method for Fuzzy AHP and its Applications. European Journal of Operational Research, 186: 735- 747. doi: [10.1016/j.ejor.2007.01.050](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.01.050)

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Algorithms. Information and Control, 12(2): 94-102. doi: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(68\)90211-8](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(68)90211-8)

Zarte, M., Pechmann, A., Nunes, I.L. (2018). Sustainable Evaluation of Production Programs Using A Fuzzy Inference Model—A Concept. Procedia CIRP, Vol:73: 241-246. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.012>