



Journal of Turkish Operations Management

Türkiye ve AB'nin enerji stratejileri ve politikaları

Çetin Önder Incekara

BOTAŞ, Transit Pipe Line Manager, Ankara, cetinincekara@gmail.com, 0000-0003-1927-8208

Makale Bilgi

Makale Geçmişi:

Geliş: 06.07.2019

Revize: 10.12.2019

Kabul: 25.12.2019

Anahtar Kelimeler:

Enerji,
Çok Kriterli Karar Verme,
Bulanık Mantık,
Avrupa Birliği

Özet

Enerji hayatımızda vazgeçilmez bir yere sahiptir, günlük hayatımızda hemen hemen yaptığımız her şey için enerjiye ihtiyaç duyarız. Ülkeler enerji arz güvenliğini sürdürülebilir kaynaklardan gerçekleşmesini sağlamak için çeşitli önlemler almakta, enerji stratejilerini ve politikalarını oluşturmaktadır. Avrupa Birliği (AB)'nin lisanslamaya ilişkin şeffaf kuralları ile herhangi bir üreticinin AB içinde herhangi bir yerde yeni bir enerji santrali kurmasına ve elektrik üretmesine izin vermektedir. Ancak AB enerji santrallerinde kullanılacak enerji kaynakları AB'nin enerji politikaları ile uyumlu olması gerekmektedir. Bu kapsamda; AB "Enerji 2020 Stratejisi" ile 2020 yılında sera gazı emisyonlarını 1990 yılındaki oranının %40 oranında düşürmeyi, tükettiği enerjinin %27'sinin yenilenebilir kaynaklardan elde etmeyi, enerji verimliliğini en az %27 oranında artırmayı hedeflemektedir. AB "2050 Enerji Yol Haritası" ile 2050 yılında sera gazı emisyonları 1990 yılındaki oranının %80-95' in altına düşürülmesi hedeflemektedir. AB enerji politikasının hedeflerinden biride enerji üretiminde kullandığı enerji kaynaklarını çeşitlendirmektir. AB'nin 2020 ve 2050 yılı enerji hedeflerine ters düşmesine rağmen, AB yerli kömür kullanımını teşvik etmeyi ve yurtiçi üretim kapasitesini daha rekabetçi kılmayı hedeflese de doğal gaz kullanımının yaygınlaşması ve ithal kömür yerli kömürden çok daha ucuz olması nedeniyle yerli kömür tüketimi hızlı bir şekilde azalmaktadır. 2017 yılında AB içinde en fazla tüketilen enerji kaynağı petrol olup %77'i ithalat yoluyla karşılanmıştır. AB' de en çok kullanılan ikinci enerji kaynağı %36 ile doğal gaz olup doğal gazı %33 ile diğer yakıtlar takip etmektedir. 2017 yılında AB; %44,4 ile en çok fosil yakıtlardan (doğal gaz %19,7), %30 yenilenebilir kaynaklardan, %25,6 nükleerden elektrik üretilmiştir. Çalışma kapsamında ülkemizde kamuda ve özel sektörde enerji konusunda uzman yöneticiler (Karar Vericiler:KV) ile görüşülmüş ve detaylı bir anket çalışması yapılmıştır. Dilsel değişkenler vasıtasıyla KV'ler ülkemizin enerji amaç fonksiyonları, enerji senaryoları ve kriterleri değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda; ülkemizin 2035 yılında enerji sektöründe kullanılacak enerji kaynakları yeni bir bulanık çok amaçlı programlama methodu ile bir matematiksel model geliştirilmiş ülkemizin 2035 yılı enerji senaryosu oluşturulmuştur/hesaplanmıştır. Ülkemizin ve AB'nin enerji stratejileri ve politikaları kapsamında geliştirilen matematik model ile ülkemizin 2035 yılı enerji hedefleri oluşturulmuştur.

Turkey and EU's energy strategies and policies

Article info

Article History:

Received: 06.07.2019

Revised: 10.12.2019

Accepted: 25.12.2019

Keywords:

Energy; Multi-Criteria Decision Making, Fuzzy Logic, Fuzzy Multi Objective Programming, European Union

Abstract

We use energy in our daily lives/activities; therefore energy has an indispensable place in our lives. Countries take various measures to ensure energy supply security from sustainable energy sources and establish their energy strategies and policies. European Union (EU)'s transparent licensing rules allow any energy producer to construct a new power plant and can easily generate electricity inside EU. However, the energy resources to be used in EU's energy sector need to be in line with EU's energy policies. EU's "Energy 2020 Strategy" aims to reduce greenhouse gas emissions by 40% (produced in 1990) in 2020, to generate 27% of its energy from renewable sources, and aims to increase energy efficiency by at least 27%. EU's "2050 Energy Roadmap" aims to reduce greenhouse gas emissions by 80-95% (produced in 1990) in 2050. Another goal of EU's energy policy is to diversify the energy resources used in energy generation. In contradistinction to EU's year 2020 & 2050 energy targets, EU's energy policy encourage the use of domestic coal and domestic energy production. The use of domestic coal consumption is rapidly decreasing due to the widespread use of natural gas and low price of imported coal. In 2017 the most consumed energy source in EU was petroleum and about 77% of it was imported. The second energy source used in EU (about 36%) was natural gas and the third one is other type of fuels (about 33%). In 2017 about 44,4% of EU's energy generation is from fossil fuels (natural gas: %19,7), about 30% of it is from renewable sources and about 25,6% of it is from nuclear power plants. Within the scope of the study, detailed energy survey was conducted with energy experts (Decision-Makers: DM) who work in Turkey's public and private sectors. With the help of linguistic variables, DMs evaluate Turkey's energy objective functions, energy scenarios and criteria. In the study, a mathematical model is developed to obtain/calculate Turkey's year 2035 energy generation plan by using a new fuzzy multi objective programming method. Considering Turkey and EU's energy strategies and policies; Turkey's year 2035 energy targets are obtained/established by the help of developed mathematical model.

1 Giriş

Günlük hayatımızda hemen hemen yaptığımız her şey için enerjiye ihtiyaç duyarız. Günümüzde enerji yaşamın her alanında karşımıza çıkmaktadır, bu kapsamda enerji insanlığın vazgeçilmezi olmuştur. Enerji, sürdürülebilir kalkınmanın ekonomi ve çevre açısından en önemli unsurudur. Bu kapsamda ülkeler enerji arz güvenliğini sürdürülebilir kaynaklardan gerçekleşmesini sağlamak için önlemler almakta kullandığı enerji kaynağı çeşitliliğini artırmaya çalışmaktadır.

Dünyada her yıl yaklaşık 23.5 trilyon kilovatsaat elektrik enerjisi tüketilmektedir. World Energy Organization (WEO: Dünya Enerji Kuruluşu)' a göre en çok elektrik üreten ülkeler listesinde Çin 5 milyar 207 milyon kilovatsaat ile birinci, Türkiye 15. sıradadır. Günümüzde ülkeler enerjide dışa bağımlılıklarını azaltmak için kullanmış oldukları enerjiyi çeşitlendirmek ve ithal ettikleri enerji kaynak sayısını, ülke sayısını arttırmak istemektedirler. Bu sayede tek bir kaynağa/ülkeye bağımlı hale gelmemek için gerekli önlemleri almaktadırlar.

International Energy Agency (IEA: Uluslararası Enerji Ajansı)' a göre günümüzde dünya enerji piyasası liginde Avrupa Birliği (AB) ithalata birinci sırada yer alırken, tüketimde ise ikinci sırada yer almaktadır. AB enerji ihtiyacının yarısını AB dışındaki kaynaklardan temin etmektedir. Bu durum AB enerji arz güvenliği için bir tehdit unsuru olduğundan AB' i ortak bir enerji politikası geliştirmesi zorunluğu doğmuş, bu kapsamda AB üye ülkeleri ile ortak bir enerji politikası oluşturmuştur. AB enerji politikası enerji kaynaklarının arz güvenliğini güçlendirmek, elektrik ve doğalgaz piyasasında ise; şeffaf, verimli, AB içinde bütünleşmiş dinamik bir iç enerji piyasası oluşturmaktır. Ülkemiz AB üyelik müzakerelerine devam ettiğinden (enerji fasılları görüşmeleri devam etmektedir); AB'nin enerji hedeflerini

gerçekleştirmek için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından ülkemizin 2023 yılındaki enerji hedefleri "Elektrik Enerjisi Piyasası Arz Güvenliği" strateji belgesi (ETKB 2009) oluşturulmuş ve uygulamaya konmuştur. ETKB ülkemizin 2023 yılı enerji hedeflerini dikkate alarak 2035 yılı enerji hedeflerini oluşturulmaya çalışmaktadır. Bu kapsamda çalışmada AB ve ETKB enerji politikaları çerçevesinde; yeni bir bulanık çok amaçlı programlama methodu ile bir matematiksel model geliştirilerek, ETKB'nin 2023 yılı enerji hedefleri/kısıtları altında; ülkemizin 2035 yılı enerji senaryosu hesaplanmıştır.

2 Enerji hedefleri

2.1 AB'nin enerji hedefleri

AB'nin enerji politikası; rekabet gücü, enerji arzının güvenliği ve çevrenin korunması arasında bir dengeye vararak, toplam enerji tüketiminde kömürün payını korumayı, doğal gazın payını artırmayı, nükleer enerji santralleri için azami güvenlik şartları tesis etmeyi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırmayı hedeflemiştir.

1995 yılında AB enerji politikalarının genel ilkeleri ve hedefleri "Avrupa Birliği için Bir Enerji Politikası" başlıklı Beyaz Kitap'ta yayınlanmıştır. Enerji arzının güvenliği, çevrenin korunması ve genel rekabet gücü, günümüzde AB enerji politikasının en önemli hedefleri olarak belirlenmiştir (İncekara 2011). AB kurulduğu zaman enerji politikasının amacı; rekabet gücü, enerji arzının güvenliği ve çevrenin korunması arasında bir denge kurarak, toplam enerji tüketiminde kömürün payını korumak, doğal gazın payını artırmak, nükleer enerji santralleri için azami güvenlik şartları tesis etmek ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırmak olarak açıklanmıştır. AB ham petrolü başka bir enerji biçimleriyle ikame etmeyi hedeflemiş bu kapsamda çeşitli programlar uygulamaktadır. Ancak AB petrolün ve doğal gazın günümüzdeki önemi nedeniyle; AB gelecekte de kullanacağından dolayı AB içinde hidrokarbon kaynaklarının aranmasını teşvik etmektedir. AB'nin enerji politikasının temelinde birey bulunduğu tüketiciye daha ucuz enerji sağlamak, daha yüksek kalitede ve kesintisiz bir hizmet sunmak, AB enerji politikasının temel hedefini oluşturmaktadır. AB; 13 Mart 2001 tarihinde doğal gaz ve elektrik piyasalarının tamamen serbestleştirilmesine yönelik tedbirler paketini önermiştir. Bu kapsamda; tüketiciler elektrik ve doğal gaz sunucularını seçme olanağına kavuşmuş olması amaçlanmıştır.

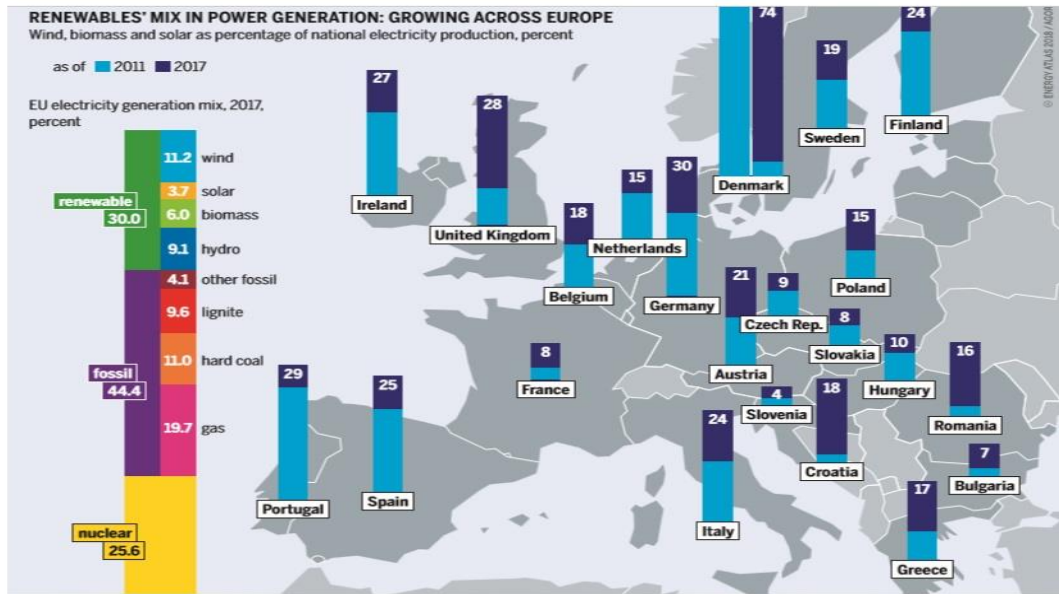
AB enerji politikası, doğal gaz ve elektrik piyasalarının tedricen serbestleşmesi yönündedir (doğal gazın ve elektriğin şebekeler içinde taşınması ve dağıtılması zorluğuna rağmen). AB içinde malların serbest dolaşımı, hizmet sağlama serbestliği, yerleşme hakkı ve rekabetin bozulmaması ilkeleri, enerji sektöründe uygulanması hedeflenmektedirler. AB enerji piyasası/sektörü aşağıda özetlenmiştir:

- **AB Elektrik piyasası:** AB'de elektrik üretimi; yıllarca tekeli üretime ve 15 ayrı ulusal pazara dayalı olmuştur. 19 Şubat 1996 tarihinde AB içinde elektrik ticareti ve üretimi için, rekabet bir kural haline gelmiştir. Elektrik tek pazarını kuran bu mevzuat, rekabetin adil ve şeffaf bir şekilde gelişebileceği asgari şartlarını belirlemiştir. AB'nin lisanslamaya ilişkin şeffaf kuralları ile herhangi bir üreticinin, AB içinde herhangi bir yerde yeni bir enerji santrali kurmasına ve elektrik üretmesine izin vermektedir. Bu sayede AB içinde büyük ve orta ölçekli elektrik tüketicileri, elektriği nereden alacaklarını seçme imkanına sahip olmuştur. AB elektrik iç pazarında temel unsur tüketicinin seçme hakkının bulunmasıdır.
- **AB Doğal gaz piyasası:** AB doğal gaz piyasası yıllarca 15 üye ülkesinin ulusal piyasalarına dayalı olarak kalmıştır. Söz konusu 15 ülkenin çok çeşitli doğal gaz tekelleri yaratan farklı özellikleri/uygulamaları vardır. AB üye 5 ülke -Almanya, Fransa, İtalya, Hollanda ve İngiltere; AB'nin doğal gaz tüketiminin % 85' ten fazlasını gerçekleştirmektedir. Finlandiya, AB'nin doğal gaz şebekesine bağlı değildir. Doğal gaz AB içinde talebin en hızlı büyümesinin beklendiği enerji kaynağı ve sektördür. AB Enerji Konseyi; Aralık 1997'de "doğal gaz iç pazarı/piyasası" kurulmasını kararlaştırmıştır. AB içinde doğal gaz piyasaların çeşitliliği nedeniyle; ortak doğal gaz çerçevesi esnek bir düzenlemeye dayanmaktadır. AB içinde doğal gaza ilişkin siyasi mutabakat; AB elektrik piyasası ilkelerine dayanmaktadır. Bu ilkeler çerçeve ilkeler olarak adlandırılır. Bunlar; zaman içinde kademeli olarak rekabete açılma (10 yıl), şeffaflık ve hakları veya yükümlülükleri açısından firmalara karşı ayrımcı olmamak şeklinde belirlenmiştir. Çerçeve, doğal gazın depolanması, iletilmesi, sunulması ve dağıtılması konularında ortak kurallar getirmiştir. Doğal gaz sektörünün örgütlenişi ve işleyişi hakkında ayrıntılı kurallar belirlenmiş, lisans verme kriterleri ve prosedürleri tanımlanmıştır.
- **AB Petrol piyasası:** Petrol sektörü AB pazarında önemli bir yeri vardır. AB enerji politikası, petrolü başka enerji biçimleriyle ikame etmeyi hedeflemiştir. Ancak, bu enerjinin önemi nedeniyle, AB yerli hidrokarbon kaynaklarının aranması ve işletilmesinde teşvik etmektedir. Özellikle petrol ürünleri üzerindeki tüketim vergileri ve lisanslama konularında, önemli tedbirler alınmıştır. 1994' ten beri, AB, Avrupa Ekonomi Alanı

içinde hidrokarbon arama, keşif ve üretim faaliyetlerindeki şirketlere ayrımcı olmayan erişim imkânı sağlamıştır. Petrol ürünleri üzerindeki tüketim vergileri, enerji iç pazarının temel taşlarından biri olarak kabul edilmiştir.

- **AB Kömür piyasası:** AB'de ilk iç pazar olma özelliğini taşıyan kömür pazarı 1952 yılında Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu (AKÇT) Antlaşması ile kurulmuştur. Bu antlaşmanın süresi 23 Temmuz 2002'de sona ermiştir. AB içinde kömür ticareti herhangi bir kısıtlamaya tabi olmamıştır. AB içinde halen kömür üreten sadece üç ülke vardır: İngiltere, Almanya ve İspanya'dır. AB, kömür kullanımını teşvik etmeyi ve yurtiçi üretim kapasitesini daha rekabetçi kılmayı hedeflemektedir. AB' de doğal gaz kullanımının yaygınlaşması ve ithal kömürün yerli kömürden çok daha ucuz olması nedeniyle yerli kömür tüketimi hızlı bir şekilde azalmıştır. Düşük kömür fiyatları, doğal gaz gibi diğer rakip yakıtların fiyatlarını düzenleyici bir rol oynamaktadır. Katı yakıtlar, AB'de elektrik üretiminin %30'dan fazla bir bölümünü sağlamaktadır.

2017 yılında AB içinde en fazla tüketilen enerji kaynağı petrol olup %77'i ithalat yoluyla karşılanmıştır. AB de kullanılan ikinci kaynak %36 ile doğal gaz olup doğal gazı %33 ile diğer yakıtlar takip etmektedir. 2017 yılında AB içinde elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynaklarının oranları Şekil 1' de gösterilmiştir. Buna göre AB; 2017 yılında %44,4 ile en çok fosil yakıtlardan, %30 yenilenebilir kaynaklardan, %25,6 nükleer enerjiden elektrik üretilmiştir (Energy Atlas 2018; CEPS 2017).



Şekil 1 2017 yılında AB içinde elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynakları

AB mevzuatı, rekabet gücü yüksek, güvenli ve sürdürülebilir enerji piyasaları oluşturulması, kalitenin artırılması, tüketicie daha fazla seçenek ve daha ucuz fiyatlar sunulabilmesi amacıyla enerji piyasalarında serbestleşmeyi ve rekabeti sağlayıcı düzenlemeleri içermektedir. AB "Avrupa için Akıllı Enerji (2003-2006)" programı Kasım 2000'de "Enerji: Arzın Güvenliği" isimli Yeşil Kitapta yayınlanarak uygulamaya başlamıştır. Burada hedeflenen; arzın güvenliğinin güçlendirilmesi, yenilenebilir enerji, enerji etkinliği ile iklim değişikliği ile mücadele ederek, rekabeti teşvik etmektir. Avrupa Birliği enerji politikalarının üç temel amacı vardır:

- Topluluğun rekabet edebilirliğine katkı sağlamak,
- Enerji arz güvenliğini temin etmek,
- Sürdürülebilir kalkınma temelinde çevrenin korunmasına katkıda bulunmak.

AB enerji verimliliğini her yıl %1 oranında artırılmasını, yenilenebilir enerji tüketiminin 2010 yılına kadar %6' dan %12' e yükseltilmesini, 2010 yılına kadar yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini %22,1' e çıkarmayı hedeflemiş ve Kyoto'da belirlenen mekanizmaların teşvik edilmesi ile söz konusu hedefleri gerçekleştirmiştir. İklim değişikliği politikaları ile iklim değişikliği ile mücadele AB'nin sürdürülebilir enerji politikasının temelini oluşturmuştur. Avrupa Birliği 2007 yılında "Enerji ve İklim Değişikliği Paketi"ni onaylamış ve 2020 yılına kadarki enerji hedefleri tanımlanmıştır. AB enerji politikalarının ve programlarının hayata geçirilmesi için; 2003-2006 döneminde 215 milyon

Euro, 1998-2002 dönemindeki Enerji Çerçeve Programı kapsamında ise toplam 175 milyon Euro harcamıştır. AB'nin "20-20-20" olarak tanımlanan enerji politikasındaki hedefler:

- Sera gazı emisyonlarını 1990 seviyesinin en az %20 altına düşürmek,
- Yenilenebilir enerji payının %20'ye çıkarılması,
- Ulaşım sektöründe biyoyakıt kullanımının en az %10' a çıkarılması,
- Birincil enerji tüketiminde %20 tasarruf sağlanması.

AB'nin orta ve uzun vadeli enerji politikaları "Enerji 2020 Stratejisi" ve "2050 Enerji Yol Haritası"nda tanımlanmış olup karbonsuz bir enerji sistemi hedeflenmiştir (İncekara 2017; 2019a). AB'nin 2030 yılı için hedefleri aşağıda sunulmuştur:

- 1990 yılı seviyelerine kıyasla sera gazı emisyonlarını %40 oranında azaltmak,
- AB tarafından tüketilen enerjinin %27'sinin yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesini sağlamak,
- Enerji verimliliğini en az %27 oranında artırmak,
- AB ülkeleri arasında elektrik dahili bağlantı hedefi olarak belirlenen %15 oranına ulaşmak ve altyapı projelerini ilerleterek iç enerji piyasasını tamamlamak.

AB 2050 yılında sera gazı emisyonları 1990 yılındaki oranının %80-95' in altına düşürülmesi hedeflenmektedir. AB'nin 2050 Enerji Yol Haritası bu hedefe ulaşmaya yönelik birkaç senaryo bulunmaktadır. AB ilk aşamada -2020 yılına kadar- AB; tükettiği enerjisinin en az yüzde 20' sini yenilenebilir kaynaklardan ve temiz bir enerji kaynağı olan doğalgazdan elde etmeyi hedeflemektedir.

Eurostat verilerine göre; AB'nin 2030 yılında enerji ihtiyacının %27'ini doğal gazdan, %34'ünü petrolden, %11'ini nükleer enerjiden, %12'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından ve %16'nı da katı yakıtlardan karşılanması beklenmektedir (Avrupa Komisyonu, 2015). Bu kapsamda AB'nin 2030 yılı itibariyle petrolde %93, doğal gazda ise %84 oranında dışa bağımlı olacaktır. Sonuç olarak rapora göre AB gelecekte-2035 yılında en büyük doğalgaz ithalatçısı konumunu sürdürmesi beklenmektedir.

2.1.1 AB Enerji Programları

AB; 25 Şubat 2015 tarihinde "İleriye Dönük İklim Değişikliği Politikası ile Dirençli bir Enerji Birliği için Çerçeve Strateji" belgesini yayımlamıştır. Enerji Birliği Çerçeve Stratejisi olarak anılan belgede; enerji güvenliği, sürdürülebilirlik ve rekabetçiliği artırmak hedefi doğrultusunda tanımlanan AB'nin öncelikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Enerji arz güvenliğinin sağlanması,
- Tam entegre ortak bir Avrupa enerji pazarının oluşturulması,
- Enerji talebini azaltılmasına yönelik enerji verimliliğinin artırılması,
- Ekonominin karbonsuzlaştırılması,
- Araştırmacılık, yenilikçilik ve rekabetçilik.

AB içinde tüketilen enerjinin yarısı üçüncü ülkelerden ithal edilmektedir. AB tarafından en çok ithal edilen enerji kaynağı petroldür. AB'de tüketilen petrolün %78'i ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Bunu, %36 ile doğal gaz ve %32 ile diğer yakıtlar takip etmektedir. Avrupa'nın enerji tüketimi arttıkça enerjide dışa bağımlılığı artmaktadır (European Commission 2003; İncekara 2017).

AB enerji politikasının hedeflerinden biri, enerji arzının kesintiye uğramasını önlemek ve enerji kaynaklarını çeşitlendirmektir. AB yeni enerji kaynaklarını geliştirmek adına; hidro, güneş ve rüzgar enerjileri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmektedir. Ayrıca AB arz güvenliğini sağlamak amacıyla, Avrupa Enerji Şartı gibi bazı anlaşmalar yaparak üçüncü ülkeler ile transit projeleri ve uluslararası enerji işbirliğini arttırmaktadır. Dış bağlantıların geliştirilmesi ve sürdürülmesi de arz güvenliğinde bir başka temel unsurdur. Trans-Avrupa Enerji Ağları bu amaç doğrultusunda kurulmuştur.

AB; sera gazı emisyonlarının azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmayı amaçlayan çeşitli iklim ve enerji hedefleri doğrultusunda kendisine hedefler koymuştur. AB hedefleri doğrultusunda gerekli adımları/teşvikleri/programları uygulamaya koymuştur. AB tarafından yayınlanan

"Avrupa'da Enerji ve Ulaşım: 2030'a Doğru" araştırmada (EU Directive 2012; IEA 2013); 2010 yılında AB'nin enerji kaynakları içinde yenilenebilir enerjinin miktarı %6 olarak gösterilmiştir. Aynı araştırma, bu oranın 2030 yılında ancak %27'e ulaşacağını öngörmektedir. AB'deki yenilenebilir enerji dağıtımının 2005 yılında yakaladığı yüksek ivmenin 2015 ve 2016'da hafif bir şekilde yavaşladığını gören AB bu kapsamda; AB enerji hedeflerini gerçekleştirmek için çeşitli önlemler almıştır. Bu kapsamda aşağıda sunulan enerji programlarını ve teşviklerini (Avrupa Komisyonu 2008; 2015) geliştirerek uygulamaya koymuştur.

Avrupa Enerji Şartı: Purupa Enerji Şartı, 1991 yılında Lahey'de imzalanmış olup 38 ülke ve AB tarafından onaylanmıştır. Enerji Şartının başlıca hedefleri, AB içinde arz güvenliğini artırarak, enerji üretimi, dönüşümü, taşınması, dağıtımı ve kullanımında enerji verimliliğini en üst seviyeye çıkarmak ve enerji ile ilgili çevre problemlerini en aza indirmektir. Nisan 1998'de, Enerji Şartı Antlaşması ve AB Enerji Verimliliği üzerine bir Protokol yürürlüğe girmiştir.

Trans-Avrupa Enerji Ağları (TEN-E): AB içinde enerji arzı güvenliğinin sağlanması için, enerjinin güvenli bir şekilde taşınması gereklidir. Maastricht Antlaşması ile ulusal ağların birbirleriyle bağlantısını ve birlikte çalışmasını teşvik etmek için ulaşım, telekomünikasyon, enerji ve çevre alanlarında ilerleme sağlanması amacıyla oluşturulmuştur. İç pazarının genişlemesini hedefleyen AB, doğal gaz ve elektrik şebekeleri geliştirilmesi amacıyla söz konusu programı geliştirmiş ve uygulamaya başlamıştır. TEN-E kapsamında geliştirilen hatlar aşağıda özetlenmiştir:

- Elektrik nakil hatları: Yüksek voltaj hatları, denizaltı bağlantıları ve koruma, izleme ve kontrol sistemleri,
- Doğal gaz hatları: Yüksek basınçlı doğal gaz boru hatları, yeraltı depolama faaliyetleri, sıvılaştırılmış doğal gazın elde edilmesi ve depolanması ile ilgili faaliyetler, koruma, izleme ve kontrol faaliyetleridir.

TEN-E programının amacı: elektrik sektöründe; izole durumda bulunan elektrik ağlarıyla bağlantı sağlanması, üye ülkeler arasında enerji nakil hatları bağlantılarının geliştirilmesi, üye ülkelerle üçüncü ülkelerin bağlantılarının güçlendirilmesi (örnek: bazı Akdeniz ülkeleri, Orta ve Doğu Avrupa ülkeleri ve Norveç ile bağlantılar yapılmıştır, Polonya, Çek Cumhuriyeti, Slovakya ve Macaristan'ı kapsayan CENTREL elektrik şebekesi, başlıca Avrupa elektrik şebekesi olan UCPT'e 1995 yılında bağlanmıştır); doğal gaz sektöründe, doğal gazın yeni bölgelere ulaştırılması, izole durumdaki gaz ağlarının bağlantısının sağlanması, alım ve depolama kapasitesinin geliştirilmesi, doğal gaz boru hatlarının arzının artırılarak ulaştırma kapasitesinin yükseltilmesidir.

ALTENER II: AB özellikle rüzgar ve hidro kaynakları kullanarak yenilenebilir enerji elde etmek için Altener II programı geliştirilmiştir. Yenilenebilir enerji, karbondioksitin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Altener II yenilenebilir enerji konusundaki faaliyetleri genişletmiştir. Beyaz Kitap "Gelecek için Enerji: Yenilenebilir Enerji Kaynakları" hazırlanarak AB'nin yenilenebilir hedefleri tanımlanmıştır. Bu şekilde Topluluk Stratejisi ve Enerji Faaliyet Planı'na büyük katkı sağlamıştır. AB 2003-2006 yıllarını kapsayan dönemde; Altener II programı için 80 milyon Euro harcamıştır.

SAVE: Program AB'nin enerji etkinliği konusunda teknolojik olmayan faaliyetlerinin temel odağı konumundadır. AB, SAVE programı çerçevesinde; siyasi önlemler, pilot faaliyetler ile yerel/bölgesel enerji yönetimi yoluyla enerjinin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Program ile sanayide, ticarete ve ulaşım sektöründeki AB içindeki enerji tüketiminde tutumlu ve verimli olunmasını teşvik etmektedir. AB SAVE programı kapsamında 2006 yılına kadar 170 milyon Euro harcamıştır.

COOPENER: Program, AB'nin uluslararası alanda enerjinin etkin kullanımını ve yenilenebilir kaynaklardan enerji arzının sağlanmasını teşvik etmektedir. AB 2003-2006 yıllarını kapsayan COOPENER programı için 17 milyon Euro harcamıştır.

CARNOT: Program, AB içinde temiz ve etkin sıvı yakıt kullanımını teşvik ederek yıllara sari AB içinde teknolojik faaliyetleri/yatırımları içeren bir planı içeren programdır. Programın amacı; karbondioksit emisyonu dahil olmak üzere emisyonları sınırlandırmak ve var olan en iyi teknolojilere karşılanabilir fiyatlarla ulaşmaktır. Tüketiciler bu amaçla gelişmiş sıvı yakıtı teknolojilerini kullanma/geliştirme yönünde teşvik edilmektedir. Buna ek olarak öncelikli hedef, dengeli enerji politikası izlenmesi (arzun güvenliği, rekabet ve çevrenin korunması) ve Enerji Çerçeve Programı'nın dikkate alınmasıdır. CARNOT, 2003 yılından itibaren "Avrupa için Akıllı Enerji" programına entegre edilmiştir.

STEER: "Ulaştırma enerjisi" isimli yeni bir faaliyet alanı oluşturan bir programdır. AB; 2003-2006 yıllarını kapsayan STEER programı için 32 milyon Euro harcamıştır.

SYNERGY: Synergy, Avrupa Komisyonu Enerji ve Ulaştırma Genel Müdürlüğü tarafından yönetilen bir işbirliği programıdır. Program, AB üyesi olmayan ülkelerle enerji politikasının katılımcılara fayda sağlaması amacı ile işbirliği faaliyetlerinin şekillendirmesi ve uygulanması için finansman sağlamaktadır. Diğer AB programlarının aksine, SYNERGY programı AB'nin enerji siyasetinin dış boyutunu ele almaktadır. SYNERGY programı kapsamında verilen destek -genelde- proje başına 250.000 Euro'dan az olmamıştır. SYNERGY, "Avrupa için Akıllı Enerji" programına entegre edilmiştir.

SURE: Program, AB içindeki nükleer sektördeki faaliyetlere yoğunlaşmıştır. AB nükleer enerji konusunda farklı yaklaşımlara sahiptir. AB'nin bazı ülkeleri nükleer enerjiye büyük ölçüde bağımlıyken, diğerleri 1986 yılında Çernobil'de meydana gelen faciadan dolayı nükleer enerjiden uzaklaşmış, bu duruma uygun bir enerji politikası izlemeyi tercih etmiştir. Program, AB içindeki nükleer enerji yatırımlarını/planlamalarını düzenlemek amacıyla geliştirilmiştir. Program, AB Enerji Çerçeve Programı'nı tamamlayıcı bir niteliğe sahiptir.

Söz konusu programlar/teşvikler sayesinde AB yenilenebilir enerji kaynaklarındaki yatırımlar hızla artmıştır. Bu kapsamda AB yenilenebilir enerji içinde hidroelektrik %90'lık payıyla birinci sırada yer alırken, "yeni" yenilenebilir kaynaklar olarak da adlandırılan rüzgar ve güneş enerjisi özellikle Batı Avrupa'da önemli bir gelişme göstermiştir. AB genelinde rüzgar ve güneş enerjisinde Danimarka, Almanya ve İspanya'nın gösterdiği hızlı gelişme ile Avusturya, Yunanistan ve Almanya'nın özellikle güneş enerjisi alanındaki gelişmeler/ilerlemeler sağlanmıştır.

AB Komisyonu'nun yayınladığı "Enerji Arzı için Avrupa Stratejisine Doğru" isimli Yeşil Kitap'ta enerjide talep yönetimi için üç nokta vurgulanarak, önlem alınması belirtilmiştir/vurgulanmıştır:

- i. AB dış enerji kaynaklarına bağımlı hale geldiğinden, önlemler alınmazsa günümüzde %50 seviyesinde olan ithalata bağımlılık oranı 2023 yılında %70 seviyesine ulaşacaktır.
- ii. Günümüzde AB'de sera gazı emisyonu yükselmiştir. Bu durum; AB içinde iklim değişiklikleri için önlem alınmasını güçleştirmektedir, Kyoto Protokolü taahhütlerini karşılamayı zorlaştırmaktadır. AB Kyoto Protokolü'ndeki taahhütleri, iklim değişimine karşı atılacak ilk adım olarak kabul edilerek taahhütler yerine getirilmelidir.
- iii. AB'nin enerji arzını etkileme kapasitesi sınırlıdır. Konuyu talep yönünden değerlendirecek olursak temel olarak binalarda ve ulaşımda enerji tasarrufunun desteklenmesi yoluyla AB'nin etkin olabilmesi mümkündür.

Avrupa Birliği, enerji alanındaki kararlarının daha etkili uygulanmasına hizmet etmek amacıyla 11 Kasım 2003 tarihli Komisyon kararı ile Avrupa Elektrik ve Gaz Düzenleme Grubu'nu oluşturmuştur. Bu sayede AB elektrik iç pazarı ve sınırlar arası elektrik ve doğal gaz ticaretine ilişkin politikalarının bu düzenleyici çerçeve sayesinde daha kolay hayata geçirilmesi hedeflenmektedir.

Ayrıca; AB "2030 yılına yönelik iklim ve enerji politikalarının çerçevesi" programı ile; sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar 1990 seviyesine kıyasla %40 oranında azaltılması, yenilenebilir enerjinin toplam enerji tüketimi içindeki payının %27 oranına yükseltilmesi ve enerji verimliliğinin asgari olarak %27 oranında artırılması hedeflenmektedir.

2.2 Türkiye'nin Enerji Hedefleri

Ülkemiz jeopolitik konumu nedeniyle, enerji konusunda önemli bir role sahiptir. Ülkemiz büyük bir hidroelektrik üreticisi olmanın yanında, Orta Doğu, Karadeniz ve Kafkaslar gibi fosil enerji kaynaklarının bulunduğu bölgeler ile AB arasında geçiş ülkesi konumundadır. AB tam üyelik hedefi doğrultusunda kararlılıkla ilerleyen ülkemiz, AB' ne enerji konusunda tam uyumu hedeflemektedir. Bu doğrultuda enerji ile ilgili birçok alanda gerekli yasal düzenlemeleri yaparak uygulamalarına geçmiştir. Türkiye'nin enerji hedefleri/politikası oluşturulurken dikkat edilen temel öncelikler aşağıda sıralanmıştır:

- Maliyet, zaman ve miktar yönünden enerjinin tüketiciler için erişilebilir olması,
- Serbest piyasa uygulamaları içinde kamu ve özel kesim imkanlarının harekete geçirilmesi,
- Dışa bağımlılığın azaltılması,
- Enerji alanında ülkemizin bölgesel ve küresel etkinliğinin artırılması,
- Kaynak, güzergah ve teknoloji çeşitliliğinin sağlanması,
- Yenilenebilir kaynakların azami oranda kullanılmasının sağlanması,

- Enerji verimliliğinin artırılması,
- Enerji ve tabii kaynakların üretiminde ve kullanımında çevre üzerindeki olumsuz etkilerin en aza indirilmesidir.

Söz konusu temel öncelikler dikkate alınarak ETKB tarafından ülkemizin 2023 yılındaki enerji hedefleri “Elektrik Enerjisi Piyasası Arz Güvenliği” strateji belgesi (ETKB 2009) oluşturulmuş ve yayınlanmıştır.

- Yerli kaynak kullanımına öncelik verilerek enerji kaynak kullanımının çeşitlendirmesinin sağlanması,
- 2015 yılına kadar doğalgaz ithalatının en fazla olduğu ülkenin payını %50’ nin altına indirecek kaynak ülke çeşitliliğinin sağlanması,
- Ülkemizin jeostratejik konumundan faydalanarak ülkemizi enerji koridoru ve terminali olmasını sağlanması,
- 2023 yılında yenilenebilir enerji üretim hedefi olan %30’ un sağlanması,
- 2023 yılı sonuna kadar güneş enerjisinin 5.000 MW (8.000 GWh) kurulu güce ulaşılmasını sağlamak,
- 2023 yılı sonuna kadar rüzgar enerjisinin 20.000 MW (50.000 GWh) kurulu güce ulaşılmasını sağlamak,
- 2023 yılı sonuna kadar jeotermal enerjisinin 600 MW (5.100 GWh) kurulu güce ulaşılmasını sağlamak,
- 2023 yılı sonuna kadar ülkemizdeki bütün ekonomik hidrolik potansiyelimiz olan 50.000 MW’ ı (140.000 GWh) kullanmak,
- 2023 yılı sonuna kadar biyokütle enerjisinin 1.000 MW (4.533 GWh) kurulu güce ulaşılmasını sağlamak,
- 2023 yılı sonuna kadar ülkemizdeki elektrik enerjisi üretimimizin yüzde 5 (yüksek talepte: 26.892 GWh, düşük talepte: 23.990 GWh)’ inin nükleer enerjiden sağlanması,
- 2023 yılı sonuna kadar tüm yerli kömür potansiyelimizin ekonomimize kazandırılmasının sağlanması. (taş kömürü potansiyelimiz: 11.000 GWh, linyit potansiyelimiz: 118.000 GWh, asfaltit ve bitümlü şist potansiyelimiz: 16.000 GWh)

Ülkemiz 2011, 2012, 2013 ve 2014 yıllarında elektrik üretimimiz yüksek yenilebilir enerji potansiyelimize rağmen yaklaşık yarısı dışarıdan ithal edilen doğalgazdan karşılanmıştır (İncekara 2013). 2012 yılında elektrik üretimimizde doğalgazın payı %43,6 olup 2017 yılında %37 olmuştur.

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 dahil 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.

Bulanık mantıkta karar vericilerin değerlendirmelerinin dilsel değişkenler vasıtasıyla çözüm sürecine dahil edilmiştir. Dilsel değişkenlerin bulanık sayılarla çözüm sürecine dahil edilmesinin çok kriterli karar verme problemlerinde karşılaşılan belirsizliklerin giderilmesini sağladığı için literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Bulanık mantık teorisi ilk olarak 1965 yılında Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh “Bulanık Kümeler” adlı ünlü makalesinde bulanık kümeler teorisinin temel kavramlarını ve matematiksel özelliklerini literatürde ilk defa tanımlamıştır. (Zadeh tarafından 1965 yılında yayınlanan “Bulanık Kümeler” başlıklı ilk makalesinde bulanık kümeyi üyeliğin derecelendirilmesinin sürekli olduğu bir nesnel sınıfları tanımlamaktadır.) Zadeh bir bulanık kümedeki “üyeliği” kabul veya reddetme meselesi olarak değil, bir derecelendirme meselesi olarak nitelendirmektedir. Zadeh’in bu önerisi (1965’ten beri) klasik veya kesin kümelerden “Bulanık Kümelere” doğru bir geçiş modeli olarak kabul görmüştür. Zadeh’ in “Bulanık Kümeler” i ile belirsizlik ile kesinsizlik kavramlarının değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir ve belirsizlik konusundaki düşüncesi bilim dünyasını derinden etkilemiştir. Hem olasılık teorisinin belirsizlik için tek temsil edici yöntem olmadığını göstermiş, hem de olasılık teorisinin dayandığı temelleri de sorgulamıştır (Klir ve Yuan 1995). Klir (1995) tarafından belirsizliğin oluşumu “Genellikle incelenen olay ve gözlemin evrensel bütünlükle ilişkisi karmaşıkları, doğrusallıktan uzaklaşma ve belirsizlikler ortaya çıkar” şeklinde belirtilmiştir. Bulanık küme ve bulanık mantık teorileri bu söz konusu belirsizlikleri ve kesinsizlikleri yakalaması/içermesi ile ünlü teorilerdir. Bulanık kümenin karakteristiği, yani üyelik fonksiyonu öyle bir fonksiyondur ki onun değer kümesi kapalı birim aralıkta düzenli üyeliğe sahip bir kümedir. Bundan dolayı çoğu bulanık küme bir fonksiyon ile karakterize edilebilmektedir. Bulanık kavram ve sistemlerin dünyanın çeşitli araştırma merkezlerinde dikkat çekmesi 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan gerçek bir bulanık kontrol sistemi uygulaması ile olmuştur.

3.1 Bulanık Küme

Küme “iyi tanımlanmış nesnelere topluluğu” olarak adlandırılır, diğer bir tanıma ise “klasik küme” olup elemanları da “klasik küme elemanları”dır. Klasik kümelerde, hem küme hem de kümenin elemanları net bir şekilde tanımlanmıştır, tanımsal sapmasızlık göstermektedirler. Bulanık küme ise sınır koşulları net olarak belirlenmemiş olan kümeler olarak adlandırılır. Klasik kümede, küme elemanlarının alabilecekleri üyelik fonksiyonu değerleri; “0” veya “1” olabilir. Bir nesne ilgili klasik kümeye aitse “1”, değilse “0” değerine sahip olur.

Bulanık kümede ise; “0” ve “1” değerlerine ek olarak bu iki değer arasındaki tüm değerleri de alabilirler. Bu durum olabirlik olarak ta ifade edilmektedir. Olabirlik kavramı içinde belirsizlik içermektedir. Zadeh bu durumu, insan doğası ve mantığı açısından daha geçerli olduğunu ifade etmiştir. 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık küme teorisi, mantık ve sistem kavramları; uzun yıllar boyunca Zadeh’ in kontrol alanında çalışması ve kontrolü elde edebilmek için çok fazla doğrusal olmayan denklemler yüzünden yöntemin karmaşıklaşması ve çözümün zorlaşması sonucunda ortaya çıkmıştır (Şen 2009). Zadeh (1965)’ e göre, “bulanık küme notasyonu, klasik kümeler kullanılarak oluşturulan çerçevelere birçok açıdan benzer ancak potansiyel olarak desen sınıflandırması ve bilgi işleme alanlarında daha geniş bir uygulanabilirlik alanı sahip; esasen, belirsizlik kaynağının rastgele değişkenlerin varlığından ziyade kesin bir şekilde tanımlanmış sınıf üyeliği ölçütlerinin bulunmadığı durumların çözümlenmesinin doğal yolunu sağlayabilecek bir olgu” olarak ifade edilmiştir.

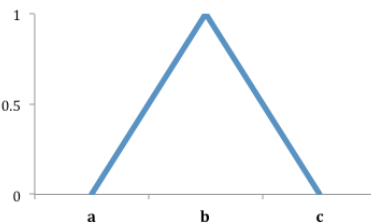
3.2 Üyelik Fonksiyonu ve Bulanık Sayı

Bulanık mantığın temel elemanı bulanık kümelerdir, kümeler üyelik fonksiyonları yardımıyla tanımlanırlar. Üyelik fonksiyonları bulanık sayılardır. Bulanık bir A kümesi “ \tilde{A} ” veya “ μ_A ” ile temsil edilir. “ μ_A ” kümesinin elemanları da üyelik fonksiyonları ile ifade edilir. Üyelik fonksiyonu, bir kümeye ait olmanın karışık bir şekilde öğelere yayılmasını ifade eder. Nesnelere üyelik dereceleri arasındaki ilişkiye bulanık teklik denir. Bulanık küme teorisinde; bulanık işlemlerde üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra bulanık olan herhangi bir şeyin kalmadığı kabul edilmektedir. Üyelik derecesi ve nesnenin ifadesini gösteren, sıralı çift gösteriminin, Denklem (1) de gösterilmiştir (Zimmermann, 1993).

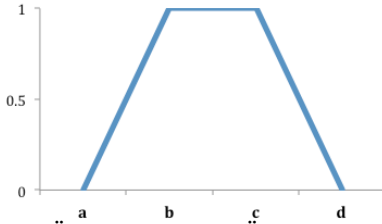
$$\tilde{A} = (x, \mu_A(x)), \forall x \in U \quad (1)$$

Denklem (1) de “A” bulanık küme, $\mu_A(x)$ üyelik derecesi, $(x, \mu_A(x))$ bulanık tekliktir. Bulanık mantık her alanda kullanılır. Ayrıca insanların günlük hayatta karşılaştıkları, yaşadıkları çoğu olaylar karşısındaki karar verme sistemi ile benzerlik göstermektedir. Zadeh (1965) bu durumu “çoğu insanın karar verme sürecinde, karar vermelerini tetikleyen kanıtlar, bulanık ve seçimlidir(tanecikli)” olarak tanımlamıştır. Zadeh’e göre, klasik kümede “0” ve “1” noktaları sadece tam üyelik veya hiç üyelik derecelerini alırlar. Bulanık kümede; gerçek sürekli aralık $[0, 1]$ üzerinde çeşitli “üyelik dereceleri” alabilmesi için Zadeh ikili üyelik kavramını genişletmiştir. Söz konusu uç noktalar arasındaki sonsuz adet sayının, aynı evren üzerinde bazı kümelerde bir x elemanı için çeşitli üyelik dereceleri ile temsil edilebilmektedir. Bu yüzden Zadeh tarafından “üyelik dereceleri” içinde bulunduran bu evrenindeki kümeler, bulanık kümeler olarak adlandırılmıştır.

Literatürde kullanılan çeşitli üyelik fonksiyonu türleri bulunmaktadır. Bunlar çoğunlukla görsel olarak algılandıkları şeylere benzetilerek isimlendirilirler: üçgen, yamuk, tekil, sigmodial, s-tipli, z-tipli, Gaussian, genel çan gibi. Literatürde modellemede sıklıkla üçgen, yamuk, çan eğrisi, Gaussian ve sigmoid türleri kullanılır. “A” bulanık kümesi için üçgen ve yamuk tipli üyelik fonksiyonlarının hesaplanması Şekil 2’ de gösterilmiştir.



$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{if } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{if } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{if } x \geq c \end{cases} \quad (2)$$



$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{if } a \leq x \leq b \\ 1, & \text{if } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{if } c \leq x \leq d \\ 0, & \text{if } d \leq x \end{cases} \quad (3)$$

Şekil 2 Üçgen ve Yamuk Üyelik Fonksiyonları

Bulanık kümeler ile ilgili yapılan çalışmalarda her bir elemana matematiksel olarak, kümedeki üyelik derecesini temsil eden bir değer atanır. Atanan değer; ilgili elemanın ilgili bulanık küme içindeki üyelik derecesini gösterir, bu işlem yapıldıktan sonra artık bulanıklaşma gerçekleşmiştir. Hesap sonunda elde edilen sayılar artık bulanık değerdir ancak temsil ettikleri şeyler bulanıktır.

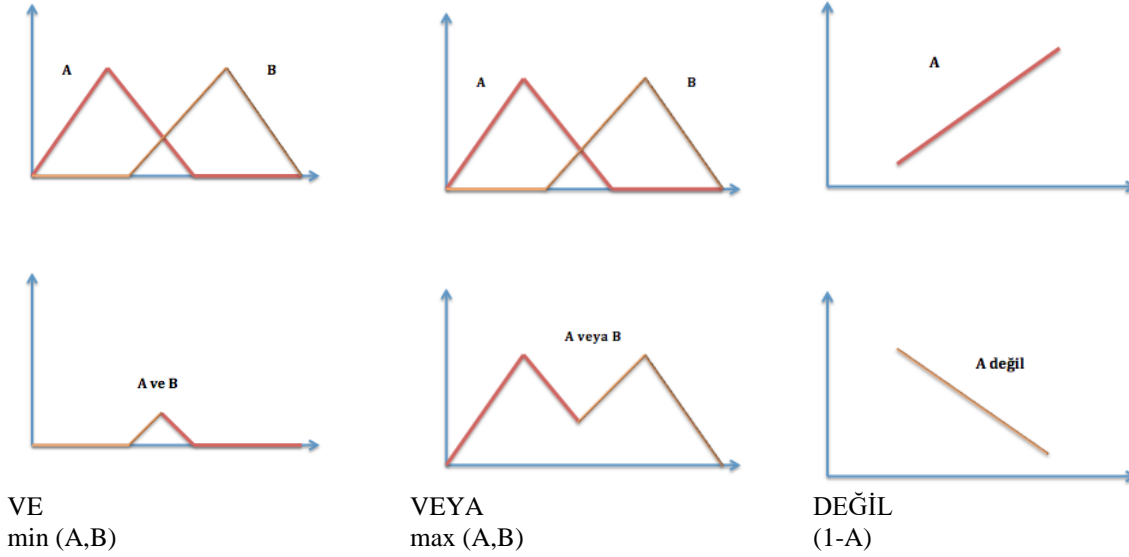
3.3 Bulanık Çıkarım Sistemi (Bulanık Model)

Genel olarak Bulanık Sistemler; mevcut verilerden seçilen girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla bulanık küme ilkelerini kullanan/faydalanan sistemlerdir. Bulanık sistemlerin en büyük avantajı; insan deneyimlerini ve sözel/dilsel ifadelerini bulanık modele katılması ile çözüme ulaşmasıdır. Bulanık model-Bulanık Çıkarım Sistemi (BÇS: Fuzzy Inference System-FIS); bulanık “Eğer-İse” kuralları adı verilen bulanık kurallara dayanan bir sistemdir. Bulanık modelin temeli, bulanık “Eğer-İse” kuralları ile ifade edildiği üzere öncül ve soncul kısımlardan oluşmaktadır. Öncül kısımda sonuca sebep olan giriş değişkenleri ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler, soncul kısımda ise bu giriş değişkenlerine bağlı olarak ortaya çıkan sonuç değişkenleri yer almaktadır. Bu duruma örnek olarak; “ $a \Rightarrow b$ ” şeklindeki bir matematiksel anlam ilişkisi, dilsel terimlerle şu şekilde ifade edilir; “Eğer, a doğru İse b’de doğrudur”. Bu durum; hem klasik, hem de bulanık mantık için geçerlidir(Chen ve Pham 2001).

BÇS, “Eğer-İse” kurallarında belirtilen bilgiler üzerinden tanımlanmamış birçok veriye dayalı karar verme sürecinin davranışını tahmin etmek için uygulanır. BÇS' nin diğer yöntemlere göre en büyük avantajı, temel fiziksel süreçler hakkında derinlemesine bilgiler gerektirmemesi ve istememesidir. Şekil 3’ te gösterildiği üzere bir bulanık çıkarım süreci, “Eğer-İse” ile ifade edilen, mantıksal bağlantı işlemlerini (“ve”, “veya”, “değil”) ve toplama operatörlerinden (“min”, “max”) faydalanarak bulanık çıktı için bulanık değerleri birleştirmek olarak adlandırılabilir.

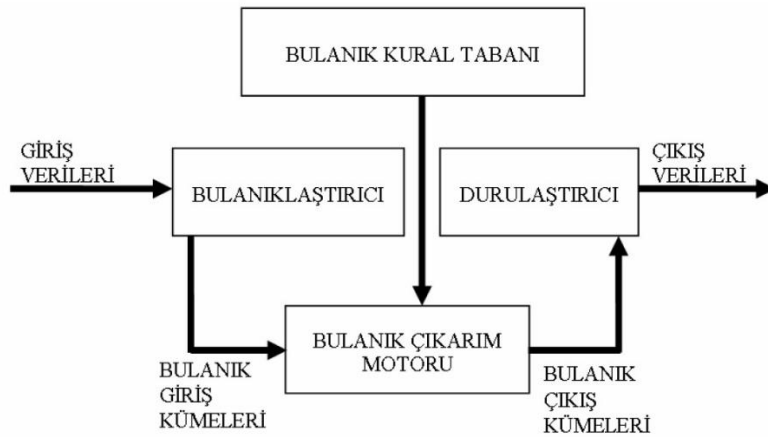
Bulanık mantığın klasik kümelerden en büyük farkı; bir elemanın bir kümeye ait olup olması konusundaki yanıtının klasik kümelerden farklı olarak “Evet/Hayır” gibi kesin olmamasıdır. Bu durum; elemanın ilgili kümeye ait olma durumunu/olasılığını $[0, 1]$ aralığında değerler alarak, sürekli bir üyelik durumu/fonksiyonu olarak ifade edilmesidir. Elemanın üyelik fonksiyonundan aldığı değer, üyelik derecesi olarak ifade edilir. Bulanık küme teorisinde; elemanın üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında değerler alması, sözel/dilsel ifadelerin, problemin çözümü sırasında sayısal verilerle birlikte kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Sözel/dilsel ifadelerin bulanık modellere katılması durumu; bulanık mantığı diğer çözüm yöntemlerinden farklılaşmakta, bir adım öne çıkarmaktadır.

Bulanık mantıksal işlemleri Şekil 3’de gösterilmiş olup bulanık mantık işlemlerinde; “ve” ifadesi minimum fonksiyonu, “veya” ifadesi maksimum fonksiyonunu ifade edilmektedir. Şekil 3’de gösterildiği üzere; “A ve B” ifadesi $\min(A, B)$ ’yi, “A veya B” ifadesi $\max(A, B)$ ’ye, “değil” ifadesi A ’yı (kümesini) “1-A” olarak tanımlamaktadır (Wang 2015).



Şekil 3 Bulanık Mantıksal İşlemler (Wang 2015)

Literatürde problem çözümlerinde pek çok BÇS türleri kullanılmaktadır. Bazıları probleme özgü özel amaçlar doğrultusunda geliştirilmiş, bazıları endüstride kullanılan pek çok sisteme entegre edilmiştir. Genel olarak üç tip bulanık çıkarım sistemi kullanılmaktadır. Bunlar; Mamdani, Sugeno (Takagi-Sugeno-Kang) ve Tsukamoto' dur. Bunlar içinde en yaygın olarak kullanılanlar; Mamdani ve Takagi-Sugeno tipi bulanık modellemelerdir. Söz konusu sistemler, iki kısma ayrılır. Birinci kısım (giriş değişkenlerinin kesin değerlerinin uygun bulanık kümelerle göre üyelik değerlerine dönüştürüldüğü/atandığı kısım) üç yöntemde de aynıdır. Wang (2015) tarafından da ifade edildiği üzere; sonuçta tüm dilsel/sözel ifadeler, çıktı için tekil kesin değere dönüştüğünden ikinci kısımda farklılıklar doğmaktadır/oluşmaktadır. Genel bir bulanık model sisteminin yapısı Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4 Bulanık Çıkarım Sisteminin Genel Yapısı

Şekil 4' te Bulanık Çıkarım Sisteminin Genel Yapısında yer alan:

- Bulanıklaştırıcı: Sayısal girdi değerlerini sözel/dilsel ifadeyi bulanık kümelerdeki üyelik değerlerine dönüştüren bir işlemcidir.
- Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş verileri/bulanık kümeleri ile çıkış verileri/bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan birimdir. Bulanık çıktılarının hesaplanması için bulanık girdilerin kombinasyonunu ve nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

- Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal “Eğer-İse” türünde yazılabilen; giriş verileri/bulanık kümeleri ile çıkış verileri/bulanık kümeleri arasındaki kuralların tümünü içerir. Her bir kural girdi verileri/bulanık kümeleri ile çıktı verileri/bulanık kümeleri arasında mantıksal bir bağ kurar.
- Durulaştırıcı: Bulanık çıktının tekrar kesin değere dönüştürülmesini (keskin sayısal çıkış değerlerine dönüştürülmesini) sağlar.
- Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenen durumun etkilendiği girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içermektedir. Bilgiler; sayısal/sözel/dilsel olabilir.
- Çıktı Birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerine denir.

3.4 Mamdani Tipi BÇS: Bulanık Modellemenin Esasları

Mamdani tipi bulanık model; insan davranışlarına ve dilsel ifadelerle çok uygun olduğundan ve çok kolay oluşturulduğundan; literatürde çok sık kullanılır. Bulanık küme teorisi ile inşa edilmiş olan ilk kontrol sistemidir. Ayrıca diğer bulanık mantık modellerin temelini oluşturur. Mamdani tarafından 1975 yılında; deneyimli insan operatörlerinden elde edilen dilsel kontrol kurallarını inceleyerek buhar motoru ile kazan kombinasyonunu kontrol etmeyi başarmıştır.

Mamdani çalışmasında Zadeh’in 1973 yılındaki karmaşık sistemler ve karar süreci için bulanık algoritmalar konusundaki çalışmasını/makalesini dikkate almıştır. Mamdani tipi bulanık modelde hem girdi değişkenleri, hem de çıktı değişkeni kapalı formdaki üyelik fonksiyonları ile ifade edilirler.

$$\mu_R(x,y) = \min [\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{E}}(y)] \quad (4)$$

Denklem (4); Mamdani önermesi olarak adlandırılmaktadır. Önermede, $R = \tilde{A} \times \tilde{E}$ boyutlu bulanık \tilde{A} ve bulanık \tilde{E} kümelerinin bulanık Kartezyen kümesini ifade eder. Mamdani tipi bulanık modelde; “Eğer-İse” kuralının sonucu bir bulanık kümeyle ifade edilir. (Ayrıca uzman bilgisinden faydalanmaktadır.) Her bir kuralın bulanık çıktı kümesi, sistemde eşleşen bir sayı ile yeniden şekillenmektedir, bu şekillendirme sonucunda elde edilen bulanık kümelerin tamamı toplanıp, sonrasında durulaştırılmak zorundadır (Wang 2015).

Literatürü incelediğimizde bulanık sistemlerin birçok alana yayılmış olup konuyla ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Ancak uygulamalarda Mamdani tipi BÇS diğer tüm yöntemlere göre daha çok kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı çalışmada Mamdani-tipi BÇS kullanılmıştır. 1965 yılında ilk Zadeh ile başlayan bulanık mantık/yöntemler sonradan bu yöntem kullanılarak literatürde birçok disiplin alanında (bulanık mantıkla) çalışma yapılmıştır (Chan vd 2007; Buckley 1985; 2003; Chang 1996; Chen vd 1992; 2001; Chou 2001; Klir 1995; Kaufmann vd 1988; Bender 2000; Kumar vd 2016; Shukla 2014; Van Laarhoven vd 1983; Wang 2015; İncekara 2019b).

Yöntemde enerji sektöründe çalışan yöneticilerle yapılan görüşmeler sonrasında yapılan anket çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Enerji sektöründeki beklentileri değerlendirmeye yönelik bir ÇKKV problemi üzerinde Bulanık çok amaçlı programlama methodu ile bir matematiksel model geliştirilerek değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında çalışmada kullanılan kriterler ve alt kriterlerinin ve ağırlıklarının (AB ve ETKB enerji politikaları/hedefleri/direktifleri/programları, rekabet ilkeleri, enerji verimliliği hedefleri/politikaları, yerli ve milli kullanım oranı/programları/teşviği, AB ve ülkemizin Kyoto Protokolü ile Paris Anlaşmasındaki taahhütlerimiz, ülkemizin 2023 yılındaki enerji hedefleri dikkate alınarak) belirlenmesi için enerji sektöründe çalışan uzman, müdür, yönetici 41 kişi ile (KV) görüşülmüştür. Çalışmada enerji sektöründe çalışan yöneticiler/karar vericilerle yapılan görüşmeler neticesinde kriterler ve alt kriterler oluşturulmuştur. Sonrasında oluşturulan kriterler ve alt kriterlerin değerlendirilmesi için araştırmayı temsil edebilecek şekilde enerji sektöründe çalışan karar vericilerden/yöneticiler (41 kişi) anketi dilsel değişkenler vasıtasıyla (5’li) değerlendirmiştir. Çalışmada MATLAB (fuzzy logic toolbox) paket programı ile literatürde pek çok çalışmada kullanılan Mamdani metodu (Mamdani ve Assilian, 1975) (Mamdani tipi bulanık kurallar: if-then rules) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Mamdani tipi BÇS’nin kuralları denklem (5) te verilmiştir.

$$R_i: \text{Eğer } (x_1 = A_{i1}) \text{ ve...ve } (x_k = A_{ik}) \text{ ise } (y = C_i) \quad i = 1, 2, \dots, PS \quad (5)$$

Çizelge 1 Dilsel Terimler, Karşılık gelen Bulanık Sayılar ve Keskin Değerleri

Dilsel Terimler (Linguistic term)	Bulanık Sayılar (Fuzzy number)	Keskin Değerler (Crisp value)
Çok Düşük (VL)	(0,0,0,0.3)	0.075
Düşük (L)	(0,0.3,0.3,0.5)	0.275
Orta (M)	(0.2,0.5,0.5,0.8)	0.500
Yüksek (H)	(0.5,0.7,0.7,1)	0.725
Çok Yüksek (VH)	(0.7,1,1,1)	0.925

Çalışmada AB ve ETKB enerji politikaları/hedefleri/direktifleri/programları, rekabet ilkeleri, enerji verimliliği hedefleri/politikaları, yerli ve milli kullanım oranı/programları/teşviği, Kyoto Protokolü ile Paris Anlaşmasındaki taahhütlerimiz, ülkemizin 2023 yılındaki enerji hedefleri çerçevesinde; yeni bir bulanık çok amaçlı programlama methodu ile bir matematiksel model geliştirilerek, ETKB' nin 2023 yılı enerji hedefleri/kısıtları altında; ülkemizin 2035 yılı enerji senaryosu hesaplanmıştır. Bu çalışmada, ülkemizin 2035 yılı enerji senaryosu KV'ler vasıtasıyla dilsel ifadeler (Çizelge 1) ile değerlendirilmesi, Mamdani tipi BÇS ile gerçekleştirilmiştir. Bulanık kümelerinin normal üyelik fonksiyonu %95 güven aralığı içerisinde istatistiksel olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama bulanıklaştırma ile sonuçlandırılmıştır. Gerekli hesaplamaların yapılması ve modelin kurularak uygulanmasında MATLAB paket programı kullanılmıştır. Matematiksel modelin sonucu elde edilen 2035 yılında ülkemizde üretilen elektrik miktarının kaynaklara göre dağılımı Çizelge 2.' de sunulmuştur. Çizelge 2'de çıkan sonuç ülkemizde 2035 yılında %46,8 ile doğalgaz ağırlıklı (KV'lerin görüşü/değerlendirmesi doğrultusunda söz konusu senaryo ortaya çıkmıştır) bir senaryo öngörülmüştür.

Çizelge 2 Türkiye'nin 2035 yılı enerji kaynaklarına göre elektrik üretim miktarları

Kaynak	Elektrik üretim miktarları (GWh)
İthal Kömürü	4.175
Taş Kömürü	11.000
Linyit	25.950
Asfaltit ve Bitümlü Şist	4.860
Doğalgaz	319.755
Hidrolik	126.350
Rüzgar	101.000
Jeotermal	15.200
Biyokütle	1.790
Güneş	1.280
Nükleer	72.000

4 Sonuç

Avrupa Birliği, enerji alanında dünyanın en önemli pazarlarından biridir ve ülkemizin en önemli komşusudur. AB içinde tüketilen enerjinin (talep) yarısı üçüncü ülkelerden ithal edilmektedir. Avrupa'nın enerji tüketimi arttıkça enerjide dışa bağımlılığı artmaktadır. 2017 yılında AB'de tüketilen petrolün %77'i ithal edilerek ilk sırada yer almıştır, ikinci sırada %36 ile doğal gaz yer almaktadır. AB' nin enerji hedefi -ilk aşamada-2020 yılına kadar; tükettiği enerjisinin en az yüzde 20' sini yenilenebilir kaynaklardan ve temiz enerji kaynağı olan doğal gazdan elde etmeyi hedeflemektedir.

AB her ne kadar son yıllarda rüzgâr, güneş ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmaya yönelik çalışmalar, programlar yürütsede, en temiz fosil yakıt olan doğal gazın, AB' de gittikçe artan bir şekilde elektrik üretiminde kullanımı ve ilgili yatırımlarının artması nedeniyle, 2035 yılında da AB'de kullanılan

mevcut enerji kaynakları arasında artan bir öneme sahip olacağı ve AB' nin 2035 yılında en büyük doğal gaz ithalatçı konumunu sürdürmesi beklenmektedir.

AB doğalgazını hâlihazırda çeşitli kaynaklardan sağlamakta olup, bunların başında Rusya ve Norveç ağırlıklı olmak üzere Kuzey Denizi fosil kaynakları gelmektedir. Bunun dışında Cezayir ve Libya'dan doğal gaz ithalatı yapmaktadır. Avrupa'nın, özellikle coğrafi olarak Rusya'ya yakın bölgeleri (Doğu Avrupa), enerji ihtiyacının üçte birinden fazlasını doğalgazdan sağlamaktadır ve Doğu Avrupa ülkelerinin hemen hemen tamamı Rus doğalgazına ciddi anlamda bağımlıdır.

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE: Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu) tarafında yapılan bir projeksiyonda AB'nin doğalgaz ihtiyacının 2035 yılında günümüze oranla %70-80 artması beklenmektedir. AB' de petrol ve doğalgaz rezervleri sınırlıdır ve ihtiyacının büyük bölümünü ithal ederek karşılamaktadır. AB enerji arz güvenliğini sağlamak ve çeşitlendirmek amacıyla üçüncü ülkeler ile uluslararası enerji işbirliğini güçlendirmek adına bazı enerji anlaşmaları imzalamaktadır. AB enerji arz çeşitliliğini ve güvenliğini sağlamak, "20-20-20" enerji hedefini gerçekleştirmek için (bunlar: enerji verimliliği, fosil yakıtların temiz kullanımı ve yenilenebilir kaynaklarla işletilen kojenerasyonun teşviki vb) çeşitli enerji programları geliştirmektedir, ayrıca son yıllarda Trans-Avrupa Enerji Ağı çerçevesinde birçok strateji ve projeler geliştirilmektedir. Ülkemiz AB' nin söz konusu projelerinde yer alarak çalışmada ortaya çıkan ülkemizin 2035 yılı enerji senaryosunda hesaplanan %46,8 doğal gaz kullanımı için gerekli yatırımlarını AB' nin söz konusu teşvikleri/programları vasıtasıyla gerçekleştirmesi durumunda; enerji yatırımlarını daha ucuza mal ederek, ülkemizin ihtiyacı olan enerji yatırımlarını daha ucuza elde etmiş olacaktır.

Ülkemiz 2035 yılı enerji hedeflerinde; 2023 enerji hedefleri doğrultusunda fosil kaynaklarının ithal etmemiz ve fiyatlarının pahalı olması sebebiyle yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları ağırlı bir enerji senaryosu üzerinden enerji yatırımlarını gerçekleştirmeyi planlasa da; çalışmada enerji uzmanları tarafından ülkemizin enerji planlaması kriterleri üzerinden değerlendirilmiştir. Çalışmada AB ve ETKB enerji politikaları/hedefleri/direktifleri/programları, rekabet ilkeleri, enerji verimliliği hedefleri/politikaları, yerli ve milli kullanım oranı/programları/teşviği, Kyoto Protokolü ile Paris Anlaşmasındaki taahhütlerimiz, ülkemizin 2023 yılındaki enerji hedefleri çerçevesinde; yeni bir bulanık çok amaçlı programlama methodu ile bir matematiksel model geliştirilmiş, ETKB' nin 2023 yılı enerji hedefleri/kısıtları altında; ülkemizin 2035 yılı enerji senaryosu hesaplanmıştır. Bu çalışmada, ülkemizin 2035 yılı enerji senaryosu KV'ler vasıtasıyla dilsel ifadeler (Çizelge 1) ile değerlendirmesi, Mamdani tipi BÇS ile gerçekleştirilmiştir. Bulanık kümelerinin normal üyelik fonksiyonu %95 güven aralığı içerisinde istatistiksel olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama bulanıklaştırma ile sonuçlandırılmıştır. Gerekli hesaplamaların yapılması ve modelin kurularak uygulanmasında MATLAB paket programı kullanılmıştır. Matematiksel modelin sonucu elde edilen 2035 yılında ülkemizde üretilen elektrik miktarının kaynaklara göre dağılımı Çizelge 2.' de sunulmuştur. Yapılan analiz sonucu yenilenebilir olmayan doğal gazın ağırlıklı (%46,8) bir enerji planlaması/durumu/senaryosu ağırlık kazanmıştır. Senaryoda yenilenebilir enerji kaynağı kullanma oranı ise %35,94' tür. Yenilenebilir kaynaklar içinde %18,49 ile hidrolik santraller ilk sırada, %14,78 ile rüzgar santralleri ikinci sırada yer almaktadır.

Türkiye'nin enerji tüketiminin yarısından fazlasını ithalata dayalı petrol ve doğal gaza dayalı fosil kaynaklardan karşılamasından dolayı, bu durum ülkemiz ekonomisi üzerinde ağır bir yük oluşturmaktadır. Santral işletme ve maliyetleri açısından ülkemizdeki kömüre dayalı eski termik santraller verimliliğini kaybettiği için yeni enerji santrallerinin (özellikle yerli kaynaklarımızı kullanan) yapılması gereklidir. Ülkemiz AB'ne uyumlu enerji politikalarını oluşturarak/geliştirerek enerji santral çeşitliliğini ve verimliliğini artırması son derece önemlidir. Türkiye enerji konusunda AB için kilit role sahip, önemli bir enerji üreticisi ve stratejik/transit ülke konumundadır. Türkiye'nin stratejik konumu ülkemizi; Avrupa'ya elektrik, petrol ve doğal gaz taşınması için önemli bir transit ülke haline getirmektedir.

Çalışma sonucu ortaya çıkan enerji senaryosuna paralel olarak; ülkemiz dünyada ispatlanan doğal gaz rezervlerinin yaklaşık %71 ile ispatlanmış petrol rezervlerinin %72'sinin bulunduğu (Pamir, 2006) ülkelerin geçiş alanında yer aldığından ülkemiz AB ile ortak Hazar, Ortadoğu ve doğu Akdeniz'deki hidrokarbon projelerini hayata geçirerek, jeostratejik konumu sayesinde, hem kendi hem de AB' nin enerji arz güvenliğini sağlayan güçlü bir transit ülke olacak, hem de bu sayede kendi ihtiyacı olan enerjiyi ucuza mal edecektir. AB'nin arz güvenliğine ve kaynak çeşitlendirmesine katkı sağlayarak Avrupa' nın güçlü bir 4. Enerji koridoru olacaktır.

Ülkemiz Türkiye-Yunanistan doğal gaz enterkoneksiyonu, Bakü-Tiflis-Ceyhan, Kerkük-Yumurtalık petrol boru hatları gibi büyük çaplı uluslararası projeleri hayata geçirmiş olup çalışmada ortaya çıkan senaryo/durum kapsamında TANAP (Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı), Türk Akım (Phase-II), Bakü-Tiflis-Erzurum doğal gaz boru hattı (Phase-II), Irak doğal gaz boru hattı, Doğu Akdeniz doğal gaz boru hattı, Samsun-Ceyhan petrol boru hattı gibi uluslararası projeleri gerçekleştirmek için gerekli çalışmaları ivedilikle sonuçlandırmalıdır/tamamlamalıdır. Türkiye'nin dâhil olduğu doğal gaz ve elektrik iletim ve transit projeleri hızla tamamlanması ile ülkemiz AB ile entegrasyonu kolay bir şekilde sağlayacaktır. Bu sayede ülkemiz AB'nin 4. Enerji koridoru olarak arz güvenliğine ve kaynak çeşitlendirmesine katkı sağlayacaktır. Böylece ülkemiz AB müzakerelerinde güçlü bir yere/konuma sahip olacaktır.

Kaynaklar

- Avrupa Komisyonu (2008) 20 20 by 2020 Europe's Climate Change Opportunity. COM(2008), Brüksel
 Avrupa Komisyonu (2015) An Energy Policy for Europe, Brüksel
 BOTAŞ, Yıllık Faaliyet Raporu (2016): 33-46
 Buckley JJ (1985) Fuzzy Hierarchical Analysis, Fuzzy Sets and Systems 17: 233-247
 Buckley JJ (2003) Fuzzy Probabilities, New Approach and Applications. Physica Verlag, New York
 Bender M, Simonovic S (2000) A Fuzzy Compromise Approach to Water Resource Systems Planning under Uncertainty. Fuzzy Sets and Systems 115:33-44
 Chan FTS, Kumar N (2007) Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-based Approach. Omega International Journal of Management Science 35:417-431
 Chen SJ, Hwang CL (1992) Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications. Berlin Heidelberg: Springer
 Chen G, Pham TT (2001) Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems. CRC Press, USA
 Chou TY, Liang GS (2001) Application of a Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Model for Shipping Company Performance Evaluation. Maritime Policy and Management 28(4):375-392
 Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2009) Elektrik Enerjisi Piyasası Arz Güvenliği Strateji Belgesi
 Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2010) Enerji Raporu,78-91
 Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2018) Enerji Raporu, 31-76
 Energy Atlas (2018) 81-94
 European Commission, (2017) European Energy and Transport: Trends to 2030
 European Commission, (2003) Energy. <http://www.europa.eu.int/comm/energy>
 European Commission, (2006) Transport. <http://www.europa.eu.int/comm/transport>
 European Union-EU- Directive (2012)
 European Environment Agency. Energy and Environment in the European Union, (2018)
 International Energy Agency-IEA (2013)
 İncekara ÇÖ (2019a) 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
 İncekara ÇÖ (2019b) Turkey's Energy Management Plan by using Fuzzy Modeling Approach. Scholars' Press, Book, 38-52
 İncekara ÇÖ (2017) Türkiye'nin Sürdürülebilir Stratejik Enerji Politikalarının Oluşturulması için Optimizasyon Modellerinin Geliştirilmesi ve Uygulama Adımları. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana
 İncekara CO, Oğulata SN (2017) Turkey's energy planning considering global environmental concerns. Ecological Engineering. Elsevier 589-595
 İncekara ÇÖ (2013) Turkey's Energy Strategies. SOSBİLKO 2013
 İncekara ÇÖ (2011) Enerji Darboğazında Ülkemizin Alternatif Enerji Kaynakları. SOSBİLKO 2011
 İncekara ÇÖ (2010) Türkiye'nin Enerji Darboğazında Yeni Enerji Kaynakları Arayışı. YEBKO 2010
 İncekara ÇÖ, Oğulata SN (2010) Dünya Enerji Sektöründe Türkiye'nin Enerji Planlamasının Rolü. 10. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Program, UAS 2010, Girne, KKTC
 İncekara, ÇÖ, Oğulata SN (2010) Dünya'nın ve Türkiye'nin Enerji Senaryoları. YAEM 2010, Sabancı Üniversitesi
 Klir GJ & BY (1995) Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications. Prentice Hall PTR, New Jersey
 Kaufmann A, Gupta MM (1988) Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science. Elsevier Science Publishers B.V., North Holland

- Kumar Sahu A, Datta S, Mahapatra SS (2016) Evaluation and selection of resilient suppliers in fuzzy environment. *Benchmarking: An International Journal* 23(3):651-673
- Mamdani EH, Assilian S (1975) An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal Management Machine Studies* 7(1):1-13
- Math W (2014) *Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide R2014*, The Mathworks Inc. Natick- United States
- Pamir AN (2006) Dünya'da ve Türkiye'de enerji. Türkiye'nin enerji kaynakları ve enerji politikaları
- Ross TJ (2010) *Fuzzy Logic With Engineering Applications*(Third Edition). John Wiley&Sons Ltd
- Shukla AK (2014) Interpretability Assessment in Fuzzy Rule Based Systems. *International Journal of Scientific & engineering Research* 5(7): 506-509
- Şen Z (2009) *Bulanık Mantık İlkeleri Ve Modelleme*. Su Vakfı, İstanbul
- The Center for European Policy Studies-CEPS (2017) <http://www.ceps.be>
- Van Laarhoven PJM, Pedrycz, W (1983) A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory. *Fuzzy Sets and Systems* 11: 229-241
- Wang C (2015) *A Study Of Membership Functions On Mamdani-Type Fuzzy Inference System For Industrial Decision-Making*. PhD Theses And Dissertations. Lehigh University (Paper:1665)
- Zadeh LA (1965) Fuzzy Algorithms. *Information and Control* 12(2):94-102
- Zarte M, Pechmann A, Nunes IL (2018) Sustainable Evaluation Of Production Programs Using A FuzzyInference Model–A Concept. *Procedia CIRP* 73: 241-246
- Zimmermann HJ(1993) *Fuzzy Sets, Decision Making and Expert Systems*. Boston: Kluwer Academic Publishers 102-135