



**DOĞAL GAZ FİYATLARININ BULANIK KÜMELERLE DİLSEL
ÖZETLENMESİ**

Sevgi TEPECİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sevgi TEPECİK

12/05/2022

DOĞAL GAZ FİYATLARININ BULANIK KÜMELERLE DİLSEL ÖZETLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Sevgi TEPECİK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2022

ÖZET

Enerji, tarihin her evresinde hayatın devam ettirilebilmesi için ihtiyaç duyulan temel kaynaklar arasında yer almıştır. Benzer biçimde, ülkeler de var olabilmek ya da gelişebilmek için enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Teknolojinin yaygınlaşması, sanayi sektöründeki gelişmeler, hızlı nüfus artışı ve bunlara bağlı olarak yaşam standartlarının artması karşısında dünyada gerçekleşen enerji tüketimi sürekli artış eğiliminde olmuştur. Kesintisiz ve güvenilir bir şekilde uygun fiyatlarda enerji tedarik edebilmek enerji arz güvenliğinin sağlanması noktasında her ülke için oldukça önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada birincil enerjinin büyük bir kısmı petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklardan temin edilmektedir. 1970’li yıllarda gerçekleşen petrol krizi sonrasında yüksek verimliliğe sahip olması, çevre dostu olması ve kolay kullanımı sayesinde doğal gaz fosil kaynaklar arasında oldukça yüksek bir paya sahip olmuştur. Bu bağlamda, Türkiye gibi yıllık doğal gaz tüketiminin neredeyse tamamını ithal eden ülkeler için, doğal gaz fiyatlarının gelecek dönemlerdeki dalgalanmalarının öngörülmesi oldukça önemlidir. Küresel çapta doğal gaz fiyatlarında bölgesel farklılıklar gözlemlenmekle birlikte bu bölgeler arasında doğal gaz ticaretinin yapıldığı en likit piyasa olarak karşımıza ABD merkezli Henry Hub çıkmaktadır. Bu sebeple, yapılan tez kapsamında Henry Hub’da oluşan doğal gaz fiyatları temel alınarak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, macd-histogram yöntemi kullanılarak zaman serilerindeki dönüm noktaları belirlenmiştir. Daha sonra bu dönüm noktaları kullanılarak yerel trendler elde edilmiştir. Son olarak, elde edilen yerel trendler süre, dinamiklik ve değişkenlik bakımından dilsel olarak özetlenmiştir.

Bilim Kodu : 90544
Anahtar Kelimeler : Doğal gaz, zaman serileri, Henry Hub, bulanık küme, dilsel özet.
Sayfa Adedi : 103
Danışman : Prof. Dr. Fatih Emre BORAN

LINGUISTIC SUMMARIZATION OF NATURAL GAS PRICE WITH FUZZY SETS

(M. Sc. Thesis)

Sevgi TEPECİK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2022

ABSTRACT

Energy has been among the basic resources needed for the continuation of life at every period of history. Similarly, countries need energy in order to exist or develop. Due to the spread of technology, developments in the industrial sector, rapid population growth and the resulting increase in living standards, energy consumption in the world tends to increase continuously. Being able to supply energy in a way that is reliable, uninterrupted and reasonable prices is very important in terms of ensuring energy supply security for every country. Most of the primary energy in the world is provided by fossil resources such as oil, natural gas and coal. After the oil crisis in the 1970s, natural gas had a very high share among fossil resources, thanks to its high efficiency, environmental friendliness and easy use. In this context, it is very crucial to foresee the future fluctuations in natural gas prices for countries such as Turkey that import almost all of their annual natural gas consumption. There are regional differences in natural gas prices on a global scale. Among these regions, the US-based Henry Hub emerges as the most liquid traded benchmark gas hub. For this reason, within the scope of the thesis, the study was carried out based on the natural gas prices in Henry Hub. In the first stage of the study, the turning points in the time series were determined using the macd-histogram method. The local trends were then obtained by using these turning points. Finally, these local trends are linguistically summarized in terms of duration, dynamic and variability.

Science Code : 90544

Key Words : Natural gas, time series, Henry Hub, fuzzy sets, linguistic summary.

Page Number : 103

Supervisor : Prof. Dr. Fatih Emre BORAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda her türlü konuda destek veren, tez konusunda verdiği fikirlerin yanı sıra gösterdiği sonsuz anlayış, hoşgörü ve sağladığı kolaylıklar için Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Kurul Üyesi Sayın Dr. Muhammed Mustafa İZGEÇ'e; tez konusunda fikirleriyle destek olan, tecrübesiyle ışık tutan ve ilgili paket programların kullanımında yardımcı olan Gazi Üniversitesi'nden hocalarım Prof. Dr. Kurtuluş BORAN ve Prof. Dr. Fatih Emre BORAN'a; tez sürecinde manevi anlamda desteklerini her zaman hissettiğim değerli arkadaşlarıma ve ayrıca tez süreci dahil olmak üzere hayatımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi olarak desteğini hiç esirgemeyen sevgili anneme, babama, ablama ve ağabeyime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	5
3. KÜRESEL DOĞAL GAZ SEKTÖRÜ	11
3.1. Doğal Gaz Kavramına Genel Bir Bakış	11
3.1.1. Tanımı ve Yapısı	11
3.1.2. Özellikleri.....	13
3.2. Doğal Gaz Kaynakları.....	13
3.3. Doğal Gazın Tarihsel Gelişimi.....	15
3.4. Küresel Doğal Gaz Sektörünün Genel Görünümü	17
3.4.1. Rezerv	17
3.4.2. Üretim	21
3.4.3. Tüketim	23
3.4.4. Ticaret	25
3.4.5. Depolama	27
4. TÜRKİYE DOĞAL GAZ PİYASASI	29
4.1. Rezerv	29
4.2. Üretim	31
4.3. Tüketim	33

	Sayfa
4.4. Ticaret	35
4.4.1. İthalat.....	35
4.4.2. İhracat.....	40
4.5. Depolama	41
5. DOĞAL GAZ PİYASALARI.....	43
5.1. Doğal Gaz Piyasasının Tarihçesi	43
5.2. Bölgesel Doğal Gaz Piyasalarının Oluşumu	44
5.3. Bölgesel Doğal Gaz Pazarları	47
5.3.1. Kuzey Amerika gaz piyasası	47
5.3.2. Avrupa gaz piyasaları.....	48
5.3.3. Asya gaz piyasaları	49
5.4. Doğal Gaz Ticareti	49
5.4.1. Fiziksel doğal gaz ticareti	50
5.4.2. Finansal doğal gaz ticareti.....	50
5.5. Doğal Gaz Piyasaları.....	52
5.6. Doğal Gaz Piyasa Merkezleri.....	52
5.6.1. Henry hub (HH)	53
5.6.2. National balancing point (NBP).....	54
5.6.3. The title transfer facility (TTF)	55
5.7. Hubların Kıyaslanması.....	56
6. DİLSEL ÖZETLEME	59
6.1. Bulanık Kümeler	59
6.2. Bulanık Kümelerde Kesişim	63
6.3. Bulanık Kümelerde Birleşim.....	64
6.4. Kardinalite Kavramı.....	65
6.5. Genelleştirilmiş Doğal Sayı	65

	Sayfa
6.6. Dilsel Özetleme	66
6.6.1. Tip-I niceleyici cümleler	68
6.6.2. Tip-II niceleyici cümleler	69
6.7. Trend Analizi	70
6.8. Macd-Histogram	70
6.9. Algoritma Adımları	71
6.10. Zaman Serilerinin Dilsel Özetlenmesi	73
6.11. Dilsel Özetlerin Doğruluk Derecesinin Hesaplanması	75
6.11.1. Bulanık kardinalite temelli doğruluk derecesi	77
7. UYGULAMA.....	81
7.1. Yerel Trendlerin Belirlenmesi.....	81
7.2. Dilsel Özetlerin Oluşturulması.....	82
7.3. Dilsel Özetlerin Değerlendirilmesi	85
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	103

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Doğal gazın yer altındaki hareketleri	12
Şekil 3.2. Doğal gaz kaynaklarının şematik görünümü	14
Şekil 3.3. Doğal gaz kaynakları	15
Şekil 3.4. 2020 yılı dünya enerji tüketiminin kaynak bazında dağılımı	17
Şekil 3.5. Kanıtlanmış doğal gaz rezervleri	18
Şekil 3.6. Küresel doğal gaz rezerv miktarı ile rezerv ömrü	19
Şekil 3.7. Küresel doğal gaz üretimi	22
Şekil 3.8. 2020 yılı küresel konvansiyonel / ankonvansiyonel gaz üretimleri.....	23
Şekil 3.9. 2020 yılı dünya enerji tüketiminin kaynak bazında dağılımı	24
Şekil 3.10. 2016-2020 yılları küresel doğal gaz ticareti	25
Şekil 3.11. 2020 yılı doğal gaz ticareti (milyar metreküp)	26
Şekil 3.12. Küresel doğal gaz depolama tesis sayısı.....	27
Şekil 3.13. Çalışma gazı kapasitesinin bölgesel olarak dağılımı	28
Şekil 4.1. 2020 yılı ulusal enerji denge tabloları	29
Şekil 4.2. Akdeniz’de bugüne kadar delinmiş arama kuyuları	30
Şekil 4.3. 2020 yılı illere göre doğal gaz üretim oranları	32
Şekil 4.4. 2020 yılı şirketlerin üretim payları (%)	33
Şekil 4.5. 2020 yılı doğal gaz sektörel tüketim dağılımı (%)	34
Şekil 4.6. 2011-2020 yılları Türkiye’nin doğal gaz arzı ve yurt içi üretim oranları.....	34
Şekil 4.7. Türkiye doğal gaz boru hatları.....	38
Şekil 4.8. Türkiye’de 2007 ile 2020 yılları arasında gerçekleşen ihracat miktarları	41
Şekil 4.9. 2020 yılı ithalat-tüketim-stok miktarları karşılaştırması (milyon sm ³)	42
Şekil 5.1. Doğal gaz piyasalarının gelişimi	44

Şekil	Sayfa
Şekil 5.2. Fiyat oluşumuna göre ülke sayısı	46
Şekil 5.3. Dünyada gerçekleşen doğal gaz ticareti	46
Şekil 5.4. ABD’de bulunan bazı hub’lardaki anlık doğal gaz fiyatları (2022 Ocak).....	47
Şekil 5.5. Avrupa’da bulunan önemli doğal gaz hub’ları	48
Şekil 5.6. Doğal gaz fiyatlarının yıllara göre değişimi (\$/mmBtu).	57
Şekil 5.7. Gaz hub churn rates	58
Şekil 6.1. Farklı tipteki bulanık kümeler: (a) Kesikli bk (b) Sürekli bk	60
Şekil 6.2. Bulanık kümelerde öz, destek, sınır, geçiş noktaları ve yükseklik	60
Şekil 6.3. Üçgensel bulanık sayı	62
Şekil 6.4. Dilsel değişken örneği	63
Şekil 6.5. (a) “yaklaşık 3” mutlak niceleyicisi (b) “çoğu” göreceli niceleyicisi.....	70
Şekil 6.6. Macd-histogram grafiği	71
Şekil 6.7. Sözde Kod.....	72
Şekil 6.8. Değişimin süresi için “uzun” bulanık kümesinin gösterimi	73
Şekil 6.9. Dinamikliğin görsel olarak gösterimi	74
Şekil 6.10. Yerel trendlerin süresi, dinamikliği ve değişkenliği.....	75
Şekil 7.1. Yerel trendler	81
Şekil 7.2. Trendin süresi	82
Şekil 7.3. Trendin x eksenini ile yaptığı açısı.....	83
Şekil 7.4. Trendin hata değeri	83
Şekil 7.5. Yerel trendlerin süresini temsil eden bulanık kümeler	84
Şekil 7.6. Yerel trendlerin dinamikliğini temsil bulanık kümeler	84
Şekil 7.7. Yerel Trendlerin değişkenliğini temsil bulanık kümeler	84
Şekil 7.8. Kullanılan Niceleyiciler: (a) Tümü (b) Çoğu (c) Yarısı	85

Şekil	Sayfa
Şekil 7.9. Doğal gaz fiyatının son 10 yıllık grafiği.....	87
Şekil 7.10. Oluşan trendlerin frekans değerleri	87
Şekil 7.11. Oluşan trendlerin frekans değerleri	88
Şekil 7.12. Oluşan trendlerin frekans değerleri	88
Şekil 7.13. Oluşan trendlerin frekans değerleri	89

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. 2020 yılı dünya enerji tüketiminin kaynak bazında dağılımı	1
Çizelge 1.2. 2010-2020 yılları doğal gaz tüketim ve ithalat miktarları (milyon sm ³)	2
Çizelge 3.1. Doğal gazın tipik bileşenleri	12
Çizelge 3.2. 1980-2020 yılları arası doğal gaz rezervleri (trilyon m ³)	18
Çizelge 3.3. Doğal gaz kaynakları	20
Çizelge 3.4. Geleneksel olmayan gaz üretim miktarları	20
Çizelge 3.5. 2019 ile 2020 yılları doğal gaz üretimleri (milyar m ³)	21
Çizelge 3.6. Küresel doğal gaz üretiminde payı yüksek olan ülkeler	23
Çizelge 3.7. Küresel doğal gaz tüketimi	24
Çizelge 3.8. Küresel doğal gaz tüketiminde payı yüksek olan ülkeler	25
Çizelge 4.1. 2010-2020 yılları doğal gaz üretim miktarları (milyon m ³)	31
Çizelge 4.2. Yıllara göre Türkiye doğal gaz tüketimi.....	33
Çizelge 4.3. Türkiye'nin gaz ithalatı anlaşmaları.....	35
Çizelge 4.4. 2010-2020 yılları doğal gaz ithalat miktarları (milyon m ³).....	36
Çizelge 4.5. İthalat oranları.....	37
Çizelge 4.6. 2019-2020 yılları şirketler bazında doğal gaz ithalatı	37
Çizelge 4.7. 2020 yılı doğal gaz giriş kapasiteleri	39
Çizelge 4.8. 2020 şebekeye giriş noktalarına göre ithalat miktarları.....	40
Çizelge 4.9. Yıl sonu stok miktarları (milyon sm ³)	42
Çizelge 5.1. Avrupa ülkelerinde yıllara göre el değiştirme oranları (churn rate)	57
Çizelge 6.1. Dilsel özetleme sembolleri ve açıklamaları	67
Çizelge 7.1. Trendlere ilişkin istatistik bilgileri.....	82
Çizelge 7.2. Doğal gaz fiyatına ait dilsel özetlerin doğruluk dereceleri	86

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Tip-1 Bulanık küme
$\tilde{A}$	Tip-2 bulanık küme
α	Alfa kesmesi
α^+	Güçlü alfa kesmesi
A_1	Tip-1 Bulanık küme
A_2	Tip-1 Bulanık küme
$\square$	Bulanık kardinalite
D	Veritabanı
$\cap$	Kesişim operatörü
$\otimes$	t-norm operatörü
$\cup$	Birleşim operatörü
$\mu_A(x_i)$	x_i elemanın A kümesine aitlik derecesi
Q	Niceleyici
S_k	Özetleyici
T	Doğruluk derecesi
v_k	k . özellik
$v_k(y_m)$	m . kayıtın k . özelliğine ait değeri
$w_g(S_g)$	Öncül özetleyici
X	Evrensel küme
x_i	i . eleman
X_k	v_k 'in tanım kümesi
y_m	Veritabanındaki m . Nesne
Y	Veritabanındaki tüm nesnelerin kümesi
$\forall$	Tümü niceleyicisi
$\square$	Doğal sayılar kümesi

Simgeler	Açıklamalar
$\emptyset$	Boş küme
$E(S,i)$	S bulanık kümesinin i tane elemana sahip olmasının olabilirliği
$G_Q(S)$	Tip-I niceleyici cümleler için G Tipi Bulanık kardinalite Temelli Yöntem
$GD_Q(S w_g(S_g))$	Tip-II Niceleyici Cümleleri Değerlendirmek için Olasılık Temelli Yöntem
$P(S w_g(S_g))$	$w_g(S_g)$ bulanık kümesinin S bulanık kümesine göre göreceli skalar kardinalitesi
$Z_Q(S)$	Tip-I niceleyici cümleler için Zadeh Tarafından Önerilen Doğruluk Derecesi
$Z_Q(S w_g(S_g))$	Tip-II niceleyici cümleler için Zadeh Tarafından Önerilen Doğruluk Derecesi
η	Yerel trendin x eksenine yaptığı açısı
t	Yerel trendin süresi

Kısaltmalar	Açıklamalar
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BK	Bulanık küme
BOTAŞ	Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi
BP	British Petroleum
BTU	British Thermal Unit
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FSRU	Yüzer LNG Depolama ve Gazlaştırma Ünitesi
GDS	Genelleştirilmiş doğal sayı
HH	Henry Hub
IEA	International Energy Agency
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
MAPEG	Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
NBP	National Balancing Point
NYMEX	New York Mercantile Exchange

Kısaltmalar**Açıklamalar**

OPEC	Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TPE	Ton Petrol Eşdeğeri
TSKB	Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
TTF	The Title Transfer Facility
YSA	Yapay Sınır Ağları

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki her canlı hayatını devam ettirilebilmek için enerjiye gereksinim duymaktadır. Benzer biçimde ülkelerin de var olabilmek, gelişebilmek ya da gelişimlerini sürdürebilmek için enerji ihtiyaçları doğmaktadır. Nüfus artışı, sanayi ve teknoloji sektöründeki gelişmeler ve bunlara bağlı olarak yaşam standartlarının yükselmesi sebebiyle dünyada gerçekleşen enerji tüketimi sürekli artış eğilimindedir. Güvenilir bir şekilde, herhangi bir kesinti olmadan ve uygun fiyatlarda enerji tedarik edebilmek her ülke için enerji arz güvenliğinin sağlanması açısından oldukça önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla farklı enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır. Bu kaynakları konvansiyonel olmayan kaynaklar ve konvansiyonel kaynaklar olarak ikiye ayırmak mümkündür. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynakları konvansiyonel olmayan kaynaklar olarak sınıflandırılırken; petrol, doğal gaz ve kömür gibi yenilenemez kaynaklar ise konvansiyonel kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır.

Son zamanlarda, enerji kaynakları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı artış gösterse de enerji tüketiminin büyük bir çoğunluğu fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. 2020 yılında dünyada gerçekleşen birincil enerji tüketimindeki kaynaklar ve kaynakların genel tüketimdeki oranları Çizelge 1.1’de verilmektedir. Çizelgeye bakıldığında birincil enerji kaynaklarının toplam tüketimdeki oranının %83,1 olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.1. 2020 yılı dünya enerji tüketiminin kaynak bazında dağılımı (BP, 2021)

Kaynak	Oran (%)
Petrol	31,2
Kömür	27,2
Doğal Gaz	24,7
Hidro	6,9
Nükleer	5,7
Yenilenebilir	4,3

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması adına dünya çapınca teşvikler uygulanmasına rağmen mevcut durumda toplam tüketimde fosil kaynaklar yüksek bir paya sahiptir. Fosil kaynaklar arasından da yüksek verimliliğe sahip olması, diğer fosil kaynaklara göre daha çevreci olması, konutlarda kullanımı sayesinde kullanıcılara kolaylık sağlaması vb. özelliklerinden ötürü doğal gazın payı hayati önem taşımaktadır. Çizelge 1.1.'de görüldüğü üzere 2020 yılında toplam enerji talebinin %24,7'lik kısmı doğal gaz ile karşılanmıştır. Ayrıca yapılan birçok çalışma sonucunda ilerleyen süreçlerde küresel doğal gaz tüketim miktarının artacağı öngörülmektedir.

Gelişmekte olan ve büyük oranda doğal gaz ithalatı gerçekleştiren Türkiye gibi ülkeler için dış ticaret açığının azaltılması ülke ekonomisi açısından büyük bir öneme sahiptir. Sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte nüfus artışı da Türkiye'nin doğal gaz ihtiyacında her geçen gün artışa neden olmaktadır. Bu doğrultuda, yıllar itibarıyla doğal gaza ödenen miktarlar dış ticaret açığındaki en pahalı kalemlerden birini oluşturmaktadır. Bu bağlamda Türkiye'nin yıllar içerisinde tükettiği ve ithal ettiği doğal gaz miktarına ilişkin veriler Çizelge 1.2.'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. 2010-2020 yılları arası doğal gaz tüketim ve ithalat miktarları (milyon sm³) (EPDK, 2021)

Yıl	Tüketim (milyon Sm ³)	İthalat (milyon Sm ³)
2010	37 411	38 036
2011	43 697	43 874
2012	45 242	45 922
2013	45 918	45 269
2014	48 717	49 262
2015	47 999	48 427
2016	46 480	46 352
2017	53 857	55 250
2018	49 204	50 282
2019	45 286	45 211
2020	48 261	48 126

Toplam ihtiyacının neredeyse tamamını ithal eden Türkiye gibi ülkeler için doğal gaz fiyat trendlerini incelemek, fiyatlarda meydana gelen dalgalanmaları tahmin etmek ve oluşan belirsizlikleri açıklığa kavuşturmak hayati önem taşımaktadır.

Doğal gazın taşınması zor olduğundan, doğal gaz fiyatları petrolde olduğu gibi küresel olarak değil, yerel veya bölgesel olarak belirlenme eğilimindedir. Doğal gazın ticareti çoğunlukla (%55) boru hattı vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Boru hattı ile taşınarak ticareti yapılan doğal gaz fiyatları genellikle petrol piyasalarında kullanılan benzer müzakere, düzenleme veya açık piyasa mekanizmaları ile belirlenebilmektedir. Doğal gaz ticaretinin geri kalan kısmı ise gemi kaynaklı sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) ile yapılmaktadır. LNG piyasasında yüklerin büyük bir kısmı ya besleme gazının maliyetine endeksli ya da petrol veya diğer emtialara endeksli fiyatlarla uzun vadeli sözleşme esasına göre satılmaktadır (Chandra, 2020).

Bölgesel doğal gaz piyasalarında ise fiyatlar genel olarak petrol fiyatlarına ve gazın gaz ile rekabeti sonucunda spot piyasalarda oluşan fiyatlara endeksli olarak belirlenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Avrupa gibi serbest piyasalara sahip ülkelerde fiyatlar, hub adı verilen merkezlerde oluşmaktadır. Bu merkezlerde gazın çok sayıda alıcısı ve satıcısı olduğu için fiyatlar en çok arz ve talepten etkilenmektedir. Bunun yanında üretim seviyeleri, gaz depolama enjeksiyonları ve çekimleri, hava durumu modelleri, fiyatlandırma ve rakip enerji kaynaklarının mevcudiyeti gibi değişkenler de fiyatları etkileyen faktörler arasında sayılmıştır.

Serbest piyasalara sahip bölgelere bakıldığında 3 farklı olgun hub bulunmaktadır. Bunlar: İngiltere merkezli National Balancing Point (NBP), Hollanda merkezli The Title Transfer Facility (TTF) ve ABD merkezli Henry Hub (HH)'dir. Bu merkezler arasında çok likit ve küresel bazda LNG teslimat sözleşmelerinde referans fiyat olarak da dikkate alınan Henry Hub karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple, Henry Hub'da oluşan doğal gaz fiyatları temel alınarak bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Doğal gaz fiyatları üzerine yapılan çalışmalar genellikle tahmin edici ve tanımlayıcı olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmında tek ve çok faktörlü zaman serileri kullanılarak doğal gaz fiyatları tahmin edilmiştir. Diğer taraftan, karar verme süreçlerinde tahmin modellerinin yanında tanımlayıcı modeller de oldukça

önem kazanmıştır. Tanımlayıcı modellerde ise, veri tabanında bulunan nitelikler arasında var olan ilişkileri özetleyen örüntülerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu tez çalışmasında tanımlayıcı modeller arasında yer alan dilsel özetleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin amacı, verinin tüm yönlerini kapsayan ve kolayca anlaşılabilen özetleri ortaya çıkarmaktır. İstatiksel özetler kolay ortaya çıkarılsa bile bu özetlerden sonuç çıkarma konusunda bazı zorluklarla karşılaşabilmektedir. Bu zorlukların aşılmasıyla amacıyla dilsel özetlerde bulanık küme (BK) teorisi kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında doğal gaz ticareti gerçekleştirilirken karar verme aşamasında katkı sağlayacağı düşünülen bir karar destek sistemi oluşturulması amaçlanmıştır. Oluşturulan sistem ile dilsel özetleme yöntemi kullanılarak doğal gaz fiyatları hakkında kolay anlaşılabilir sonuçlar elde edilmiştir.

Tezin geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2’de doğal gaz fiyatlarının öngörülmesi üzerine yapılan çalışmalara değinilmiştir. Bölüm 3’de doğal gazın tarihçesi ve küresel doğal gaz sektörünün genel görünümünden; bölüm 4’te Türkiye doğal gaz sektörünün genel görünümünden bahsedilmiştir. Bölüm 5’de doğal gaz piyasalarının gelişimi ve bölgesel gaz pazarları hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Bölüm 6’da dilsel özetleme ile ilgili detaylı bilgi verilmiş ve bu tez çalışmasında kullanılan yöntem, algoritma ve uygulama detaylı bir biçimde açıklanmıştır. Bölüm 8’de Henry Hub doğal gaz fiyatlarının günlük kapanış fiyatlarını içeren 10 yıllık veri kullanılarak bir önceki bölümde bahsedilen uygulama kullanılarak veriler şekil ve tablolar yardımıyla özetlenmiştir. Bölüm 8’de ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve ileriki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Doğal gaz fiyatları üzerine yapılan çalışmalar genellikle tahmin edici ve tanımlayıcı olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmında tek ve çok faktörlü zaman serileri kullanılarak doğal gaz fiyatları tahmin edilmiştir. Bu çalışmalarda zaman ve diğer faktörler dikkate alınarak matematiksel modeller geliştirilmiş ve doğal gaz fiyatları tahmin edilmiştir. Matematiksel modeller kullanılarak gelecekteki fiyat tahminlerine ilişkin çalışmalar sırasıyla verilmiştir.

Salehnia, Falahi, Seifi ve Adelb (2013) doğal gaz fiyatlarının tahmini için regresyon ve yapay sinir ağı (YSA) modellerinin varyantları kullanılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, YSA modellerinin, LLR ve DLLR'ye göre üstün performansa sahip olduğu, YSA modellerinin, farklı zaman dilimlerinde doğal gaz spot fiyat trend tahmininin yakından görünümüne ve yüksek doğruluk oranına sahip olmasına rağmen, piyasadaki ani fiyat değişimlerini tahmin etme konusunda kayda değer olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Abrishami, Bourbour ve Aghajani (2014) yaptığı çalışmada, doğal gaz fiyat tahmin için GMDH Sinir Ağı modelleri kullanılmış ve temel bir model olan OLS modeli ile karşılaştırmıştır. Çalışma neticesinde, RMSE ve Dstat istatistiklerine göre GMDH yönteminin, OLS yönteminden daha etkili olduğu ve vadeli piyasada gaz fiyatının ilk gecikmesinin, spot piyasada gaz fiyatını tahmin etmede en etkili değişken olduğu ortaya konulmuştur.

Jin ve Kim (2015), 2000-2013 verilerine dayanarak dalgacık, zaman serisi ve sinir ağları olmak üzere üç yöntem kullanarak Henry Hub'da doğal gaz fiyatını tahmin etmiştir. Çalışma sonucunda iki aşamalı tahmin için yapay sinir ağlarını tek başına kullanmanın en iyi yöntem olduğu; dört aşamalı tahmin için ise dalgacık ve ARIMA yöntemlerinin birleştirilmesi ile elde edilen yöntemin en iyi teknik olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Hosseinpoor (2016), Amerika Birleşik Devletleri'ndeki doğal gaz fiyatını 1997-2016 verilerine dayanarak stokastik diferansiyel denklemler, ARIMA ve sinir ağını kullanarak tahmin etmiştir. Çalışma sonucunda fiyatları tahmin etmede sinir ağı modelinin diğer modellerden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Mohammadi, Taklif ve Zamani (2017) dalgacık dönüşümü ve sinir ağları kullanarak günlük gaz fiyatlarını tahmin etmek için bir model üzerine çalışmışlardır. Bu hibrit modelde, ayrık Daubechies dalgacık dönüşümü uygulanmış olup; yeni seri, Henry Hub doğal gaz fiyatlarını tahmin etmek için YSA modeline girdi olarak kullanılmıştır. Hibrit model ve sinir ağı modelinin göreceli performansı, WANN modelinin bireysel YSA modeline kıyasla daha doğru doğal gaz fiyat tahmini sağladığını sonucu ortaya çıkarılmıştır.

Su, Zhang, Zhu, Zha ve Wen (2019) doğal gaz fiyat tahmini için yapay sinir ağları (YSA), destek vektör makineleri (SVM), gradyan artırma makineleri (GBM) ve Gauss süreç regresyonu modelleri kullanarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada model eğitimi için çapraz doğrulama yöntemi, değerlendirme için Ocak 2001'den Ekim 2018'e kadar aylık Henry Hub doğal gaz spot fiyat verileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, bu dört makine öğrenme yönteminin doğal gaz fiyatlarını tahmin etmede farklı performansa sahip olduğu, bununla birlikte, yapay sinir ağlarının diğer yöntemlere göre daha iyi tahmin performansı ortaya koyduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Ebrahim, Reza, Ezatollah ve Ezatollah (2019) yaptığı çalışmada, doğal gazın fiyatını tahmin etmek için Kriging interpolasyonunu kullanmışlardır. Çalışma neticesinde Kriging meta modelinin yapay sinir ağı tahmin modelinden daha doğru bir tahmin sağladığı, ayrıca Neldar-Mead optimizasyon algoritmasının tahmin edilen sonuçları biraz iyileştirdiği ortaya konulmuştur.

Rama, Taklifb ve Faridzadc (2019) yaptığı bir çalışmada sinir ağı yöntemini kullanarak, doğal gaz fiyatının aylık tahmini için bir model geliştirmeye çalışmıştır. Sinir ağına girdi olarak 2012'den Nisan 2019'a kadar olan zaman serisi verilerine dayanan bu model, Avrupa'daki beş hub ve doğal gaz değişim merkezindeki fiyatları tahmin edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, yapay sinir ağı (YSA) yöntemi kullanılarak Avrupa ülkelerinde bulunan Avrupa gaz merkezlerindeki gaz fiyatlarının yüksek doğrulukla tahmin edilebileceği ortaya konulmuştur.

Siddiqui (2019), Yapay Sinir Ağı Kullanarak Doğal Gaz Spot Fiyatlarını Tahmin Etme ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada gaz fiyatlarını tahmin etmek için ARNN modelini kullanılmıştır. Model, lineer ARIMA modeline karşı ölçülmüştür. ARNN, ARIMA modeline kıyasla performansta %33,4'lük bir iyileşme ve iyi performans göstermiştir.

Açıkçası, böyle bir iyileştirmenin, anında gaz satın alma kararları verme açısından oldukça önemli olduğu ortaya konulmuştur.

Wang ve Lei ve Guod (2020) günlük doğal gaz fiyat tahmini için destek vektörü regresyonu (SVR), uzun vadeli ve kısa vadeli bellek ağı (LSTM) ve değiştirilmiş bir veri modeline (IPSS) dayalı yeni bir hibrit model önermiştir. Modeli eğitmek için Haziran 2018'den önceki ABD'deki günlük doğal gaz spot fiyatına ilişkin veriler kullanılmış ve modelin tahmin yeteneği Haziran 2018'den Mayıs 2019'a kadar olan veriler kullanılarak test edilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde, yeni IPSS modelinin doğal gazın günlük fiyatını doğru bir şekilde tahmin edebildiği, tahmin hatalarının diğer bireysel modellerle karşılaştırılmasında, önerilen hibrit modelin, araştırılan tüm modeller arasında en yüksek tahmin kabiliyetine sahip olduğu ortaya konulmuştur.

Lia, Hana, Wanga, Li ve Pei (2020), doğal gaz fiyatlarının eğilimlerini tahmin etmek için çalışma gerçekleştirmiştir. Bir zaman serisinde her gün için gaz fiyatı trendi, bir önceki güne göre “yukarı” ve “aşağı” olarak sınıflandırılmıştır. Bu süreçte, doğal gazla ilgili bazı web sitelerinden deneysel materyal olarak haber makaleleri toplanmış ve her makale daha sonra word2vec tarafından vektörlere yerleştirilmiştir. Ardından, duyarlılık puanıyla ağırlıklandırılmış ve karşılık gelen günün fiyat trendiyle etiketlenmiştir. Bir CNN ve LSTM birleşik ağı bu haber vektörleri tarafından fiyat trendini tahmin etmek için eğitilmiştir. Sonuç olarak, modelin tahmin doğruluğu, diğer geleneksel sınıflandırıcıların çoğundan daha iyi performans göstererek %62,3'e ulaştığı ortaya konulmuştur.

Mouchtaris ve Sofianos, Gogas ve Papadimitriou (2021) yaptığı bir çalışmada doğal gaz spot fiyatını 1, 3, 5 ve 10 gün öncesinden makine öğrenimi yöntemlerini kullanarak tahmin etmeye çalışmıştır. Bu yöntemler; destek vektör makineleri (SVM), regresyon ağaçları, doğrusal regresyon, Gauss süreç regresyonu (GPR) ve topluluk ağaçlarıdır. Çalışma sonucunda doğal gaz spot fiyatlarının tahmin edilmesi söz konusu olduğunda, bu makine öğrenimi yöntemlerinin her zaman dilimi için farklı tahmin doğruluğuna sahip olduğu, doğal gaz spot fiyat tahmini için en etkili yöntemlerin lineer SVM ve torbalı ağaçlar olduğu sonucuna varılmıştır.

Diğer taraftan, karar verme süreçlerinde tahmin modellerinin yanında tanımlayıcı modeller de oldukça önem kazanmıştır. Bahse konu yöntemlerde, doğal gaz fiyatları ile bu fiyatları

etkileyen faktörler arasındaki ilişki kullanılmaktadır. Buradaki temel amaç doğal gaz fiyatları üzerinde etkisi olan faktörlerin yorumlanmasıdır. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan kronolojik olarak aşağıda bahsedilmiştir.

Göral (2015) panel veri analizi ile doğal gaz fiyatlarını etkileyen faktörleri incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda doğal gaz, petrol ve altın fiyatları ile faiz oranları arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğu; uzun dönemde doğal gaz fiyatlarının petrol ve altın fiyatları ile anlamlı ilişkisinin olduğu; petrol ve doğal gaz fiyatları arasında iki yönlü, altın fiyatlarından doğal gaz fiyatlarına doğru tek yönlü nedensellik ilişkinin olduğu; ihracatçı ülkelerin pazar çeşitliliği ile kömür fiyatlarındaki artışın doğal gaz fiyatlarında artışa, boru hattı ile ihracatın ise fiyatlarda azalışa neden olduğu ortaya konulmuştur.

Çatık ve Deliktaş (2016) yaptığı çalışmada doğal gaz talebinin gelir ve fiyat esnekliklerinin tahmin edilmesi amacıyla Johansen ve Juselius tarafından bulunan eşbütünleşme yöntemini kullanarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Elde edilen bulgular ile doğal gaz talebinin uzun dönemde fiyata ve gelire göre esnek olmadığını ortaya çıkarmışlardır.

Torun (2017), Türkiye doğal gaz piyasasında fiyatları etkileyen faktörleri incelemiştir. Çalışmada Kocaeli ili perakende satış fiyatı, uluslararası petrol fiyatları ve reel döviz kuru kullanılmıştır. Çalışma neticesinde petrol ve doğal gaz fiyatları ile reel döviz kuru arasında uzun dönemli eş bütünleşme olduğu; doğal gaz fiyatlarını petrol fiyatlarının pozitif yönde, reel döviz kurunun ise negatif yönde etkilediği ortaya konulmuştur.

Sevinç (2018) spot doğal gaz fiyatlarını etkileyen faktörleri panel veri modeli ile analiz etmiştir. Yapılan analiz neticesinde; spot doğal gaz piyasaların petrol fiyatından bağımsız hareket edemediği ancak doğal gaz için devrim niteliğindeki kaya gazı üretiminin, spot doğal gaz ile petrol fiyatı arasındaki ilişkiyi azaltmaya başladığı, altın fiyatları ve spot doğal gaz fiyatları arasında negatif bir ilişki olduğu, kömür fiyatlarının doğal gaz fiyatının açıklayıcı değişkeni olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yıldırım (2019) yaptığı çalışmada doğal gaz fiyatlarında gerçekleşen hareketliliklerin sıkça kullanılan teknik analiz yöntemleri ile tahmin edilmesinin doğruluğunu test etmiştir. 23.02.2017 ile 29.08.2017 tarih aralığındaki verileri kullanarak elde ettiği çalışma neticesinde Gann Hilo Aktivatörü ve Bollinger Band gibi teknik analiz göstergelerinin doğal

gaz fiyatlarındaki değişimi üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır. Diğer taraftan, Göreceli Güç Endeksi, Ortalama Gerçek Fark, Emtia kanal endeksi, Yönlü Hareket Endeksi, Ulser Endeksi ve Aroon Osilatörü gibi teknik analiz göstergelerinin doğal gaz fiyatlarındaki değişimi üzerinde bir etkiye sahip olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Gao, Hou ve Nguyen (2020), son derece esnek, zamanla değişen parametre modelleri kullanarak doğal gaz fiyatlarının tahmin edilmesi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, hem Japonya hem de AB için zamanla değişen parametre modellerinin, statik modellerden daha iyi performans gösterdiği, özellikle, koşullu ortalama büyük değişikliklere ve koşullu oynaklıkta kademeli değişikliklere izin verildiğinde en iyi tahmin performansının bulunduğu, ancak ABD için hiçbir modelin sistematik olarak basit AR modelinden daha iyi performans göstermediği, Avrupa pazarının petrol pazarından ayrılma sürecinde olmasına rağmen, AB ve Japonya pazarlarının zamanla değişen temel dinamikler açısından benzer olduğu, gaz fiyatlarının petrole endeksli değil, Henry Hub'daki gazın gaz rekabeti ile belirlendiği ABD pazarının, AB ve Japonya pazarlarından tamamen farklı zamana bağlı dinamikler sergilediği ortaya konulmuştur.

Yapılan çalışmaların incelenmesi neticesinde, hem doğal gaz arz ve talebini hem piyasa katılımcılarını kapsayan bir dizi düzenleyici kararların belirlenmesinde, portföy ve risk yönetimi ile enerji sürdürülebilirliği planlaması kapsamında hala yeni çalışmalara ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, bahse konu tez çalışmasında önerilen yöntemin özgünlüğü, yeniliği ve aynı zamanda insanlar tarafından kolay anlaşılabilirliği sebebiyle doğal gaz fiyatlarının öngörülmesi alanındaki boşluklardan birini doldurma özelliğine sahiptir.

3. KÜRESEL DOĞAL GAZ SEKTÖRÜ

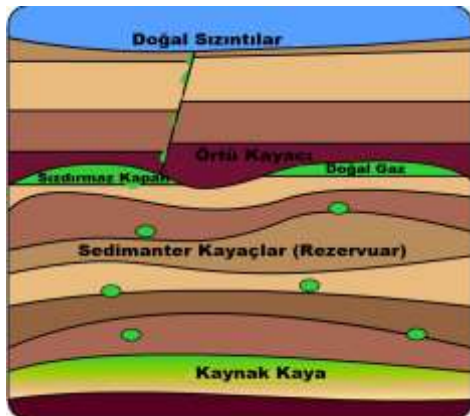
3.1. Doğal Gaz Kavramına Genel Bir Bakış

Dünya genelinde yaygın bir şekilde kullanılıyor olması ve temiz bir yakıt olması sebebiyle doğal gaz önemli bir yakıt olarak karşımıza çıkmakta ve sahip olduğu avantajlar sayesinde diğer kaynaklar arasındaki payı gitgide artmaktadır. Önemi her geçen gün artan doğal gaz hakkında genel bir bilgi sahibi olunabilmesi amacıyla bu bölümde doğal gazın tanımı, yapısı, özellikleri ve kaynak çeşitlerinden bahsedilecektir.

3.1.1. Tanımı ve yapısı

Doğal gaz yüzyıllar önce yeryüzünde yaşamış hayvan ve bitki kalıntıları ile mikroorganizmaların zaman içerisinde yer altına gömülmesi ve devamında oksijenin bulunmadığı ortamda yüksek sıcaklık ve basınç altında çürümesiyle oluşmaktadır. İlk aşamada sedimanter kayaç (rezervuar) içerisinde karmaşık bir yapıya sahip organik bir bileşen olan kerojen adı verilen petrol benzeri bir madde oluşmaktadır. Kerojen zaman içerisinde yeryüzüne doğru göç ederek ısıl ayrışmaya uğramakta; petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlara dönüşmektedir (Özdemir, 2006).

Kaynak kayada oluşan doğal gaz gözenekli ve geçirgen tabakalar boyunca yeryüzüne ulaşmak için yukarı yönlü hareket etmektedir. Yeryüzüne ulaşmadan önce örtü kayacı adı verilen tabakanın altında oluşan kapanlara sıkışmaktadır. Doğal gazın yer altında gerçekleştirmiş olduğu hareketler basit haliyle Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Doğal gazın yer altındaki hareketleri (NaturalGas.org, 2013)

Doğal gaz yapısı itibarıyla metan, etan, propan, bütan ve karbondioksit gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Doğal gazı oluşturan bileşenler ile bileşenlerin oranları Çizelge 3.1.’de gösterilmektedir (NaturalGas.org, 2013).

Çizelge 3.1. Doğal gazın tipik bileşenleri

Metan	CH ₄	% 70- 90
Etan	C ₂ H ₄	% 0- 20
Propan	C ₃ H ₈	
Bütan	C ₄ H ₁₀	
Karbondioksit	CO ₂	% 0-8
Oksijen	O ₂	% 0- 0,2
Azot	N ₂	% 0- 5
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	% 0- 5
Asal Gazlar	Ar, He, Ne, Xe	% 0- 1

Çizelge 3.1.’de görüldüğü üzere doğal gaz yapısal olarak en az %70 oranında en basit hidrokarbon molekülü metandan oluşmakta iken en fazla %20 oranında etan, propan ve bütan gazını içermektedir. Bununla birlikte, doğal gaz yer altından çıkarılırken karbondioksit, oksijen, azot, hidrojen sülfür, kum, su ve çeşitli yabancı maddeler ile birlikte üretilmektedir.

Metan gazı, 1 karbon 4 hidrojen atomundan oluşan basit bir molekül yapısına sahiptir. Doğal gazın çok büyük oranda metan gazı içermesi ve metan gazının basit molekül yapısına sahip olması sebebiyle doğal gazın yanma işlemi kolay gerçekleşmekte ve yanma esnasında çevreye zararlı maddeler salınmamaktadır. Fosil bir kaynak olmasına rağmen yapısındaki hidrokarbonlar sayesinde doğal gaz, temiz bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır (Gültekin ve Örgün, 1993).

Doğal gaz, içerisinde bulunan hidrokarbon bileşenlerine göre ikiye ayrılarak incelenmektedir. İçerisinde bulunan metan miktarının %95’ten fazla olması durumunda kuru gaz (dry gas) olarak nitelendirilirken, metana oranla daha ağır hidrokarbon olan etan, propan,

bütan miktarının %5'ten fazla olması durumunda ise ıslak gaz (wet gas) ismini almaktadır. Ancak ıslak gaz, hidrokarbon dışındaki molekül ve elementlerinden ayrıştırıldıktan sonra kullanıma hazır hale gelmektedir (Yardımcı, 2010).

3.1.2. Özellikleri

Doğal gazın kimyasal özelliklerine bakıldığında aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

- Havaya göre hafif olup uçucu özelliğe sahiptir.
- Kokusuz ve renksiz bir gazdır.
- -160 °C'nin üzerinde gaz formunda olduğundan şekilsiz olarak nitelendirilmektedir.
- İçerisinde yanmayan herhangi bir madde bulunmamakla birlikte büyük oranda metandan oluşmaktadır.
- 1 m³ doğal gazın yanması sonucu yaklaşık 8 250 kcal ısı açığa çıkmaktadır
- Tam yanma sağlanamaması durumunda CO gazı ortaya çıkmaktadır.
- Zehirli bir gaz değildir.
- 0 °C ve 1 atmosfer basınç altında doğal gazın yoğunluğu 0,67 ile 0,8 kg/m³ arasında bir değer almaktadır.
- Kapalı bir ortamda hava ile %5 ile %15 oranında karışması durumunda patlayıcı bir özelliğe ulaşmaktadır (Ugetam, 2016).

3.2. Doğal Gaz Kaynakları

Doğal gaz kaynaklarını;

- Konvansiyonel (geleneksel) doğal gaz kaynakları,
- Konvansiyonel olmayan doğal gaz kaynakları

olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür.

Geleneksel kaynaklar ve geleneksel olmayan kaynaklar, potansiyel olarak çıkarılabilecek iki çok farklı kaynak grubudur. Her ikisi de, ekonomik olarak çıkarılabildikleri takdirde rezervlere katkıda bulunabilecek bir miktar fosil yakıtta atıfta bulunmaktadır. Konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan arasındaki fark nispeten basittir ve çoğunlukla yakıtların çıkarılabilme kolaylığı ile ilgilidir.

Konvansiyonel gaz, geçirimsiz kaya tabakalarıyla örtülü, doğal olarak gözenekli rezervuar oluşumlarında tutulmaktadır. Bu gazın çıkarılması amacıyla bir kuyu açıldığında gaz, pompalamaya gerek kalmadan yüzeye çıkabilmektedir. Dolayısıyla bu jeolojik oluşumlardan fosil yakıtların çıkarılması, yakıtı yataktan ekonomik olarak çıkarmak için kullanılabilecek standart yöntemlerle yapılabilir. Konvansiyonel kaynaklar, özel teknolojiler gerektirmedikleri ve yaygın yöntemleri kullanabildikleri için, üretimleri daha kolay ve daha ucuz olma eğilimindedir.

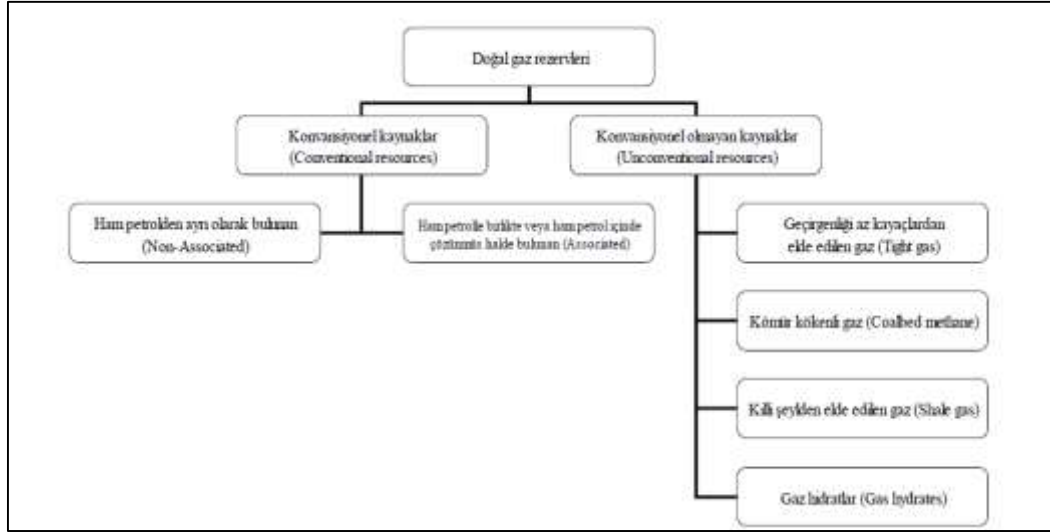
Diğer durumlarda ise doğal gaz, zayıf geçirgenliğe ve gözenekliliğe sahip rezervuarlarda hapsolmuş bir şekilde bulunmaktadır. Bu tür birikmeler geleneksel olmayan doğal gaz olarak adlandırılmaktadır. Bu kaynaklarda bulunan doğal gazın gözeneklerden standart bir kuyuya akması son derece zor veya imkânsızdır. Bu zor rezervuarlardan üretim yapabilmek için özel teknikler ve araçlar kullanılmaktadır (NSW EPA, 2015). Şekil 3.2.'de doğal gaz kaynaklarının sınıflandırılması kısa bir şekilde özetlenmiştir.



Şekil 3.2. Doğal gaz kaynaklarının şematik görünümü (Şengüler, 2012)

Şekil 3.2.'den de görüleceği üzere konvansiyonel doğal gaz, yeryüzünden oldukça derinlerde gözenekli kayaçların içerisinde genellikle ham petrol ile birlikte (associated gas reservoir) veya ham petrolden ayrı (non-associated reservoir) olarak tek başına bulunabilmektedir.

Geleneksel olmayan doğal gaz kaynakları ise genel olarak dört ana başlıkta incelenmektedir. Bunlar, geçirgenliği az kayaçlardan elde edilen gaz, kömür kökenli gaz, killi şeylden elde edilen gaz ve gaz hidratlardır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Doğal gaz kaynakları (Yardımcı, 2010)

Yeraltında bulunan doğal gaz kaynaklarına bakıldığında, konvansiyonel olmayan kaynakların, konvansiyonel kaynaklara göre daha çok bulunduğu düşünülmektedir. Halihazırda konvansiyonel kaynaklardan doğal gaz üretimi basit sondaj yöntemleriyle gerçekleştirilebilirken, konvansiyonel olmayan kaynaklardan doğal gaz üretimi için gelişmiş yöntemlere gereksinim duyulmaktadır. Bu yöntemlere örnek olarak hidrolik çatlatma (hydraulic fracturing) ve yatay sondaj (horizontal drilling) verilebilmektedir. Ancak bu yöntemler sayesinde konvansiyonel olmayan kaynaklardan doğal gaz üretimi ekonomik anlamda gerçekleşebilmektedir. Yer altında çok miktarda bulunmasına rağmen ekonomik ve teknolojik sebeplerden ötürü bahse konu kaynaklara ilişkin çalışmalar sınırlı sayıdadır (Balioğlu, 2012).

3.3. Doğal Gazın Tarihsel Gelişimi

Doğal gaz tarihin en eski dönemlerinden beri bilinen başlangıçta ısınmadan çok aydınlatma amacıyla kullanılan bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğal gazın tarihteki gelişimine bakıldığında keşfinin yüzyıllar öncesine dayandığı, ilk zamanlarda gereksiz bir madde olarak değerlendirildiği ve ardından aydınlatma amacıyla kullanıldığı, yakıt olarak kullanılması ise çok uzun zaman aldığı görülmektedir (Çelik, 2016).

Doğal gaza ait ilk bulgular M.Ö. 6000-2000 yıllarında İran'da görülmüş olmakla birlikte doğal gazın kullanımı ilk defa M.Ö. 900'lü yıllarda Çinlilere dayanmaktadır. Çinliler

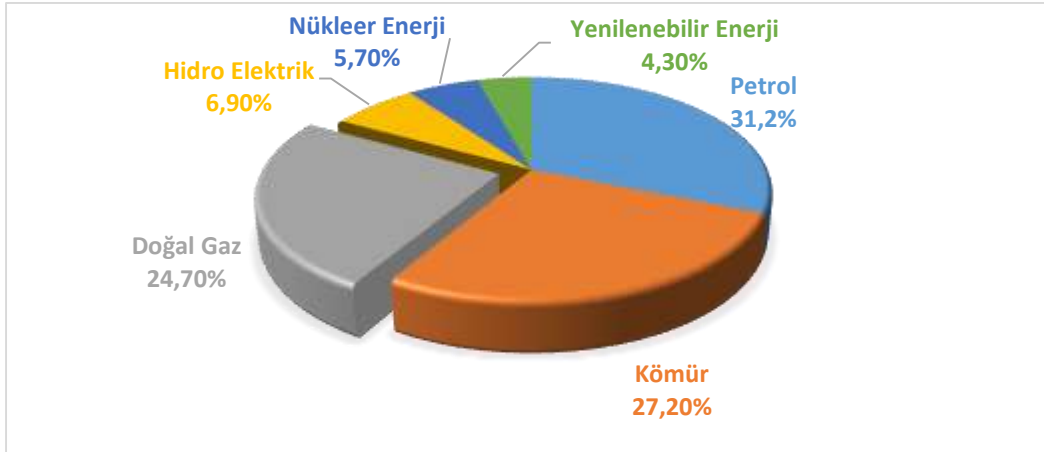
sızıntılardan ortaya çıkan gazı bambu boruları ile farklı bölgelere taşımışlar ve içme suyu elde etmek amacıyla deniz suyunu ısıtarak tuzundan ayırmışlardır (Bayraç, 2018).

Kömürden imal edilen doğal gaz ile 1785 yılında Britanya’da, sokaklar ve caddeler aydınlatılmıştır. Üretim sektöründe ise doğal gaz ilk olarak 1815 yılında Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nde bir tuz madeninde kullanılmıştır. Doğal gazın boru hatları ile taşınması ise ilk olarak 1883 yılında yine ABD’de gerçekleşmiştir (Doğanay, Özdemir ve Şahin, 2011).

1859 yılında ABD’de Albay Edwin Drake tarafından kazılan ilk kuyu ile doğal gazın serüveni başlamıştır. 1821 yılında ise doğal gazın üretimi amacıyla Newyork’da ilk kuyu açılmıştır. Boru hatları ile doğal gazın taşımıcılığı ise 1891 yılında başlamış olup 1920’li yıllarda boru hatları ile taşımıcılığın artmasıyla birlikte doğal gazın kullanım alanları hızla genişlemiştir (Acar, Bülbül, Gümrah, Metin ve Parlaktuna, 2011).

Doğal gazın bir enerji kaynağı olarak tam manasıyla sahneye çıkışı, 1970’li yıllarda Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütünün (Organization of the Petroleum Exporting Countries - OPEC) sebep olduğu 1973 yılındaki petrol krizinden sonrasına denk gelmektedir. Krizin etkilerinin azaltılması ve enerji arz güvenliğinin sağlanması amacıyla Fransa, Almanya ve İtalya gibi bazı Avrupa ülkeleri doğal gaz kullanımına yönelmişlerdir. Son zamanlarda ise doğal gaz birçok ülkede yaygın bir şekilde kullanılmakta ve her geçen gün gelişme göstererek değeri artan bir enerji kaynağına dönüşmektedir (Bayraç, 2018).

Şekil 3.4.’de 2020 yılında dünyada gerçekleşen birincil enerji tüketimindeki kaynaklar ve kaynakların genel tüketimdeki oranları gösterilmektedir. Şekle bakıldığında birincil enerjide her ne kadar petrol ve kömür kaynaklarının oranları yüksek ise de geçmiş yıllara oranla petrol ve kömür payının azaldığı doğal gaz payının ise artmaya devam ederek %24,7’lik rekor bir değere yükseldiği görülmektedir.



Şekil 3.4. 2020 yılı dünya enerji tüketiminin kaynak bazında dağılımı (BP, 2021)

Doğal gaz genel olarak motor yakıtı, elektrik üretimi ve ısınma amaçlı kullanılmakla birlikte bunların dışında petrokimya, yapay lastik, yapıştırıcı, mürekkep ve antifriz gibi birçok sanayi alanında da kullanılmaktadır (Kalkan, 2012).

3.4. Küresel Doğal Gaz Sektörünün Genel Görünümü

Doğal gaz piyasası, doğal gazın yeraltından çıkarılmasından son tedarikçi tüketiciye kadar ulaşmasını içeren bir yapıdan oluşmaktadır. Bu bağlamda, piyasanın tam manasıyla anlaşılabilmesi için dünyada bulunan rezerv miktarları, arz ve talep miktarları, doğal gaz ticareti ve depolama faaliyetleri hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Bu sebeple bu bölümde küresel doğal gaz sektörü verileriyle incelenecektir.

3.4.1. Rezerv

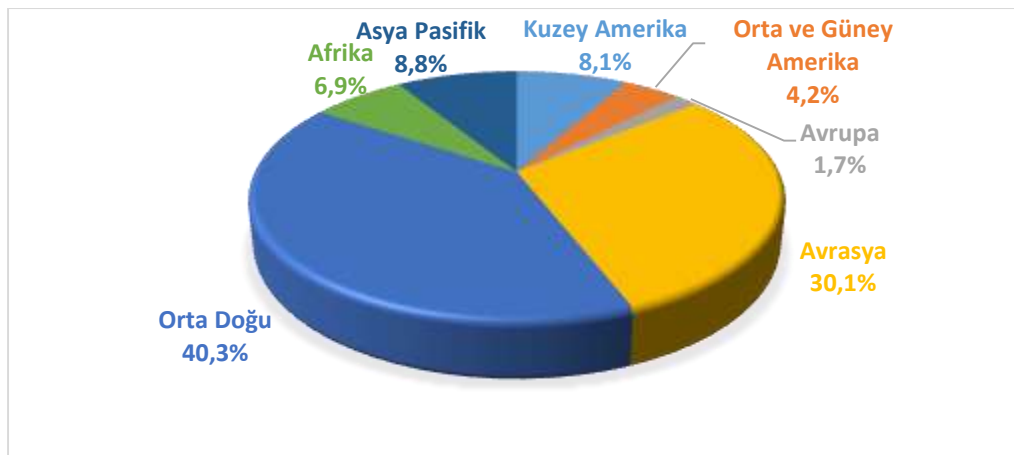
Küresel doğal gaz rezervlerine bakıldığında, kaynakların dengesiz bir dağılım göstererek çeşitli bölgelerde yer aldığı görülmektedir. BP Statistical Review of World Energy belgesindeki verilere göre, 2020 yılı sonu itibarıyla dünyada toplam 188,1 trilyon m³ kanıtlanmış doğal gaz rezervi bulunmaktadır. Diğer taraftan, toplam rezerv miktarı 1980 yılına oranla %164 artmış göstermiştir (BP, 2021).

Kanıtlanmış rezervlerin büyük bir çoğunluğu Orta Doğu, Hazar Denizi ve Avrasya ülkeleri etrafında toplanmış olup 1980 ile 2020 yılları arasında bölgelere göre kanıtlanmış doğal gaz rezervleri Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir (BP, 2021).

Çizelge 3.2. 1980-2020 yılları arası doğal gaz rezervleri (trilyon m³)

Bölge	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Kuzey Amerika	9,6	10,0	9,2	8,2	7,2	7,5	10,5	10,7	15,2
Orta ve Güney Amerika	2,8	3,4	5,5	6,3	6,8	6,7	8,1	8,3	7,9
Avrupa	4,2	4,2	5,2	5,1	5,5	6,2	5,1	4,3	3,2
Avrasya	20,5	25,6	34,9	37,8	39,4	40,1	49,0	58,1	56,6
Orta Doğu	24,0	27,0	36,8	44,0	57,4	71,3	76,8	77,0	75,8
Afrika	5,7	5,9	8,2	9,5	11,9	13,5	14,0	13,9	12,9
Asya Pasifik	4,5	6,9	9,0	9,6	11,1	12,1	14,9	16,4	16,6
Toplam	71,4	83,1	108,8	120,6	139,4	157,4	178,5	188,6	188,1

BP Statistical Review of World Energy belgesinde 2020 yılı kanıtlanmış rezerv miktarlarına göre hazırlanan grafiğe bakıldığında doğal gaz rezervi açısından dünyanın en zengin bölgelerinin Orta Doğu ve Avrasya bölgesi olduğu, Orta Doğu ülkelerinin küresel doğal gaz rezervlerinin %40,3'üne, Avrasya ülkelerinin ise doğal gaz rezervlerinin %30,1'ine sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, doğal gaz kaynaklarının %8,8'i Asya Pasifik, %8,1'i Kuzey Amerika, %6,9'u Afrika, %4,2'si Orta ve Güney Amerika, %1,7'si Avrupa ülkelerinde yer almaktadır.

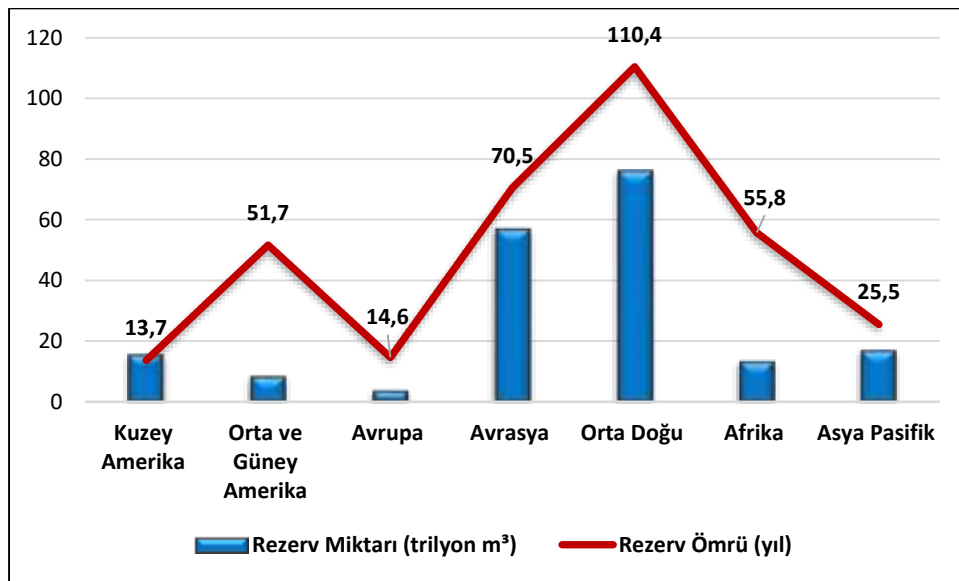


Şekil 3.5. Kanıtlanmış doğal gaz rezervleri

Diğer taraftan, ülkelere göre doğal gaz rezervlerinin dağılımına bakıldığında en fazla kaynağın %19,9 oranla Rusya, %17,1 oranla İran, %13,1 oranla da Katar'da bulunduğu

tespit edilmiştir. Bu ülkelerden sonra en fazla kaynağa sahip ülke ise %7,2 oranıyla Türkmenistan'dır.

Küresel rezervlerin ömrü, mevcut yöntemlerle ispatlanmış rezervin mevcut durumdaki üretim miktarına bölünmesiyle (Rezerv/Üretim) elde edilen bir değer olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.6. Küresel doğal gaz rezerv miktarı ile rezerv ömrü

2020 yılı için, küresel doğal gaz rezerv miktarı (188,1 trilyon m³) mevcut üretime (3,85 trilyon m³) bölündüğünde, küresel rezerv ömrünün 48,8 yıl olduğu ortaya çıkmaktadır. Bahse konu rezervlerin bölgelere göre dağılımı incelendiğinde ise, rezerv ömrü sürelerine göre Orta Doğu'nun birinci, Avrasya'nın ikinci, Afrika ülkelerinin ise üçüncü sırada yer almaktadır (Şekil 3.6.).

Mevcut durumda hesaplanan rezerv ömrü bugünkü koşullar altında hesaplanan süredir. Ancak yapılan keşifler ve gelişen teknoloji ile birlikte üretilebilecek rezerv miktarlarının artması ve talepteki değişimler göz önünde bulundurulduğunda hesaplanan rezerv ömrünün de değişebileceği değerlendirilmektedir.

Diğer taraftan, dünyada halen kanıtlanmayı bekleyen doğal gaz kaynakları bulunmaktadır. IEA World Energy Outlook 2021 raporundaki verilere göre Çizelge 3.3. hazırlanmıştır. Bahse konu tablonun incelenmesi neticesinde 2020 yılı sonu itibarıyla teknik olarak geri

kazanılabilir doğal gaz kaynakları 809 trilyon m³ olarak kayda geçmiştir. Bu kaynakların %31’lik kısmı killi şeylden elde edilen gazlardır. Bu miktarın yarısından fazlası ise Kuzey Amerika ülkeleri ile Asya-Pasifik ülkelerinde bulunmaktadır (IEA, 2021).

Çizelge 3.3. Doğal gaz kaynakları

Trilyon m ³	Geleneksel Gaz	Geçirgenliği Az Kayaçlar	Killi Şeyl	Kömür Kökenli Gaz	Toplam Kaynak
Kuzey Amerika	50	10	81	7	149
Orta ve Güney Amerika	28	15	41	-	84
Avrupa	18	5	18	5	46
Afrika	51	10	40	0	101
Orta Doğu	101	9	11	-	121
Avrupa	131	10	10	17	169
Asya Pasifik	45	21	53	20	139
TOPLAM	425	80	253	49	809

Killi şeylden elde edilen gazı geleneksel gazlardan ayıran en büyük özellik bahse konu gazın oluştuğu ve depolandığı kayacın aynı olmasıdır. Kayacın cinsinden ötürü oluşan gazın üretimi için ileri sondaj ve üretim teknolojileri gerekmektedir. Bu minvalde, son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte killi şeylden üretilen gazın miktarında ciddi manada artış görülmektedir (Çizelge 3.4.) (IEA, 2021).

Çizelge 3.4. Geleneksel olmayan gaz üretim miktarları

Milyar m ³	2010	2018	2019	2020
Killi şeyl	156	613	731	742
Geçirgenliği Az Kayaçlar	272	291	298	290
Kömür Kökenli Gaz	77	81	79	80

3.4.2. Üretim

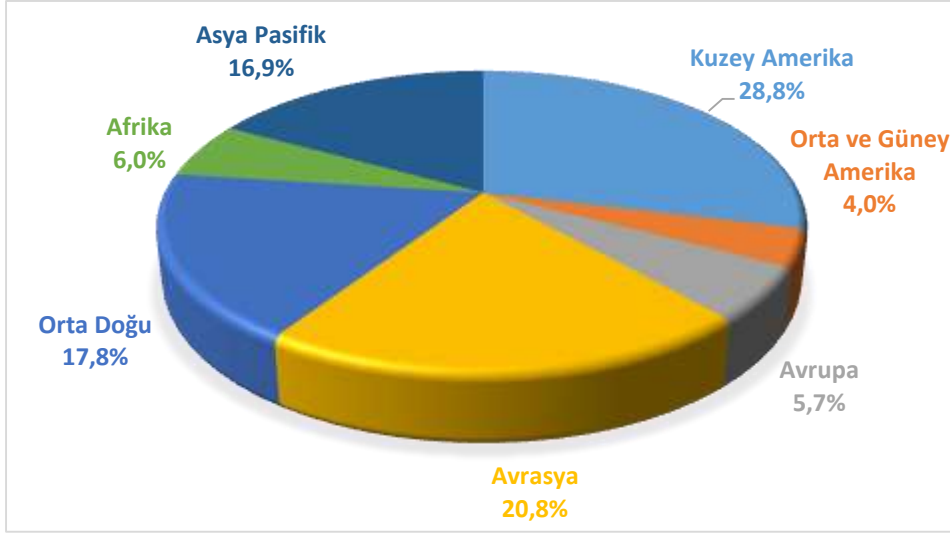
Enerji ihtiyacının karşılanması konusunda önemi her geçen gün artan doğal gazın üretimi artan talepler doğrultusunda 2000’li yıllardan bugüne kadar artış eğilimi göstermiştir. BP Statistical Review of World Energy raporuna göre 2020 yılında dünyada gerçekleşen doğal gaz üretimi 2019 yılına göre %3,1 düşüş göstererek 3,85 trilyon m³ olarak kayda geçmiştir. 2019 ile 2020 yıllarında bölgelerde gerçekleşen doğal gaz üretimleri Çizelge 3.5.’de gösterilmiştir. Covid-19 salgınının dünya genelinde bir salgına dönüşmesinden kaynaklı olarak günümüze kadar hep artış eğiliminde olan doğal gaz talebinde daha önce görülmemiş bir düşüş gerçekleşmesinden kaynaklı olarak doğal gaz üretiminin de düşüş gösterdiği değerlendirilmektedir.

Çizelge 3.5. 2019 ile 2020 yılları doğal gaz üretimleri (milyar m³) (BP, 2021)

Bölge	2019	2020	Değişim (%)
Kuzey Amerika	1 130,3	1 109,9	-1,8
Orta ve Güney Amerika	172,3	152,9	-11,3
Avrupa	235,2	218,6	-7,1
Avrasya	858,2	802,4	-6,5
Orta Doğu	678,2	686,6	1,2
Afrika	243,8	231,3	-5,1
Asya Pasifik	658,2	652,1	-0,9
TOPLAM	3 976,2	3 853,7	-3,1

Bölgeler bazında 2020 yılında gerçekleşen doğal gaz üretimlerine bakıldığında Orta ve Güney Amerika bölgesindeki üretimin %11,3’lük düşüş ile dikkat çektiği, Orta Doğu bölgesinin ise üretimi artan tek bölge olduğu görülmektedir.

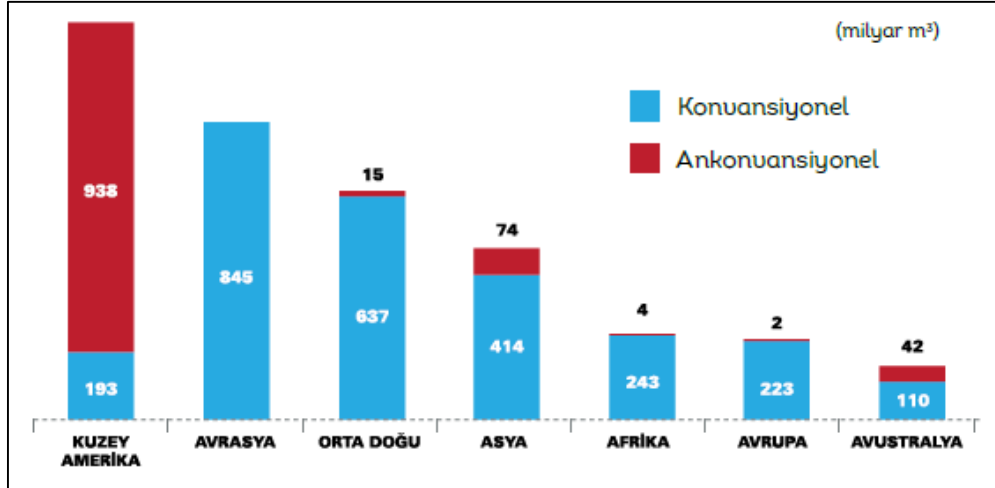
Küresel doğal gaz üretiminde 2019 yılında olduğu gibi 2020 yılında en büyük pay sahibi %28,8 oranla Kuzey Amerika olmuştur. Kuzey Amerika’yı %20,8 oranla Avrasya, %17,8 oranla Orta Doğu, %16,9 oranla da Asya Pasifik bölgesi takip etmektedir.



Şekil 3.7. Küresel doğal gaz üretimi

Küresel rezerv açısından en zengin bölge konumunda olan Orta Doğu üretimde üçüncü sırada yer almaktadır. Orta Doğu’da başlangıçta petrol kadar ilgi bulamayan doğal gaz üretimde düşük seviyelerdeyken Avrupa’nın doğal gaza olan talebi arttıkça zamanla Orta Doğu’da gerçekleşen doğal gaz üretiminde de artış gözlemlenmiştir (Şener, 2020).

Kuzey Amerika’nın doğal gaz üretiminde birinci sırada yer alması ise gelişen teknolojiler ile birlikte konvansiyonel olmayan rezervlerdeki artışlardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Şekil 3.8.’den görüleceği üzere Kuzey Amerika’da gerçekleşen doğal gaz üretiminin %83’ü ankonvansiyonel rezervlerden gerçekleştirilmiştir. Kuzey Amerika’yı yıllık 74 milyar m³ üretimle Asya takip etmektedir. Çin başta olmak üzere Asya bölgesinde geleneksel olmayan gaz rezervlerin çok olduğu bilinse de arama faaliyetleri esnasında yaşanan teknik ve jeolojik sorunlar nedeniyle istenilen potansiyele henüz ulaşamamıştır. Bu bağlamda, artan talebin karşılanması yolunda teknolojiye gelişimlerle birlikte Asya bölgesinde ankonvansiyonel rezervlerden üretimin artacağı düşünülmektedir.



Şekil 3.8. 2020 yılı küresel konvansiyonel / ankonvansiyonel gaz üretimleri (TPAO, 2020)

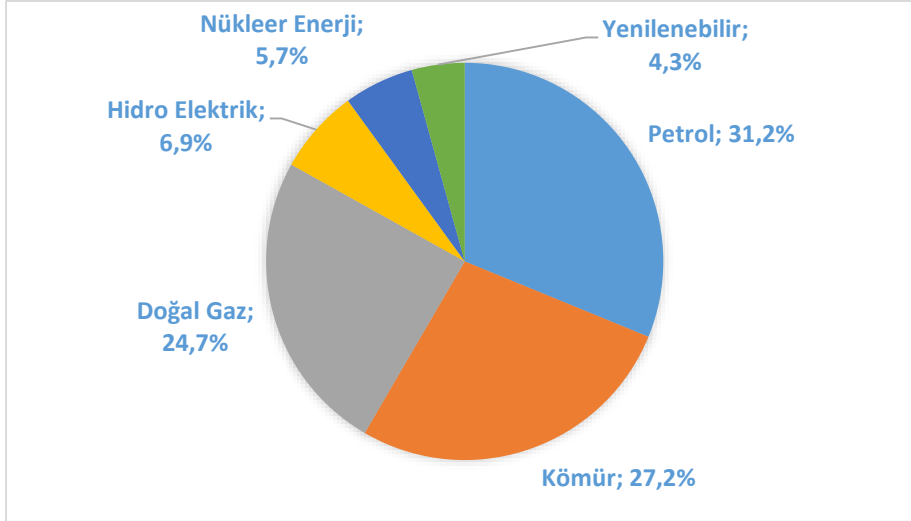
Bununla birlikte, ülke bazında gerçekleşen üretimlere bakıldığında dünyada gerçekleşen doğal gaz üretiminin yarısından fazlası Amerika, Rusya, İran ve Çin tarafından gerçekleştirilmektedir (Çizelge 3.6.).

Çizelge 3.6. Küresel doğal gaz üretiminde payı yüksek olan ülkeler (TPAO, 2020)

Ülke	Üretim (milyar m³)	Oran (%)
Amerika	914,6	23,7
Rusya	638,5	16,6
İran	250,8	6,5
Çin	194,0	5,0

3.4.3. Tüketim

Doğal gaz birincil enerji kaynağı olarak dünyada yaygın bir şekilde kullanılmakta olup tüketimi her geçen yıl artış göstermekte ve vazgeçilmesi zor bir kaynak haline gelmektedir. 2020 yılı dünya enerji tüketiminin kaynak bazında dağılımına bakıldığında doğal gaz %24,7 oranla üçüncü sırada yer almaktadır.



Şekil 3.9. 2020 yılı dünya enerji tüketiminin kaynak bazında dağılımı (BP, 2021)

2020 yılında dünyada gerçekleşen doğal gaz tüketimi bir önceki yıla göre %2,3 azalarak, 3,82 trilyon m³ olarak gerçekleşmiştir. 2020 yılı talep düşüşünde en fazla oransal düşüş ise %10,8 oran ile Orta ve Güney Amerika’da gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.7. Küresel doğal gaz tüketimi (BP, 2021)

	2019	2020	Değişim (%)
Kuzey Amerika	1 055,1	1 030,9	-2,3
Orta ve Güney Amerika	163,3	145,6	-10,8
Avrupa	553,5	541,1	-2,2
Avrasya	574,2	538,2	-6,3
Orta Doğu	544,5	552,3	1,4
Afrika	155,3	153	-1,5
Asya Pasifik	858,1	861,6	0,4
TOPLAM	3 904,0	3 822,7	-2,1

Doğal gaz talebi ülke bazlı bakıldığında ise en fazla tüketim %21,8 oranla ABD’de gerçekleşmiştir. ABD’yi sırasıyla Rusya, Çin ve İran takip etmektedir.

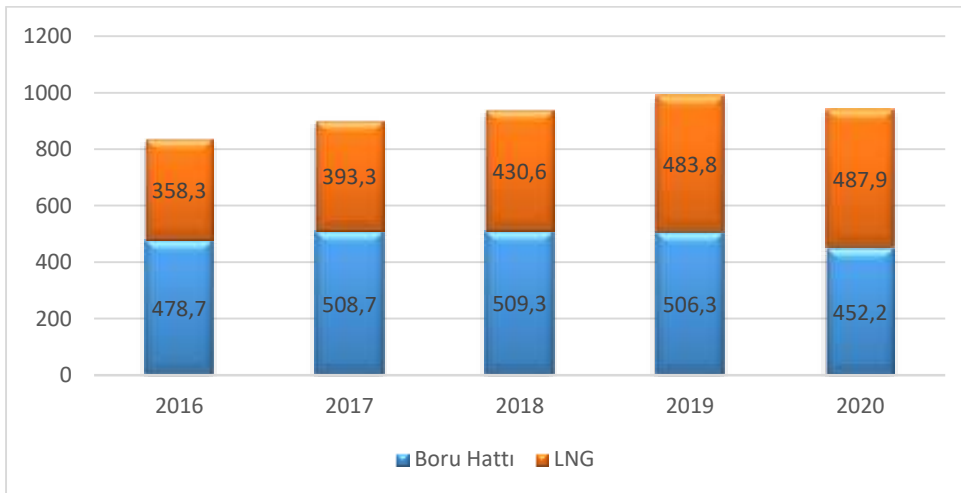
Çizelge 3.8. Küresel doğal gaz tüketiminde payı yüksek olan ülkeler (TPAO, 2020)

Ülke	Tüketim (milyar m ³)	Oran (%)
Amerika	832	21,8
Rusya	411,4	10,8
Çin	330,6	8,6
İran	233,1	6,1

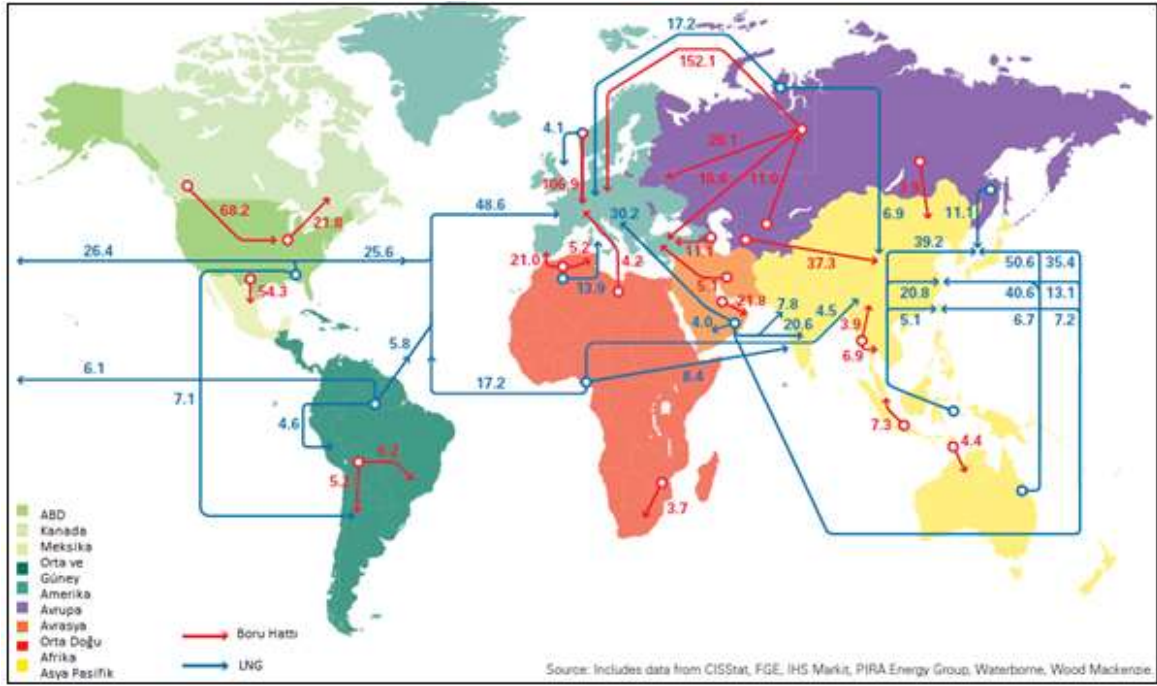
3.4.4. Ticaret

Değinilmesi gereken diğer bir husus ise dünyada gerçekleşen doğal gaz ticaretidir. Bilindiği üzere doğal gaz küresel bağlamda tüketimini arttırmış, petrol ve kömür gibi oldukça talep gören bir enerji kaynağı olmuştur. Doğal gazın hem boru hatları ile hem de tankerler ile taşınma kolaylığı rezerv zengini ülkelerden tüketimin arttığı bölgelere olan hareketliliğini arttırmıştır.

2020 yılını sonu itibarıyla küresel doğal gaz ticareti, bir önceki yıla göre %5 azalarak 940,1 milyar m³ gerçekleşmiştir. 2016 ile 2020 yılları arasında gerçekleşen doğal gaz ticaretine bakıldığında LNG ticaretinin sürekli artış eğiliminde olduğu görülmektedir. LNG ticareti 2020 yılında bir önceki yıla göre %0,8 artarak 487,9 milyar m³'e ulaşmış iken; boru hatlarıyla gerçekleşen ticaret bir önceki yıla göre %10,7 düşerek 452,2 milyar m³'e gerilemiştir.

Şekil 3.10. 2016-2020 yılları küresel doğal gaz ticareti (milyar m³) (BP, 2021)

Dünya üzerinde gerçekleşen doğal gaz ticaretine ilişkin Şekil 3.11.'de yer alan haritaya bakıldığında Orta Doğu, Afrika ve Rusya'nın doğal gaz ihracatçısı, buna karşılık Avrupa ve Asya Pasifik'in ithalatçı konumunda oldukları; LNG ile gerçekleşen ticaret rotasının boru hattı ile gerçekleşen ticaret rotasına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca Asya Pasifik ülkelerine gerçekleşen ticaretin büyük çoğunluğu LNG ile sağlanırken Orta Doğu, Rusya ve Kuzey Afrika ülkelerinin doğal gaz ticaretini boru hatları ile gerçekleştirmektedir.



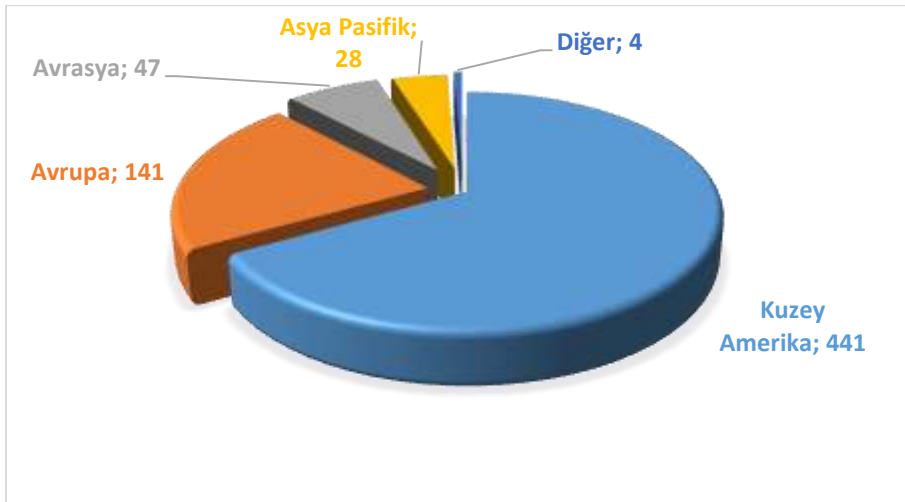
Şekil 3.11. 2020 yılı doğal gaz ticareti (milyar metreküp) (BP, 2021)

Her ne kadar pandemi sebebiyle 2020 yılında doğal gaz ticareti düşüş gösterse de, 2020 yılı hariç son beş yılda olduğu gibi gelecek beş yılda doğal gaz ticaretinin artış göstereceği tahmin edilmektedir. UEA tarafından yapılan projeksiyonlara göre 2025 yılına kadar küresel doğal gaz ticaretinde LNG'nin öne çıkacağı, LNG ticaretinin 2025 yılında, 2020 yılına kıyasla yaklaşık %20 artış göstererek 585 milyar m³'e ulaşması beklenmektedir. Bununla birlikte, LNG ithalatında en çok artış gösterecek bölgenin Hindistan ve Çin'den dolayı Asya olacağı, Kuzey Amerika'da gerçekleşen LNG ihracatının ise üç katına çıkacağı öngörülmektedir (TPAO, 2020).

3.4.5. Depolama

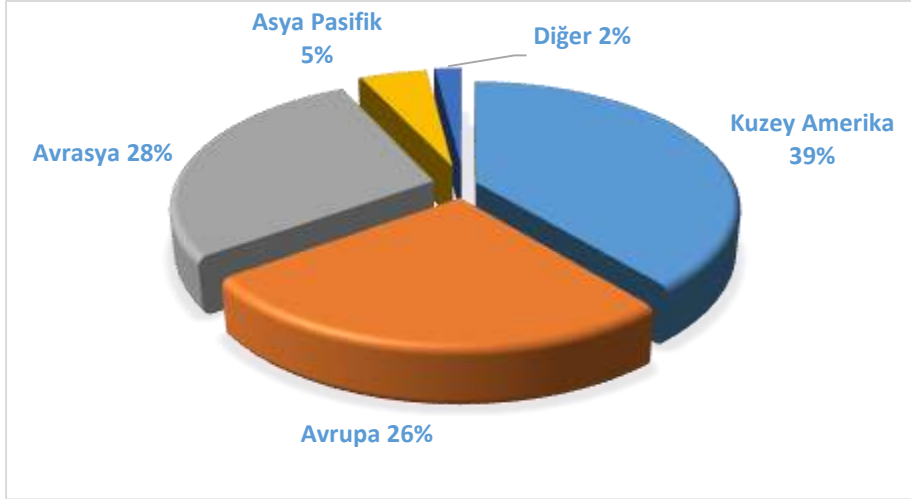
Doğal gaz arz güvenliğinin sağlanması, mevsimsel dalgalanmalardan kaynaklı etkilerin azaltılması, üretim ve şebeke operasyonlarının optimize edilmesi, fiyat değişimleri ve oynaklığının azaltılması ve sözleşme yükümlülüklerinden doğan cezai hükümlerden (al ya da öde) kaçınılması açısından doğal gaz depolama kilit rol oynamaktadır. Doğal gaz depolama yer üstünde ve yer altında doğal gaz depolama üzere genellikle iki ana grupta kategorize edilmektedir. Ekonomik sınırlamalardan ötürü yer üstünde bulunan depolarda az miktarda gaz depolandığından bu bölümde sadece küresel yeraltı doğal gaz depolama faaliyetlerinden bahsedilecektir.

2020 yılı sonu itibarıyla dünyada faaliyette olan 661 yeraltı doğal gaz depolama tesisi bulunmaktadır. Tesislerin dağılımına bakıldığında 661 tesisin yarısından fazlası Kuzey Amerika'da bulunmakta olup onu Avrupa takip etmektedir.



Şekil 3.12. Küresel doğal gaz depolama tesis sayısı

2020 yılı sonunda doğal gaz depolama (çalışma gazı) kapasitesi ise 423 milyar m³ olarak ölçülmüştür. Bahse konu kapasite bir önceki yıllla neredeyse aynı olup ve küresel gaz talebinin %11'ine eşdeğerdir.



Şekil 3.13. Çalışma gazı kapasitesinin bölgesel olarak dağılımı

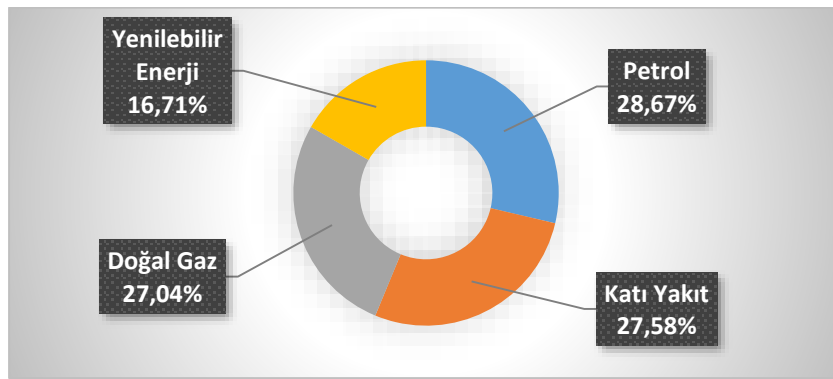
Çalışma gazı kapasitesinin bölgesel dağılımını gösteren Şekil 3.13.'e bakıldığında en çok kapasitenin %39 oranla Kuzey Amerika'da olduğu görülmektedir. Bununla birlikte; Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Ukrayna, Kanada ve Almanya dünya çapındaki kapasitelerin neredeyse %70'ini oluşturmaktadır. Küresel gaz kapasitesinin %91'i tükenmiş rezervuar ve akiferlerde gerçekleşmiştir. Ancak küresel teslimatın %26'sı tuz mağaralarından gerçekleşmiştir (CEDIGAZ, 2021).

Tükenmiş rezervuarların bu denli yüksek bir orana sahip olmasının sebebi olarak yeraltı depolama için bütün koşulların sağlanmış olması ve bu sebeple ek bir maliyet gerektirmemesi öne sürülebilmektedir. Ayrıca, bir yıl içinde birden fazla çekiş sağlanabilmesi ve çekiş hızının yüksek olması sebebiyle de kapasite oranı az olmasına rağmen teslimatın %26'sı tuz tavernalarından gerçekleşmiştir (Karatepe, 2017).

Mevcut durumda yapım aşamasında 68 depolama projesi bulunmakla birlikte Cedigaz tarafından 2021 yılında hazırlanan rapora göre Çin'in tek başına 2025 yılına kadar toplam küresel kapasite ilavelerinin yaklaşık yarısına katkıda bulunması beklenmektedir (CEDIGAZ, 2021).

4. TÜRKİYE DOĞAL GAZ PİYASASI

Türkiye gelişen ekonomisi sayesinde dünyada enerji tüketen ülkeler arasında önemli bir yere sahiptir. Ulusal Enerji Denge Tablosuna göre 2020 yılında, Türkiye'nin 147,2 milyon ton petrol eşdeğeri (tpe) birincil enerji arzı gerçekleşmiştir. Birincil enerji arzının 42,2 milyon tpe'lik kısmını petrol, 40,6 milyon tpe'lik kısmını katı yakıt, 39,8 milyon tpe'lik kısmını doğal gaz, 24,6 milyon tpe'lik kısmını ise yenilebilir enerji oluşturmaktadır (ETKB, 2021).



Şekil 4.1. 2020 yılı ulusal enerji denge tabloları

4.1. Rezerv

Türkiye hidrokarbon kaynaklar açısından değerlendirildiğinde rezerv yoksunu bir ülke konumundadır. Türkiye’de ilk doğal gaz keşfi 1971 yılında Kırklareli ilinde petrol arama çalışmaları yapılırken gerçekleşmiştir. Bu tarihten sonra ise gerek Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) gerek uluslararası şirketler tarafından doğal gaz keşifleri gerçekleşmiştir. Türkiye’nin 2020 sonu itibarıyla 3,004 milyar m³ doğal gaz rezervi bulunmaktadır (MAPEG, 2021).

Gün geçtikçe artan enerji ihtiyacının yurt içi kaynaklardan karşılanması amacıyla son yıllarda Güneydoğu Anadolu ve Trakya Bölgelerinin yanı sıra Karadeniz ve Akdeniz’deki deniz alanlarında doğal gaz arama ve sondaj faaliyetleri hız kazanmıştır.

Akdeniz Havzası’na ait jeolojik ve jeofizik veriler üzerine yapılan incelemeler neticesinde Akdeniz Havzası’nın alt havzaları olan Antalya, Finike, Rodos ve İskenderun Havzalarında dev hidrokarbon rezervlerinin bulunabileceği tespit edilmiştir. Bu bağlamda, Türkiye’nin

2020 yılı itibarıyla Doğu Akdeniz Havzasında açtığı arama kuyuları Şekil 4.2.'deki haritada gösterilmektedir. Yapılan bu sondajlarda şu ana kadar ekonomik bir hidrokarbon keşfi yapılamamıştır (Palabıyık, Özdemir ve Karataş, 2020).



Şekil 4.2. Akdeniz’de bugüne kadar delinmiş arama kuyuları (Palabıyık, Özdemir ve Karataş, 2020)

Diğer taraftan, Karadeniz’de sürdürülen hidrokarbon arama ve sondaj faaliyetleri neticesinde Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı’na ruhsatlanan Sakarya Doğal Gaz Sahasında Tuna-1 kuyusunda 320 milyar m³ doğal gaz keşfedilmiştir. Ardından 17 Ekim 2020 tarihinde ise bahse konu sahada yapılan testler ve analizler neticesinde keşfedilen rezerve 85 milyar m³ yeni rezervin eklendiği açıklanmış olup; son durumda Sakarya Doğal Gaz Sahasındaki doğal gaz rezerv miktarı 405 milyar m³ olarak kayda geçmiştir (GAZBİR, 2020). Bununla birlikte, 4 Haziran 2021 tarihinde ise Amasra-1 kuyusunda 135 milyar doğal gaz keşfedilmiş ve Karadeniz’deki toplam rezerv miktarı 540 milyar m³’e ulaşmıştır (TPAO, 2020).

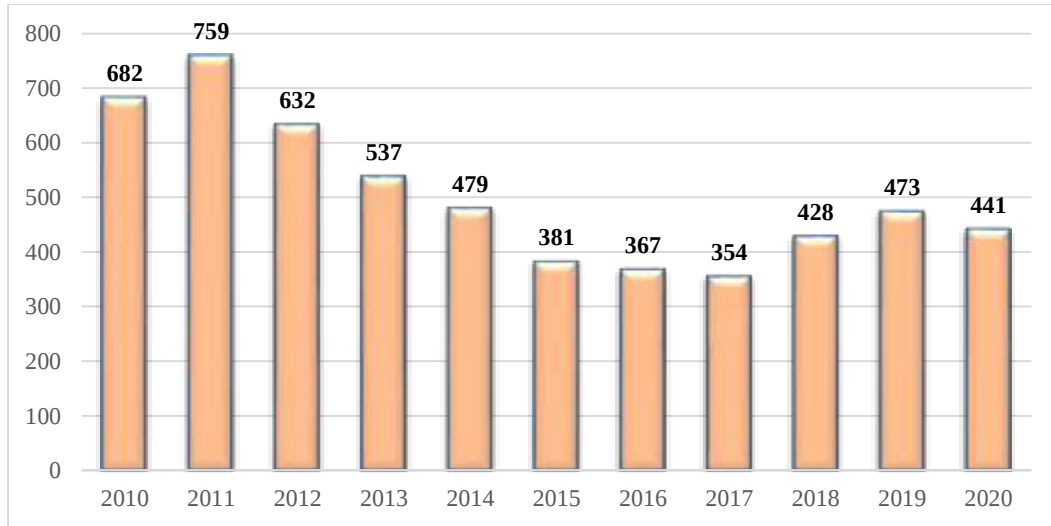
T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan açıklamada, Karadeniz’de keşfi gerçekleştirilen gazın 2023’ün ilk çeyreğinde sisteme dahil edileceği, bu rezervin tüm Türkiye’deki mesken ve konutların 30 yıl ihtiyacını karşılayacak büyüklükte olduğu ifade edilmiştir (ETKB, 2022).

2020 yılında küresel çapta keşfi gerçekleştirilen doğal gaz miktarı 3,5 trilyon m³'tür. Karadeniz'de Türkiye tarafından gerçekleştirilen keşif, 2020 yılındaki keşiflerin %12'sini oluşturmaktadır. Türkiye'nin geçmiş dönemlerine bakıldığında yıllık ortalama 45-50 milyar m³ doğal gaz tüketimi olduğu görülmekte olup bahse konu miktar dikkate alındığında, Sakarya Gaz Sahasındaki keşfi yapılan rezervin Türkiye'nin 8-9 yıllık doğal gaz ihtiyacını karşılayabileceği değerlendirilmektedir. Sahadaki yapılan çalışmaların artmasıyla birlikte, Türkiye'nin enerji faturasında yıllık 3-5 milyar ABD Doları düşüş sağlanabileceği öngörülmektedir (ETKB, 2022).

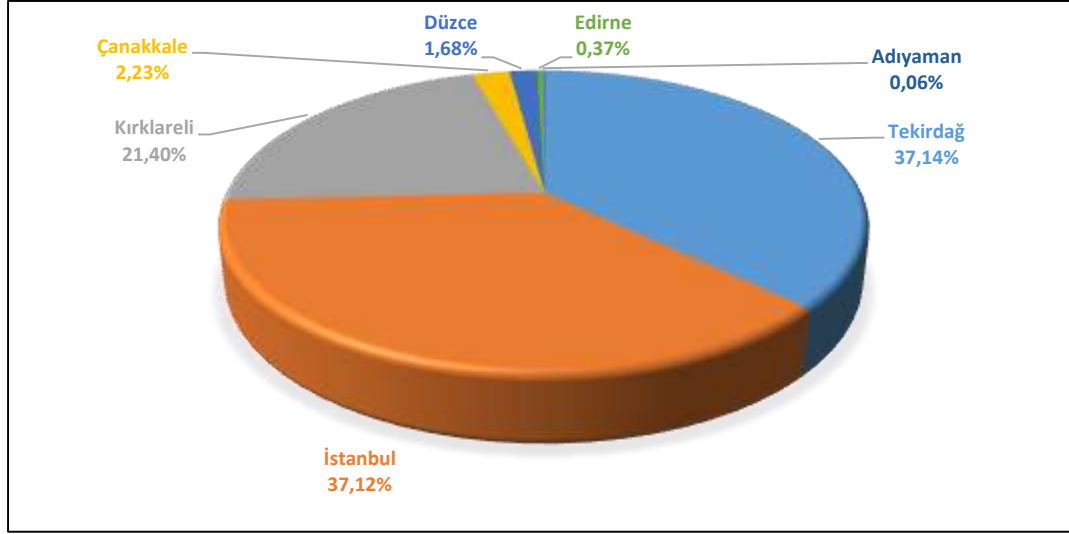
4.2. Üretim

Türkiye'de 6491 sayılı Türk Petrol Kanunu uyarınca doğal gaz arama ve üretim faaliyetleri Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) tarafından verilen arama ve işletme ruhsatları ile gerçekleştirilmektedir. 2020 yılında Türkiye'de doğal gaz üretimi 2019 yılına göre %6,88 oranında azalış göstererek 441 milyon m³ gerçekleşmiş olup 2010-2020 yılları arası doğal gaz üretim miktarları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir (EPDK, 2021).

Çizelge 4.1. 2010-2020 yılları doğal gaz üretim miktarları (milyon m³)



Gerçekleşen doğal gaz üretimine bakıldığında toplam üretiminin %37,14'lik pay ile en çok Tekirdağ ilinde yer alan sahalardan gerçekleşmiştir. Tekirdağ ilini %37,12 oran ile İstanbul ve %21,40 oran ile de Kırklareli takip etmektedir (EPDK, 2021).



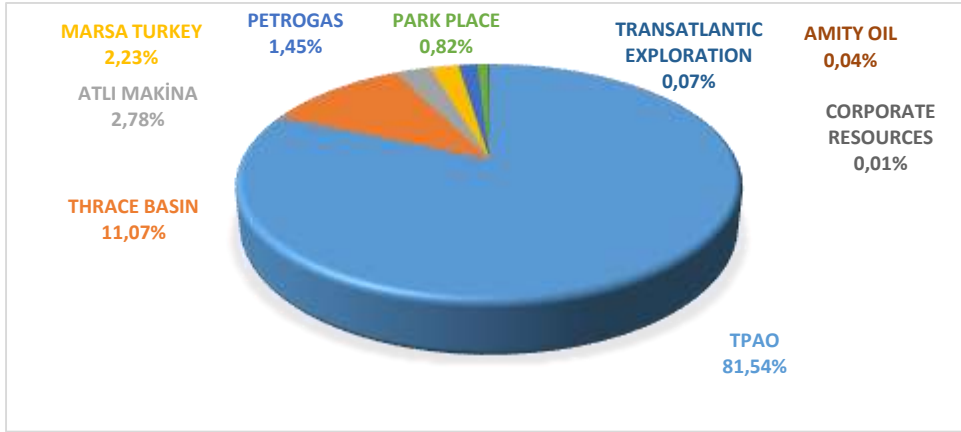
Şekil 4.3. 2020 yılı illere göre doğal gaz üretim oranları (%)

Doğal gaz üretimi yapan şirketler, üretmiş oldukları doğal gazı satabilmek için 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu uyarınca Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından verilen toptan satış lisansı veya ihracat lisansı almaları gerekmektedir (EPDK, 2021).

EPDK tarafından toptan satış lisansı almış

- Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO),
- Transatlantic Exploration Mediterranean International Pty.Ltd.,
- Park Place Energy Limited,
- Thrace Basin Natural Gas (Türkiye) Corporation,
- Petrogas Petrol Gaz ve Petrokimya Ürünleri İnşaat San. ve Tic. A.Ş.,
- Amity Oil International Pty. Limited Merkezi,
- Corporate Resources B.V. Limited Şirketi,
- Marsa Turkey B.V.,
- Atlı Makina İnşaat Nakliyat Madencilik Turizm Doğal Enerji Kaynakları Üretim Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi

tarafından 2020 yılında üretilen doğal gaz satışa konu edilmiştir (EPDK, 2021). Bu firmaların üretimdeki payları Şekil 4.4.'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere 2020 yılında üretilen miktarın büyük bir kısmı TPAO, Thrace Basin, Atlı Makina ve Marsa Turkey şirketleri tarafından gerçekleştirilmiştir.

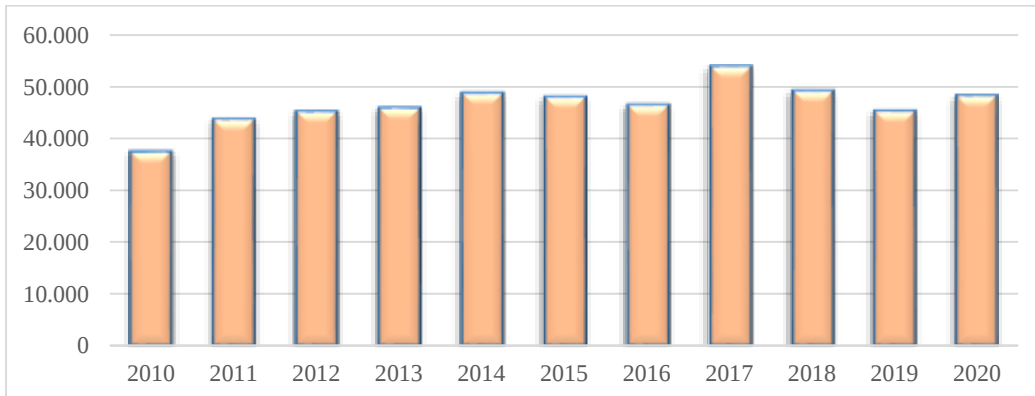


Şekil 4.4. 2020 yılı şirketlerin üretim payları (%)

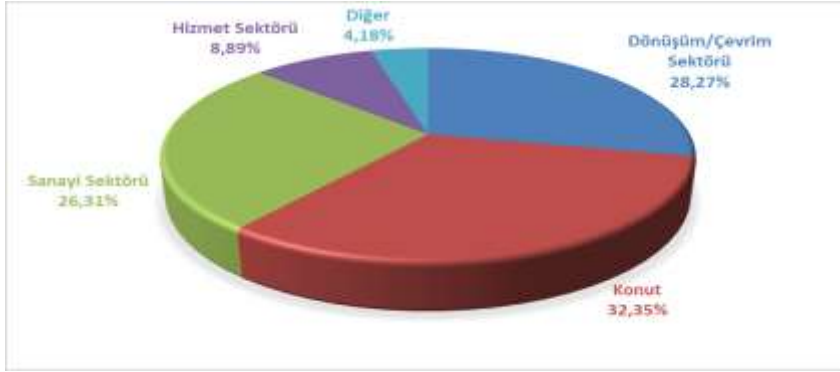
4.3. Tüketim

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından her yıl doğal gaz tüketim tahminleri yapılmaktadır. 2020 yılı için tüketim 23.01.2020 tarih ve 9143 sayılı Kurul Kararı ile 52 019 230 516 m³ olarak tahmin edilmiştir. 2020 yılında gerçekleşen doğal gaz tüketim miktarı %7,79 sapma ile 48 261 352 140 m³ olarak kayda geçmiştir. Doğal gaz tüketim miktarlarının yıllara göre değişiminin yer aldığı Çizelge 4.2'ye bakıldığında Türkiye doğal gaz tüketimi 2017 yılında 53,9 milyar m³ ile tarihinin en yüksek seviyesini görmüş ve daha sonraki dönemlerde bu seviyeyi bir daha yakalayamamıştır. 2017 yılına göre 2018 yılında %8,6, 2019 yılında ise %8 oranında doğal gaz tüketiminde bir gerileme gözlenmiştir. 2020 yılında ise Covid-19 pandemisine rağmen %6,6 seviyesinde artış ile yaklaşık 48,3 milyar m³ doğal gaz tüketimi gerçekleşmiştir. 2020 yılında, dönüşüm/çevrim sektörleri, pandemiden kaynaklı evden çalışma uygulamaları ve artan abone sayısı sebebiyle söz konusu dönemde doğal gaz tüketiminin artış gösterdiği değerlendirilmektedir (TSKB, 2021).

Çizelge 4.2. Yıllara göre Türkiye doğal gaz tüketimi (milyon m³)



2020 yılı Türkiye piyasalarında doğal gaz tüketiminde Şekil 4.5.'den görüleceği üzere, ilk sırayı %32,35 oran ile konut almıştır. Konutu, %28,27 oran ile sanayi sektörü, %26,31 oranla dönüşüm/çevrim sektörü, %8,89 oranla da hizmet sektörü takip etmiştir (EPDK, 2021).



Şekil 4.5. 2020 yılı doğal gaz sektörel tüketim dağılımı (%)



Şekil 4.6. 2011 - 2020 yılları Türkiye'nin doğal gaz arzı ve yurt içi üretim oranları (TPAO, 2020)

Doğal gaz Türkiye için enerji tüketiminde oldukça yüksek paya sahiptir. Türkiye'de her geçen gün doğal gaza olan talep artmakta, ancak yurt içi rezerv ve üretim miktarları bu talebi karşılamak için yeterli olmamaktadır. Şekil 4.6.'dan da görüleceği üzere Türkiye, doğal gazda önemli ölçüde ithalata bağımlı bir ülkedir. Türkiye'nin 2020 yılında ulusal doğal gaz tüketim miktarı 48,26 milyar m³ olup toplam doğal gaz arzının %0,91'i Türkiye'de üretilen doğal gaz ile geri kalan %99,09'luk kısmı ise yurt dışından ithalat lisansı sahibi şirketler tarafından değişik kaynaklardan gerçekleştirilen ithalat ile karşılanmıştır.

4.4. Ticaret

Türkiye’de gerçekleşen doğal gaz ticareti aşağıda yer alan ithalat ve ihracat başlıklı iki ana bölümde incelenmiştir.

4.4.1. İthalat

Türkiye hidrokarbon kaynakları bakımından oldukça zengin bir alanda yer almasına karşın rezerv miktarı oldukça düşük bir ülkedir. Rezerv miktarının düşük olması sebebiyle Türkiye’de gerçekleşen üretim, toplam tüketimin çok az bir kısmını karşılamaktadır. Yurt içi rezerv ile üretim miktarının düşük olması ve buna karşılık tüketimin fazla olması sebebiyle Türkiye’de doğal gazın ithalatı zorunlu hale gelmiştir. Türkiye’de ithalat hem spot piyasalardan hem de uzun dönemli anlaşmalar ile boru hatları ve sıvılaştırılmış doğal gaz olarak diğer ülkelerden gerçekleştirilmektedir.

Uzun dönemli anlaşmalar kapsamında Türkiye 2020 yılı sonu itibarıyla boru hatlarıyla Azerbaycan, İran ve Rusya’dan ithalat gerçekleştirirken; LNG ithalatını ise Cezayir ve Nijerya’dan gerçekleştirmektedir. Uzun dönemli ithalat anlaşmaları Çizelge 4.3.’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Türkiye'nin gaz ithalatı anlaşmaları (PETFORM, 2021)

Anlaşma	İmza Tarihi	İşletim Tarihi	Süre (Yıl)	Miktar (milyar m ³ /yıl)	Bitiş Tarihi
Nijerya (LNG)	1995	1999	22	1,2	2021
Cezayir (LNG)	1988	1994	30	4	2024
Rusya (Balkan Rotası)	1998	1998	23	8	2021
Rusya (Balkan Rotası)	1998	1998	23	4	2021
Azerbaycan	2001	2007	15	6,6	2021
Rusya (Mavi Akım)	1997	2003	22	16	2025
İran	1996	2001	25	10	2026
Rusya (Balkan Rotası)	2013	2013	23	1	2036
Rusya (Balkan Rotası)	2013	2013	30	5	2043

Türkiye'nin doğal gaz kontratlarının yaklaşık 20 bcm'lik bölümü 2021 yılı içerisinde sona ermiştir. Söz konusu bu kontratların yanı sıra 2024 yılında 4,4 bcm'lik Cezayir LNG kontratı, 2025 yılında ise 16 bcm'lik Mavi Akım kontratı sona erecektir (TSKB, 2021).

Azerbaycan ile BOTAS arasında gerçekleştirilen 6,6 milyar m³/yıl ithalat kapasiteli 15 yıllık doğal gaz alım kontratı 2021 yılında sona ermesinin ardından yapılan görüşmeler neticesinde 2021 yılının Ekim ayında Bakü-Tiflis-Erzurum Hattından gelecek toplam 11 milyar m³ ilave doğal gaz ticaret anlaşması imzalanmıştır. 2024 yılı sonuna kadar sürecektir olan bu anlaşma ile, doğal gaz ithalat miktarının 2022 yılında yaklaşık 2,5 milyar m³/yıl; 2023 yılında ise 3,5 milyar m³/yıl seviyesine yükseltilmesi planlanmaktadır (Danış, 2022).

Diğer taraftan, Rusya ile biten kontratlar karşılığında ise, Gazprom Export ile BOTAS arasında dört yıllık yeni bir doğalgaz tedarik sözleşmesi imzalanmıştır. Bu sözleşmeye göre BOTAS'a Türk Akımı üzerinde yıllık 5,75 milyar m³ doğal gaz sağlanacaktır (Bloomberg, 2022).

Boru hattı ile uzun dönemli ithalatın yanı sıra, 27/03/2018 tarih ve 30373 sayılı resmî gazete yayımlanarak yürürlüğe giren kanun ile 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu uyarınca LNG'nin yanı sıra spot boru gazı ithalatının gerçekleştirilmesine imkân tanınmıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumundan alınacak tek bir spot ithalat lisansı ile spot sıvılaştırılmış doğal gaz, spot boru gazı ve sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ithalat faaliyetinde bulunulmasına imkan sağlanmıştır. Türkiye'de 2019 ile 2020 yıllarında gerçekleşen ithalat verileri Çizelge 4.4'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. 2010-2020 yılları doğal gaz ithalat miktarları (milyon m³) (EPDK, 2021)

Ülke	Rusya		İran		Azerbaycan		Cezayir		Nijerya		Diğer**		Toplam	
Yıllar	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)
2019	15 196	33,6	7 736	17,1	9 585	21,2	5 678	12,5	1 756	3,9	5 260	11,6	45 211	-10,1
2020	16 166	33,5	5 321	11,0	11 548	24,0	5 573	11,5	1 358	2,8	8 159	16,9	48 126	6,45

** 2020 yılına kadar Spot LNG ithalatının yapıldığı ülkeleri, 2020 yılında spot LNG/boru gazı ithalatının yapıldığı ülkeleri temsil etmektedir.

2020 yılında toplam 48,1 milyar m³ doğal gaz ithal edilmiştir. Bu ithalatın %68,65’lik kısmı boru hatlarıyla, %14,4’lük kısmı ise LNG olmak üzere toplamda %83,05’lik kısmı uzun dönemli anlaşmalar kapsamında gerçekleşmiştir. Ulusal ithalatın %16,95’lik kısmı ise spot olarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.5.’e bakıldığında spot boru gazı ithalatına imkan verilmesi sayesinde spot piyasadan elde edilen gazın oranı 2019 yılına göre artış göstermiştir. Yine tabloya bakıldığında en fazla ithalatın sırasıyla Rusya, Azerbaycan, Cezayir, İran ve Nijerya’dan gerçekleştirildiği görülmektedir (EPDK, 2021).

Çizelge 4.5. İthalat oranları

%	Uzun Dönemli	Spot	TOPLAM
Boru Hattı	68,65	0,02	68,67
LNG	14,4	16,93	31,33
TOPLAM	83,05	16,95	100

2020 yılında ilk defa gerçekleştirilen spot boru gazı ithalatı Malkoçlar Giriş Noktası’ndan yapılmış olup toplam spot ithalat içerisinde spot boru gazı oranı 0,02 olmuştur. Spot LNG ithalatı ise toplam doğal gaz ithalatı içerisinde %16,93’lük bir paya sahiptir. İthalat verilerine ilişkin detaylar Çizelge 4.5.’de verilmektedir. 2019 ve 2020 yıllarında ithalat gerçekleştiren firmaların toplam ithalattaki paylarına bakıldığında; 2019 yılında payı %96,42 olan BOTAŞ’ın payı 2020 yılında %90,84’e gerilemiş olup; 2019 yılında payı %0,41 olan Bosphorus Gaz Corporation Anonim Şirketi’nin payı ise 2020 yılında %4,76 olarak gerçekleşmiştir (EPDK, 2021).

Çizelge 4.6. 2019-2020 yılları şirketler bazında doğal gaz ithalatı (milyon sm³)

Şirket Unvanı	2019		2020	
	Toplam Miktar	Yüzde (%)	Toplam Miktar	Yüzde (%)
Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi	43 591,89	96,42	43 717,45	90,84
Bosphorus Gaz Corporation Anonim Şirketi	185,84	0,41	2 289,38	4,76
Akfel Gaz Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi	1 066,95	2,36	1 411,62	2,93
Ege Gaz Anonim Şirketi	294,04	0,65	265,78	0,55
Diğer	72,75	0,16	441,28	0,92
Genel Toplam	45 211,47	100	48 125,51	100

2020 yılı sonu itibarıyla 51 adet spot ithalat lisansı sahibi şirket bulunmakta ve bunlardan Bosphorus Gaz Corporation Anonim Şirketi ve Engie Enerji Ticaret ve Pazarlama Anonim Şirketi spot boru gazı ithalatı, BOTAŞ ve EGEGAZ ise spot LNG ithalatı gerçekleştirmiştir (EPDK, 2021).

Uzun dönemli ve spot piyasadan alınan LNG'nin depolanması, gazlaştırılması ve iletim hattına gönderilmesi için Türkiye'de faaliyette olan dört adet LNG terminali bulunmaktadır. Bunlar; 1994 yılında işletmeye alınan Marmara Ereğlisi LNG Terminali, 2006 yılında kullanılmaya başlanan Ege Gaz A.Ş. LNG Terminali, 2016 yılında faaliyete geçen Türkiye'nin ilk FSRU terminali olan Etki Liman İşletmeleri Doğal Gaz İthalat ve Ticaret A.Ş.'ye ait Yüzen LNG Terminali (FSRU) ve 2017 yılında lisans verilen Hatay Dörtyol LNG (FSRU) tesisidir (EPDK, 2021).

Bununla birlikte, mevcut durumda 6 adet doğal gaz ithalat boru hattı bulunmaktadır. Bu boru hatları;

- Rusya – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (Batı Hattı),
- Mavi Akım Gaz Boru Hattı,
- Doğu Anadolu Doğal Gaz Ana İletim Hattı (İran – Türkiye),
- Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı,
- Trans-Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesi,
- Türk Akım Gaz Boru Hattı Projesi'dir.



Şekil 4.7. Türkiye doğal gaz boru hatları (ETKB, 2021)

Söz konusu boru hatlarının uzunlukları toplamı 18.592 km olup aşağıdaki haritada 2020 yılında gerçekleşen günlük doğal gaz giriş kapasiteleri görülmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere bu boru hatlarına ilave olarak iki adet LNG yeniden gazlaştırma terminali, iki adet yüzer depolama yeniden gazlaştırma birimi (FSRU) ile Silivri ve Tuz Gölü yer altı depolama tesisi bulunmaktadır. Bu yatırımlar sonucunda 2020 yılında günlük doğal gaz giriş kapasite miktarları Şekil 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. 2020 yılı doğal gaz giriş kapasiteleri (BOTAŞ, 2020)

	Gerçekleşen	Hedeflenen
Rusya-Türk Akım	47,3 milyon m ³ /gün	
BOTAŞ Marmara LNG Terminali	37 milyon m ³ /gün	
Ege Gaz LNG Terminali	40 milyon m ³ /gün	
Etki Liman FSRU	28 milyon m ³ /gün	
TANAP	17,3 milyon m ³ /gün	80 milyon m ³ /gün
Tuz Gölü Yer Altı Doğal Gaz Depolama	20 milyon m ³ /gün	
BOTAŞ Dört Yol FSRU	28 milyon m ³ /gün	
Azerbaycan	19,1 milyon m ³ /gün	
İran	28,5 milyon m ³ /gün	
Silivri Yer Altı Doğal Gaz Depolama	25 milyon m ³ /gün	75 milyon m ³ /gün
BOTAŞ Saros FSRU		29 milyon m ³ /gün

Bununla birlikte, 2020 yılında ulusal şebekeye giriş noktalarından girişi sağlanan gaz miktarı karşılaştırılmalı olarak Çizelge 4.7.'de verilmektedir. Buna göre Rusya Federasyonundan ithal edilen doğal gazın giriş yaptığı noktalar, %33,42'lik payla ilk sırada yer almakla birlikte, 2019 yılına göre düşüş göstermiştir.

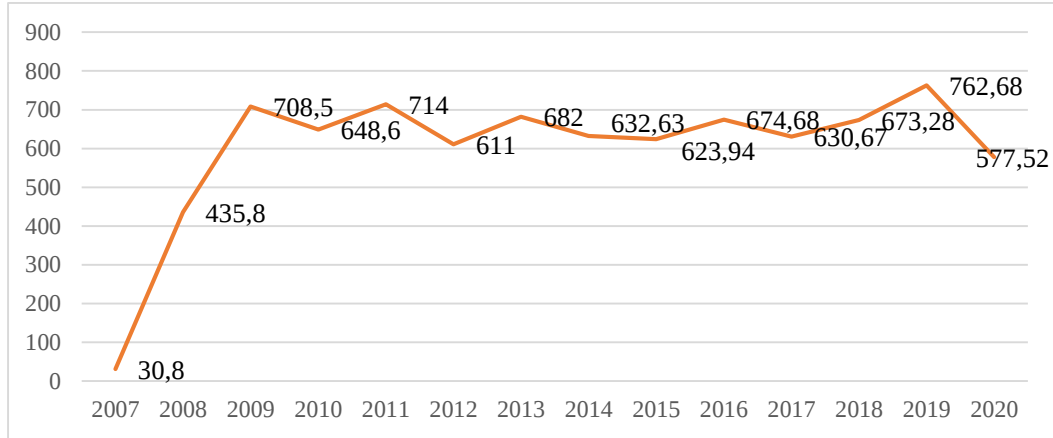
Çizelge 4.8. 2020 şebekeye giriş noktalarına göre ithalat miktarları (EPDK, 2021)

Giriş Noktası	İthal Edilen Gaz Miktarı (milyon sm ³)	Yüzde (%)
Durusu Giriş Noktası	8 601,37	17,87
Kıyıköy Giriş Noktası	7 487,53	15,56
Türkgözü Giriş Noktası	6 636,02	13,79
Marmara Ereğlisi Lng Terminali	6 582,62	13,68
Gürbulak Giriş Noktası	5 321,03	11,06
Tanap Seyitgazi/Trakya	4 911,97	10,21
Egegaz Aliğa Lng Terminali	4 179,28	8,68
Etki Lng Terminali	3 007,77	6,25
Dörtyol Fsr Terminali	1 308,68	2,72
Malkoçlar Giriş Noktası	89,25	0,19
Genel Toplam	48 125,51	100,00

Çok az miktarda doğal gaz üretimi olmasına rağmen, Türkiye büyük miktarda gaz kapasitesine, ithalatta kaynak çeşitliliğine ve zengin doğal gaz iletim altyapısına sahiptir. Bunlara ek olarak, bulunduğu stratejik konumu ve 2018 yılında gaz piyasasının şeffaflığı için kurulmuş olan platforma sahip olması Türkiye’yi bölgesel bir doğal gaz ticaret merkezi olma konusunda oldukça avantajlı konuma getirmiştir (Topuz, 2019). Bununla birlikte, Rusya, Azerbaycan, İran ve Irak’ın enerji kaynaklarının yanında, Doğu Akdeniz’deki gazın transferini üstlenmesi halinde Türkiye, kaynak çeşitliliğini arttırarak bölgesinde bir Doğal Gaz Ticaret Merkezi olma yönündeki amacına bir adım daha yaklaşacaktır.

4.4.2. İhracat

2020 yılında Türkiye’de doğal gaz ihracatı BOTAŞ tarafından Yunanistan’a 577,49 milyon m³; Aygaz Doğal Gaz Toptan Satış Anonim Şirketi tarafından Bulgaristan’a 0,03 milyon m³ sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) ihraç edilmiştir. 2020 yılında gerçekleşen ihracat 2019 yılına kıyasla %24,28 oranında azalmış olup 2007 ile 2020 yılları arasında gerçekleşen ihracat miktarlarına ilişkin grafik Şekil 4.9.’da gösterilmiştir (EPDK, 2021).



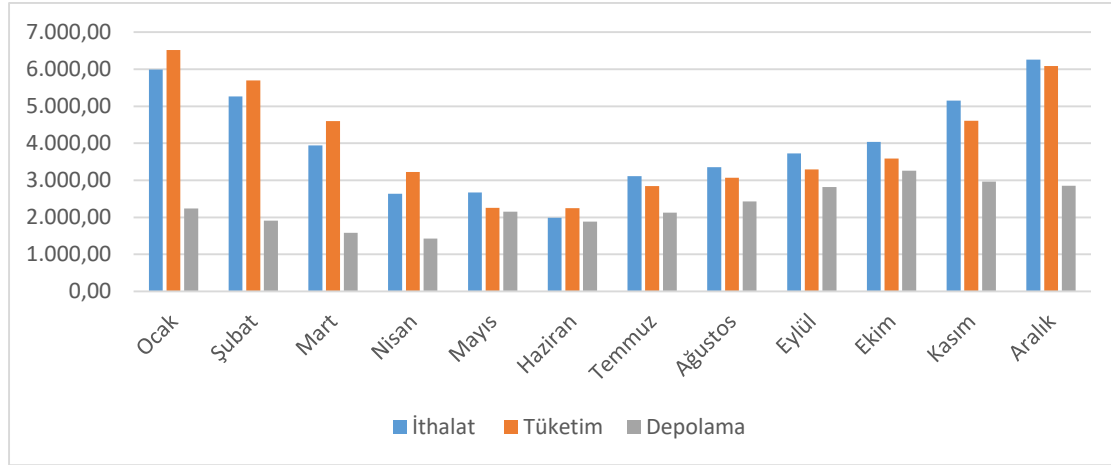
Şekil 4.8. Türkiye’de 2007 ile 2020 yılları arasında gerçekleşen ihracat miktarları

4.5. Depolama

Türkiye, doğal gaz ithalatı kapsamında gerçekleştirilen anlaşmalarda sorunlar yaşanmaması ve mevsimsel olarak artan taleplerin karşısında arz güvenliğinin sağlanması amacıyla doğal gaz depolama faaliyetlerini yürütmektedir. Son dönemlerde doğal gaz depolama sektöründe gerçekleştirilen yatırımlar sayesinde depolama kapasitelerinde büyük artışlar yaşanmaktadır. 2020 yılı sonu itibarıyla yeraltı depolama kapasitesi 3,691 milyar m³, LNG depolama kapasitesi ise 0,964 milyon m³ olarak gerçekleşmiştir (EPDK, 2021).

Bununla birlikte, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan açıklamada, Tuz Gölü ve Silivri yer altı doğal gaz depolama tesislerinde gerçekleştirilen kapasite artırma çalışmalarının tamamlanması ile birlikte 2023 yılında bahse konu tesislerin toplam kapasitesinin 10 milyar m³ ulaşacağı ifade edilmiştir (ETKB, 2022).

2020 yılı itibarıyla tüketim, ithalat ve depo stok miktarlarının birlikte değerlendirilmesi Şekil 4.10.’da verilmektedir. Tabloya bakıldığında 2020 yılı Mayıs, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ulusal doğal gaz tüketimi o aylarda gerçekleştirilen doğal gaz ithalatı ile karşılanabilmiş iken, 2020 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Haziran aylarında tüketim hem ithal edilen gaz ile hem de depolama faaliyetleri kapsamında stoklanan gazdan karşılanmıştır.



Şekil 4.9. 2020 yılı ithalat – tüketim - stok miktarları karşılaştırması (milyon sm³) (EPDK, 2021)

2020 yılı sonu itibarıyla yeraltı depolama ve LNG terminallerinde doğal gaz stok miktarları Çizelge 4.8.'de gösterilmekte olup 2020 yılında yeraltında depolanan doğal gaz miktarı düşüş gösterirken LNG ile depolanan doğal gaz miktarı artış göstermiştir.

Çizelge 4.9. Yıl sonu stok miktarları (milyon sm³) (EPDK, 2021)

Depolama Miktarı	2019		2020	
	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)
Yeraltı Depolama	2 756,73	89,06	2 448,05	85,84
LNG Terminali	338,71	10,94	403,95	14,16
Genel Toplam	3 095,44	100	2 852,00	100

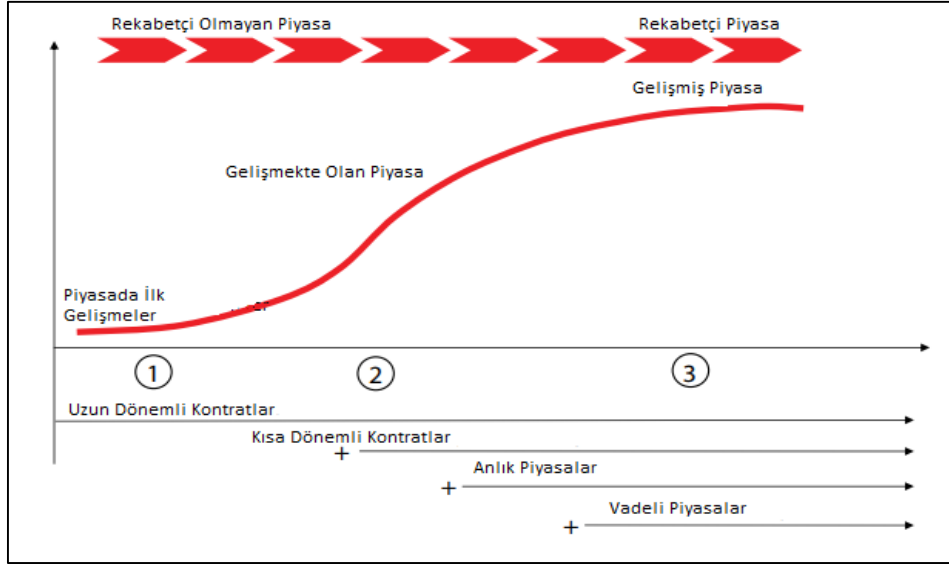
5. DOĞAL GAZ PİYASALARI

5.1. Doğal Gaz Piyasasının Tarihçesi

Doğal gaz piyasalarında ticaret petrol piyasalarında olduğu gibi uzun bir tarihçeye sahip değildir. Amerika Birleşik Devletleri'nde boru hatlarının yaygınlaşmaya başladığı 20'nci yüzyılın başlarında doğal gaz piyasasının ve ticaretinin temelleri atılmıştır. Bu bağlamda, ABD'nin doğal gaz piyasasının gelişmesinde öncülük ettiği söylenebilmektedir (Yardımcı, 2010).

ABD Doğal Gaz Kanunu'nda 1938 yılında yapılan bir değişiklikle Federal Enerji Düzenleme Komisyonu (Federal Energy Regulatory Commission, FERC) kurulmuştur. Bahse konu komisyon, doğal gazın satışı ve taşınması ile ilgili yürütülecek faaliyetlerin düzenleme yetkisini almıştır. Bu yıllarda dünya enerji tüketimi içerisinde dünya doğal gaz tüketiminin payı %1-2 seviyelerindedir (Prodipto, Chopra ve Bhand, 2006).

1970'li yıllardaki petrol krizine kadar olan süreçte doğal gaz üretimi, tüketimi ve boru hatlarıyla ticareti ağırlıklı olarak ABD tarafından gerçekleştirilmiştir. Petrol krizinden sonra doğal gaza olan talep içten içe artmış ve 1987 yılına kadar ABD'nin toplam tüketimdeki payı hızlı bir şekilde düşüş gerçekleştirmiştir. Diğer taraftan, doğal gaz piyasasının bugünkü temelini oluşturan en önemli gelişmelerden biri 1985 yılında gerçekleşmiştir. FERC 1985 yılında almış olduğu karar ile doğal gaz boru hatlarına üçüncü tarafların erişimine izin vermiştir. Piyasaya daha fazla oyuncunun girmesiyle birlikte rekabet artmış ve böylece ABD sınırları içerisinde doğal gaz ticareti yaygınlaşmıştır. İlerleyen süreçte ise doğal gaz, fiziki olarak teslimatı yapılan bir ürün olmanın yanında finansal bir emtia haline gelmiştir (Yardımcı, 2010).



Şekil 5.1. Doğal gaz piyasalarının gelişimi (Energy Charter Secretariat, 2007)

Doğal gaz piyasalarının ilk ortaya çıkışından olgun bir piyasa oluşana dek zaman içerisindeki gelişimi Şekil 5.1.'de gösterilmektedir. Doğal gaz piyasalarında ticaret ilk zamanlarında uzun dönemli kontratlar vasıtasıyla gerçekleştirilmekte; fiyatlandırma ise, üretim maliyetlerine kar oranlarının eklenmesiyle yapılmaktadır. İlerleyen süreçte piyasanın gelişmesiyle birlikte doğal gaz fiyatları alternatif yakıt fiyatlarına endeksli olarak değişmekte olup; doğal gaz ticareti uzun dönemli kontratların yanı sıra kısa vadeli kontratlar, anlık ve forward anlaşmalar ile gerçekleşmektedir. Piyasa geliştikçe ise doğal gaz vadeli alım ve satım sözleşmeleriyle işlem görmeye başlamakta ve böylece finansal ticaretin yaygın olarak gözlemlendiği rekabetçi bir piyasa oluşması beklenmektedir.

Doğal gaz piyasalarının gelişimi her bölgede aynı şekilde ilerleme imkânı bulamamıştır. Örnek vermek gerekirse İngiltere, Almanya ve ABD'de doğal gaz piyasaları olgunluğa ulaşmış iken henüz olgunluğa ulaşmamış halen uzun dönemli kontratlar ile doğal gaz ticaretinin yapıldığı ülkeler bulunmaktadır (Sevinç, 2018).

5.2. Bölgesel Doğal Gaz Piyasalarının Oluşumu

Doğal gaz sahip olduğu fiziksel özelliklerinden kaynaklı olarak petrol gibi uluslararası bir pazar yapısına sahip değildir. Doğal gazın bir yerden başka bir yere taşınmasının maliyetli bir unsur olması, rekabet şartlarının eksik olması ve bölgede ticaretin serbest olarak yapılmasını engelleyen unsurlar olması sebebiyle doğal gazda tek fiyat uygulaması

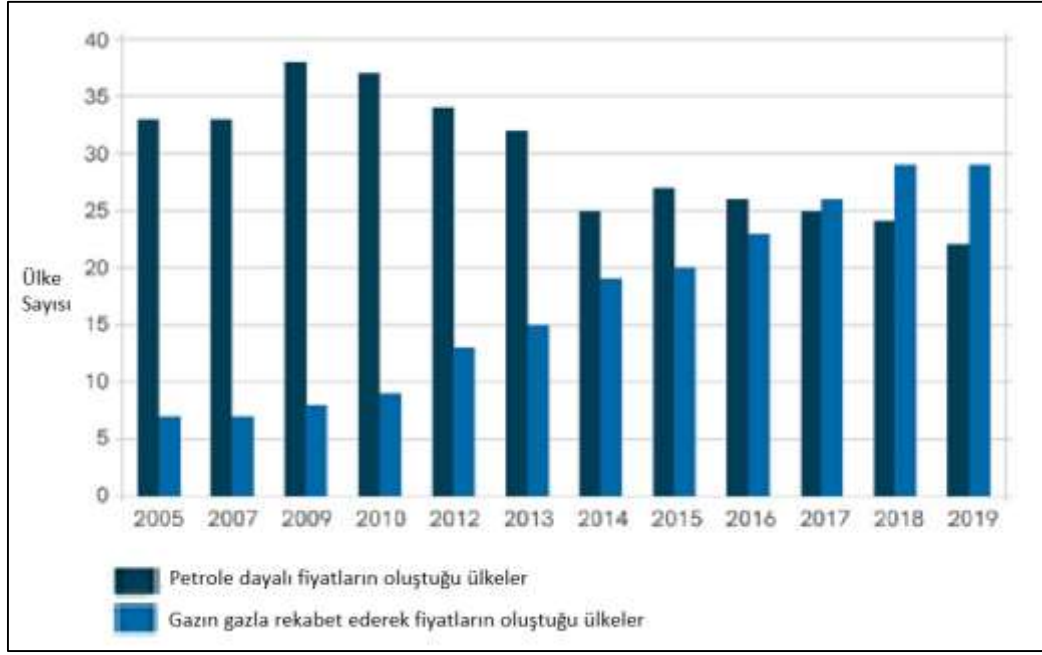
yapılamamakta ve fiyatlar farklı bölgelerde oluşan piyasalarda belirlenmektedir. Her bölge farklı karakteristik özelliklere sahip olduğundan bu bölgelerde oluşan piyasalar kendi içerisinde farklı gelişmeler göstermiştir. Bu doğrultuda petrolde olduğu gibi uluslararası bir piyasa oluşana kadar mevcut durumda doğal gaz fiyatlarının oluşumunda büyük etkiye sahip 3 farklı bölgesel piyasadan bahsetmek mümkündür. Bu piyasalar;

- Kuzey Amerika gaz piyasası,
- Avrupa gaz piyasası,
- Asya gaz piyasasıdır.

Bahse konu bölgesel doğal gaz piyasalarında fiyatlar genel olarak petrol fiyatlarına ve gazın gaz ile rekabeti sonucunda spot piyasalarda oluşan fiyatlara endeksli olarak belirlenmektedir.

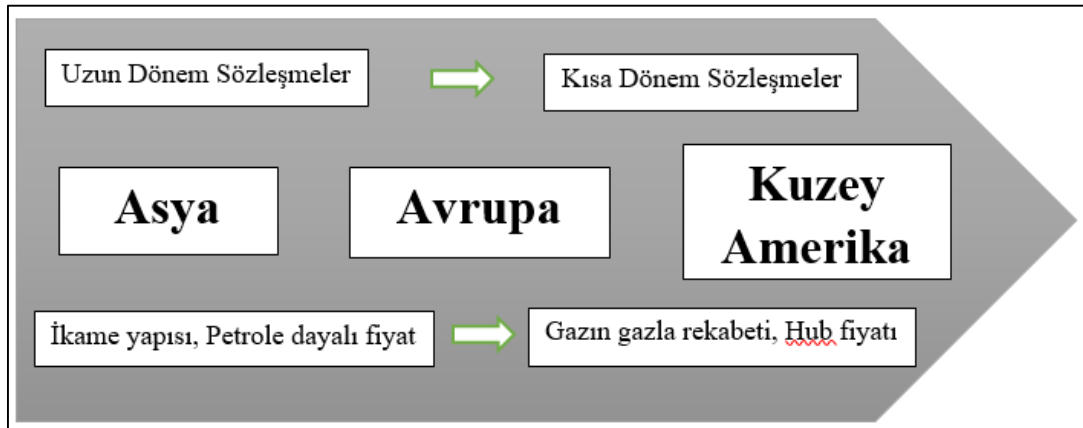
Petrol endeksli fiyatlar doğal gaz piyasasında genel olarak “oil-indexed” veya “oil price indexed” olarak kullanılmakta olup 1960’lı yıllarda Hollanda’da uygulanmaya başlamıştır. Satış noktasındaki değerden kar marjı ve nakliye için katlanılan maliyetlerin çıkarılmasıyla hesaplanan netback değerine dayanmaktadır. Petrol endeksli fiyatlar, dünya çapında onlarca yıldır kullanılan köklü bir fiyatlandırma metodolojisidir. Merkeze dayalı fiyatlandırma ise “hub-indexed” veya “gas on gas – gazın gazla rekabeti” olarak ifade edilmektedir. Ticaret merkezi fiyatlarına endeksli fiyatlandırmayı tamamen gaz talebi ve arzı arasındaki etkileşime dayalı olarak doğal gazın rekabetçi bir şekilde fiyatlandırıldığı çerçeveyi temsil eden fiyatlandırma olarak tanımlamak mümkündür. Bahse konu bu fiyatlama ABD’de başarıyla uygulanmıştır (Merdan, 2018).

Yıllar boyunca, gaz endüstrisinde dünyanın çoğu yerinde genellikle 20 ila 25 yıl olan petrole endeksli uzun vadeli sözleşmeler kullanmıştır. Ancak petrole dayalı fiyatlama giderek ekonomik çekiciliğini kaybetmektedir. Uluslararası Gaz Birliği (IGU) 2020 yılında yapmış olduğu toptan satış fiyatları anketi yoluyla elde ettiği verileri raporlamaktadır (Erdem, 2021). Bu verilerden yola çıkılarak fiyat oluşum türlerine göre ülke sayılarının olduğu Şekil 5.2.’deki grafik hazırlanmıştır. Bahse konu grafikten görüleceği üzere 2005 yılından 2019 yılına kadarki süreçte bir fiyatlandırma mekanizması olarak petrole dayalı fiyatlama uzaklaşmış ve bunun yerine gazın gaz ile rekabeti sonucu oluşan fiyatlamanın benimsendiği açıkça görülmektedir.



Şekil 5.2. Fiyat oluşumuna göre ülke sayısı (Till ve McHich, 2020)

Bununla birlikte, bahse konu anket sonuçları neticesinde 2019 yılı kıtalararası fiyat yapılarına bakıldığında Kuzey Amerika’da %100 oranında gazın gaz ile rekabetinin olduğu piyasa; Avrupa’da %75 oranında gazın gaz ile rekabet ettiği, %25 oranında petrole dayalı fiyatlamanın olduğu piyasa; Asya’da ise %24 oranında gazın gaz ile rekabetinin olduğu, %76 oranında ise petrole dayalı fiyatlamanın olduğu piyasaların hâkim olduğu gözlemlenmektedir (Erdem, 2021). Bu piyasaların genel yapısını özetleyen tablo Şekil 5.3.’de gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Dünyada gerçekleşen doğal gaz ticareti

5.3. Bölgesel Doğal Gaz Pazarları

5.3.1. Kuzey Amerika gaz piyasası

Kuzey Amerika hem doğal gaz üretiminin hem de tüketiminin fazla olduğu bir bölge olarak karşımıza çıkmaktadır. Kuzey Amerika’da fiyatlar gazın gaz ile rekabet ettiği ortamlarda oluşmaktadır. Bu manada, doğal gazın fiyatı arz ve talep arasındaki ilişki sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu bölgede oluşan fiyatlar uzun vadeli kontratlar ile fiyatların sabitlendiği diğer bölgelere göre daha değişken bir grafik çizmektedir. Örnek vermek gerekirse kış aylarında doğal gaza olan talebin artması sebebiyle doğal gaz fiyatlarında artış gözlemlenmektedir (Aydın, 2019).

ABD, fiyatların belirlenmesi için serbest piyasaların en çok geliştiği ülke olarak karşımıza çıkmaktadır. Mevcut durumda 50’yi aşkın doğal gaz hub’ını bünyesinde bulunduran ABD sayesinde Kuzey Amerika piyasasının likiditesi gün geçtikçe artış göstermektedir (Balioğlu, 2012). Şekil 5.4.’de ABD’de bulunan bazı Hub’lardaki anlık doğal gaz fiyatlarının ortalaması gösterilmektedir. Şekil detaylı olarak incelendiğinde Hub’larda oluşan fiyatlar arasında büyük farklılıklar olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4. ABD’de bulunan bazı hub’lardaki anlık doğal gaz fiyatları (2022 Ocak) (Ferc, 2022)

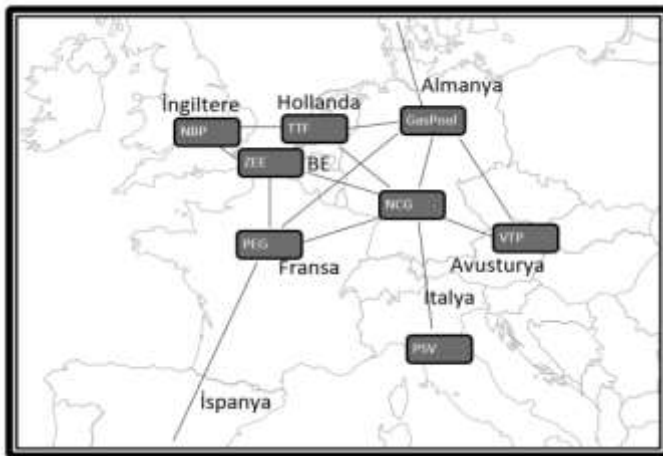
Bu hub'lar arasında en çok işlem hacmine sahip ve en çok bağlantısı olan hub Sabine Boru Hatları Şirketi'nin (Sabine Pipe Line LLC) işlettiği Henry Hub'dır (Yardımcı, 2010).

5.3.2. Avrupa gaz piyasaları

Avrupa'da doğal gaz ticareti uzun vadeli sözleşmeler üzerinden gerçekleşmektedir. Bu sözleşmelerde oluşan fiyatlar genellikle petrol endeksli fiyatlar olup satıcı "al ya da öde" hükmü çerçevesinde güven altına alınmıştır. Ancak 2005 yılından sonraki süreçte Avrupa doğal gaz piyasaları Kuzey Amerika Piyasalarında olduğu gibi gazın gaz ile rekabet ettiği piyasalara doğru gelişim göstermeye başlamıştır (International Gas Union, 2017).

2005 yılına kadar Avrupa gazının ortalama %80'inin petrol endeksli fiyatlar üzerinden satışı gerçekleşirken bu miktar 2018 yılında, hub fiyatları üzerinde satılan doğal gaz miktarının %75'e ulaşması neticesinde %25'e kadar düşmüştür. Ancak bu durum tüm Avrupa için geçerli olmamakla birlikte bölgeler arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Bununla birlikte 2010'lu yılların sonu itibarıyla Avrupa pazarlarının çoğunda pazaryeri fiyatlandırması uygulanırken; Avrupa'nın güney doğusu ile Akdeniz bölgelerinde petrole endeksli fiyatlandırma devam etmekte ancak pazaryeri fiyatlandırmasına eğilim artmaya başlamıştır (Stern ve Imsirovic, 2020).

Son yıllarda ABD'nin dışında Avrupa'nın bazı bölgelerinde de Hub'lar oluşmuş ve bu hublarda doğal gaz ticaretinin yapılmasına olanak sağlanmıştır. Avrupa'daki bazı önemli Hub'lar Şekil 5.5'deki haritada gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Avrupa'da bulunan önemli doğal gaz hub'ları (Gürbüz ve Erdem, 2021)

5.3.3. Asya gaz piyasaları

Asya bölgesinde yeteri kadar doğal gaz kaynağının bulunmamasıyla birlikte doğal gaz kaynağına ve ticaretin gerçekleştiği noktalara bir bağlantının olmaması sebebiyle bölgedeki enerji piyasaları genellikle kömür ve petrolden oluşmaktadır. Son yıllarda LNG'nin gelişmesiyle birlikte bölge enerji piyasalarında doğal gaz yerini almıştır. Asya bölgesinde doğal gaz ticareti genellikle LNG olarak gerçekleştirilmekte ve bu ticarete oluşan fiyatlar petrol endeksli olarak ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, LNG'nin sıvılaştırılması ve taşınması için ilk etapta yüksek maliyetli yatırımlara ihtiyaç duyulduğundan; bu maliyetlerin karşılanması amacıyla doğal gaz ticareti, sabit fiyatlarla alım garantisinin sağlandığı uzun vadeli sözleşmeler ile yapılmaktadır (Aydın, 2019).

5.4. Doğal Gaz Ticareti

Doğal gaz endüstrisine nispeten yeni bir katkı olan doğal gaz ticareti ilk olarak 1980'lerin ortalarında gözlemlenmiştir. Herkesin doğal gaz boru hatlarına açık erişimi sağlanmadan ve doğal gaz emtia piyasasının deregülasyonundan önce, doğal gaz tacirlerinin piyasada hiçbir rolü bulunmamaktaydı. Bu süreçte, üretilen doğal gaz üretim şirketleri tarafından yerel dağıtım şirketlerine ve diğer büyük hacimli doğal gaz kullanıcılarına; yerel dağıtım şirketleri ise boru hatlarından satın almış olduğu doğal gazı ticari ve konut müşterileri de dahil olmak üzere perakende son kullanıcılara satışını gerçekleştirmekteydi. Bu tedarik zincirinin tüm seviyelerindeki fiyat düzenlemesi, başkalarının doğal gaz alıp satmasına imkan vermemiştir. Ancak, son yıllarda kademeli olarak devreye giren yeni erişilebilir rekabetçi pazarlar ile doğal gaz ticareti, doğal gaz endüstrisinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Doğal gazın satışı olarak tanımlanan doğal gazın ticareti daha geniş terimlerle doğal gazın kuyudan son kullanıcılara getirilmesi işini çeşitli seviyelerde koordine edilme süreci olarak ifade edilebilmektedir (NaturalGas.org, 2013).

Serbestleşmeden sonra doğal gazın pazarlanması ve ticareti iki ana şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar fiziksel ticaret ve finansal ticarettir. Fiziksel doğal gaz ticareti, fiziksel olarak doğal gazın alım ve satımını içeren bir ticaret türü olarak karşımıza çıkarken; finansal ticaret, alıcı ve satıcının doğal gazı fiziksel olarak teslim almadığı, türev ve gelişmiş finansal araçları içeren bir ticaret türü olarak karşımıza çıkmaktadır (İrkıçatal, 2009).

5.4.1. Fiziksel doğal gaz ticareti

Doğal gaz yer altından çıkarıldıktan sonra bulunduğu yer fark etmeksizin aynı özellikleri halen taşıyor olması ticaretini kolaylaştırmıştır. Fiziksel doğal gaz ticareti uzun vadeli doğal gaz ticareti ve kısa vadeli doğal gaz ticareti olmak üzere ikiye ayrılmakta olup; gaz fiziki olarak el değiştirmekte ve gazın fiziksel olarak teslim edilmesiyle birlikte ticaret sona ermektedir.

Uzun vadeli doğal gaz ticareti, süresi 1 ile 30 yıl arasında değişen; “al ya da öde” (take or pay) yükümlülüğü bulunan sözleşmeler vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu sözleşmeler ile alıcı taraf sözleşmede belirtilen miktar kadar yakıtı yine sözleşmede belirtilen süre boyunca kullanmayı taahhüt eder. Kullanmadığı durumlarda ise gazın bedelinin satıcı tarafa ödemesi ile yükümlü kılınır. Bu durum arz güvenliğinin sağlanması ve yukarı yönlü fiyat artışları karşısında fayda sağlıyor ise de, dönemsel olarak değişkenlik gösteren piyasada yeterli arz talep esnekliğini sağlayamamaktadır. Diğer bir ifade ile, soğuk dönemlerde oluşan talep artışı ile yaz dönemlerinde oluşan talep azalışlarına karşılık fiyatlar doğru bir şekilde belirlenememektedir (Aygün, 2017).

Kısa vadeli doğal gaz ticareti, saatlik olarak veya 36 aya kadar uzayabilen kontratlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Uzun vadeli sözleşmelerde esnekliğin sağlanamaması ve yıllar boyunca bu sözleşmelere bağlı kalınması sebebiyle uzun vadeli sözleşmeler yerini kısa vadeli sözleşmelere bırakmaktadır (Aygün, 2017).

5.4.2. Finansal doğal gaz ticareti

Daha önce bahsedildiği üzere doğal gaz ticareti ilk zamanlarda uzun dönemli sözleşmeler ile gerçekleşmekte olup, piyasaların olgunlaşmasıyla birlikte bu sözleşmelere ek olarak kısa vadeli sözleşmeler de dahil olmuş ve piyasalar esnek bir yapıya kavuşmuştur. Yapılan serbestleşme çalışmalarıyla birlikte doğal gaz piyasaları daha gelişmiş ve likit bir hal almıştır. Rekabet ve serbestleşmeyle doğru orantılı olarak piyasada oluşan riskler de artış göstermiştir. Mevsimsel değişiklikler, uluslararası krizler, enerji kaynaklarındaki gelişmeler, doğal afetler vb. durumlar karşısında doğal gaz arz ve talep dengesinden kaynaklı olarak fiyat riskleri gözlemlenmeye başlamıştır (Sevinç, 2018).

Ancak gelinen noktada fiyat volatilitésinden kaynaklı oluşan risklerden korunmak tek başına fiziksel ticaret ile mümkün olmamıştır. Bu manada, oluşan risklerden korunmak amacıyla elektrik ve petrol piyasalarında olduğu gibi doğal gaz finansal piyasalarda işlem görmeye başlamıştır. Bu ticaretin en önemli ve belirgin özelliği gazın teslimatına ihtiyaç duyulmamasıdır (Aygün, 2017).

Finansal doğal gaz piyasalarında ticaret yapmanın iki ana amacı bulunmaktadır. Bunlar; riskten korunma ve speklasyondur. Fiziksel piyasada doğal gaz alım ve satım işlemleri gerçekleşirken belirli bir derecede riskler oluşmaktadır. Piyasalardaki fiyat oynaklığı, piyasa oyuncuları için finansal risklere neden olabilmekte; bu minvalde finansal türevlerin ticareti, bu risklerin azalmasına veya korumaya yardımcı olabilmektedir. rnek vermek gerekirse gelecek ay spot piyasada doğal gaz satmayı planlayan bir tüccar, fiyatların düşmesinden endişe duyabilmekte ve gelecekte doğal gazın değerinin düşme olasılığına karşı çeşitli finansal araçlar kullanabilmektedir (Irkıatal, 2009).

Finansal doğal gaz piyasaları, gelecekte oluşabilecek fiyat hareketleri veya ilgili olaylar hakkında spekülasyon yapmak isteyen piyasa katılımcıları tarafından da kullanılabilmektedir. Spekülasyon ve korunma arasındaki temel fark, riskten korunmanın amacı riski azaltmak iken, spekülasyonun amacı finansal getiri elde etme umuduyla risk almaktır. Spekülatörler, gelecekteki olayları veya fiyat hareketlerini doğru bir şekilde tahmin etmeyi ve finansal türevleri kullanarak bu tahminlerden kr elde etmeyi amaçlamaktadır. Bir speklatrn beklentileri doğru çıkarsa büyük kazançlar elde edilebilirken, bu beklentiler yanlışsa büyük kayıplar da meydana gelebilmektedir (NaturalGas.org, 2013).

Finansal piyasalarda doğal gaz futures, opsiyon ve swap sözleşmelerinden oluşan türev ürünleri ile işlem görmektedir. Doğal gazın ilk defa vadeli işlem piyasalarında alış ve satış işlemleri ABD piyasalarında gerçekleşmiştir. Spot piyasada oluşan fiyat dalgalanmalarına karşı piyasadaki oyuncuların korunması ve fiyatların dengelenmesi amacıyla doğal gaz futures sözleşmeleri 1990 yılında New York Mercantile Exchange (NYMEX)'de işlem görmeye başlamıştır. Böylece uzun vadeli anlaşmaların dışında vadeli işlem sözleşmeleriyle arz güvenliği sağlanmaya başlamıştır.

Küresel çapta doğal gaz piyasalarında gerçekleşen işlem hacimlerine bakıldığında genellikle finansal piyasalarda oluşan işlem hacminin fiziksel piyasalarda oluşan işlem hacminden oldukça fazla olduğu görülmektedir (Aygün, 2017).

5.5. Doğal Gaz Piyasaları

Günümüz dünyasında doğal gaz piyasalarını ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar;

- 1) Spot (anlık) piyasalar
- 2) Vadeli piyasalardır.

Spot Piyasalarda, alım ve satımların anlık olarak etkin bir şekilde gerçekleştirilmekte olup nakit piyasalar olarak da anılmaktadır. Bu piyasalarda gazın ödemesi ve teslimatı aynı anda ya da çok kısa süre içerisinde gerçekleşmektedir (Gas Alberta Inc, 2022). Spot piyasalar, ticarete sağlamış olduğu şeffaf fiyatlar sayesinde portföylerinde dengesizlik yaşayan taraflara gazın kolay ve güvenilir bir biçimde tedarikini sağlamaktadır (Aygün, 2017).

Vadeli piyasalarda ise, gazın alım ve satımı en az 1 ay, en fazla 36 ay vadeli sözleşmelerle gerçekleşmektedir. Bu piyasalarda anlaşmalar bugünden yapılmakta iken anlaşmaların yükümlülükleri gelecek bir zamanda yerine getirilmektedir (Çoşkun, 2007). Diğer bir ifade ile vadeli işlem piyasalarında ileri bir tarihte teslimatı yapılmak amacıyla doğal gazın alım ve satımı bugün belirlenen fiyat üzerinden yapılmaktadır. Böylece vadeli piyasalar ile fiyat risklerine karşı, tarafların korunması sağlanmaktadır (Erol, 1999).

5.6. Doğal Gaz Piyasa Merkezleri

İlk zamanlarda üretici ve tüketiciler arasında ikili anlaşmalar vasıtasıyla yapılan doğal gaz ticareti son dönemlerde gelişen piyasalarla birlikte hublarda yapılmaya başlanmıştır. Piyasa merkezi olarak da adlandırılan bu hubların ortaya çıkışı çok da eski bir gelişme değildir.

Doğal gaz hub'ı, yeterli sayıda alıcı ve satıcı tarafından güvenilir bir ortamda adil fiyatlarla fiziksel veya finansal olarak doğal gaz ticaretinin gerçekleştirildiği bir platformdur. İyi işleyen bir gaz merkezi, piyasalarda verimlilik, şeffaflık, netlik ve öngörülebilirlik sağlamakla birlikte, oyuncular arasındaki ticareti kolaylaştırmakta ve fiyatların rekabetçi koşullarda arz ve talep doğrultusunda belirlenmesini sağlamaktadır (CME Group, 2022).

Gaz ticaret merkezleri, yapılarına göre sanal hub ve fiziki hub olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Fiziki hub doğal gazın fiziki olarak üzerinden geçtiği, birden fazla boru hattı kesişim noktasında bulunan bir gaz depolama merkezidir. ABD’de bulunan Henry Hub ve Belçika’da bulunan Zeebrugge Hub fiziki hublara en önemli örneklerdir. Sanal bir gaz ticaret merkezi ise, fiziki olarak mevcut olmayan, gazın sanal bir şekilde üzerinden geçtiği varsayılan merkezlerdir. Avrupa’da en büyük pazar payına sahip Hollanda’da bulunan TTF ile İngiltere’de bulunan NBP sanal doğal gaz merkezlerinin öne çıkan örnekleridir (İrkıçatal, 2009).

Fiziki ve sanal hublar gaz fiyatlarının belirlendiği ve gaz ticaretinin gerçekleştiği merkezlerdir. Hubların olmadığı yerlerde ticaret gizli olarak gerçekleşen ikili anlaşmalar ile sağlandığından fiyatlar rekabetçi bir ortam sağlanmamakta ve gaz her zaman gerçek değerini yansıtamamaktadır. Gazın etkin bir şekilde ticaretinin yapılabilmesi, gerçek fiyatının ortaya çıkabilmesi ve piyasadaki üçüncü tarafların gaza rahat bir şekilde ulaşabilmesi için hublara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda, bu bölümde dünyada önde gelen birkaç gaz hubın bahsedilecektir.

5.6.1. Henry hub (HH)

Doğal gaz, Kuzey Amerika’da en hızlı büyüyen enerji kaynaklarından biridir. Amerika Birleşik Devletleri’nde boru hatlarının kesiştiği noktalarda 29 adet, Kanada’da ise 9 adet doğal gaz ticaret merkezi bulunmaktadır. Bu merkezler arasında açık ara en baskın olanı Henry Hub’dır. Henry Hub Louisiana yakınlarında Sabine Pipe Line tarafından işletilen önemli bir gaz ticaret merkezidir. Bahse konu Hub 1988 yılında Kuzey Amerika’da ilk hub olarak çalışmaya başlamıştır (Juris, 1998).

Henry Hub, büyük bir kara üretim bölgesinde yer almakla birlikte bir açık deniz üretim alanına da yakın konumda bulunmaktadır. Ayrıca Henry Hub depolama tesislerine ve boru hattı sistemlerine mükemmel bir bağlantısı bulunmaktadır. Henry Hub, dokuz eyaletler arası boru hattına ve dört eyalet içi boru hattına bağlıdır. Bu bağlantılar, doğal gazın üretim ve işleme alanlarından depolama tesislerine ve dağıtım merkezlerine ve ardından büyük tüketim pazarlarına ihraç edilmesine olanak tanınmaktadır. Bu bağlamda Henry Hub gerek stratejik konumu gerekse de lojistik altyapısı sayesinde Kuzey Amerika’da oluşan diğer ticaret

merkezlerine kıyasla üstün bir başarı elde etmiş ve burada oluşan doğal gaz fiyatları, doğal gaz için küresel referans fiyatı haline gelmiştir (CME Group, 2022).

Henry Hub, Kuzey Amerika gaz piyasasına çok özel bir doğal gaz spot fiyatı olmasına rağmen, küresel bazda LNG teslimat sözleşmelerinde de kullanılmaktadır. Katar ve Avustralya gibi bazı küresel gaz üreticileri, doğal gaz dağıtımlarının fiyatlandırma mekanizmasını petrol fiyatına endekslemek yerine spot fiyatlara dayandırmayı tercih etmektedirler (Chen, 2019).

Çok likit bir spot ticaret noktası olmasının yanı sıra, Henry Hub aynı zamanda ABD'deki NYMEX doğal gaz vadeli işlem sözleşmesi için standart teslimat noktasıdır. Sözleşme Nisan 1990'da işlem görmeye başlamış ve piyasada birincil finansal riskten korunma aracı olarak kullanılmaktadır (S&P Global Commodity Insight, 2022).

1990'dan beri Henry Hub, dünyanın en çok işlem gören doğal gaz vadeli işlem sözleşmesi için fiziksel teslimat noktası olmuştur. Bugün, günde 430.000'den fazla sözleşmeye ulaşan, dünyanın en çok işlem gören doğal gaz vadeli işlem sözleşmesidir (McHich, 2021).

5.6.2. National balancing point (NBP)

Avrupa'nın ilk gaz ticaret merkezi olan National Balancing Point (NBP), 1996 yılında İngiltere'de kurulmuş sanal bir noktadır. İngiltere'de bulunan bütün doğal gazın fiziksel olarak National Balancing Point sisteminde olduğu varsayılmaktadır. Konsept olarak Henry Hub'a benzer ticaret merkezi olmakla birlikte gerçek bir fiziksel merkez olmaması diğer bir ifade ile sanal bir teslimat noktası olmasıyla Henry Hub'dan ayrılmaktadır. NBP'deki gaz, term başına pence olarak işlem görmektedir.

Başlangıçta dengeleme amacı üzerine kurulmuş olan NBP kurulduktan çok kısa bir süre sonra İngiltere doğal gaz taşıma ağı içinde bir ticaret noktası haline gelmiş ve Avrupa'nın en likit gaz merkezlerinden biri olmuştur (Kalkan, 2012).

Bu sistemde, İngiltere'de üretilen gaz ile Interconnector ve Balgzand Bacton (BBL) boru hatlarıyla ve LNG yoluyla ithal edilen doğal gaz işlem görmektedir (Dicke, Kanai ve Konoplyanik, 2007).

Finansal bir ticaret merkezi olan NBP 1997 yılından bu yana International Exchange (ICE) borsasında işlem görmektedir. Ancak bahse konu ticaret merkezinin likiditesi 2000’li yıllarda ciddi manada artmaya başlamıştır. Gelineen noktada NBP Avrupa’nın en başarılı hubları arasında yer almakta ve olgunlaşmış bir hub olarak kabul edilmektedir (Gazbir, 2017). Sanal bir hub olan NBP, İngiltere’de esnek, şeffaf ve finansal risk yönetimine uygun likit bir piyasa oluşuma meydan hazırlanmıştır (Aygün, 2017).

5.6.3. The title transfer facility (TTF)

The Title Transfer Facility (TTF) 2003 yılında Gas Transport Services (GTS)’nin kontrolünde Hollanda’da kurulmuş sanal bir ticaret merkezidir. TTF'deki gaz, megavat saat başına avro (€ / MWh) cinsinden işlem görmektedir.

Bulunduğu konumu ve sahip olduğu çeşitli gaz kaynakları sayesinde Kuzey Avrupa’ya gaz sağlanması noktasında önemli bir hub olmuştur. TTF yerel üretimin dışında Norveç ve Rus gazından da beslenmektedir. TTF Norveç ve Rus gazını Belçika ile kıyı bağlantısı üzerinden Fransa ve Belçika’ya ulaştırmaktadır. Diğer taraftan, Hollanda’dan İngiltere’ye gaz akışını sağlayan BBL sayesinde 2006 yılından beri TTF ile NBP arasında direkt bağlantı sağlanmıştır (Kalkan, 2012).

Bununla birlikte TTF’nin Norg, Alkmaar ve Grijpskerk alanlarına yer altı depolama faaliyeti ile bağlantısı bulunmaktadır (Harris, Bazelon, Humphreys ve Dickson, 2010).

Kurulma amacı ticaret olsa da, kurulduğu ilk yıllarda fazla bir ticari etkinliği olmamıştır. Ancak bahse konu merkezin Avrupa’nın “Gaz Kavşağı” konumuna getirilmesi için 2007 ve 2009 yıllarında atılan adımlar sayesinde merkezde gerçekleşen doğal gaz ticaret hacmi artış göstermiştir. 2013 yılından itibaren Avrupa’nın ikinci referans gaz merkezi haline gelmiştir (Erdem, 2021).

Günümüze gelindiğinde ise TTF, gerek ticaret gerek fiziki teslimat yoğunluğu bakımından Kıta Avrupası’nın en aktif merkezlerinden biri olmuştur. Hollanda’nın diğer Avrupa ülkelerine nazaran daha fazla doğal gaz tüketimi olduğu hususu TTF’nin gelişimi açısından itici bir faktör olmuştur (Harris, Bazelon, Humphreys ve Dickson, 2010).

Günümüzde Avrupa’da gerçekleşen uzun vadeli anlaşmalar için TTF spot piyasasındaki fiyatlar referans kabul edilmektedir. GTS ve BBL Company 1 Ocak 2018 tarihinden itibaren Arabağlantı Noktası olan (IP) Julianadorp’u kaldırarak ulaşım sistemlerini entegre etmişler. Bu entegrasyon, Avrupa’nın en büyük iki gaz ticaret platformu arasında doğrudan bir bağlantı oluşturmuştur (BBL Company, 2017).

5.7. Hubların Kıyaslanması

Daha önce de belirtildiği üzere piyasaların gelişim süreçlerini doğuş, gelişme ve olgunluk olarak sıralamaktadır. Piyasaların doğuş, gelişme ve olgunluk evrelerinin belirlenmesinde en önemli ölçüt olarak karşımıza el değiştirme oranı (churn rate) çıkmaktadır. Churn rate, belli bir bölgede gerçekleşen doğal gaz ticaret hacminin toplam doğal gaz tüketime oranıdır. Bir gaz hubının ticari başarısını belirlenmesinde muhtemelen en önemli faktör olan churn rate bir merkezin gerçek likiditesi ve başarısının mükemmel bir ölçüsüdür ve çoğu emtiada ve finasta kullanılan bir parametredir. Churn rate 10’dan fazla olduğunda emtia piyasaları olgunluğa erişmiş sayılmaktadır (Patrick Heather Consultancy, 2018).

Doğal gazın bir ülkeye girdiği ilk dönemlerde gazın gerek iletimi gerek dağıtımını gerekse de tüketiciye ulaştırılması noktasında belli bir alt yapı ihtiyacı doğmakta ve bu alt yapının sağlanabilmesi için belli ölçüde finansmana gereksinim duyulmaktadır. Bu finansman ise genellikle uzun dönemli anlaşmalar ile sağlanmaktadır. Bu bağlamda piyasaların doğuş evrelerinde el değiştirme oranı 1’den küçüktür. Gelişme dönemine gelindiğinde ise bu oranın 1 ile 5 arasında olması beklenmektedir. Olgunluk döneminde ise bu oran 5’in üzerinde olmaktadır. Olgun piyasalarda gazın gaz ile rekabeti sonucunda fiyatlar tamamen piyasada oluşmakta ve fiyat ve işlem hacimlerindeki şeffaflıkla birlikte piyasadaki katılımcı sayısı da artış göstermektedir (TÜBA, 2021).

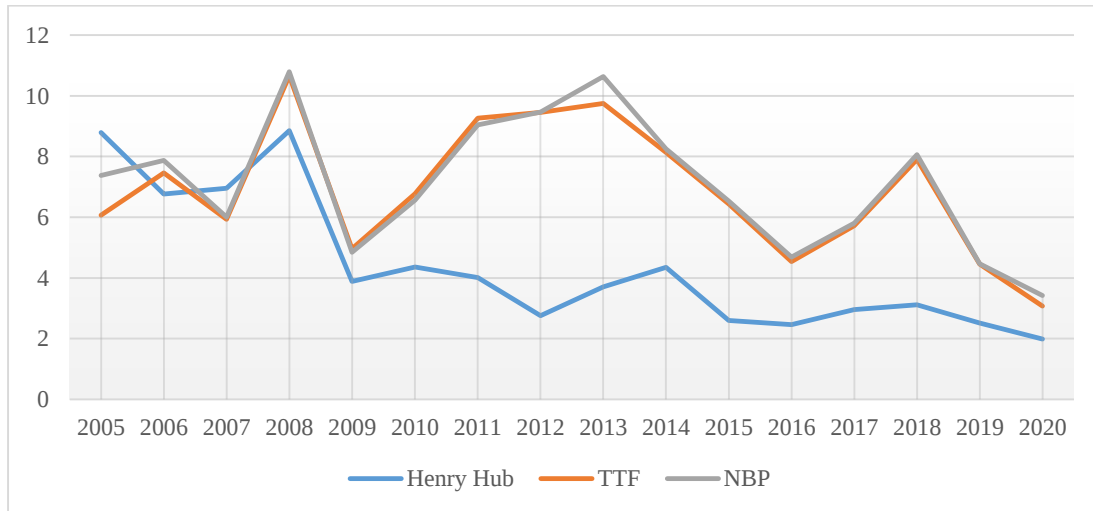
Çizelge 5.1.’de Avrupa piyasalarının önde gelen merkezlerinde yıllar itibarıyla sahip oldukları el değiştirme oranları verilmiştir. El değiştirme oranları bir piyasanın ne kadar güvenilir ne kadar likit ve ne kadar derin olduğu hakkında bilgi vermektedir. Çizelgeye bakıldığında TTF’de churn rate 2008 yılında 3,3 iken; 2011 yılında hızlı bir artış trendine girerek 13,9’a ulaşmış; 2020 yılında ise 114,5 olarak kayda geçmiştir. Churn rate’in 114 olması bu piyasada gazın tüketilirken 114 kere el değiştirmesi anlamına gelmektedir. Avrupa piyasalarında ikinci sırada ise NBP yer almaktadır. NBP’de 2008 yılında 14,4 olan churn

rate, 2017 yılına kadar artış eğiliminde olmuş ve bu yıldan sonra düşüş trendine geçmiştir. 2020 yılına geldiğimizde ise bu oran 12,6 olarak karşımıza çıkmaktadır. TTF ve NBP'deki bu değişimler birlikte değerlendirildiğinde doğal gaz ticaretinin NBP'den TTF'ye yöneldiğini söylemek mümkündür.

Çizelge 5.1. Avrupa ülkelerinde yıllara göre el değiştirme oranları (churn rate) (Heather, 2021)

	2008	2011	2017	2018	2019	2020
TTF (Hollanda)	3,3	13,9	54,3	70,9	97,1	114,5
NBP (İngiltere)	14,4	19,8	23,9	17,0	14,3	12,6
VTP (Avusturya)	2,4	2,2	5,3	6,9	9,0	10,8
NCG (Almanya)	0,4	1,8	3,4	3,8	4,3	4,0

Diğer taraftan, bir piyasada ne kadar çok aktif katılımcı olursa, o kadar fazla likidite olur ve bu özellikle risk yönetimi alım satımları için önemlidir. Avrupa'da olgun piyasa olarak karşımıza çıkan NBP ve TTF'de 2020 yılı itibarıyla piyasa katılımcıları sayısı sırasıyla 167 ve 135 olarak kayda geçmiştir (Heather, 2021).



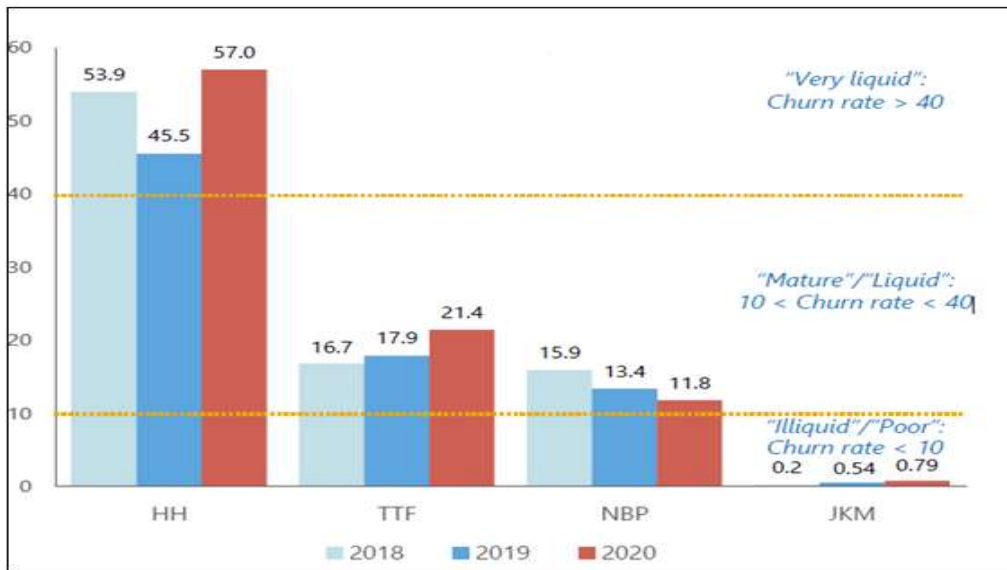
Şekil 5.6. Doğal gaz fiyatlarının yıllara göre değişimi (\$/mmBtu) (BP, 2021).

Şekil 5.6.'da 2005 yılı ile 2020 yılları arasında Henry Hub, TTF ve NBP'de gerçekleşen doğal gaz fiyatlarının değişimi gösterilmektedir. Amerika diğer merkezlere oranla daha düşük fiyatlarla doğal gaz sağlamış olup, TTF ve NBP'de gerçekleşen doğal gaz fiyatları arasında çok küçük seviyelerde farklılıklar görülmektedir. Bu iki merkezdeki fiyat

değişimleri gazın gaz ile rekabeti kavramının başarılı bir şekilde hayata geçirildiğini ve ticaret merkezlerinin birbirinden referans aldığını göstermektedir.

Son yıllarda gerek işlem hacmi, gerek piyasadaki katılımcı sayısı gerekse de başarılı likidite döngüsü sayesinde TTF'nin uluslararası bir merkez haline geleceği ve finansal piyasalarda yerleşik hale geldikçe de doğal gazın Brent eşdeğeri olarak referans bir fiyat olabileceği öngörülmektedir (Bennett, 2019).

Kuzey Amerika'da büyük işlem hacmine sahip en az 4 başka ABD ve Kanada merkezi olmasına rağmen Henry Hub (HH), 33 Piyasa Merkezi arasında en çok işlem gören merkezdir. Bu sebeple HH referans olarak kabul edilmektedir. Hollanda merkezli TTF ise Fransa, Almanya, Avusturya, Çek Cumhuriyeti ve Benelüks için ölçüttür. İngiltere merkezli NBP ise, Birleşik Krallık ve İrlanda Cumhuriyeti için bir ölçüttür. Bu bağlamda, Oxford Enerji Araştırmaları Enstitüsü tarafından bahse konu merkezlerin churn rate değerleri HH için ABD gaz tüketimi; TTF için Fransa, Almanya, Avusturya, Çek Cumhuriyeti ve Benelux gaz tüketimi; NBP için ise, Birleşik Krallık ve İrlanda gaz tüketimi kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan, ilgili kurum tarafından churn rate değeri 40'dan büyük olan merkezler çok likit; churn rate değeri 10 ile 40 arasında olan merkezler ise olgun/likit ve çok likit olarak sınıflandırılmıştır. Bu bağlamda yapılan hesaplamalar neticesinde Şekil 5.7.'den görüleceği üzere Henry Hub'ın çok olgun ve çok likit bir gaz merkezi olduğu, TTF ve NBP'nin ise olgun ve likit merkezler olduğu ortaya konulmuştur.



Şekil 5.7. Gaz hub churn rates (Heather, 2021)

6. DİLSEL ÖZETLEME

6.1. Bulanık Kümeler

Klasik küme teorisinde, bir kümedeki öğelerin üyelik derecesi, bir öğenin kümeye ait olup olmadığı gösteren ikili terimlerle (0 veya 1) değerlendirilir. Diğer bir ifade ile kümenin elemanlarının A olarak tanımlanan alt kümeye ait olup olmadığı kesin sınırlarla belirlenmiş olup 0-1 üyelik fonksiyonuyla gösterilmektedir. Kümedeki eleman belirtilen alt kümeye ait ise üyelik derecesi 1 değerini alırken, belirtilen kümeye ait olmaması durumunda 0 değerini almaktadır. Fakat belirsizliklerin olduğu günümüz dünyasında olayların 0-1 gibi iki değerli mantıkla tanımlanması yeterli olmamaktadır. Bu minvalde, Zadeh küme elemanlarının iki değerli mantıkla açıklandığı klasik kümelerin yerine dereceli üyelik fonksiyonlarla ifade edilen bulanık küme tanımlanmasını ortaya atmıştır. Bu açıdan Zadeh bulanık kümeleri klasik kümelerin bir uzantısı olarak tanıtmıştır (Zadeh, 1965).

Tanım 6.1.

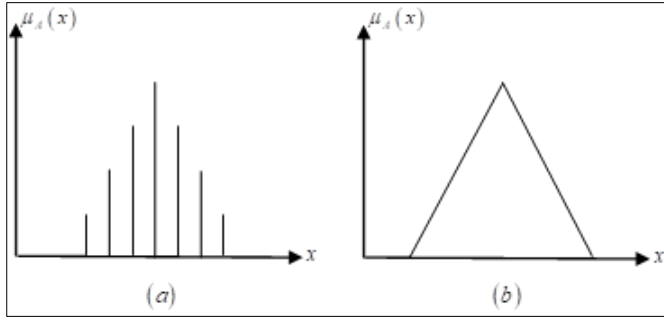
A kümesi X evrensel kümesindeki bir bulanık kümedir. $\forall x \in X$ için A kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ şeklinde tanımlanmaktadır. Eğer evrensel küme kesikli ise A BK'sı Eş. 6.1.'deki gibi gösterilmektedir.

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad (6.1)$$

x_i elemanın A kümesine aitlik derecesi $\mu_A(x_i)$ olarak ifade edilmektedir. Evrensel kümenin sonsuz ve sürekli olması durumunda, A BK'sı Eş. 6.2'deki gibi gösterilmektedir.

$$A = \left\{ \int_X \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} \quad (6.2)$$

Eş.6.1'de gösterilen “+” işareti elemanların birleşimini gösteren işarettir. Aynı şekilde Eş.6.2'de sürekli değer alan elemanların birleşimi integral işareti ile ifade edilmektedir. Bir BK'ya ait elemanların üyelik fonksiyonlarının kesikli ve sürekli formda gösterimleri Şekil 6.1.'de verilmiştir (Ross, 2010).



Şekil 6.1. Farklı tipteki bulanık kümeler: (a) Kesikli bk (b) Sürekli bk

Tanım 6.2.

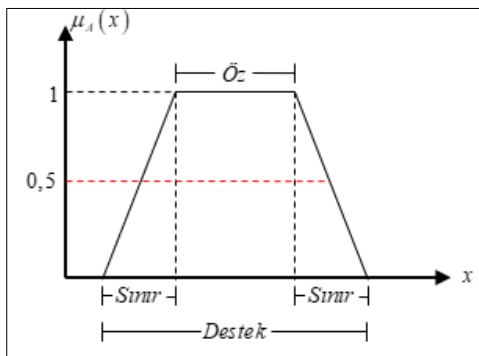
Alfa (α) kesmesi ve güçlü alfa (α^+) kesmesi BK'larda önemli kavramlardan iki tanesidir. A , X evrensel kümesinde bir bulanık küme olsun. $\alpha \in [0,1]$ olmak üzere α kesmesi ve α^+ kesmesinin gösterimi sırasıyla Eş.6.3 ve Eş.6.4'de verilmiştir.

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (6.3)$$

$$A_{\alpha^+} = \{x \in X \mid \mu_A(x) > \alpha\} \quad (6.4)$$

Tanım 6.3.

X evrensel kümesindeki bir bulanık A kümesinin özü, desteği, sınırı, geçiş noktaları ve yüksekliği Şekil 6.2.'de; bahse konu terimlere ilişkin eşitsizlikler ise sırasıyla Eş.6.5 - Eş.6.9'de gösterilmiştir (Klir ve Yuan, 1995).



Şekil 6.2. Bulanık kümelerde öz, destek, sınır, geçiş noktaları ve yükseklik

$$\text{Öz}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) = 1\} \quad (6.5)$$

$$\text{Destek}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (6.6)$$

$$\text{Sınır}(A) = \{x \in X \mid 0 < \mu_A(x) < 1\} \quad (6.7)$$

$$\text{Geçiş Noktaları}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) = 0,5\} \quad (6.8)$$

$$\text{Yükseklik}(A) = \sup_{x \in X} \{\mu_A(x)\} \quad (6.9)$$

Tanım 6.4.

X evrensel kümesinde bir bulanık A kümesinin konveks olması için Eş.6.10'da verilen şartı sağlaması gerekmektedir (Ross, 2010).

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)) \quad \forall x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0,1] \quad (6.10)$$

Tanım 6.5.

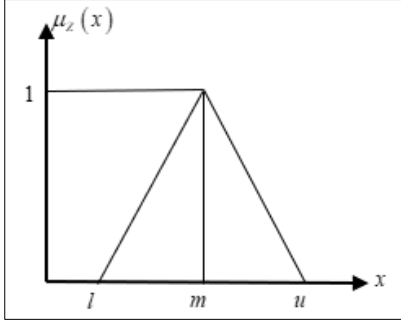
X evrensel kümesinde bir bulanık A kümesinin normal olması için Eş. 6.11'de verilen şartı sağlaması gerekmektedir (Ross, 2010).

$$\sup_{x \in X} \{\mu_A(x)\} = 1 \quad (6.11)$$

Tanım 6.6.

Z bulanık sayısının (BS) X evrensel kümesinde bir bulanık alt küme olabilmesi için konveks ve normal olması gerekir. Gerçek sayılar kümesinde tanımlanan BS'ler çeşitli BK tipleri içerisinde özel öneme sahip altkümelerdir. BS'ler, verilen gerçek sayıya yaklaşık sayıların kümesi olduğu için karar vermede ve belirsizliğin olduğu mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. BS'lerin isimlendirilmeleri üyelik fonksiyonlarının şekillerine göre yapılmaktadır. Literatürde çok sayıda üyelik fonksiyonu tanımlanmış olmasına rağmen işlem yükünün az olması sebebiyle en fazla kesikli, üçgen, yamuk ve gauss fonksiyonlar kullanılmaktadır. Üçgensel BS için üyelik fonksiyonu Eş.6.12'de tanımlanmış olup gösterimine Şekil 6.3.'de yer verilmiştir (Klir ve Yuan, 1995).

$$\mu_z(x) = \begin{cases} 0 & x < l \\ (x-l)/(m-l) & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m) & m \leq x \leq u \\ 0 & x > u \end{cases} \quad (6.12)$$

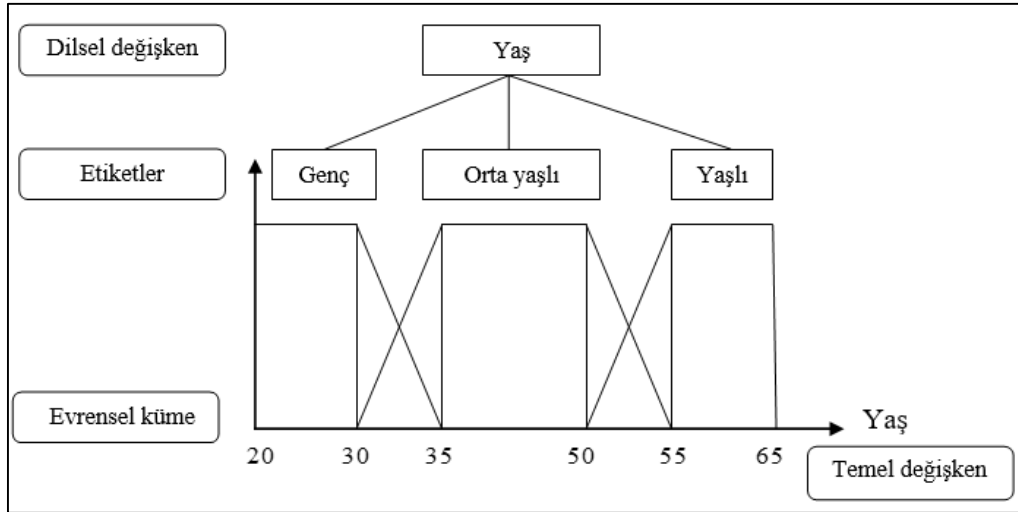


Şekil 6.3. Üçgensel bulanık sayı

Tanım 6.7.

Çok karmaşık karar verme ve düşünme süreçlerinde, kesin değerler yerine insan düşünce sistemine yakın dilsel etiketler ve dilsel değişkenlerin kullanılması gerekmektedir. Dilsel değişkenler, değerleri kesin sayı yerine kelimeler ve cümleler olan değişkenlerdir. Kesin sayılar yerine kelime veya cümlelerin kullanılmasıyla daha az kesinlik sağlanmaktadır. Örnek vermek gerekirse, yaş değişkeni ele alındığında “Ali yaşlıdır” ifadesi “Ali 65 yaşındadır” ifadesine göre daha az kesindir. “Ali yaşlıdır” ifadesindeki “yaşlı” yaş dilsel değişkenin dilsel etiketidir.

Bir dilsel değişken $(x, ET(x), X, G, M)$ fonksiyonuyla tanımlanabilir. Fonksiyonda x dilsel değişkenin adını; $ET(x)$, x değişkeninin etiket kümesini, X evrensel kümeyi ifade etmektedir. G sözdizimsel kural olup $ET(x)$ kümesinde yer alan etiketleri üretirken; M anlamsal kuraldır ve her A etiketinin anlamını göstermektedir. $M(A)$ ise X uzayındaki bir BK’yı gösterir. Örneğin Şekil 6.4.’de “yaş” değişkeni x ile temsil edilmektedir. Bu değişkenin etiket kümesi ise “genç”, “orta yaşlı” ve “yaşlı” dilsel etiketlerinden oluşmaktadır. Dilsel terimler temel değişken olan yaşa göre atanan BS’lerle ifade edilmektedirler (Zadeh, 1975).



Şekil 6.4. Dilsel değişken örneği (Boran, 2013)

6.2. Bulanık Kümelerde Kesişim

A_1 ve A_2 , X evrensel kümesinde tanımlanmış birer BK olsun. Bu kümelerin kesişimi $A_1 \cap A_2$ şeklinde gösterilmektedir. Bu kümelerin üyelik fonksiyonları ise $\mu_{A_1}(x)$ ve $\mu_{A_2}(x)$ ile gösterilsin. $A_1 \cap A_2$ 'nin üyelik fonksiyonu ise $\mu_{A_1 \cap A_2}(x)$ Eş.6.13'deki gibi tanımlanır.

$$\otimes : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

$$\mu_{A_1 \cap A_2}(x) = \otimes(\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x)) \quad \forall x \in X \quad (6.13)$$

İşlemlerde kullanılan $\otimes$ operatörü t-norm olarak adlandırılmaktadır. $\forall x_1, x_2, y_1, y_2 \in [0,1]$ olması durumunda, bir operatörün t-norm olabilmesi için aşağıda belirtilen özellikleri sağlaması gerekmektedir.

$$\otimes(x_1, 1) = x_1 \quad (\text{Sınır şartı})$$

$$y_1 \leq y_2 \text{ ise } \otimes(x_1, y_1) \leq \otimes(x_1, y_2) \quad (\text{Monotonluk şartı})$$

$$\otimes(x_1, y_1) = \otimes(y_1, x_1) \quad (\text{Simetri şartı})$$

$$\otimes(x_1, \otimes(x_2, y_2)) = \otimes(\otimes(x_1, x_2), y_2) \quad (\text{Birleşme şartı})$$

Literatürde tanımlanan $(\otimes_{\min})$, $(\otimes_{\text{Çar}})$, $(\otimes_{\text{Luk}})$, $(\otimes_{\text{Dra}})$ ve $(\otimes_{\text{Ham}})$ operatörleri t-norm'dur ve tanımları Eş.6.14–Eş.6.18'de verilmiştir.

$$\text{Minumum; } \otimes_{\min}(x_1, y_1) = \min(x_1, y_1) \quad (6.14)$$

$$\text{Çarpım; } \otimes_{\text{Çar}}(x_1, y_1) = x_1 y_1 \quad (6.15)$$

$$\text{Lukasiewicz; } \otimes_{\text{Luk}}(x_1, y_1) = \max\{0, x_1 + y_1 - 1\} \quad (6.16)$$

$$\text{Drastik; } \otimes_{\text{Dra}}(x_1, y_1) = \begin{cases} x_1, & \text{Eğer } y_1 = 1 \\ y_1, & \text{Eğer } x_1 = 1 \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases} \quad (6.17)$$

$$\text{Hamacher, } \otimes_{\text{Ham}}(x_1, y_1) = \begin{cases} 0, & \text{Eğer } x_1 = y_1 = 0 \\ \frac{x_1 y_1}{x_1 + y_1 - x_1 y_1}, & \text{d.d.} \end{cases} \quad (6.18)$$

6.3. Bulanık Kümelerde Birleşim

A_1 ve A_2 , X evrensel kümesinde tanımlanmış birer BK olsun. Bu kümelerin birleşimi $A_1 \cup A_2$ şeklinde gösterilmektedir. Bu kümelerin üyelik fonksiyonları ise $\mu_{A_1}(x)$ ve $\mu_{A_2}(x)$ ile gösterilsin. $A_1 \cup A_2$ 'nin üyelik fonksiyonu ise $\mu_{A_1 \cup A_2}(x)$ Eş.6.19'daki gibi tanımlanır.

$$\oplus : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

$$\mu_{A_1 \cup A_2}(x) = \oplus[\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x)] \quad \forall x \in X \quad (6.19)$$

İşlemlerde kullanılan $\oplus$ operatörü t-konorm olarak adlandırılmaktadır. $\forall x_1, x_2, y_1, y_2 \in [0,1]$ olması durumunda, bir operatörün t-konorm olabilmesi için aşağıda belirtilen özellikleri sağlaması gerekmektedir.

- ✓ $\oplus(x_1, 0) = x_1$
- ✓ $y_1 \leq y_2$ ise $\oplus(x_1, y_1) \leq \oplus(x_1, y_2)$ (Monotonluk şartı)
- ✓ $\oplus(x_1, y_1) = \oplus(y_1, x_1)$ (Simetri şartı)
- ✓ $\oplus(x_1, \oplus(x_2, y_2)) = \oplus(\oplus(x_1, x_2), y_2)$ (Birleşme şartı)

Literatürde tanımlanan $(\oplus_{\text{maks}})$, $(\oplus_{\text{Çar}})$, $(\oplus_{\text{Luk}})$ ve $(\oplus_{\text{Dra}})$ operatörleri t-konormdur ve tanımları Eş. 6.20–Eş.6.23'da verilmiştir.

$$\text{Maksimum; } \oplus_{\text{maks}}(x_1, y_1) = \max(x_1, y_1) \quad (6.20)$$

$$\text{Çarpım}; \oplus_{\text{Çar}}(x_1, y_1) = x_1 + y_1 - x_1 y_1 \quad (6.21)$$

$$\text{Lukasiewicz}; \oplus_{\text{Luk}}(x_1, y_1) = \min\{1, x_1 + y_1\} \quad (6.22)$$

$$\text{Drastik}; \oplus_{\text{Dra}}(x_1, y_1) = \begin{cases} x_1, & \text{Eğer } y_1 = 0 \\ y_1, & \text{Eğer } x_1 = 0 \\ 1, & \text{d.d.} \end{cases} \quad (6.23)$$

6.4. Kardinalite Kavramı

A , X evrensel kümesinde tanımlanmış bir BK olsun. Bu kümenin kardinalitesinin sürekli formu Eş.6.24'de, kesikli formu ise Eş.6.25'de tanımlanmıştır (Klir ve Yuan, 1995).

$$\text{kard}(A) = \int_X \mu_A(x) dx \quad (6.24)$$

$$\text{kard}(A) = \sum_X \mu_A(x) \quad (6.25)$$

6.5. Genelleştirilmiş Doğal Sayı

Genelleştirilmiş doğal sayı $(\text{GDS } \phi: \square \rightarrow [0,1])$, $\square$ 'de tanımlı bir BK'dır. GDS sonlu bulanık kümelerde (SBK) tanımlanması durumunda ise sonlu GDS olarak adlandırılmaktadır.

Eğer GDS $\phi(k) \geq \phi(i) \otimes \phi(j)$, $i \leq k \leq j$ şartını sağlarsa konvektir (KGDS). ϕ ve β sonlu GDS olsun. ϕ ve β sonlu GDS'lerin genişletilmiş toplamı Eş.6.26'de gösterilmiştir.

$$\phi(\beta(k)) = \oplus \{ \phi(i) \otimes \beta(j); i + j = k \} \quad (6.26)$$

n tane GDS'nin genişletilmiş toplamı Eş.6.27'de yer verilmiştir.

$$(\phi_1(\dots(\phi_n)(k)) = \oplus \{ \phi_1(i_1) \otimes \dots \otimes \phi_n(i_n); i_1 + \dots + i_n = k \} \quad (6.27)$$

$\square$ fonksiyonu $\square: SBK(X) \rightarrow KGDS$ aşağıda belirtilen özellikleri sağlarsa bulanık kardinalitedir.

Toplanabilirlik : A_1 ve A_2 , X evrensel kümesinde tanımlanmış birer BK ve $A_1 \cap A_2 = \emptyset$ olduğu durumda $\square(A_1 \cup A_2) = \square(A_1) \cup \square(A_2)$ şartını sağlamaktadır.

Değişkenlik : A_1 ve A_2 , X evrensel kümesinde tanımlanmış birer BK'lar $i > |destek A_1|$ ve $j > |destek A_2|$ olduğu durumda $\square(A_1)(i) = \square(A_2)(j)$ dir.

Tutarlılık : A_1 , X evrensel kümesinde kesin bir küme ise $\square(A_1)(i) \in \{0,1\}$, " $i \in \mathbb{N}$ " dir ve eğer $n = |destek A_1|$ ise $\square(A_1)(n) = 1$ olmaktadır.

Monotonluk : Eğer $x \in X$, $y \in X$, $a \in [0,1]$, $b \in [0,1]$ ve $a \leq b$ ise

$$\square(a/x)(0) \geq \square(b/y)(0)$$

$$\square(a/x)(1) \leq \square(b/y)(1)$$

Yukarıda verilen şartları sağlayan bulanık kardinalite örnekleri Eş.6.28-Eş.6.30'de tanımlanmıştır (Maciej Wygralak, 2001).

A BK'sının en az i tane elemana sahip olması;

$$FGCount(A) = [A]_i = \bigotimes \{ \alpha \in [0,1] \mid |A_\alpha| \geq i \}; i \in \mathbb{N} \quad (6.28)$$

A BK'sının en fazla i tane elemana sahip olması;

$$FLCount(A) = 1 - [A]_{i+1}; i \in \mathbb{N} \quad (6.29)$$

A BK'sının i tane elemana sahip olması;

$$FECCount(A) = [A]_i \otimes 1 - [A]_{i+1}; i \in \mathbb{N} \quad (6.30)$$

6.6. Dilsel Özetleme

Bilişim teknolojilerindeki hızlı büyüme verilere erişimi kolaylaştırmış ve böylece çok fazla verinin veri tabanlarında saklanması sağlamıştır. Büyük miktarda veriye sahip olmak,

insanları sadece veri zengini yapmaktadır. Burada önemli olan bilgi zengini olmaktır. Veriden bilgi çıkarmak diğer bir ifade ile özetleme işlemi, büyük miktarda veriyi depolamaktan daha önemli hale gelmiş ve bu alanda yapılan çalışmalarda artış gözlemlenmiştir. Ancak elde edilen bazı bilgiler sınırlı olmakla birlikte insanlar tarafından anlaşılması kolay olmamaktadır. Bu sebeple Yager doğal dil yardımıyla verilerin özetlenmesini sağlayan “Dilsel Özetleme” yöntemini ileri sürmüştür (Yager, 1982). Yager yaptığı çalışmada dilsel özetleme için BK’ları kullanmıştır.

Çizelge 6.1. Dilsel özetleme sembolleri ve açıklamaları

Sembol	Açıklama	Örnek
D	Veritabanı	İnsan kaynakları veritabanı
Y	Veritabanındaki tüm nesnelerin kümesi	Çalışanlar
y_m	Veritabanındaki m. nesne	Veritabanındaki m. çalışan
v_k	k. özellik	Yaş, aylık kazanç
X_k	v_k ’in tanım kümesi	[30-60] yaş, [7-15] bin TL aylık kazanç için
$v_k(y_m)$	m. kaydın k. özelliğine ait değeri	m. çalışanın yaşı
d_m	m. nesnenin tüm özelliklerini kapsayan kayıt	<30 yaş, 7 bin TL,...>
S_k	Özetleyici	Genç, orta, vb.
Q	Niceleyici	Çoğu, yaklaşık yarısı, hepsi, vb.
$w_g(S_g)$	Niteleyici	Genç, orta, vb.
T	Doğruluk derecesi	[0,1] aralığında bir değer

Y nesne kümesi $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_M\}$ olarak tanımlanmaktadır. Nesnelere ait özelliklerin kümesi ise $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_k\}$ gösterilmektedir. X_k ($k=1, 2, 3, \dots, K$) v_k ’in tanım kümesi olarak tanımlanmakla birlikte $v_k(y_m) \equiv v_k^m \in X_k$, m. nesnenin k. özelliğine ait değeri göstermektedir. Dilsel özetlerde Y kümesine ait nesnelerle ilgili veritabanı ise D ile gösterilmektedir.

$$D = \left\{ \langle v_1^1, v_2^1, \dots, v_K^1 \rangle, \langle v_1^2, v_2^2, \dots, v_K^2 \rangle, \dots, \langle v_1^M, v_2^M, \dots, v_K^M \rangle \right\} \equiv \{d_1, d_2, \dots, d_M\} \quad (6.31)$$

S_k özetleyicisi tip-1 BK ile etiketlendiği takdirde Eş. 6.33 elde edilmektedir.

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_K\} \quad (6.32)$$

$$\mu_S(d_m) \equiv \bigotimes_{k=1}^K \mu_{S_k}(v_k^m) \quad k = 1, 2, \dots, K; m = 1, 2, \dots, M \quad (6.33)$$

Dilsel özetlerde genellikle temel iki cümle yapısı bulunmaktadır. Bunlar tip-I ve tip-II niceleyici cümlelerdir.

6.6.1. Tip-I niceleyici cümleler

“ $Q Y(\text{nesneler}) S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_K\}$ dir. $[T]$ ”

Yukarıdaki özet yapısı tip-I niceleyici cümleler olarak adlandırılmaktadır. Bu cümlelerde Q tip-1 BK ile modellenen dilsel niceleyici, Y nesneler kümesini, S özetleyiciler kümesini ve T özetin doğruluk derecesini göstermektedir. Veri setinin, özeti ne derece desteklediği doğruluk derecesi ile anlaşılmaktadır. T değeri Eş. 6.34’de verilen formülle hesaplanmaktadır.

$$T_1 = \mu_Q \left(\frac{r}{R} \right) \quad (6.34)$$

T eşitliğinde tanımlanan r ve R değerleri Eş. 6.35 ve Eş. 6.36’da verilen eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$r = \sum_{m=1}^M \mu_S(d_m) \quad (6.35)$$

$$R = \begin{cases} M, & \text{Göreceli niceleyici (çoğu)} \\ 1, & \text{Mutlak niceleyici (100' den fazla)} \end{cases} \quad (6.36)$$

Bu formdaki özetlemeye örnek olarak “Çoğu çalışan yaşıldır [0,7]” ifadesi verilebilir. Bu örnekte “çoğu” dilsel niceleyici, “çalışan” nesne, “yaşlı” özetleyici ve “0,7” özetin doğruluk derecesini göstermektedir.

6.6.2. Tip-II niceleyici cümleler

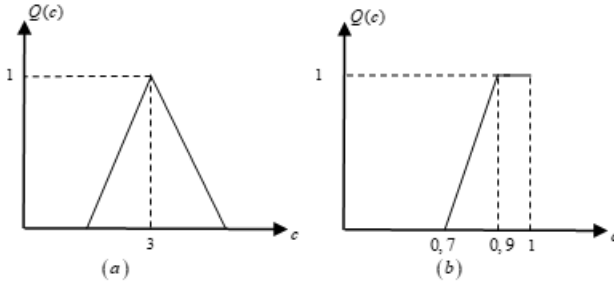
“ $Q_{w_g}(S_g) Y(nesneler), \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_K\}$ dir. $[T]$ ”

Yukarıdaki özet yapısı tip-II niceleyici cümleler olarak adlandırılmaktadır. $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_K\}$ kümesinde tanımlanmış öncül özetleyiciler $w_g(S_g)$ ’dir ve niteleyici olarak da adlandırılmaktadır. Bu cümlelerde doğruluk derecesi Eş. 6.37 ile hesaplanmaktadır.

$$T_1 = \mu_Q \left(\frac{r}{\sum_{m=1}^M \mu_{w_g}(v_g^m)} \right) \quad (6.37)$$

Bu özet yapısında sadece göreceli niceleyici kullanılabilir. Bu formdaki özetlemeye örnek olarak “Çoğu yaşlı çalışanın aylık kazancı çoktur [0,6]” ifadesi verilebilir. Bu ifadede “çoğu” dilsel niceleyici, “çalışan” nesne, “yaşlı” öncül özetleyici (niteleyici), “aylık kazancı çoktur” özetleyici ve “0,6” özetin doğruluk derecesini göstermektedir.

Literatürde farklı niceleyiciler tanımlanmakla birlikte genel manada evrensel niceleyiciler “var” ($\exists$) ve “tümü” ($\forall$) niceleyicileridir. Dilsel özetlemelerde göreceli ve mutlak olarak adlandırılan iki farklı tip niceleyici kullanılmaktadır. Mutlak niceleyiciler negatif olmayan bulanık tamsayı veya bir aralığı tanımlamada kullanılmaktadır. Bu tip niceleyicilere örnek olarak “yaklaşık 3”, “2 ile 4 arasında” verilebilir. “yaklaşık 3” mutlak niceleyicisi Şekil 6.5.a’da gösterilmiştir. Göreceli niceleyiciler ise bulanık oranı göstermektedir. Bu tip niceleyicilere örnek olarak “çoğu”, “yaklaşık yarısı” verilebilir. “çoğu” göreceli niceleyicisi Şekil 6.5.b’de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. (a) “yaklaşık 3” mutlak niceleyicisi (b) “çoğu” göreceli niceleyicisi

6.7. Trend Analizi

Zaman serilerinin çözümlenmesi noktasında karşımıza çıkan önemli hususlardan biri trend kavramıdır. Trend, bir zaman serisinin belirli yönde göstermiş olduğu eğilim olarak tanımlanmaktadır (Charbonnier & Gentil, 2007). Zaman serileri doğrusal olarak azalan, sabit ya da doğrusal olarak artan parçalı fonksiyonlar şeklinde ifade edilebilmektedir. Zaman serilerinin parçalı doğrusal fonksiyonlarını diğer bir ifade ile trendlerini belirlemek için birçok algoritma kullanılmaktadır. Bu çalışmada, zaman serilerinden elde edilen Macd-histogram değerleri kullanılarak doğrusal parçalı trendler çıkarılmaktadır (Wang ve Kim, 2018).

6.8. Macd-Histogram

Macd-histogram değeri, lineer parçalı trendlerin çıkarılmasında önemli bir adım olan zaman serilerinin dönüm noktalarını belirlemek için kullanılır. Macd-histogram zaman serisinin ivmesini gösterirken macd zaman serisinin hızını göstermektedir. Zaman serilerindeki aşağı ve yukarı yönlü trendlerin başlangıç ve bitiş zamanları bu yöntem ile bulunabilmektedir. MACD-histogram Eş. 6.38-Eş. 6.39'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{MACD} - \text{Histogram}_t = \text{EMA}_t^{n=12} - \text{EMA}_t^{n=26} - \text{EMA}_t^{n=9} \quad (6.38)$$

$$\text{EMA}_t^n = \alpha(p_t - \text{EMA}_{t-1}^n) + \text{EMA}_{t-1}^n \quad (6.39)$$

Bu eşitlikte yer alan;

$\alpha = 2 / (n + 1)$, α katsayısı 0 ile 1 arasında ağırlık düşüşünün derecesini temsil etmektedir.

P_t t zamanındaki değeri ifade etmektedir.

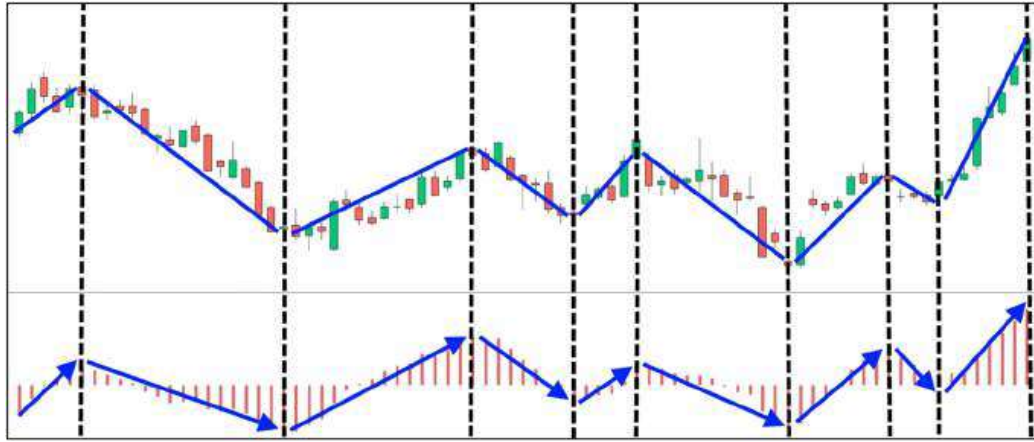
n, zaman periyodunu göstermektedir.

$t = n$ ise Üssel Hareketli Ortalama (EMA) = Basit Hareketli Ortalama (SMA) olmaktadır.

$$SMA_n = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \text{ 'dir.}$$

6.9. Algoritma Adımları

Düzgün aralıklarla ölçülen bir veri dizisi olan zaman serilerinde trendler azalan, sabit ya da artan fonksiyonlar olarak tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada zaman serisinden elde edilen macd- histogram değerleri yardımıyla yerel trendler çıkarılmıştır. Şekil 6.6'da verilen macd- histogram grafiğinde, değerlerin sürekli azalış gösterdiği zaman diliminde doğal gaz fiyatı değerlerinde azalan trend; değerlerin sürekli bir artış gösterdiği zaman diliminde ise doğal gaz fiyatı değerlerinde artan trend oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 6.6. Macd-histogram grafiği (Özdoğan, Boran ve Akay, 2020)

MACD-histogram değeri, zaman serisinin her bir zaman noktası için hesaplanmaktadır. Daha sonra zaman serisinin t'inci zamanın mutlak MACD-histogram değeri, t-1 ve t+1'in mutlak MACD-histogram değeri ile karşılaştırılır. Zaman serisinin t'inci maddesinin mutlak MACD-histogram değeri, t-1 ve t+1'inci zamanın mutlak MACD-histogram değerinden büyükse, t bir dönüm noktası olarak etiketlenir. Zaman serisinin tüm dönüm noktaları tanımlandıktan sonra, dönüm noktaları kümesi şu şekilde tanımlanır: $I = \{i_1, i_2, \dots, i_u\}$. Dönüm noktaları belirlendikten sonra, zaman serileri doğrusal parçalı trendlerle ayrılır. Her

bölüm, iki dönüş noktası arasındaki zaman aralığını içermektedir ve $P_u = \{p_u, \dots, p_{u+1}\}$ kümesi ile gösterilir.

Bir trendde MACD-histogram değerleri sürekli artıyorsa artan trend oluşur, MACD histogram değerleri sürekli azalıyorsa azalan trend oluşmaktadır. Belirlenen her trend için $\hat{p}_t = a_u + b_u t$, $t = i_u, \dots, i_{u+1}$ şeklinde bir lineer regresyon denklemi oluşturulur. Denklemin sabit ve eğim katsayıları aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplanır.

$$a_u = \frac{2(2(i_{u+1}-i_u+1)+1)}{(i_{u+1}-i_u+1)(i_{u+1}-i_u)} \sum_{t=i_u}^{i_{u+1}} P_t - \frac{6}{(i_{u+1}-i_u+1)(i_{u+1}-i_u)} \sum_{t=i_u}^{i_{u+1}} t \times P_t$$

$$b_u = \frac{12}{(i_{u+1}-i_u+1)((i_{u+1}-i_u)^2-1)} \sum_{t=i_u}^{i_{u+1}} t \times P_t - \frac{12}{(i_{u+1}-i_u+1)(i_{u+1}-i_u)} \sum_{t=i_u}^{i_{u+1}} P_t$$

MACD histogram tabanlı algoritmanın sözde kodu ise Şekil 6.7.'de verilmiştir.

```

I(1)={1}
for t=2:N
    if (|MACD_t|>|MACD_{t-1}| ve |MACD_t|>|MACD_{t+1}|)
        t=t;
        I(t)= I(t-1) U t;
    son
son
U=uzunluk(I) // (i_u ∈ I | I={i_1, i_2, ..., i_u})
for u=1:U-1
    P_u = {P_{i_u}, ..., P_{i_{u+1}}};
    P_t = {a_u + b_u t}, t = {i_u, ..., i_{u+1}} // doğrusal trend modeli oluştur
    a_u = \frac{2(2(i_{u+1}-i_u+1)+1)}{(i_{u+1}-i_u+1)(i_{u+1}-i_u)} \sum_{t=i_u}^{i_{u+1}} P_t - \frac{6}{(i_{u+1}-i_u+1)(i_{u+1}-i_u)} \sum_{t=i_u}^{i_{u+1}} t \times P_t
    b_u = \frac{12}{(i_{u+1}-i_u+1)((i_{u+1}-i_u)^2-1)} \sum_{t=i_u}^{i_{u+1}} t \times P_t - \frac{12}{(i_{u+1}-i_u+1)(i_{u+1}-i_u)} \sum_{t=i_u}^{i_{u+1}} P_t
    son

```

Şekil 6.7. Sözde Kod

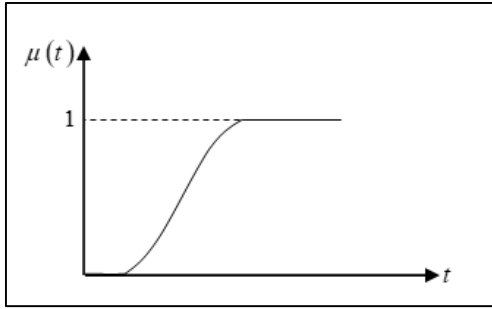
6.10. Zaman Serilerinin Dilsel Özetlenmesi

Zaman serilerinde yerel trendler bulunduktan sonra trendlerin;

- Süresi,
- Dinamikliği (açı)
- Değişkenliği

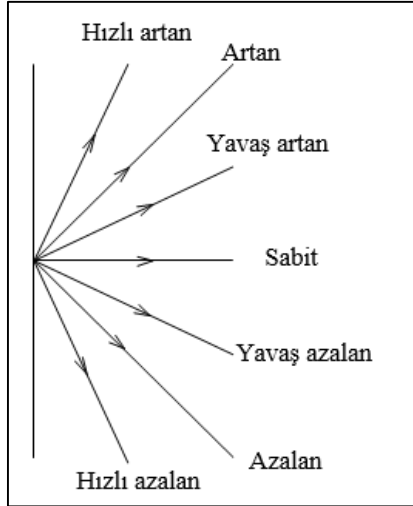
dikkate alınarak özetleme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Trendin süresi, yerel bir trend esnasında geçen süre olarak ifade edilmektedir. Bu süre, dilsel değişkenler ile tanımlanır. Dilsel değişkenlerin ifade edilmesinde ise dilsel etiketler kullanılmaktadır. Dilsel etiketlerin her biri bulanık kümede modellenmektedir. Trendin uzunluğunun “uzun” tip-1 BK ile tanımlandığı örnek Şekil 6.8.’de verilmiştir.



Şekil 6.8. Değişimin süresi için “uzun” bulanık kümesinin gösterimi

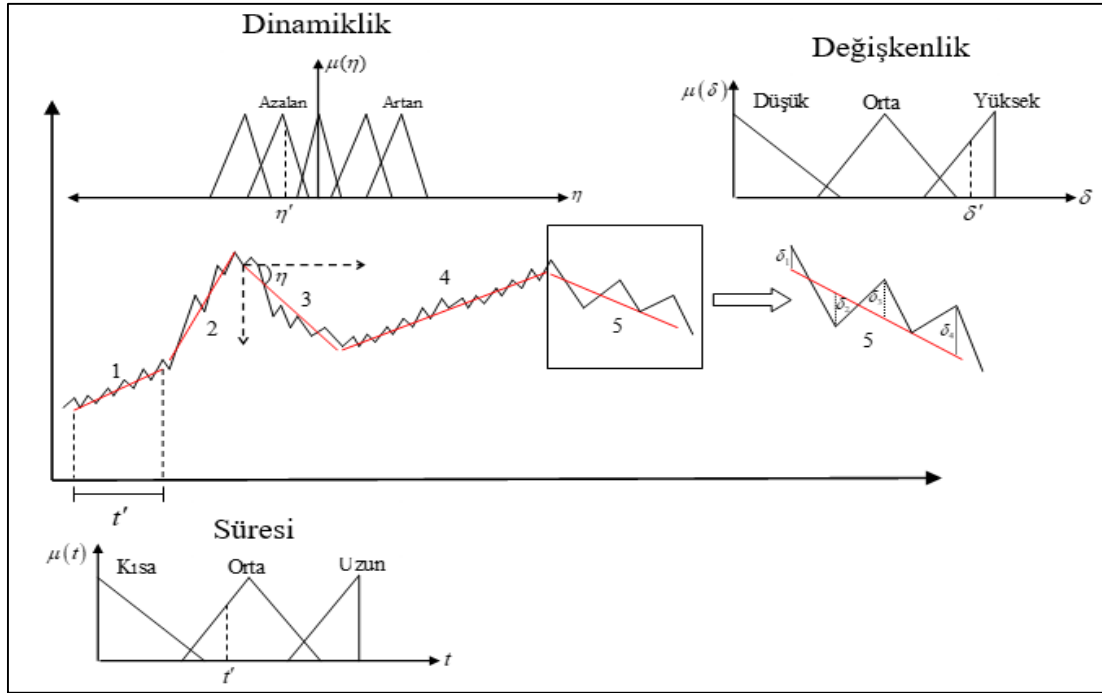
Dinamiklik ise, trendlerin hızıyla ilgili bir parametredir. Trende ait düzgün doğrunun x eksenine yapmış olduğu açının eğimi ile ifade edilmektedir. Bu açı değeri $\eta(-90^0, 90^0)$ arasında değişkenlik göstermektedir. Bu değerler dilsel özetlemede direkt olarak kullanılması zordur. Bu sebeple trendlerin değişimi dilsel etiketler yardımıyla dilsel olarak ifade edilir. Dilsel etiketlerin her biri bulanık kümede modellenmektedir.



Şekil 6.9. Dinamikliğin görsel olarak gösterimi

Değişkenlik ise, zaman serisinde yer alan verinin yerel trendden ne kadar saptığını ölçen bir parametredir. Değişkenlik ile elde edilen sonuçların normalize edilmesi gerekmektedir. Normalize edilmemesi durumunda yanlış sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Diğer parametrelerde olduğu gibi çıkan sonuçlar dilsel etiketler yardımıyla dilsel olarak ifade edilir. Dilsel etiketlerin her biri bulanık kümede modellenmektedir.

Yukarıda açıklanan trendin özelliklerinin nasıl bulunduğuyla ilişkin süreç şekil 6.10.'da kısa bir şekilde gösterilmektedir. Şekilde trendin süresi birinci trend üzerinde t' olarak gösterilmiştir. Trendlerin süresi ise “kısa”, “orta” ve “uzun” dilsel etiketleri ile ifade edilmiştir. Trendlerin dinamikliğinin bulunması üçüncü trend üzerinde gösterilmiştir. Trendin x eksenini yaptığı η açısı bulunmuştur. Trendlerin dinamikliği “artan” ve “azalan” dilsel etiketleri ile ifade edilmiştir. Trendlerin değişkenliğinin bulunması ise beşinci trend üzerinde gösterilmiştir. Zaman serisi ile yerel trend arasındaki farklılıklar ölçülerek ölçülen değerlerin ortalaması (δ) alınmıştır. Trendlerin değişkenliği “düşük”, “orta” ve “yüksek” dilsel etiketleri ile ifade edilmiştir. Bulunan bu t' , η ve δ değerlerinin ilgili bulanık kümelerle aitlik dereceleri bulunarak dilsel özetleri değerlendirmede kullanılmaktadır.



Şekil 6.10. Yerel trendlerin süresi, dinamikliği ve değişkenliği (Boran ve Akay, 2014)

6.11. Dilsel Özetlerin Doğruluk Derecesinin Hesaplanması

Dilsel özetleme işlemleri gerçekleşirken en önemli adım bu özetlerin değerlendirilmesidir. Özetler değerlendirilirken özetlerin doğruluk derecesi hesaplanmaktadır. Doğruluk derecesi güvenilir olmadığı durumlarda hatalı çıkarımlar elde edilebilir (Kacprzyk, Wilbik ve Zadrozny, 2010).

Doğruluk derecesinin hesaplamalarında skalar kardinalite ve bulanık kardinalite temelli yöntemler kullanılmaktadır. Skalar kardinalite temelli doğruluk derecesi Eş. 6.40'da verilmiştir.

$$Z_Q(S) = Q \left(\frac{\sum_{m=1}^M \mu_S(d_m)}{|Y|} \right) \quad (6.40)$$

Fakat skalar kardinalite temelli yöntemler bazı durumlarda veri tarafından desteklenmeyen ve tutarsız dilsel özetler elde edilebilmesine neden olmaktadır (Delgado, Sánchez, & Vila, 2000). Bu sebeple doğruluk derecesi hesaplamalarında skalar kardinalite yerine bulanık

kardinalite yönteminin kullanılması önerilmektedir. Aşağıda skalar kardinalite yönteminin tutarsızlığına ilişkin örnek verilmiştir (Yager, 1988).

$w_g(S_g)$ ve $S, Y = \{y_1, y_2\}$ evrensel uzayında birer bulanık küme ve gösterimi aşağıdaki gibi olsun.

$$w_g(S_g) = \left\{ \frac{1}{y_1}, \frac{0}{y_2} \right\} \quad S = \left\{ \frac{0}{y_1}, \frac{1}{y_2} \right\}$$

Minimum operatörü t-norm olarak kullanıldığında bu kümelerin kesişimi $S \cap w_g(S_g)$ aşağıda verilmiş olup $T = 0$ olmaktadır (Martin, Shen ve Majidian, 2010).

$$S \cap w_g(S_g) = \left\{ \frac{0}{y_1}, \frac{0}{y_2} \right\}$$

Diğer taraftan,

$w_g(S_g)$ ve $S, Y = \{y_1, y_2, \dots, y_{1000}\}$ evrensel uzayında birer bulanık küme gösterimi aşağıdaki gibi olsun.

$$w_g(S_g) = \left\{ \frac{1}{y_1}, \frac{0,01}{y_2}, \frac{0,01}{y_3}, \dots, \frac{0,01}{y_{1000}} \right\} \quad S = \left\{ \frac{0,01}{y_1}, \frac{1}{y_2}, \frac{0,01}{y_3}, \dots, \frac{0,01}{y_{1000}} \right\}$$

Minimum operatörü t-norm olarak kullanıldığında bu kümelerin kesişimi $S \cap w_g(S_g)$ aşağıda verilmiştir.

$$S \cap w_g(S_g) = \left\{ \frac{0,01}{y_1}, \frac{0,01}{y_2}, \frac{0,01}{y_3}, \dots, \frac{0,01}{y_{1000}} \right\}$$

$w_g(S_g)$ ve S farklı iki küme olmasına rağmen $T = 0,91$ gibi büyük bir değer almaktadır. Bu durum büyük ve küçük üyelik dereceleri arasındaki farkın ayırt edilememesinden kaynaklanmakta olup; üyelik derecesindeki küçük bir değişim, doğruluk derecesinde büyük bir değişime sebep olmaktadır. Yukarıda verilen bu iki örnek doğruluk derecesini

hesaplama da skalar kardinalite yöntemi kullanılması nın tutarsız sonuçlar üretebildiğini göstermektedir (Martin ve diğ erleri, 2010).

6.11.1. Bulanık kardinalite temelli doğruluk derecesi

Bazı durumlarda skalar kardinalite kullanımı doğruluk derecesinin hesaplanmasında tutarsız sonuçlar üretmesi sebebiyle doğruluk derecesinin hesaplanmasında skalar kardinalite yerine bulanık kardinaliteyi kullanan yöntemler önerilmiştir. Doğruluk derecesinin hesaplanmasında tip-I ve tip-II niceleyici cümleleri değerlendirmek için farklı bulanık kardinalite temelli yöntemler kullanılmaktadır. Delgado ve arkadaşları doğruluk derecesinin hesaplanmasında bulanık kardinalitenin kullanıldığı olasılık temelli GD_Q metodunu ve olabilirlik temelli ZS_Q metodunu önermişlerdir (Delgado, Sánchez ve Vila, 2000). Bu tez çalışmasında bulanık kardinalite temelli olasılık temelli yöntem kullanılmış olup bu yöntem aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Tip-II Niceleyici Cümleleri Değerlendirmek için Olasılık Temelli Yöntem

Delgado ve ark. tip-II cümlelerin değerlendirilmesi için Eş. 6.41’de tanımlanan göreceli bulanık kardinalitenin hesaplanmasına dayanan olasılık temelli yöntemi önermişlerdir (Delgado, Sánchez ve Vila, 2000).

$$GD_Q\left(S|w_g(S_g)\right)=\sum_{c \in CR\left(S|w_g(S_g)\right)} ER\left(S|w_g(S_g),c\right) \times Q(c) \quad (6.41)$$

$ER\left(S|w_g(S_g),c\right)$, S BK’sının $w_g(S_g)$ BK’sına göre göreceli bulanık kardinalitesi olup Eş. 6.42’de tanımı verilmiştir.

$$ER\left(S|w_g(S_g),c\right)=\sum_{c \in C\left(S|w_g(S_g),\alpha_i\right)}\left(\alpha_i-\alpha_{i+1}\right) \quad \forall c \in CR\left(S|w_g(S_g)\right) \quad (6.42)$$

C , göreceli bulanık kardinalitenin oranını göstermektedir. Bu oranın bulabilmek için $C\left(S|w_g(S_g),\alpha_i\right)$ ve $CR\left(S|w_g(S_g)\right)$ kümelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu kümeler Eş. 6.43 ve Eş. 6.44’de tanımlanmıştır.

$$C\left(S|_{w_g(S_g)}, \alpha_i\right) = \frac{\left|(S \cap w_g(S_g))_{\alpha_i}\right|}{\left|w_g(S_g)_{\alpha_i}\right|} \quad (6.43)$$

$$CR\left(S|_{w_g(S_g)}\right) = \left\{ \frac{\left|(S \cap w_g(S_g))_{\alpha}\right|}{\left|w_g(S_g)_{\alpha}\right|}, \text{ öyleki } \alpha \in \Gamma\left(S|_{w_g(S_g)}\right) \right\} \quad (6.44)$$

Eş.6.45’de verilen $\Gamma\left(S|_{w_g(S_g)}\right)$, $S \cap w_g(S_g)$ ve $w_g(S_g)$ kümelerinde bulunan elemanların üyelik derecelerinin birleşimiyle oluşan bir kümedir. $w_g(S_g)$ BK’sı normal BK olmak zorundadır. Eğer normal BK değilse normalize edilir. Normalizasyonda kullanılan katsayıyla ayrıca $S \cap w_g(S_g)$ kümesi de normalize edilmelidir.

$$\Gamma\left(S|_{w_g(S_g)}\right) = \Gamma\left(S \cap w_g(S_g)\right) \cup \Gamma\left(w_g(S_g)\right) \quad (6.45)$$

$\Gamma\left(S|_{w_g(S_g)}\right) = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\}$ kümesi, α kesmelerinden oluşan bir küme olup $1 = \alpha_1 > \alpha_2 > \dots > \alpha_m > \alpha_{m+1} = 0$ şartını sağlamaktadır. $\Gamma\left(S|_{w_g(S_g)}\right)$ kümesinin nasıl bulunduğu aşağıdaki örnekte açıklanmıştır.

$w_g(S_g)$ ve S , $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$ evrensel uzayında birer bulanık küme ve gösterimi aşağıdaki gibi olsun.

$$w_g(S_g) = \left\{ \frac{0,3}{y_1}, \frac{0,5}{y_2}, \frac{0,8}{y_3} \right\} \quad S = \left\{ \frac{0,2}{y_1}, \frac{0,4}{y_2}, \frac{0,6}{y_3} \right\}$$

Minimum operatörü t-norm olarak kullanıldığında bu kümelerin kesişimi $S \cap w_g(S_g)$ aşağıda verilmiştir.

$$S \cap w_g(S_g) = \left\{ \frac{0,2}{y_1}, \frac{0,4}{y_2}, \frac{0,6}{y_3} \right\}$$

$w_g(S_g)$ kümesi normal bulanık küme olmadığından $w_g(S_g)$ ve $S \cap w_g(S_g)$ kümelerinin normalize edilmesi gerekmektedir. Normalizasyon katsayı 0,8 olup normalizasyon işlemi sonrası aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$w_g(S_g) = \left\{ \frac{0,375}{y_1}, \frac{0,625}{y_2}, \frac{1}{y_3} \right\}$$

$$S \cap w_g(S_g) = \left\{ \frac{0,25}{y_1}, \frac{0,5}{y_2}, \frac{0,75}{y_3} \right\}$$

Normalizasyon sonrası;

$\Gamma(S|w_g(S_g)) = \{1; 0,75; 0,625; 0,5; 0,375; 0,25\}$ şeklinde bulunmuştur.

Eş. 6.45’de verilen eşitlikte gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra Eş. 6.46’da elde edilir.

$$GD_Q(S|w_g(S_g)) = \sum_{\alpha_i \in \Gamma(S|w_g(S_g))} (\alpha_i - \alpha_{i+1}) \times Q \left(\frac{|(S \cap w_g(S_g))_{\alpha_i}|}{|w_g(S_g)_{\alpha_i}|} \right) \quad (6.46)$$

Bu tez çalışmasında zaman serisinin doğrusal fonksiyonlara bölünmesinde macd-histogram yöntemi kullanılarak zaman serilerinin yerel trendleri elde edilmiştir. Bu yerel trendlerin davranışlarının belirlenmesinde ise trendlerin süresi, dinamikliği ve değişkenliği dikkate alınmıştır. Ardından trendlerin özellikleri dikkate alınarak tip-II yapısında özet cümleler üretilmiştir. Son aşamada ise, bulanık kardinalite temelli GD_Q yöntem kullanılarak oluşturulan özet cümlelerin doğruluk dereceleri hesaplanmıştır. Burada bahsedilen süreçler için MATLAB programından yararlanılmıştır.

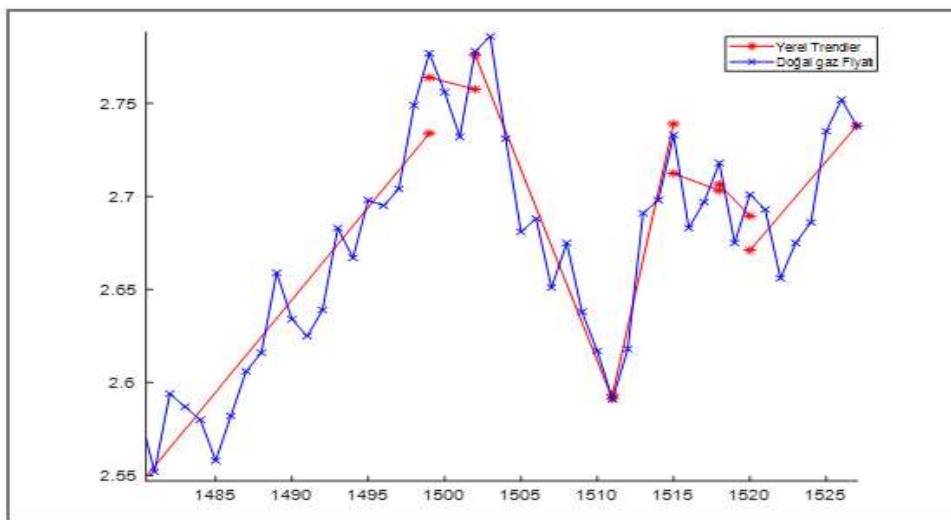
7. UYGULAMA

Bu tez çalışmasında bir zaman serisinin doğrusal fonksiyonlara bölünmesinde macd-histogram yöntemi kullanılarak zaman serilerinin yerel trendleri elde edilmiştir. Bu yerel trendlerin davranışlarının belirlenmesinde ise trendlerin süresi, dinamikliği ve değişkenliği dikkate alınmıştır. Ardından trendlerin özellikleri dikkate alınarak tip-II yapısında özet cümleler üretilmiştir. Son aşamada ise, bulanık kardinalite temelli GD_Q yöntem kullanılarak oluşturulan özet cümlelerin doğruluk dereceleri hesaplanmıştır.

Zaman serisi olarak günlük bazda Henry Hub doğal gaz fiyatının (\$/MMBTU) kapanış fiyatları kullanılmıştır. Doğal gaz fiyatının zaman serisi 16 Nisan 2012 ile 14 Nisan 2022 tarihleri arasındaki toplam 2 618 iş gününü içermekte olup bu seride en küçük değer 1,48 en büyük değer ise 7,30 olarak gözlemlenmiştir.

7.1. Yerel Trendlerin Belirlenmesi

Günlük bazda Henry Hub doğal gaz fiyatının 16 Nisan 2012 ile 14 Nisan 2022 tarihleri arasındaki kapanış fiyatları kullanılarak zaman serisi oluşturulmuştur. Yerel trendler macd-histogram yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu seriden toplam 460 adet yerel trend elde edilmiştir. Bahse konu yerel trendlere ilişkin bilgiler aşağıdaki Çizelge 7.1.'de, örnek yerel trendler ise Şekil 7.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Yerel trendler

Çizelge 7.1. Trendlere ilişkin istatistik bilgileri

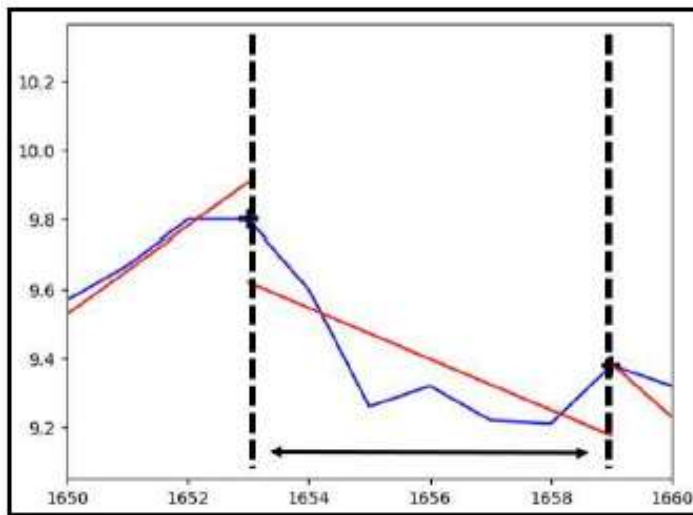
	Minimum	Maksimum
Trend Süresi	2	19
X eksenini ile yaptığı aç	-18,79	17,54
Ortalama mutlak hata	0,002	0,45

7.2. Dilsel Özetlerin Oluşturulması

Bahse konu zaman serisinin dilsel özetlenmesinde birçok çalışmada yapıldığı üzere bu tez çalışması kapsamında da trendlerin süresi, dinamikliği ve değişkenliği dikkate alınmıştır. Uygulamada izlenen adımlar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

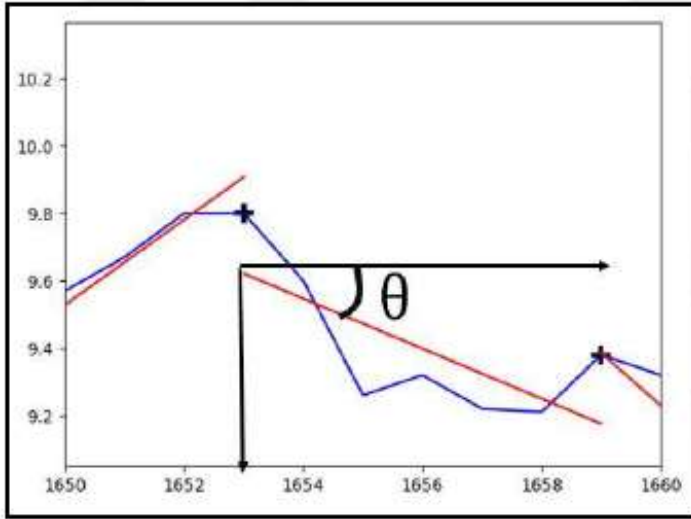
Adım 1

Trendlerin süresi, yerel bir trend esnasında geçen süre olarak alınmıştır. Bir trendin süresi Şekil 7.2.'de gösterilmiştir.



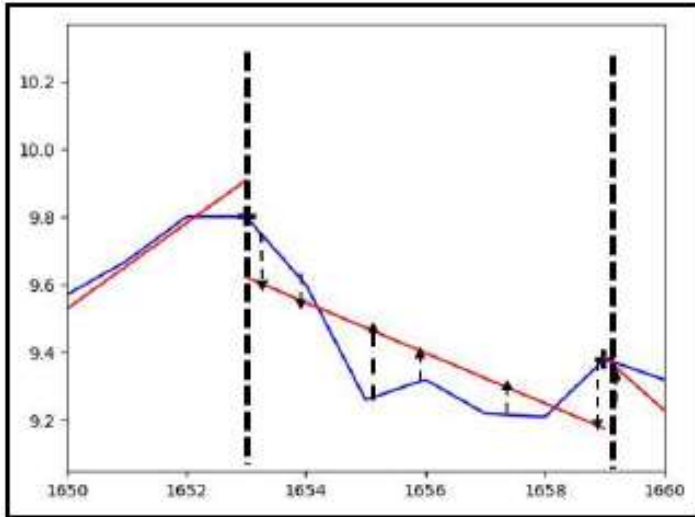
Şekil 7.2. Trendin süresi (Özdoğan, Boran ve Akay, 2020)

Dinamiklik özelliği olarak yerel trendlerin x eksenini ile yaptığı aç alınmıştır. Şekil 7.3.'te bir yerel trendin x eksenini ile yaptığı aç gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Trendin x eksenine yaptığı açı (Özdoğan, Boran ve Akay, 2020)

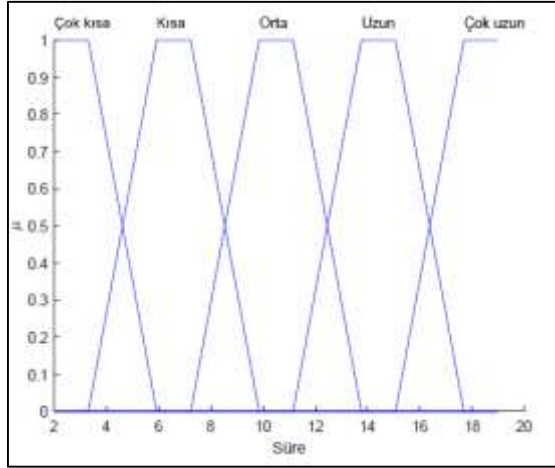
Trendlerin başlangıç ve bitiş noktası arasında oluşturulan regresyon doğrusu ile doğal gaz fiyatları arasındaki farkı gösteren ortalama mutlak hata değeri ise değişkenlik özelliği olarak alınmıştır. Bir yerel trendin oluşturduğu mutlak hata değeri Şekil 7.4.'te gösterilmiştir.



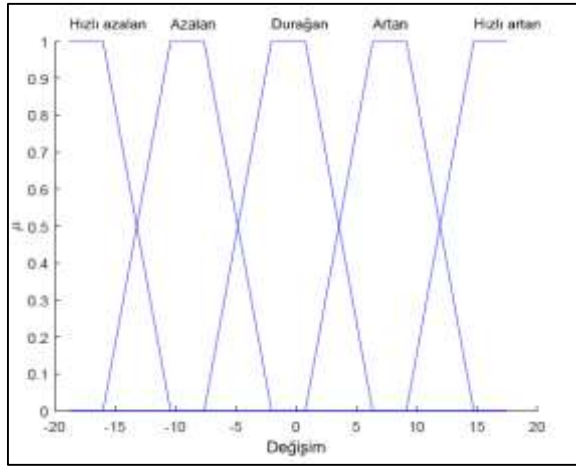
Şekil 7.4. Trendin hata değeri (Özdoğan, Boran ve Akay, 2020)

Adım 2

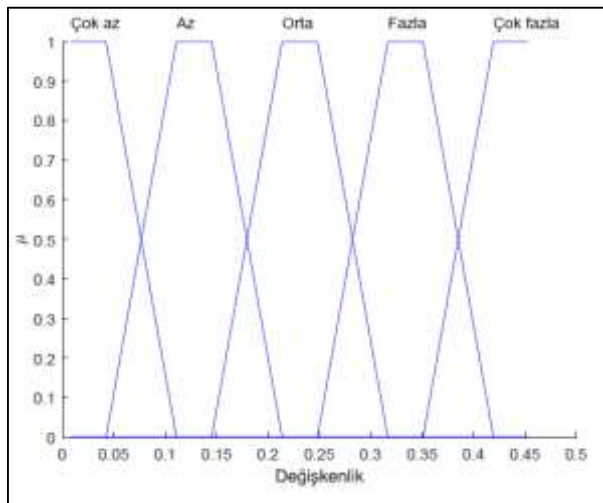
Belirlenen trendlerin süre, dinamiklik ve değişkenlik özellikleri için beş farklı etiket tanımlanmış ve bulanık kümeler oluşturulmuştur. Oluşturulan bulanık kümeler Şekil 7.6., Şekil 7.7. ve Şekil 7.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 7.5. Yerel trendlerin süresini temsil eden bulanık kümeler



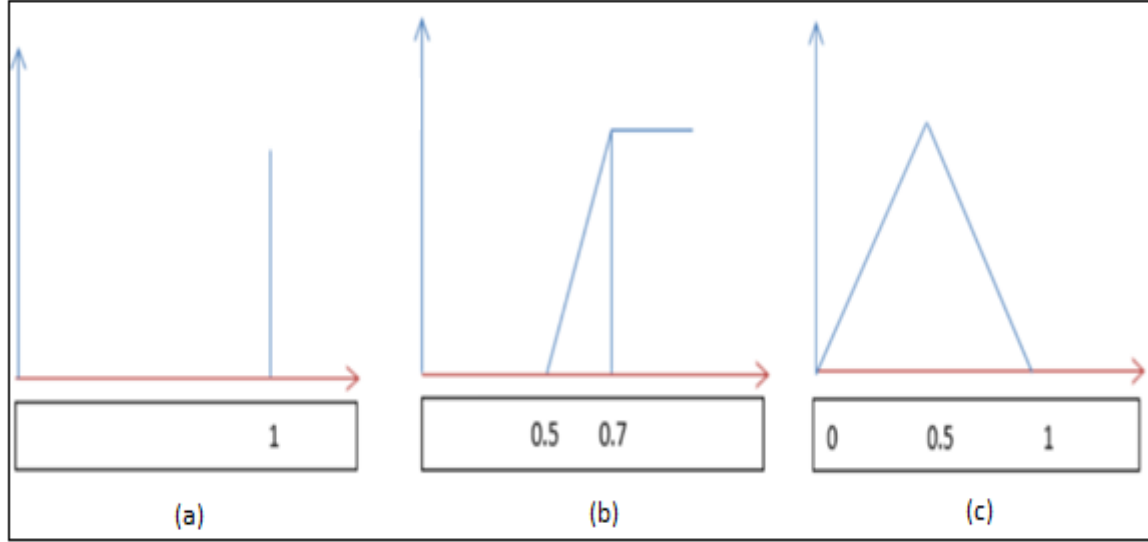
Şekil 7.6. Yerel trendlerin dinamikliğini temsil bulanık kümeler



Şekil 7.7. Yerel Trendlerin değişkenliğini temsil bulanık kümeler

Adım 3

Dilsel özetlerin oluşturulmasında Şekil 7.8.'de gösterildiği gibi tümü, çoğu, yaklaşık yarısı olmak üzere üç farklı niceleyici kullanılmıştır.



Şekil 7.8. Kullanılan Niceleyiciler: (a) Tümü (b) Çoğu (c) Yarısı

Trendlerin her bir özelliğinden beş adet etiket ve üç adet niceleyici kullanarak toplam 450 adet tip-II niceleyici cümle oluşturulmuştur.

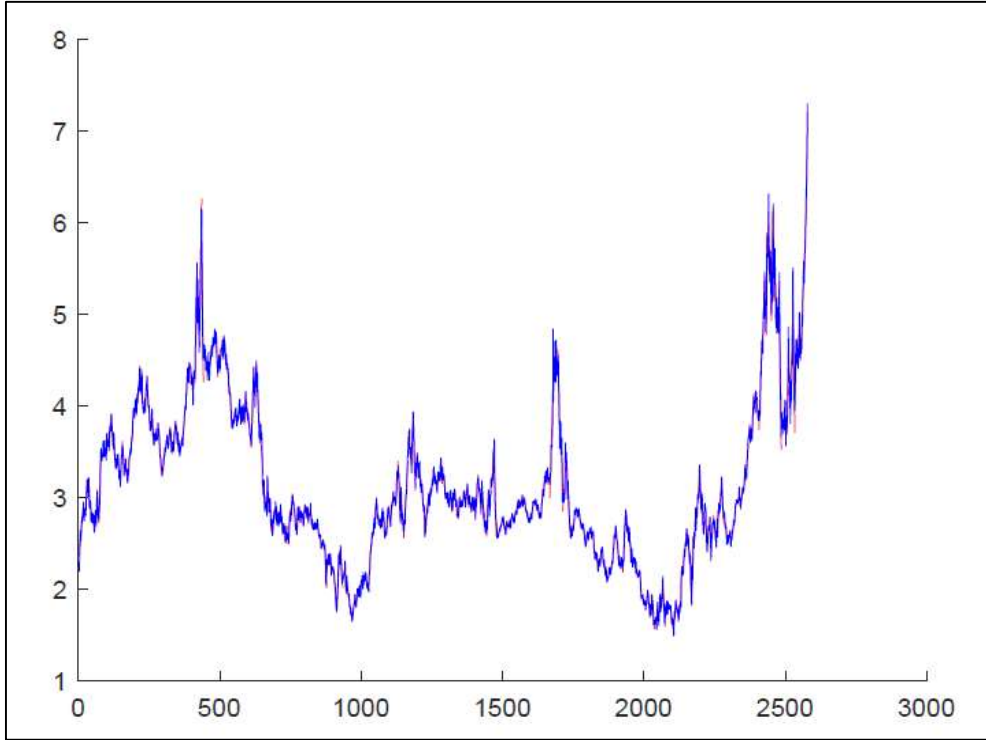
7.3. Dilsel Özetlerin Değerlendirilmesi

Oluşturulan 450 adet dilsel özet, bulanık kardinalite temelli GD_Q yöntem kullanılarak değerlendirilmiştir. Bahse konu değerlendirme MATLAB'da yöntemin kodlanması ile gerçekleştirilmiştir.

Oluşturulan dilsel özetlerden doğruluk derecesi $[0,6]$ 'dan büyük olanlar Çizelge 7.2.'de verilmiştir. Söz konusu doğal gaz fiyatının 10 yıllık günlük kapanış fiyatlarını gösteren grafik Şekil 7.9.'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Doğal gaz fiyatına ait dilsel özetlerin doğruluk dereceleri

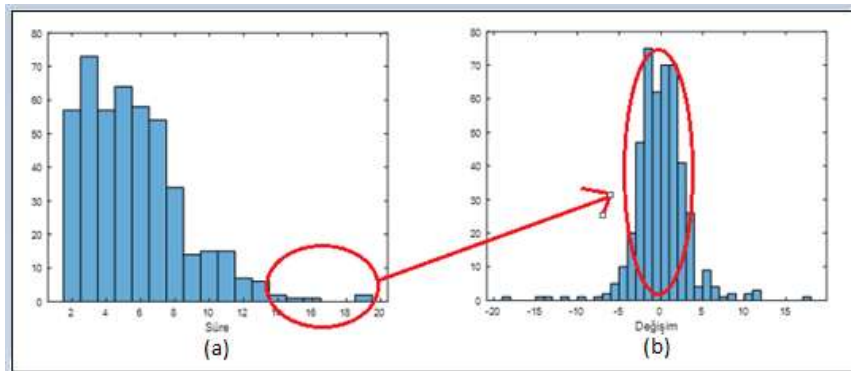
Dilsel Özetler	Doğruluk Dereceleri
Tüm süresi çok uzun trendlerin değişimi durağandır.	[1]
Tüm değişimi hızlı artan trendlerin değişkenliği azdır.	[0.79857]
Tüm değişimi hızlı artan trendlerin süresi çok kısadır.	[0.63261]
Tüm değişkenliği çok fazla trendlerin değişimi durağandır.	[1]
Süresi uzun trendlerin yaklaşık yarısının değişkenliği çok azdır.	[0.60807]
Değişimi artan trendlerin yaklaşık yarısının değişkenliği azdır.	[0.60089]
Değişkenliği fazla trendlerin yaklaşık yarısının değişimi durağandır.	[0.6055]
Değişkenliği orta trendlerin yaklaşık yarısının süresi kısadır.	[0.65649]
Çoğu süresi çok kısa trendlerin değişkenliği çok azdır.	[0.73768]
Çoğu süresi kısa trendlerin değişkenliği çok azdır.	[0.63884]
Çoğu süresi orta trendlerin değişkenliği çok azdır.	[0.64957]
Çoğu süresi çok kısa trendlerin değişimi durağandır.	[0.92978]
Çoğu süresi kısa trendlerin değişimi durağandır.	[0.81313]
Çoğu süresi orta trendlerin değişimi durağandır.	[0.85452]
Çoğu süresi uzun trendlerin değişimi durağandır.	[0.93027]
Çoğu süresi çok uzun trendlerin değişimi durağandır.	[1]
Çoğu değişimi durağan trendlerin değişkenliği çok azdır.	[0.77465]
Çoğu değişimi hızlı artan trendlerin değişkenliği azdır.	[1]
Çoğu değişimi azalan trendlerin süresi kısadır.	[0.69497]
Çoğu değişimi hızlı artan trendlerin süresi çok kısadır.	[0.639]
Çoğu değişkenliği çok az trendlerin değişimi durağandır.	[0.97679]
Çoğu değişkenliği az trendlerin değişimi durağandır.	[0.63557]
Çoğu değişkenliği fazla trendlerin değişimi durağandır.	[0.66953]
Çoğu değişkenliği çok fazla trendlerin değişimi durağandır.	[1]
Çoğu değişkenliği fazla trendlerin süresi çok kısadır.	[0.77117]



Şekil 7.9. Doğal gaz fiyatının son 10 yıllık grafiği

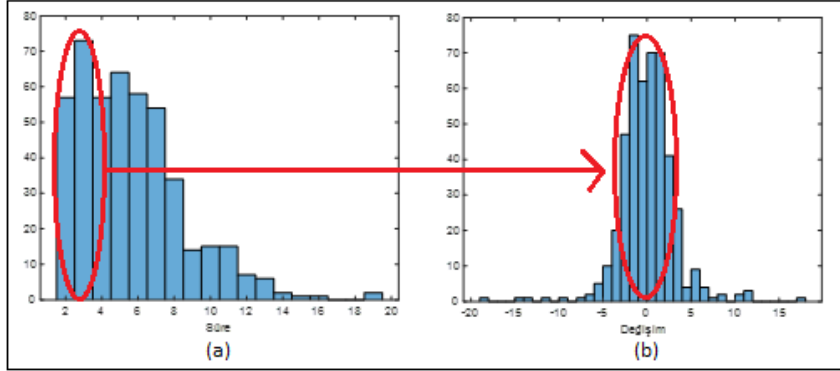
Yukarıda verilen doğruluk derecesi yüksek bazı dilsel özetlerden için genel bir değerlendirme yapacak olursak;

“Tüm süresi çok uzun trendlerin değişimi durağandır.” dilsel özetinin doğruluk derecesi 1 çıkmıştır. 10 yıllık verilerden elde edilen bilgiler ışığında süresi çok uzun olan diğer bir ifade ile süresi 16 günden fazla olan trendler Şekil 7.10.’da görüldüğü üzere çok az görülmüştür. Bu trendlerin tümü x eksenini ile -5 ile 4 derece arasında çok küçük açı yapmıştır.



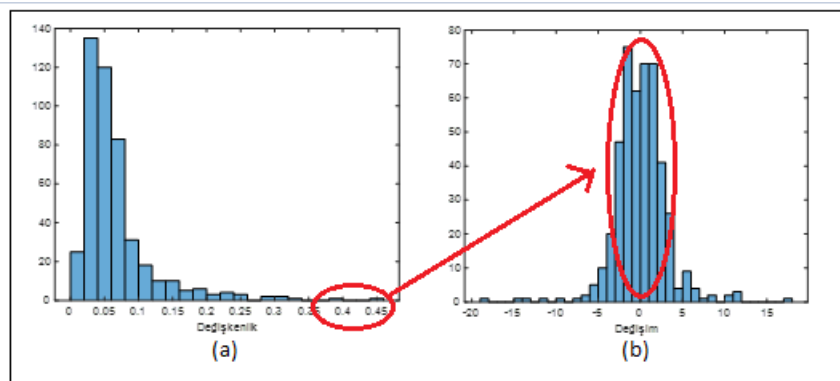
Şekil 7.10. Oluşan trendlerin frekans değerleri

“Çoğu süresi çok kısa trendlerin değişimi durağandır.” dilsel özetinin doğruluk derecesi oldukça yüksek bir değer çıkmıştır [0.92978]. 10 yıllık verilerden elde edilen bilgiler ışığında süresi çok kısa olan diğer bir ifade ile süresi 5 günden az olan trendler Şekil 7.11.’de görüldüğü üzere oldukça fazla görülmüştür. Bu trendlerin tümü x eksenini ile çok küçük açı yapmıştır.



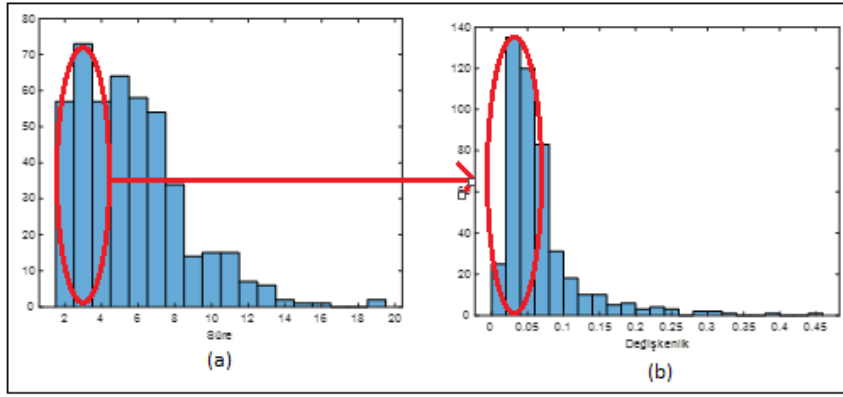
Şekil 7.11. Oluşan trendlerin frekans değerleri

“Tüm değişkenliği çok fazla trendlerin değişimi durağandır.” dilsel özetinin doğruluk derecesi 1 çıkmıştır. 10 yıllık verilerden elde edilen bilgiler ışığında değişkenliği çok fazla olan diğer bir ifade ile hata değeri 0,38’den büyük olan trendlerin tümü x eksenini ile çok küçük açı yapmıştır (Şekil 7.12).



Şekil 7.12. Oluşan trendlerin frekans değerleri

“Çoğu süresi çok kısa trendlerin değişkenliği çok azdır.” dilsel özetinin doğruluk derecesi 0.73768 çıkmıştır. 10 yıllık verilerden elde edilen bilgiler ışığında süresi 5 günden az olan trendlerin hata değeri 0,07’den küçük çıkmıştır (Şekil 7.13).



Şekil 7.13. Oluşan trendlerin frekans değerleri

Bununla birlikte, genel olarak özetlere bakıldığında trendlerin süresinin çoğunlukla çok kısa ve kısa sürdüğü, değişimin çoğunlukla durağan olduğu, değişkenliğin ise çoğunlukla çok az olduğu sonucu çıkartılmaktadır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Keşfinin ilk zamanlarında gereksiz bir madde olarak değerlendirilen doğal gaz başlangıçta aydınlatma amacıyla kullanılmış ve yakıt olarak kullanılması oldukça uzun zaman almıştır. Tam anlamıyla doğal gazın bir enerji kaynağı olarak sahneye çıkışı 1973 yılında OPEC'in sebep olduğu petrol krizinden sonrasına denk gelmektedir. Bu süreçte, yaşanan teknolojik gelişmeler, modernleşme ve sanayileşmeyle birlikte enerjiye olan ihtiyaç günden güne artış eğiliminde olmuştur. Gerek artan enerji talebinin karşılanması gerekse de krizin etkilerinin azaltılması amacıyla bazı ülkeler doğal gaz kullanmaya yönelmişlerdir. Geline nokta ise doğal gaz tüm dünyada oldukça yaygın kullanılan bir enerji kaynağı haline gelmiştir. 2020 yılı itibarıyla enerji ihtiyacının yaklaşık dörtte biri doğal gazdan sağlanmıştır.

Doğal gaz kaynakları dünya üzerinde oldukça dengesiz bir dağılım göstererek belli başlı bölgelerde yer almaktadır. Ancak doğal gaz küresel anlamda birçok bölgede kullanılmaktadır. Hal böyle iken doğal gazın ticareti zorunlu hale gelmiştir. Dış ticaret açığının azaltılması konusunda doğal gaz tüketiminin neredeyse tamamını ithal eden ülkeler için, doğal gaz fiyatlarının gelecekteki dalgalanmaları ve davranışlarının öngörülmesi oldukça önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. İlk zamanlarda doğal gaz ticareti petrol fiyatlarına endeksli uzun dönemli kontratlar vasıtasıyla yapılırken piyasaların serbestleşmesiyle birlikte gazın gaz ile rekabeti sonucu oluşan fiyatlarla kısa dönemli kontratlar, anlık ve vadeli alım satım sözleşmeleri ile gerçekleştirmeye başlamıştır. Bahse konu fiyatlar, piyasa merkezi olarak da adlandırılan hublarda oluşmaktadır. Çok likit bir spot ticaret noktası olması, küresel bazda LNG teslimat sözleşmelerinde burada oluşan fiyatların kullanılması ve dünyanın en çok işlem gören vadeli işlem sözleşmesine sahip olması sebebiyle karşımıza en başarılı hub olarak Amerika merkezli Henry Hub çıkmaktadır. Bu sebeple bu tez çalışmasında doğal gaz fiyatlarının öngörülmesi amacıyla Henry Hub'da oluşan doğal gaz fiyatları temel alınmıştır.

Çalışmada, 16 Nisan 2012 ile 14 Nisan 2022 tarihleri arasındaki Henry Hub'da oluşan doğal gaz fiyatları dikkate alınarak bir zaman serisi elde edilmiştir. Bu zaman serilerinin çözümlenmesi hususunda karşımıza trend kavramı çıkmaktadır. Trendlerin belirlenmesi için macd-histogram yöntemine başvurulmuştur. Bahse konu yöntem sayesinde trendlerin dönüm noktaları belirlenmiştir. Dönüm noktaları belirlendikten sonra, zaman serileri doğrusal parçalı trendlere ayrılmıştır. Ardından, belirlenen trendler için ise lineer regresyon

denklemleri oluşturulmuştur. Yerel trendler elde edildikten sonra dilsel özetlerin oluşturulması için süre, dinamiklik ve değişkenlik özellikleri dikkate alınmıştır. Bahse konu her özellik için 5 farklı etiket kullanılarak bulanık kümeler oluşturulmuştur. Ardından tümü, çoğu, yaklaşık yarısı niceleyicileri kullanılarak toplam 450 adet tip-II niceleyici cümle elde edilmiştir. Oluşturulan cümlelerin doğruluk derecelerinin hesaplanması için ise bulanık kardinalite temelli GD_Q yöntem kullanılmıştır. Doğal gazın 10 yıllık fiyatları dikkate alınarak oluşturulan özetlerin genel anlamda incelenmesi neticesinde trendlerin süresinin çoğunlukla çok kısa ve kısa sürdüğü, değişimin çoğunlukla durağan olduğu, değişkenliğin ise çoğunlukla çok az olduğu sonucu çıkartılmıştır.

Diğer taraftan, çıkarılan bazı özetler için alım ve satım stratejileri açısından değerlendirme yapmak da mümkün hale gelmiştir. Örneğin “Tüm değişimi hızlı artan trendlerin süresi çok kısadır. [0.63261]” özeti doğrultusunda, eğer trendin açısı 12 ile 17 arasında değişiyor diğer bir ifade ile değişim hızlı bir şekilde artıyor ise bu trendlerin süresi 2 ile 6 gün arasında değişmektedir. Bu minvalde en fazla beşinci günde doğal gaz satışı yapılması uygun olmaktadır. Bununla birlikte değişimi hızlı artan trendler incelendiğinde, bu trendlerden sonra ya küçük bir artış sonrası azalış ya da direkt azalış trendleri gözlemlenmiştir. Bu gözlem sonucunda değişimin hızlı arttığı dönemlerde eğer yeterli doğal gaz stokları var ise bahse konu trend boyunca ithalat yapılmamasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

“Tüm değişkenliği çok fazla trendlerin değişimi durağandır. [1]” dilsel özetine baktığımızda ise, değişkenliğin çok fazla olması, trend boyunca fiyat dalgalanmalarının oldukça fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bu özete göre bahse konu trend boyunca fiyatlarda sürekli dalgalanmaların olduğu ancak değişimin sabit olduğu anlaşılmaktadır. Bu trend boyunca doğal gazın yüksek fiyattan alınıp düşük fiyattan satılmasına olanak sağlandığından ticaret yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

“Değişimi artan trendlerin yaklaşık yarısının değişkenliği azdır. [0.60089]” özetine göre; eğer bir trend 4 ile 12 derece arasında bir artış gösteriyorsa bu artış boyunca oluşan trendlerin değişkenliğinin az olduğu, diğer bir ifade ile artışın sabit bir şekilde öngörülebilir derecede artacağı anlaşılmaktadır. Bu trend boyunca satılan bir ürünün satılan fiyattan yeniden satın alma gibi bir ihtimalin kalmadığı öngörüldüğünden doğal gaz fiyatlarının artışa geçtiği dönemde ticaret yapılmamasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

“Çoğu değişimi azalan trendlerin süresi kısadır. [0.69497]” dilsel özetine bakıldığında ise, eğer bir trend -13 ile -5 derece arasında bir azalış gösteriyorsa bu trendlerin süresinin 5 ile 9 gün arasında sürmesi öngörülmektedir. Bu trendler uzun sürmeyecek ve göreceli olarak düşük fiyatlardan alım için fazla zaman olmayacağından bu trendler gözlemlendiğinde hızlı bir şekilde hareket etmenin ve fazla miktarda doğal gaz ihraç etmenin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Çalışma neticesinde gerek yatırımcıların gerekse ülkedeki karar vericilerin spot piyasalardan doğal az alım ve satım işlemleri öncesinde bu çalışmada uygulanan yöntemin karar vermede destekleyici bir yöntem olarak kullanmasının gerekli olduğu ve bu yöntemin kullanılması sayesinde ülke ekonomisine katkı sağlanacağı ortaya konulmuştur. Türkiye perspektifinden bakıldığında, hali hazırda büyük oranda uzun dönemli anlaşmalar ile ticaret gerçekleşmesine rağmen ülke politikalarında spot alımların arttırılması hedeflendiğinden, bu tez çalışmasının Türkiye için de oldukça yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın ardından, doğruluk derecesi yüksek trendlerden sonra zaman serisinin nasıl bir davranış sergileyeceği tahmin edilebilir. Bu kapsamda, yüksek doğruluk derecesine sahip trendlerden sonra oluşacak yeni trendlerin süresinin, x eksenini ile yaptığı açısının ve hata değerinin tahmin edilmesine yönelik yapay sinir ağları, destek vektör regresyon yöntemi gibi teknikler kullanılarak yeni bir algoritma geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abrishami, H., Bourbour, F. and Aghajani, M. (2014). Prediction of Natural Gas Price Using GMDH Type Neural. *Intl. J. Humanities*, 21(3), 1-16.
- Acar, Ç., Bülbül, S., Gümrah, F., Metin, Ç. ve Parlaktuna, M. (2011). *Petrol ve Doğalgaz* (Birinci Baskı). Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 24-25.
- Aydın, E. (2019). *Türkiye Doğal Gaz Fiyatlarını Etkileyen Faktörler*, Yüksek Lisans Tezi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya, 65-67.
- Aygün, Ü. (2017). *Organize Doğal Gaz Piyasalarının İşleyişi*, Yayımlanmamış Uzmanlık Tezi. EPDK, Ankara.
- Balioğlu, S. (2012). *Konvansiyonel Olmayan Doğal Gaz Kaynakları Ve Bu Kaynakların Bölgesel Doğal Gaz Piyasalarına Etkisi*, Yayımlanmamış Uzmanlık Tezi. EPDK, Ankara.
- Bayraç, H. N. (2018). Uluslararası Doğalgaz Piyasasının Ekonomik Yapısı ve Uygulanan Politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, (12), 13-36.
- Bennett, G. (2019). *Natural gas benchmarks: a new landscape. A Quarterly Journal For Debating Energy Issues and Policies*. The Oxford Institute For Energy Studies, Londra: 14-21.
- Boran, F. E. (2013). *Aralıklı Tip-2 Bulanık Kümelerle Dilsel Özetleme*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 26-105.
- Boran, F. E. and Akay, D. (2014). A generic method for the evaluation of interval type-2 fuzzy linguistic summaries. *IEEE Trans Cybern*, (44), 1632-1645.
- Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi. (2020). Birlikte Başardık. *BOTAŞ*. Ankara, 21-35.
- British Petroleum. (2021). Statistical Review of World Energy 2021. *BP*. London, 4-53.
- CEDIGAZ. (2021). Underground Gas Storage In The World - 2021 Status. *CEDIGAZ*. Fransa, 15.
- Charbonnier, S. and Gentil, S. (2007). A trend-based alarm system to improve patient monitoring in Intensive Care Units. *Control Engineering Practice*, 15(9), 1039-1050.
- Çatık, A. N. ve Deliktaş, E. (2016). Türkiye’de petrol, kömür ve doğal gaz talebinin fiyat ve gelir esnekliklerinin tahmin edilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (17), 1-20.
- Çelik, Ş. (2016). *Isparta İli için Doğal Gaz Talep Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, 65.
- Çoşkun, Y. (2007). *Bankalarda Öz Disiplin Süreçlerinin Etkinliğinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 82-87.

- Delgado, M., Sánchez, D. and Vila, M. A. (2000). Fuzzy cardinality based evaluation of quantified sentences. *International Journal of Approximate Reasoning*, 1(23), 23-66.
- Dicke, R., Kanai, M. and Konoplyanik, A. (2007). *Putting a Price on Energy International Pricing Mechanisms for Oil and Gas* (Third edition). Brüksel: International Energy Charter, 96-102.
- Doğanay, H., Özdemir, Ü. ve Şahin, İ. F. (2011). *Genel Beşeri ve Ekonomik Coğrafya* (Yedinci Baskı). Ankara: Pegem Akademi Yayını, 205.
- Ebrahim, M., Reza, T., Ezatollah, A. and Ezatollah, A. (2019). Natural Gas Price Forecasting Using Kriging Interpolation Technique And Nelder-Mead Optimization Algorithm. *Energy Economics Review*, 15(62), 97-130.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2021). 2020 Yılı Faaliyet Raporu. EPDK. Ankara, 2-30.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2021). Doğal Gaz Piyasası 2020 Yılı Sektör Raporu. EPDK. Ankara, 8-24.
- Erdem, A. N. (2021). *Doğal Gaz Fiyat Mekanizmasının Bağımsızlığının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Finans Enstitüsü, İstanbul, 43-48.
- Erol, Ü. (1999). *Vadeli İşlem Piyasaları Teorik ve Pratik*. İstanbul: İstanbul Menkul Kıymetler Borsası, 107.
- Gao, S., Hou, C. and Nguyen, B. (2020). Forecasting natural gas prices using highly flexible time-varying parameter models. *Economic Modeling*, 105(C), 105652.
- Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği. (2020). Ekim Sektör Bülteni. GAZBİR. Ankara, 5.
- Göral, F. (2015). *Doğal Gaz Fiyatlarını Etkileyen Faktörler: Panel Veri Analizi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 7.
- Gültekin, A. H. ve Örgün, Y. (1993). Doğal Gaz ve Çevre. *Çevre Dergisi*, 9, 37-41.
- Gürbüz, A. O. ve Erdem, A. N. (2021). Avrupa Piyasalarında Doğal Gaz Fiyatının Petrol Fiyatı ile İlişkisi – Sınır Testi Yaklaşımı. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(1), 123-134.
- Harris, D., Bazelon, C., Humphreys, B. and Dickson, P. (2010). *Economic Impact of the Dutch Gas Hub Strategy on the Netherlands*. Londra: The Netherlands Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation, 38-42.
- Heather, P. (2021). European Traded Gas Hubs: German hubs about to merge. *The Oxford Institute for Energy Studies*. Londra, 3-5.
- Hosseinipoor, S. (2016). *Forecasting Natural Gas Prices in the United States Using Artificial Neural Networks*. Oklahoma: University Of Oklahoma, 201.
- International Energy Agency. (2021). World Energy Outlook 2021. IEA. Paris, 21-39.

- International Gas Union. (2017). Wholesale Gas Price Survey 2017 Edition. *IGU*. Barselona, 31-33.
- İrkıçatal, H. (2009). *Doğal Gaz Ticareti ve İkincil Kapasite Piyasaları*, Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi. EPDK, Ankara.
- İnternet: BBL Company. (2017). *TTF and NBP connected as of 1 January 2018*. Web: <https://www.bblcompany.com/news/ttf-and-nbp-connected-as-of-1-january-2018> Erişim Tarihi: 12.01.2022.
- İnternet: Bloomberg. (2022). *BOTAŞ Gazprom ile yeni sözleşme imzaladı*. Web: <https://www.bloomberght.com/botas-gazprom-ile-yeni-sozlesme-imzaladi-2295999> Erişim Tarihi: 25.04.2022.
- İnternet: Chandra, V. (2020). *Geoexpo*. Why Is Natural Gas Priced Differently Around The World?, 17. Web: <https://www.geoexpo.com/articles/2020/12/why-is-natural-gas-priced-differently-around-the-world> Erişim Tarihi: 21.02.2022.
- İnternet: Chen, J. (2019). *Henry Hub*. Web: https://www.investopedia.com/terms/h/henry_hub.asp Erişim Tarihi: 13.02.2022.
- İnternet: CME Group. (2022). *Natural Gas Overview*. Web: <https://www.cmegroup.com/education/courses/introduction-to-natural-gas/natural-gas-overview.html> Erişim Tarihi: 03.04.2022.
- İnternet: Danış, E. E. (2022). *PetroTurk*. Gazda kritik viraj. Web: <https://www.petroturk.com/gaspower/gazda-kritik-viraj> Erişim Tarihi: 23.04.2022.
- İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021). *2020 Yılı Ulusal Enerji Denge Tabloları*. ETKB, 2. Ankara: Web: <https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=10201> Erişim Tarihi: 27.01.2022.
- İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021). *Doğal Gaz Boru Hatları ve Projeleri*. Web: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-dogal-gaz-boru-hatlari-ve-projeleri> Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). *Karadeniz'deki gaz rezervi, konutların 30 yıl ihtiyacını karşılayacak büyüklükte*. Web: <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=20957> Erişim Tarihi: 02.04.2022.
- İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). *Yer altı gaz depolama kapasitesi 2023'te 10 milyar metreküpe ulaşacak*. Web: <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=20952> Erişim Tarihi: 12.03.2022.
- İnternet: Epiaş. (2020). *Maks Giriş Kapasite Miktarı*. Web: <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/dogalgaz/kapasite/max-giris-miktari.xhtml> Erişim Tarihi: 27.02.2022.
- İnternet: Ferc. (2022). *Natural Gas*. Web: <https://ferc.gov/natural-gas> Erişim Tarihi: 15.03.2022.

- İnternet: Gas Alberta Inc. (2022). *Natural Gas Trading*. Web: <https://www.gasalberta.com/gas-market/natural-gas-marketing> Erişim Tarihi: 05.04.2022.
- İnternet: Gazbir. (2017). *Avrupa'daki Gaz Hublarının Gelişimi*. Web: <http://ebulten.gazbir.org.tr/Page.aspx?HaberId=1064> Erişim Tarihi: 06.01.2022.
- İnternet: MAPEG. (2021). *2020 Yılı Sonu İtibariyle Türkiye Doğalgaz Rezervleri*. Web: <https://www.mapeg.gov.tr/Custom/Petrolistatistik> Erişim Tarihi: 03.01.2022.
- İnternet: McHich, A. (2021). *Henry Hub Remains The Center Of Natural Gas Markets*. Web: https://seekingalpha.com/article/4452582henryhubremainsthecenterofnaturalgasmarkets?external=true&gclid=CjwKCAjwxOCRBhA8EiwA0X8hi6xzO3_9bRHTRBaA0HYWLGWAs7bxOjR1ohLy7Duzf0HjWQ42lETBoCUq8QAvD_BwE&utm_campaign=14926960698&utm_medium=cpc&utm_source Erişim Tarihi: 12.01.2022.
- İnternet: Merdan, E. (2018). *Hub-based pricing or oil indexation, which to choose?* Web: <https://www.aa.com.tr/en/energy/analysis/hub-based-pricing-or-oil-indexation-which-to-choose/22303> Erişim tarihi: 28.04.2022.
- İnternet: NaturalGas.org. (2013). *What is Natural Gas?* Web: <http://naturalgas.org/overview/background/> Erişim Tarihi: 16.01.2022.
- İnternet: NSW EPA. (2015). *Conventional and Unconventional Gas*. Web: <https://www.epa.nsw.gov.au/licensing-and-regulation/gas-industry/-/media/40b251dec4b44d378cc4ec56b7116602.ashx> Erişim Tarihi: 03.01.2022.
- İnternet: PETFORM. (2021). *Türkiye Doğal Gaz Piyasası*. Web: <https://www.petform.org.tr/dogal-gaz-piyasasi/turkiye-dogal-gaz-piyasasi/> Erişim Tarihi: 01.03.2022.
- İnternet: S&P Global Commodity Insight. (2022). *Henry Hub Gas Price Assessment. What is Henry Hub?* Web: <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/our-methodology/price-assessments/natural-gas/henry-hub-natural-gas-price-assessments> Erişim tarihi: 10.03.2022.
- İnternet: Till, H. and McHich, A. (2020). *Is Oil-Indexation Still Relevant for Pricing Natural Gas?* Web: <https://www.cmegroup.com/education/articles-and-reports/is-oil-indexation-still-relevant-for-pricing-natural-gas.html> Erişim Tarihi: 17.02.2022.
- İnternet: Ugetam. (2016). *Genel Doğal Gaz*. Web: <https://ugetam.istanbul/wp-content/uploads/2020/12/Genel-Dogalgaz.pdf> Erişim Tarihi: 18.04.2022.
- İnternet: Şengüler, İ. (2012). *Bilgi Dağarcığı*. (E. H. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Dü.). Web: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2012_13/MTA_EkonomiBulteni_13_8-ilkersenguler.pdf Erişim Tarihi: 24.03.2022.
- Jin, J. and Kim, J. (2015). Forecasting Natural Gas Prices Using Wavelets, Time Series, and Artificial Neural Networks. *Plos One*, 10(11), 1-23.

- Juris, A. (1998). Development of Natural Gas and Pipeline Capacity Markets in the United States. *World Bank Policy Research Working Paper*, 3(2), 26.
- Kacprzyk, J., Wilbik, A. and Zadrozny, S. (2010). An approach to the linguistic summarization of time series using a fuzzy quantifier driven aggregation. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(5), 411-439.
- Kalkan, F. B. (2012). *Türkiye’de Kurulması Planlanan Doğal Gaz Hubının Dünya Doğal Gaz Ticaretindeki Yeri ve Etkileri*, Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi. EPDK, Ankara.
- Karatepe, S. (2017). *Doğal Gaz Talebi ve Depolama Yöntemlerinin Belirlenmesi: Türkiye Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 51-62.
- Klir, G. and Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Application*. New Jersey: Prentice Hall River, 1-55.
- Lia, T., Hana, X., Wanga, A., Li, H. and Pei, Y. (2020). News-Based Research on Forecast of International Natural Gas Price Trend. *Fuzzy Systems and Data Mining VI*, 194-200.
- Martin, T., Shen, Y. and Majidian, A. (2010). Discovery of time-varying relations using fuzzy formal concept analysis and associations. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(12), 1217-1248.
- Mohammadi, T., Taklif, A. and Zamani, S. (2017). Forecasting Natural Gas Price Using a Hybrid Model of Neural Network and Wavelet. *Iranian Journal of Economic Research*, 22(71), 1-26.
- Mouchtaris, D., Sofianos, E., Gogas, P. and Papadimitriou, T. (2021). Forecasting Natural Gas Spot Prices with Machine Learning. *Emerging Trends in Energy Economics*, 14(18), 5782.
- Özdemir, C. (2006). *Türkiye Doğal Gaz Piyasasının Özellikleri ve Eskişehir Üzerine Bir İnceleme*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 21-30.
- Özdoğan, İ., Boran, F. E. and Akay, D. (2020). A possibilistic approach for interval type-2 fuzzy linguistic summarization of time series. *Artificial Intelligence Review*, 54(5), 1-29.
- Palabıyık, Y., Özdemir, A. and Karataş, A. (2020). *Evaluation Of Hydrocarbon Exploration Strategy of Turkey In The Eastern Mediterranean Basin and Recommendations for Future Exploration Targets*. OECD Studies Conference of Natural and Environmental Sciences, Ankara, 54.
- Patrick Heather Consultancy. (2018). European & Global Hub Markets: What does the future hold for hubs in the spot-priced gas market?. *Patrick Heather Consultancy Limited*. Berlin, 10-19.
- Prodipto, G., Chopra, S. and Bhand, S. (2006). A Partnership For A Decarbonised Energy Future. *World Affairs: The Journal of International Issues*, 10(1), 140-165.

- Ram, M., Taklifb, A. and Faridzadc, A. (2019). Prediction of Natural Gas Price in European Gas Hubs Using Artificial Neural Network. *Petroleum Business Review*, 3(2), 1-14.
- Ross, T. J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, (Third Edition). United Kingdom: John Wiley & Sons, 32-64.
- Salehnia, N., Falahi, M. A., Seifi, A. and Adelb, M. H. (2013). Forecasting natural gas spot prices with nonlinear modeling using Gamma test analysis. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 14, 238-249.
- Sevinç, D. (2018). *Spot Doğal Gaz Fiyatlarını Etkileyen Faktörlerin Panel Veri Modeli İle Analizi: Türkiye İçin Öneriler*, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya, 64-71.
- Siddiqui, A. W. (2019). *Predicting Natural Gas Spot Prices Using Artificial Neural Network*. 2019 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security, Riyad.
- Stern, J. and Imsirovic, A. (2020). *A Comperative history of oil and gas markets and prices: is 2020 just an extreme cyclical event or an acceleration of the energy transition?* Oxford Institute for Energy Studies, Londra: 41.
- Su, M., Zhang, Z., Zhu, Y., Zha, D. and Wen, W. (2019). Data Driven Natural Gas Spot Price Prediction Models Using Machine Learning Methods. *Energies*, 12(9), 1-17.
- Şener, T. C. (2020). *Türkiye Doğal Gaz Piyasasında Konutlarda Doğal Gaz Talebinin Fiyat Esnekliği: Panel Veri Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 59.
- Topuz, K. (2019). The Missing Piece In The Turkey's Gas Hub Ambitions. *IICEC*. İstanbul, 5-6.
- Torun, P. (2017). Türkiye Doğal Gaz Piyasalarında Fiyat Belirleme Sürecini Etkileyen Faktörler. *Sakarya İktisat Dergisi*, 6(2), 41-51.
- Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı. (2020). 2020 Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu. *TPAO*. Ankara, 17-23.
- Türkiye Sınai Kalkınma Bankası. (2021). Enerji Görünümü. *TSKB*. İstanbul, 23-39.
- Türkiye Bilimler Akademisi. (2021). Tüba Doğal Gaz Raporu. *TÜBA*. Ankara, 21-29.
- Wang, J. and Kim, J. (2018). Predicting Stock Price Trend Using MACD Optimized by Historical Volatility. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1-12.
- Wang, J., Lei, C. and Guod, M. (2020). Daily natural gas price forecasting by a weighted hybrid data-driven model. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 192(1), 107240.
- Wygralak, M. (2001). Fuzzy sets with triangular norms and their cardinality theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 124(1), 1-24.

- Yager, R. R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 18(1), 183-190.
- Yager, R. R. (1982). A New Approach to the Summarization of Data. *Information Sciences* 28, 69-86.
- Yardımcı, O. (2010). *Petrol Fiyatlarının Doğal Gaz Fiyatları Üzerindeki Etkisi ve Türkiye İçin Öneriler*, Yayımlanmamış Uzmanlık Tezi. EPDK, Ankara.
- Yıldırım, H. (2019). Doğalgaz Fiyat Hareketlerindeki Değişimlerin Yaygın Olarak Kullanılan Teknik Analiz Göstergeleriyle Tahmin Edilme Gücünün Test Edilmesi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 8(4), 2456-2471.
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- Zadeh, L. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Sciences*, 8(3), 199-249.



GAZİ GELECEKTİR..