T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE DOĞALGAZ ŞEHİR GİRİŞ İSTASYONLARININ PROJELENDİRİLMESİ

Vedat BALIKÇI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Danışman

Doç. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ

Temmuz, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE DOĞALGAZ ŞEHİR GİRİŞ İSTASYONLARININ PROJELENDİRİLMESİ

Vedat BALIKÇI tarafından hazırlanan tez çalışması çalışması 11.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Proses Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Tolga TANER, Üye
Aksaray Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Doğalgaz Şehir Giriş İstasyonlarının Projelendirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Vedat BALIKÇI

İmza

Aileme, Eşime

ve

biricik Kızıma

TEŞEKKÜR

Dünyada ekonominin temel taşını oluşturan enerji ve enerjiye duyulan ihtiyaç ülkemizdeki ekonominin gelişmesi ile önemli hale gelmiştir. Enerji bağımlılığında çok önemli oranda dış ülkelere bağımlı olmamız bu durumu daha önemli hale getirmiştir. Birincil enerjji tüketimlerinde 2016 yılı sonu itibari ile %28 doğalgazın payının olduğu ve yaklaşık %99'u ithal edildiği gözönüne alındığında doğalgazın kullanımın ve bunun önceden tahmin edilebilir olması ülkemiz açısından önemlidir. Tezimizin konusu olan İstanbu ili için doğalgazın günlük ve saatlik tahmin edilmesi ile doğalgaz RMS-A istasyolarının ihtiyaçları önceden belirlenerek imalatı yapılacak ve böylelikle doğalgaz dağıtım şebekesi arz güvenliği açısından önceden önlem alınmış olacaktır.

Tez çalışmam boyunca engin bilgi, tecrübe ve yol göstericiliğiyle daima yanımda olan, desteğini ve anlayışını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ'a, bilgi birikimiyle bana yol gösteren İGDAŞ'tan birim yöneticim Ahmet Alper KAVÇAKAR'a ve desteğini esirgemeyen değerli mesai arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca sabır ve hoşgörüyle yanımda olan, desteğini benden esirgemeyen, varlığı ile bana güç veren değerli eşime ve sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Vedat BALIKÇI

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ IX
KISALTMA LİSTESİ X
ŞEKİL LİSTESİ XI
TABLO LİSTESİ XIII
ÖZET XIV
ABSTRACT XVI
1 Giriş 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 7
1.3 Hipotez 7
2 Enerji ve Doğalgaz 8
2.1 Dünyada Enerji ve Doğalgaz 8
2.2 Türkiye'de Enerji ve Doğalgaz 16
2.3 Doğalgazın Enerji Sektöründeki Yeri 22
2.3.1 Doğalgazın Tarihçesi 22
2.3.2 Doğalgazın Özellikleri Ve Avantajlari 23
2.3.3 Doğalgaz Sektör Yapısı 24
2.3.4 Kaynaktan Tüketiciye Doğalgaz 26
2.3.5 Doğalgaz Üretimi 28
2.3.6 Doğalgazın Depolanması 33
2.3.7 Doğalgazin Taşınması 35
2.3.8 Doğalgaz İletim ve Dağıtım 36
3 Talep Tahmini ve Kullanılan Yöntemler 38

3.1 Talep Tahmini 38
3.1.1 Talep Tahmini Aşamaları 39
3.2 Talep Tahmin Yöntemlerinin Sınıflandırılması 39
3.2.1 Nitel Yöntemler 40
3.2.2 Nicel Yöntemler 41
3.3 Tahmin Yöntemlerinde Doğrulukların Ölçülme Metodları 45
4 Yapay Sinir Ağları 47
4.1 Yapay Sinir Ağları 47
4.1 Yapay Sinir Ağları Tarihi 50
4.2 Yapay Sinir Ağı Ana Öğeleri 51
4.2.1 Girdiler 52
4.2.2 Ağırlıklar 53
4.2.3 Toplama Foksiyonu 53
4.2.4 Aktivasyon Fonksiyonu 53
4.2.5 Çıktı 54
4.3 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme 55
4.4 Yapay Sinir Ağları modelleri ve Yapıları 56
4.4.1 Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları (Perceptron) 56
5 Doğalgaz Talep Tahmini Uygulaması ve Yeni RMS-A İstasyonu Belirlenmesi 57
5.1 Doğalgaz Tüketimine Etki Eden Parametreler 57
5.1.1 Tüketime Etki Eden Parametreler Kolerasyon Testi 58
5.1.2 İstanbul İli Doğalgaz Tüketimi 60
5.1.3 Abone Sayısı 63
5.1.4 Günlük Minimum ve Ortalama Sıcaklık 66
5.1.5 Isıtma Gün Sıcaklığı 67
5.1.6 Resmi Tatil Günleri ve Tüketimin Hangi Ayda Olduğu 68

5.1.7 Verililerin Normalize Edilmesi 68
5.2 Yapay Sinir Ağları İle Doğalgaz Talep Tahmini Uygulaması 69
5.2.1 Talep Tahmini 71
5.3 Synergi Gas ile Doğalgaz RMS-A İstasyonlarının Yerlerinin Tespitleri 73
5.3.1 Dağıtım Şebekesi Analiz Yöntemleri ve Synergi Gas Programı 73
6 Sonuç ve Öneriler 78
6.1 Sonuç 78
Kaynakça 80
Tezden Üretilmiş Yayınlar 84

SİMGE LİSTESİ

D	Boru iç çapı
e	Boru hattı verimliliği
f	Boru hattı sürtünme katsayısı
G	Gaz özgül yoğunluğu
h1	Akış başlangıç noktası yüksekliği
h2	Akış sonu noktası yüksekliği
L	Boru uzunluğu
n	Paralel ilave boru sayısı
P1	Akış başlangıç nod basıncı
P2	Akış sonu nod basıncı
Pa	Ortalama boru hattı basıncı
Pb	Standart basınç
Q	Debi
Ta	Ortalama akış sıcaklığı
Tb	Standart sıcaklık
Z	Gaz sapma faktörü

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BOTAŞ	Boru Hatları ile Taşıma Anonim Şirketi
CNG	Compressed Natural Gas
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPİAŞ	Enerji Piyasaları Anonim Şirketi
EIA	International Energy Agency
HDD	Heating Degree Days
İGDAŞ	İstanbul Gaz Dağıtım Anonim Şirketi
LNG	Liqufied Natural Gas
LPG	Liquefied Petroleum Gas
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
OTSP	Organize Toptan Doğalgaz Satış Piyasası
PE	Polietilen Boru
RMS-A	A Type Regulating and Metering Station
RMS-B	B Type Regulating and Metering Station
RMS-C	C Type Regulating and Metering Station
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TPAO	Türk Petrolleri Anonim Ortaklığı
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Dünyadaki Birincil Enerji Tüketimleri 1992-2017 [19] 9
Şekil 2.2 2017 Yılındaki Dünyada Birincil Enerji Tüketimleri [19] 10
Şekil 2.3 DNVGL Enerji Dönüşümü Zaman Çizelgesi [20] 11
Şekil 2.4 Dünyada Doğalgaz Üretimi 2007-2017 [19] 11
Şekil 2.5 Dünyada Doğalgaz Tüketimi 2007-2017 [19] 12
Şekil 2.6 2017 Yılı Bölgelere Göre Doğalgaz Rezervleri [19] 13
Şekil 2.7 2017 Yılı Doğalgaz Rezervine Sahip İlk 10 Ülke [21] 14
Şekil 2.8 2017-2023 Yılları Bölgelere Göre Doğalgaz Talep Değişimi [21] 14
Şekil 2.9 2016 Yılı Bölgelere Göre Doğalgaz Depolama Kapasiteleri [22] 15
Şekil 2.10 Türkiye'de Mevcut ve Planlanan Petrol ve Doğalgaz Hatları [22] 16
Şekil 2.11 2016 Yılındaki Türkiyede Birincil Enerji Tüketimleri [22] 17
Şekil 2.12 2016 Yılındaki Türkiyede Sektörlere Göre Enerji Tüketimleri [22] 18
Şekil 2.13 2017 Yılında Ülkeler Bazında Türkiye'nin Doğalgaz İthalatı [24] 19
Şekil 2.14 2017 Yılında Ülkeler Bazında Türkiye'nin Spot LNG İthalatı [24] 19
Şekil 2.15 2007-2017 Yılları Arasında Türkiye'de Doğalgaz Tüketimi [24] 20
Şekil 2.16 2017 Yılındaki Türkiyede Sektörlere Göre Doğalgaz Tüketimleri [24] . 21
Şekil 2.17 Kojenerasyon Tesisi Şematik Görünüm [28] 26
Şekil 2.18 Kaynaktan Son Kullanıcıya Doğalgaz [28] 28
Şekil 2.19 Petrol ve Doğalgazın Gözenekli Kayaçtaki Konu [29] 29
Şekil 2.20 Sismik Cihazlarla Jeolojik Haritasının Çıkarılması [30] 29
Şekil 2.21 Onshore Sondajın Şematik Görünümü [30] 30
Şekil 2.22 Dikey Üç Fazlı Separatörün Şematik Görünümü [28] 32
Şekil 2.23 Doğalgaz İletim Hattı, Kompressör İstasyonu ve Yer Vanası [28] 35
Şekil 2.24 LNG Depolama ve Yükleme İstasyonu [30] 36
Şekil 2.25 Doğalgaz İletim ve Dağıtım Şeması 37
Şekil 3.1 Bulanık Mantık İşem Süreci [36] 43

Şekil 4.1 Gerçek Sinir Ağları(a) ve Yapay Sinir Ağları Yapısı [5] 47
Şekil 4.2 Yapay Sinir Ağları Yapısı [41] 52
Şekil 4.3 Percepton Çalışma Mimarisi [3] 56
Şekil 5.1 Doğalgaz Tüketimine Etki Eden Parametrelerin Kolerasyon Testi 59
Şekil 5.2 İstanbul Anadolu Yakası Doğalgaz Tüketim Grafiği 60
Şekil 5.3 İstanbul Avrupa Yakası Doğalgaz Tüketim Grafiği 61
Şekil 5.4 İstanbul Anadolu ve Avrupa Yakaları Doğalgaz Tüketim Grafiği 62
Şekil 5.5 İstanbul Anadolu Yakası Doğalgaz Abone Artış Grafiği 64
Şekil 5.6 İstanbul Avrupa Yakası Doğalgaz Abone Artış Grafiği 65
Şekil 5.7 İstanbul Anadolu ve Avrupa Yakaları Doğalgaz Abone Artış Grafiği 65
Şekil 5.8 İstanbul Doğalgaz Tüketimi- Sıcaklık Grafiği 66
Şekil 5.9 Talep Tahmin Modeli Mimarisi 70
Şekil 5.10 İstanbul Anadolu Yakası Talep Tahmin Modeli Kolerasyon Grafiği 70
Şekil 5.11 İstanbul Avrupa Yakası Talep Tahmin Modeli Kolerasyon Grafiği 71
Şekil 5.12 İstanbul İli 9 Şubat 1929 Tarihi 72
Şekil 5.13 Synergi Gas Program Algoritması 75
Şekil 5.14 2019 Yılı İstanbul Avrupa Yakası Doğalgaz Dağıtım Hattı Uç Basınç 76
Şekil 5.15 2019 Yılı İstanbul Anadolu Yakası Doğalgaz Dağıtım Hattı Uç Basınç 76
Şekil 5.16 İstanbul ili için Belirlenen Yeni Doğalgaz RMS-A İstasyon Yerleri 77

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Literatürdeki Çalışmalar 5
Tablo 4.1 YSA Toplama Fonksiyonu [42] 53
Tablo 4.2 YSA Aktivasyon Fonksiyonu [42] 54
Tablo 5.1 İstanbul Anadolu Yakası Günlük-Saatlik Peak Doğalgaz Tüketimleri 63
Tablo 5.2 İstanbul Anadolu Yakası Günlük-Saatlik Peak Doğalgaz Tüketimleri 69
Tablo 5.3 İstanbul Anadolu Yakası Günlük-Saatlik Peak Doğalgaz Tüketimleri 72
Tablo 5.4 İstanbul Anadolu Yakası Günlük-Saatlik Peak Doğalgaz Tüketimleri 73

ÖZET

Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Doğalgaz Şehir Giriş İstasyonlarının Projelendirilmesi

Vedat BALIKÇI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ

Doğalgaz dağıtım şebekesindeki doğal gaz talebi tahmini hem gaz dağıtımcıları hem de tüketiciler için oldukça önemlidir. Doğalgaz dağıtım şirketi tarafından bakıldığında, doğru tahmin yapılabilirliği sistemde oluşabilecek hataları azaltır ve gaz dağıtım planlamasını doğru yapmaya olanak sağlar. Bu şekilde, gaz sistemleri çok daha gerçekçi ve karlı hale gelir. Ayrıca, müşteri tarafından bakıldığında ise doğru tahmin değerleri, sistemde oluşabilecek hataları azaltacaktır, bu da müşterilerin gazsız kalma durumunu minimize edecektir.

Bu çalışmada, Yapay Sinir Ağları kullanılarak İstanbul Asya yakası ve Avrupa yakası için günlük ve saatlik doğalgaz talep tahmin modelleri oluşturulmuştur. Doğalgaz kullanımını etkileyen parametreler; tüketici sayısı, ortalama günlük sıcaklık, minimum günlük sıcaklık, resmi tatiller, ısıtma derece gün (HDD) belirlenmiştir. 2008'den 2018'in sonuna kadar elde edilen veriler, MATLAB program ile talep tahmin modelleri oluşturulmuş ve İstanbul'da son yüzyıl içerisinde yaşanmış en soğuk gün olan 9 Şubat 1929 günlük en düşük -16^{o}C ve günlük ortalama sıcaklık -

7°C sıcaklık değerlerine göre doğal gaz talebini 2027 yıla kadar doğalgaz talep tahminini yapılmıştır. Bu çalışma neticesinde, doğalgaz talep tahmini ile hangi yıl doğalgaz RMS-A istasyonunun kurulacağına karar verilmektedir. Synergi Gas Software ile İstanbul Asya ve Avrupa bölgelerinde yer alan dağıtım ağının hız ve basınç kriterleri dikkate alınarak olası kötü senaryolar için önceden yeni çözümler üretilebilir. Ayrıca doğalgaz RMS-A istasyonlarının nereye kurulacağı hesaplanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, doğalgaz, talep tahmini

ABSTRACT

Project of Natural Gas City Gate Stations By Artificial Neural Networks

Vedat BALIKÇI

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ

Natural gas demand forecast in the natural gas distribution network is very important both for gas distributors and consumers. When viewed from the perspective of a natural gas distributor, correct predictive values reduce errors that can occur in the system and make gas distribution planning correctly. In this way, gas systems become much more realistic and profitable. Also, from the customer point of view, the correct predictive values will reduce the errors that may occur in the system, which is useful for minimizing the stresses.

In this study, daily and hourly natural gas demand for Istanbul Asia side and European side were estimated by using Artificial Neural Networks. Parameters affecting natural gas usage; number of consumers, average daily temperature, minimum daily temperature, official holidays, heating degree day (HDD) have been determined. The data obtained from year 2008 to the end of 2018, and the forecasting model created by the MATLAB software and we estimated the natural gas demands up to 2027 years according to the coldest day of Istanbul in the last century which occured in 9 February 1929, with the minimum daily temperature of -16 ^{o}C degree and the average daily temperature of -7 ^{o}C degree. As a result of this

study, it is decided which natural gas RMS-A station will be constructed with natural gas demand forecast. With Synergi Gas Software, new solutions can be produced for possible bad scenarios in advance, taking into account the velocity and pressure criteria of distribution network located in the İstanbul Asia side and Erupean side. Futhermore, it is calculated where the natural gas RMS-A will be in constructed.

Keywords: Energy, natural gas, forecasting

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

Dünya genelinde uzun yıllardır yapılan talep tahmin çalışmaları enerji piyasalarında özellikle elektrik enerjisi sektöründe kendine yer edinmiş olup ülkemizde enerji piyasasının serbestleşme çalışmaları ile birlikte telep tahmin çalışmaları giderek önemli haline gelmiştir. Enerji sektöründe çalışan özel şirketler ve kamu şirketleri tarafından düzenli olarak enrji sektöründe talep tahmin çalışmaları yapılmakla beraber akademik alanda da talep tahmin çalışmaları yapılmaktadır.

Ülkemizde doğalgaz talep tahmin çalışmaları 1 Eylül 2018 tarihinde Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPİAŞ) tarafından kurulan spot doğalgaz piyasası ile birlikte daha önemli hale gelmiştir. Kurulan spot doğalgaz piyasası ile gaz ticareti yapılan firmalar ile şeffaf bir ortamda doğalgaz dağıtım şirketleri arasında şeffaf bir piyasa kurulmuştur. 7 gün 24 saat otomasyon sistemle paydaşlar arasında işlemler yapılabilecek Organize Toptan Doğalgaz Satış Piyasası (OTSP) ile elektronik ortamda doğalgaz alım satım işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Kurulan bu sistem ile birlikte doğalgaz dağıtım şirketleri yıllık, aylık ve günlük doğalgaz tüketim tahminlerini ve taleplerini sisteme girmek süreti ile doğalgaz ticareti yapan firmalardan uygun fiyatlar ile doğalgaz satın alabileceklerdir. Bu nedenle doğalgaz talep tahminleri çok önemli hale gelmiştir. Söz konu tahminlerde yapılan hatalar neticisinde doğalgaz taleplerinde de hatalar oluşacak ve şirketlerin karlılıklarını etkileyecektir. OTSP'nin kurulması ile birlikte doğalgaz dağıtım şirketleri de doğalgaz talep tahmin çalışmalarına önem vererek üzerinde çalışmaları yoğunlaşmıştır.

Çalışmamızın bu bölümünde dünya genelinde ve ülkemizde enerji piyasalarına ve özellikle doğalgaz piyasasında yapılmış olan talep tahmin çalışmaları üzerinde durulacaktır. Elektrik ve doğalgaz piyasası ülkemizde yakın ilişkisi olması nedeni ile

doğalgaz piyasalarına yönelik yapılan talep tahmin çalışmaları ile birlikte elektrik piyasasına yönelik yapılan talep tahmin çalışmalarına da yer verilecektir.

Brown ve arkadaşları 1996 yılında doğalgaz talep tahmin alanında yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak günlük doğalgaz talep tahmini çalışması yapmışlardır [1].

Gümrah ve çalışma arkadaşları ile birlikte 2001 yılında yaptıkları çalışma ile Ankara ilindeki doğal gaz tüketimini etkileyen faktörlerini son 7 yıllık veriler ışığında derece-gün yöntemini kullanarak incelemiştir. Yaptıkları çalışma sonrasında elde ettikleri model ile tahmin edilen tüketim değerleri ile gerçek değerlerin uyumlu olduğu gösterilmiştir [2].

Nguyen and Mandziuk 2003 yılında yaptıkları çalışmada YSA ve bulanık sinir sistemleri yöntemlerini kullanarak Polonya'nın belli bölgesi için doğalgaz talep tahmini çalışması yapmışlardır [3].

Görücü ve arkadaşlarının 2004 yılında yaptıkları çalışma ile 2002 ile 2005 yılları arasında Ankara ili için doğalgaz tüketim tahminini yapay sinir ağları yöntemi kullanarak hesaplamışlardır [4].

Hamzaçebi ve Kutay'ın 2004 yılında yaptıkları çalışmayla 1970 ile 2002 yılları arasında gerçekleşmiş değerleri kullanarak yapay sinir ağları, regrasyon ve Box-Jenkins zaman serisi analiz modelleri olmak üzere toplam üç farklı yöntemle Türkiye elektrik enerjisi tüketim tahmini yapmışlar ve yaptıkları çalışmada, eldeki verilerle yapay sinir ağları yönteminin diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde ettiklerini görmüşlerdir [5].

Yumurtacı ile Asmaz 2004 yılında yaptıkları çalışmayla 2050 yılına gelindiğinde Türkiye nüfusunun 115 milyon, kişi basına düşen yıllık elektrik tüketiminin ise 10.200 KWh olacagı öngörüsü ile lineer regresyon yöntemiyle Türkiye elektrik enerjisi talebini 2050 yılına gelindiğinde ise 1,173 milyar KWh olacağı tahminini yapmışlardır [6].

Yalçınöz ve Eminoğlu 2005 yılında yaptıkları çalışmada yapay sinir ağları yöntemi kullanarak kısa vadeli ve orta vadeli doğalgaz talep tahmini yapmışlardır [7].

Tunç ve arkadaşlarının 2006 yılında yaptıkları çalışma ile 1980-2001 yılları arasındaki değerler kullanarak Türkiye'nin elektrik tüketim verisi ile elektrik

enerjisi yatırımlarının dağılımını tahmin etmek için regreson ile doğrusal yaklaşım ile model geliştirmişler ve 2010-2020 yılları arası elektrik enerjisi için yatırım tahmininde bulunmuşlardır [8].

Ediger ile Akar'ın 2007 yılında yaptıkları çalışmada 1950-2005 yılları arasındaki Türkiye'nin birincil enerji tüketimeri kullanılarak ARIMA ve SARIMA yöntemleri kullanılarak 2005 ile 2020 yılları arasındaki Türkiye'nin birincil enerji tüketim tahminlemesi yapılmıştır. Bu tahminlemeye göre ülkemizin birincil enerji tüketim artışı 2005-2020 yılları arasında yıllık ortalama %3,3 olacağı öngörülmektedir [9].

Erdoğdu 2007 yılında yaptığı çalışma ile ARIMA yöntemi kullanarak tahmin modeli geliştirmiş, modelde verileri analiz etmek için bir eş bütünleşme analizi gerçekleştirmiştir. Bu yöntem 2005 ile 2014 yılları arasındaki dönem için Türkiye yıllık elektrik talep tahmininde bulunmuş ve hata oranın ise % 2 civarında olduğunu tespit etmiştir [10].

Demirel 2009 yılında yaptığı çalışmada 1970- 2007 tarihleri arasındaki değerler kullanarak uyguladığı ANFIS ve ARMA yöntemleriyle Türkiye'nin elektrik enerjisi talep tahmin çalışması yapmıştır. ARMA ve ANFIS yöntemlerini karşılaştırdığında ARMA yöntemi ile elde edilen sonuçların gerçeğe daha uzak olduğu ve iki yöntemin sonuçları arasındaki farkın temel kaynağı kullanılan parametlerin çeşitliliğiyle kabullerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır denilmiştir [11].

Akkurt ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptıkları çalışma ile geçmiş verileri çift üstel düzeltme ve SARIMA yöntemlerini kullanarak aylık bazda Türkiye'nin doğalgaz talep tahmin çalışmasını yapmış ve aynı zamanda SARIMA modelinin yıllık verilerle yaptığı tahminde çift üstel düzeltmeli zaman serisi modelinin daha başarılı olduğunu göstermişlerdir [12].

Dilaver ve Hunt'un 2011 yılında yaptıkları çalışmada 1960-2008 yılları arası tüketim değerlerini kullanarak yapısal zaman serisi modelini kullanmış ve yüksek orta ve düşük elektrik talebi senaryolarına göre için Türkiye elektrik talep tahminini sırası ile 148, 121 and 97 TWh olarak bulmuşlardır [13].

Bordignon ve arkadaşlarının 2011 yılında yaptıkları çalışma ile İngiltere için elektrik fiyatlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Regresyon ve ARMAX gibi

yöntemlele birlikte bu yöntemlerin karması şeklinde olan hibrit yöntem kullanmak sureti ile talep tahminleri sonucunda %76 oranında hibrit modelin daha doğru tahmin yaptığı sonucuna ulaşmışlardır [14].

Soldo'nun 2012 yılında yaptığı çalışmada ise 2012 yılına kadar doğalgaz talep tahmini için yapılan çalışmalar incelenmiştir [15].

Yang ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptıkları çalışmada 2007-2010 yılları arasındaki veriler kullanılarak 2010 Nisan ve 2010 Eylül tarihleri arasında Çin'de gerçekleşen elektrik talepleri SARIMA ve SARIMA yönteminin Fourier yaklaşımı ile birlikte hibrti modeler geliştirerek tahmin yapılmış ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir [16].

Demirel ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptıkları çalışmada 2004-2009 yılları arasındaki veriler kullanılarak abone sayısı ve doğalgaz fiyatı parametleri ile yapay sinir ağları ve ARIMAX kullanırak İstanbul ili için doğalgaz tüketim tahmin çalışması %95 güven aralığı içerisinde yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda ARIMAX modeli ile daha başarılı sonuç elde edilmiştir [17].

Hosseinipoor tarafından 2016 yılında Oklahoma Üniversitesinde yaptığı çalışmada Amerika'da doğalgaz piyasasında doğalgaz fiyatına etki eden parametleri tespit ederek yapay sinir ağları ve zaman serileri yöntemlerinden NAR ve NARX yöntemleri kullanarak doğalgaz fiyat tahmin modelleri oluşturarak bu yöntemleri kıyaslamıştır. Bulduğu sonuçlara göre R-kare 0.95 olarak NAR modelinin en iyi sonuç verdiğini tespit etmiştir [18].

Tablo 1.1 Literatürdeki Çalışmalar

Yıl	Yazarlar ve Başlık	Yöntem ve Konu
1996	Brown ve arkadaşları "Development of artificial neural-network models to predict daily gas consumption,"	Yapay sinir ağları ile günlük doğalgaz talep tahmini yapılmıştır.
2001	Gümrah ver arkadaşları "Modeling of gas demand using three-day concept: case for Ankara"	Derece-gün yöntemi ile Ankara'daki doğalgaz talep tahmini yapılmıştır.
2003	Nguyen Hoang Viet; Mandziuk, J. "Neural and fuzzy neural networks for natural gas consumption prediction"	Yapay sinir ağları bulanık mantık yöntemi kullanılarak Polonya'da doğalgaz talep tahmini yapılmıştır
2004	Görücü ve arkadaşları "Artificial neural network modeling for forecasting gas consumption"	Yapay sinir ağları kullanılarak Ankara ili için doğalgaz talep tahmini yapılmıştır.
2004	Hamzaçebi ve Kutay, "Yapay sinir agları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini"	Yapay sinir ağları kullanılarak Türkiye elektrik tüketimi tahmini yapılmıştır.
2004	"Yumurtacı ve Asmaz," "Electric energy demand of Turkey for the year 2050"	Doğrusal regresyon modeli ile Türkiye elektrik enerjisi talep tahmini yapılmıştır.
2005	Yalcinoz ve Eminoglu, "Short term and mediumterm power distribution load forecasting by neural networks"	Yapay sinir ağları kullanarak kısa ve uzun vadeli doğalgaz talep tahmini yapılmıştır.
2006	Tunç ve Parmaksizoglu, "Comparison of Turkey's electrical energy consumption and production with some European countries and optimization of future electrical power supply investments in Turkey"	Regresyon yöntemi kullanılarak Türkiye elektrik enerjisi yatırımlarından elektrik enerjisi talep tahmini yapılmıştır

Tablo 1.1 Literatürdeki Çalışmalar (Devamı)

Yıl	Yazarlar ve Başlık	Yöntem ve Konu
2007	Ediger ve Akar, "ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey"	ARIMA ve SARIMA yöntemleri ile Türkiye birincil enerji tüketim tahmini.
2007	Erdogdu, "Electricity Demand Analysis using cointegration and ARIMA modelling: a case study of Turkey"	ARIMA yöntemi kulanılarak Türkiye'nin elektrik enerji talep tahmini yapılmıştır.
2009	Demirel, "ANFIS ve ARMA Modelleri ile Elektrik Enerjisi Yük Tahmini"	ANFIS yöntemi kullanılarak elektrik enerjisi talep tahmini yapılmıştır.
2010	Akkurt ve arkadaşları "Forecasting Turkey's Natural Gas Consumption by Using Time Series Methods"	SARIMA yöntemi kullanılarak Türkiye'nin doğalgaz talep tahmini yapılmıştır.
2011	Dilaver ve Lester, "Industrial electricity demand for Turkey: A structural time series analysis"	Zaman serisi kullanılarak Türkiye'nin elektrik enerjisi talep tahmini yapılmıştır.
2011	Bordignon ve diğerleri, "Combining day-ahead forecasts for British electricity prices"	Hibrit model kullanılarak İngiltere'nin elektrik enerjisi talep tahmini yapılmıştır.
2012	Soldo, "Forecasting natural gas consumption"	2012 yılına kadar yapılan talep tahmini çalışmaları
2012	Yuanyuan ve diğerleri, "Application of residual modification approach in seasonal ARIMA for electricity demand forecasting"	SARIMA yöntemi kullanılarak Çin'deki elektrik enerjisi talep tahmini yapılmıştır.
2012	Demirel ve diğerleri "Forecasting natural gas consumption in ˙Istanbul using neural networks and multivariate time series methods"	ARIMAX yöntemi kullanılarak İstanbul ili için doğalgaz talep tahmini yapılmıştır.
2016	Hosseinipoor, S. "Forecasting Natural Gas Prices in the united states using artificial neural networks"	NAR ve NARX yöntemleri ile Amerika doğalgaz fiyat tahmini yapılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı İstanbul ili için Anadolu ve Avrupa yakası için 2008-2018 yılları arasındaki veriler kullanılarak günlük ve saatlik doğalgaz talep tahmini yapılarak doğalgaz RMS-A istasyonları ihtiyaç zamanının belirlenmesidir.

1.3 Hipotez

İstanbul ili için Avrupa ve Anadolu yakaları için doğalgaz tüketimine etki eden parametlerin belirlenmesi ile yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak son yüzyılın en soğuk günü yaşanması halinde günlük ve saatlik doğalgaz tüketimleri tahmin edilerek doğalgaz RMS-A istasyonlarının ihtiyaç olacakları zaman yıl olarak tahmin edilebilir.

2
Enerji ve Doğalgaz

2.1 Dünyada Enerji ve Doğalgaz

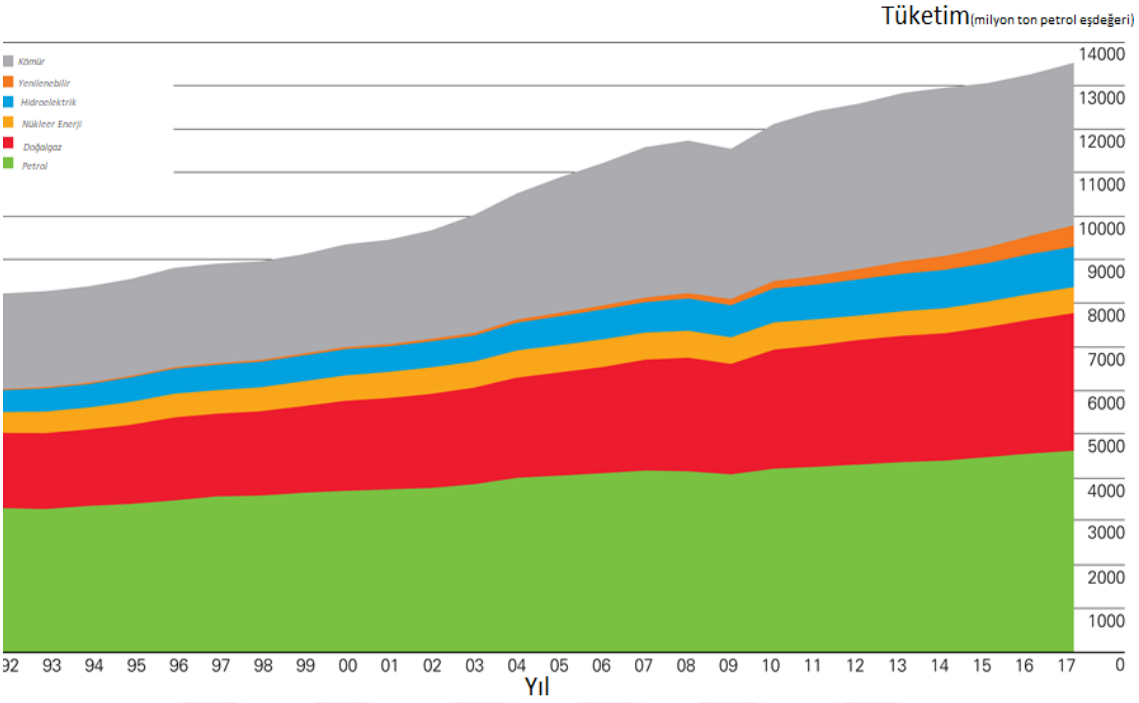
Enerji, ülkelerin ekonomisini temelden etkileyen, dünya siyasetini yönlendiren, ülkeler arası ilişkileri belirleyen aynı zamanda gelişmişlik göstergesi olan ana unsurlardan biridir. Enerji ihtiyacını, güvenilir, zamanında, ucuz ve temiz olarak sağlayabilen ülkeler ekonomik, gelişmişlik ve uyguladıkları enerji politikalarıyla dünya siyasetine yön verdikleri bilinmektedir. Günümüzde, bir ülkenin bağımsızlığı kendi enerjisini karşılayabilme potansiyeli ile ölçülebilir hale gelmiştir. Bu potansiyel kendi enerjilerini kendi öz kaynakları ile karşılamak olarak sadece anlaşılmamalıdır. Aynı zamanda enerji arz güvenliği açısından tek kaynak ile gitmeyip kaynakları çeşitlendirmektir.

Enerjinin çevre, toplum ve ekonomiye karşılıklı etkileşim halinde olmaları enerji ve kullanı önemli bir rol almasını sağlamıştır. Ülkelerin vatandaşlarının enerji ihtiyaçlarını karşılaması ve ülkenin gelişmini sağlıklı sürdürebilmesi için ihtiyaç olan enerji hayatın tüm alanlarında ön önemlisi ise konut, sanayi ve ulaşım sektörlerinin vazgeçilmezi haline gelmiştir. Ülkelerin sürekli artan vatandaşlarının konforu ve refah sevilerini arttırmak için üretim yapmak aynı zamanda da temiz bir dünyada yaşamalarını sürdürmelerini istemektedir. Bununla birlikte üretimin artması çevre kirliliğinin armasına ve enerji ihtiyacınıda artmasına neden olmaktadır.

Enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynaklarıdır. Birincil enerji kaynakları yenilenemeyen enerji kaynakları (petrol, doğalgaz, kömür, vb.) ve yenilenebilir enerji kaynakları (hidro enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerjisi, vb.) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İkincil enerji kaynağı ise elektriktir.

Dünyada enerji üretimi büyük ölçüde (yaklaşık %90) petrol, doğalgaz, kömür, linyit, asfaltit gibi fosil yakıtlara dayalı olarak yapılmaktadığı bilinmektedir. Talebin

karşılanmasında kullanılan yakıtlar Şekil 2.1'de görüldüğü üzere kullanım yoğunluğuna göre petrol, kömür, doğalgaz, hidroelektrik, nükleer enerji ve yenilenebilir enerji olarak sıralanmıştır [19].



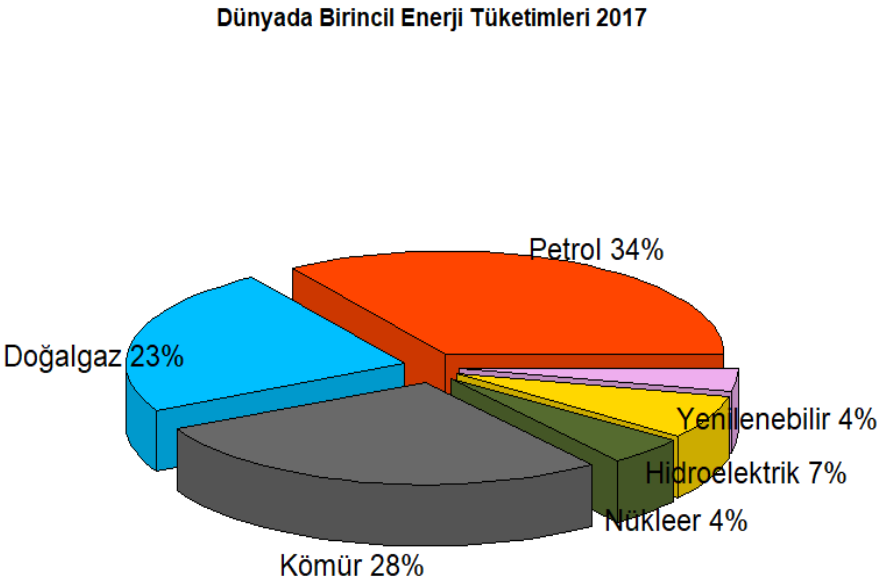
Şekil 2.1 Dünyadaki Birincil Enerji Tüketimleri 1992-2017 [19]

Yıllar itibari ile enerji tüketimlere Şekil 2.1'de bakıldığında doğalgaz tüketimi heryıl önemli oranda düzenli olarak artmış, petrol tüketimi heryıl artmış, yenilenebilir enerji ise özellikle 2010 yılı sonrası etkin bir şekilde artışa geçmiştir. Nükleer enerji tüketimi ve hidrolektrik enerji tüketimi ise genel olarak stabil kalmakla beraber kömür tüketimi 2008 yılına kadar düzenli artış göstermiş ve sonrasında ise stabil hale gelmiştir [19].

Özellikle dünyada yaşanan ekonokik krizlerin enerji tüketimlere etkisini 2008 yılında yaşanan ekonomik sıkıntılar ile birlikte daha net ilişkisi görünmektedir. Dünyada 2008 yılında yaşanan ekonomik kriz ile birlikte enerji tüketimide önemli oranda düşüş göstermiştir.

Dünya'da enerji tüketimi üerimde kullamılması ile birlikte son yıllarda özellikle 20 yıl içerisinde beklenenden %50'nin üzerinde artış göstermiştir. Şekil 2.2'de de görüleceği gibi toplam birincil enerji tüketimin %34'ünü temsil eden petrol, küresel

enerji tüketiminde en yüksek paya sahiptir ve petrolü kömür, doğalgaz, hidroelektrik, nükleer enerji ve yenilenebilir enerrji izlemektedir [19].

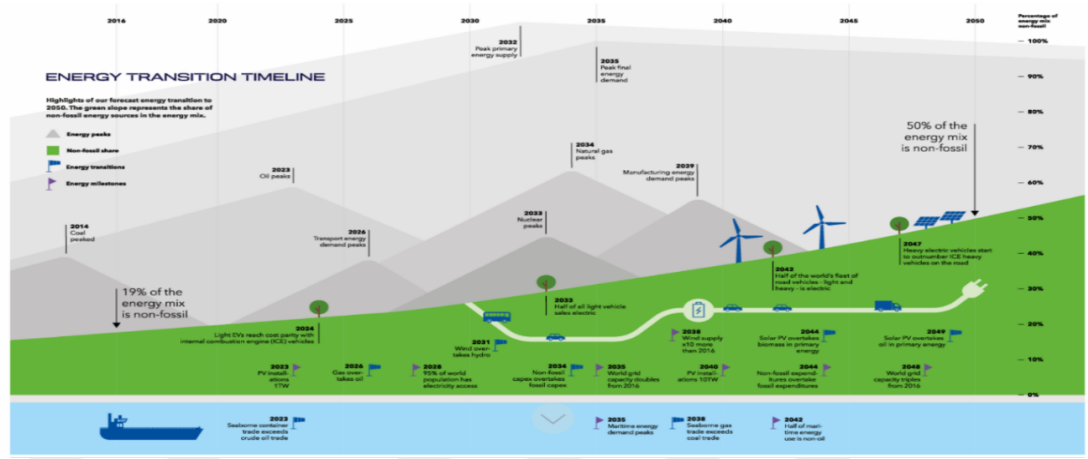


Şekil 2.2 2017 Yılındaki Dünyada Birincil Enerji Tüketimleri [19]

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi dünyada birincil enerji tüketiminin %75'ini fosil kaynaklı yakıtlar oluşturmakla beraber Şekil1.1'de de görüldüğü gibi yenilenebilir ve hidrolik enerjinin payı 2010 yılından irtibaren heryıl önemli olanda artmıştır. Fosil yakıtların korbondioksit emisyonundan dolayı dünyada fosil yakıt kullanımı azaltacak bir çok adımlar atılmış ve planlar hazırlanmıştır. Bu planlama çerçevesinde İngiltere'de 2050 yılına gelindiğinde enerji ihtiyacının %50'si fosil olmayan kaynaklardan elde edilmesi planlanıyor. Bu plan çerçevesinde hazırlanan öngörü şekil 2.3'de gösterilmişltir.

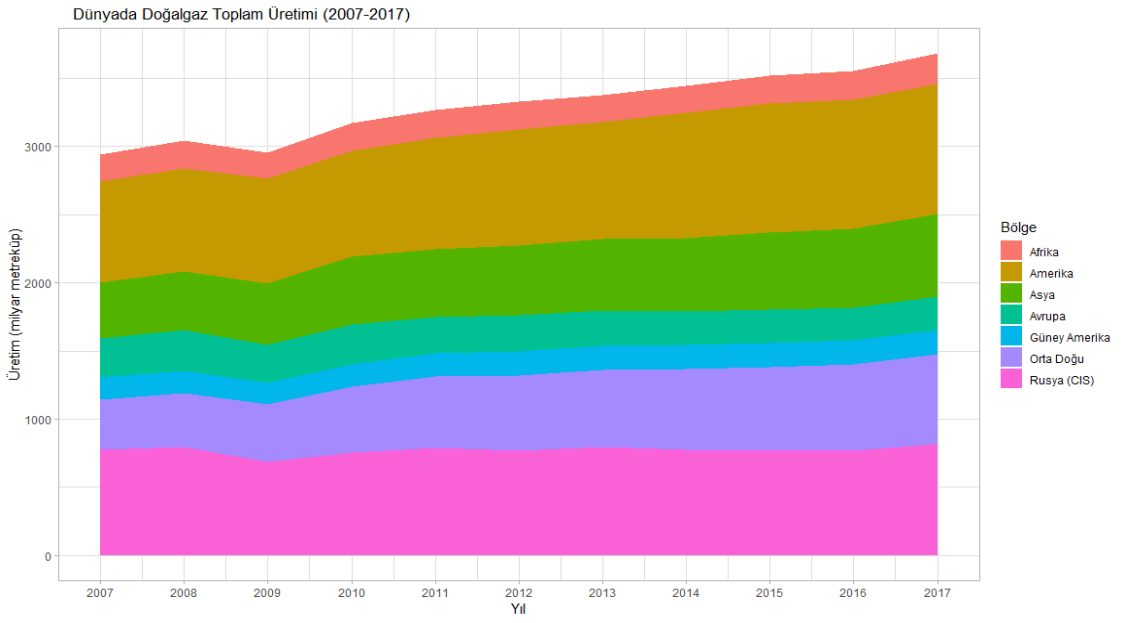
Şekil 2.3'ü incelediğimizde özellikle 2032 yılında birincil enerji tüketiminin en fazla olacağı yıl olarak görünmektedir. Diğer taraftan 2023 yılında petrol, 2033 yılında nükleer enerji ve 2034 yılında ise doğalgaz tüketim taleplerinin en fazla olacağı yıllar olarak öngörülmektedir. Özellikle elektrikli araçların yaygınlaşması ile petrol tüketiminin azaltılarak yenilebilir enerji kaynaklrına yönelimin arttırılması hedeflenmektedir. Günümüzde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının arttırılması ile 2050 yılına gelindiğinde İngiltere'de enerji talebilinin %50'si fosil olmayan kaynaklardan elde edilmesi öngörülmektedir. Aynı zamanda CO_2

emisyonunun ise %80 oranında azaltılması hedeflenmektedir. 2018 yılı sonu itibari ile İngiltere'de fosil olmayan yakıt kullanım oranı %19 olduğu belirtilmiştir [20].



Şekil 2.3 DNVGL Enerji Dönüşümü Zaman Çizelgesi [20]

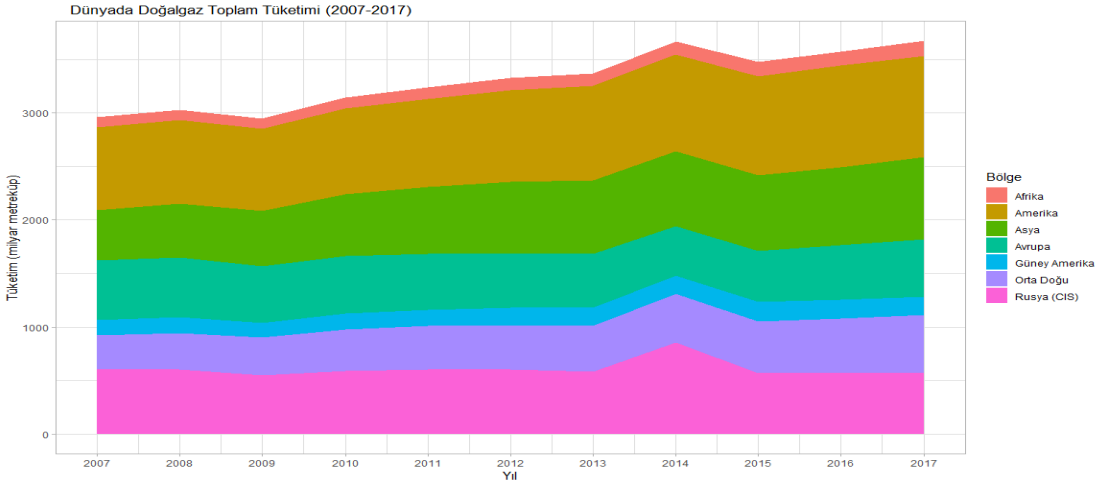
Dünyada 2007-2017 yılları arasındaki doğalgaz üretime şekil 2.4'te incelediğimizde en fazla üretimin olduğu bölge 2010 yılı itibari ile Amerika'dır. Sonrasında sırasıyla Rusya, Orta Doğu, Asya, Avrupa, Afrika ve Güney Amerika'dır.



Şekil 2.4 Dünyada Doğalgaz Üretimi 2007-2017 [19]

2007 yılında dünyada doğalgaz üretiminin %26 lık payı ile Rusya bölgesi zirve olmasına rağmen 2017 yılında ise Rusya bölgesi toplam üretimin %22 lik payına

sahiptir. Diğer taraftan 2007 yılında dünyada doğalgaz üretiminin %25'lik payına sahip olan Amerika 2017 yılına gelindiğinde %26'lık paya sahip olarak en fazla paya sahip olan bölge konumuna gelmiştir [19].

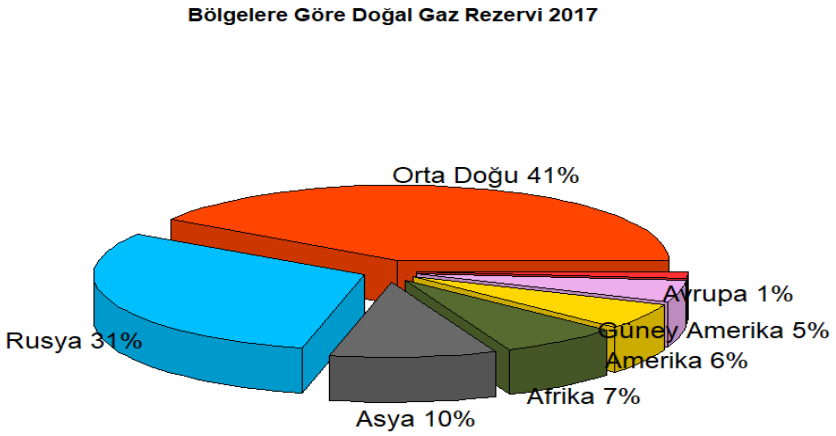


Şekil 2.5 Dünyada Doğalgaz Tüketimi 2007-2017 [19]

2007- 2017 yılları arasında dünyada gerçekleşen doğalgaz tüketimlerini şekil 2.5'te incelediğimizde 2007 yılında dünyadaki doğalgaz tüketiminde en büyük pay %26 pay ile Amerika'dır. 2017 yılına geldiğimizde ise doğalgaz tüketiminin yine büyük payı %26 ile Amerika'dır. Rusya bölgesine geldiğimizde ise dünyadaki doğalgaz tüketim oranı 2007 yılında %21 iken 2017 yılına gelindiğinde %16'ya kadar düşmekle birlikte şekil 2.4'teki dünyadaki doğalgaz üretimindeki payı o oranda düşmemiştir. Aynı zamanda Rusya bölgesindeki 2014 yılındaki toplam tüketimdeki artış göze çarpmaktadır. Önemli doğalgaz ihraaç eden ülkelerden biri olan Rusya 2014 yılında doğalgaz tüketiminde ciddi bir artış gözlenmiştir. Buradaki tüketim artışının en büyük sebebi şüphesiz Ukrayna ile Rusya arasındaki askeri gerilim gösterilebilir. Rusya 2014 yılında doğalgaz üretiminin neredeyse tamamını kendi kullandığı anlaşılmaktadır.

Dünyada doğalgaz toplam tüketimlerine bakıldığında özellikle Asya bölgesindeki tüketim artışı önemlidir. 2009 yılında başlayan tüketim artışları 2017 yılına kadar istikrarlı şekilde artmıştır. 2007 yılında Asya bölgesinin dünyada doğalgaz tüketim oranı %16 iken 2017 yılına gelindiğinde %21'lere kadar arttığı gözlenmiştir. Aynı süreçte Orta Doğu'daki doğalgaz tüketim miktarınında önemli ölçüde artış gösterdiği anlaşılmaktadır.

Doğalgaz tüketimin yıllık olarak 2007- 2017 arasında neredeyse hiç değişmediği gözlenen bölgeler ise; Afrika, Avrupa ve Güney Amerika bölgeleridir.

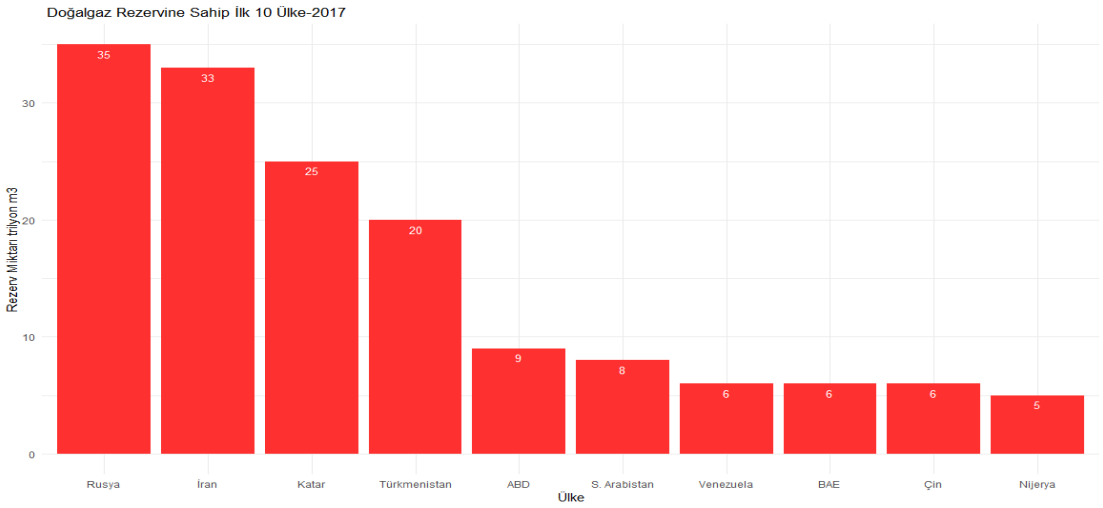


Şekil 2.6 2017 Yılı Bölgelere Göre Doğalgaz Rezervleri [19]

Şekil 2.6'da oransal olarak bölgelere gör 2017 yılı itabari ile kanıtlanmış doğalgaz rezervleri gösterilmiştir. 2017 yılı itibari ile dünyada kanıtlanmış doğalgaz rezervleri miktarı 193,5 trilyon m^3 olarak bilinmektedir. Şekil 1.6 incelendiğinde görüldüğü üzere 2017 yılı itibari ile kanıtlanmış doğalgaz rezervlerinin %41'i Orta Doğu bölgesinde yer almaktadır. Orta Doğu'yu sırası ile Rusya (CIS), Asya, Afrika, Amerika, Güney Amerika ve Avrupa bölgeleri takip etmektedir.

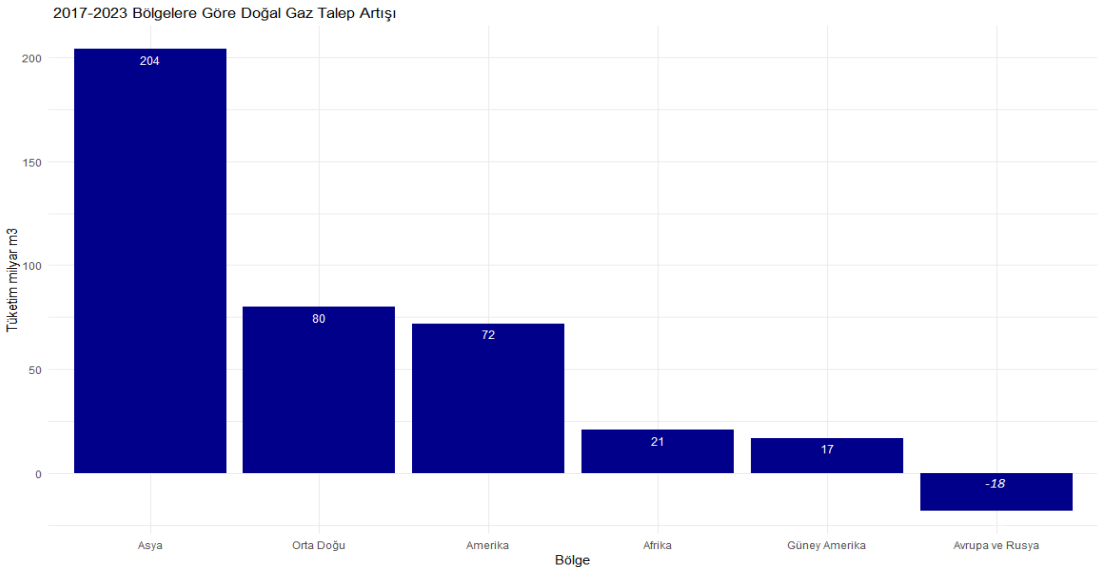
Şekil 2.5'te görüldüğü üzere 2017 yılı itibari ile dünyada doğalgaz tüketiminin toplam değeri 3,68 trilyon m^3 olarak belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak küresel doğalgaz rezerv ömrünün 52,6 yıl olarak bulabiliriz. Söz konusu hesaplanmış ömür bugün kanıtlanmış doğalgaz rezervlerine göre hesaplandığı unutulmamalıdır.

Dünyada kanıtlanmış doğalgaz rezervi olan ilk on ülke sırası ile Rusya, İran, Katar, Türkmenistan, ABD, Suudi Arabistan, Venezuela, BAE, Çin ve Nijerya'dır. Şekil 1.7'de görüldüğü üzere 2017 yılı itibari ile dünyada kanıtlanmış doğalgaz rezervinin 193,5 trilyon m^3 olduğuna göre sıranan bu on ülke dünyadaki doğalgaz rezervlerinin %79'una sahiplerdir. Bu ülkelerden Katar ve Nijerya LNG ihracatında önemli ülkelerdendir. Geriye kalan ülkelerin kanıtlanmış doğalgaz rezervleri 2017 yılı itibari ile %21'lik orana sahiplerdir. Bu değer ise yaklaşık 40 trilyon m^3 olarak söylenebilir [19].



Şekil 2.7 2017 Yılı Doğalgaz Rezervine Sahip İlk 10 Ülke [21]

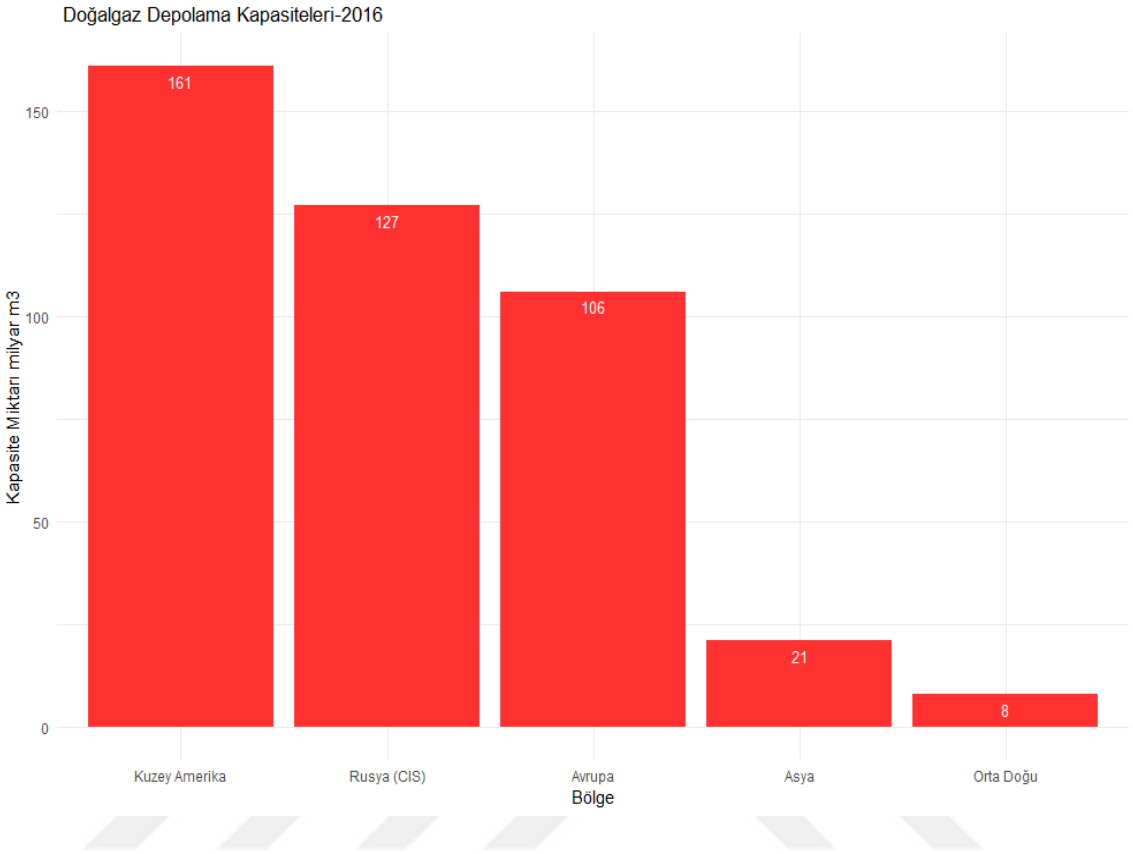
Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 2018 Gas raporuna göre 2017 yılından 2023 yılına gelindiğinde doğalgaz tüketimlerindeki değişim şekil 2.8'de gösterilmiştir. Bu veriler incelendiğinde Asya Pasifik bölgesindeki doğalgaz talep artışı dünyadaki diğer bölgelerdeki talep artışından daha fazladır. Orta Doğu'daki doğalgaz talebinin 2023 yılına gelindiğinde 2017 yılı baz alınarak yaklaşık 80 milyar m^3 artış olacağı, Avrupa ve Rusya bölgelerinde ise 18 milyar m^3 azalacağı öngörülmektedir [21].



Şekil 2.8 2017-2023 Yılları Bölgelere Göre Doğalgaz Talep Değişimi [21]

Türkiye Petrolleri A.Ş. 'nin 2017 yılı ham petrol ve doğalgaz sektör raporuna göre doğalgaz bölgelerin doğalgaz depolama kapasiteleri şekil 2.9' da verilmiştir. Doğalgaz depolama kapasitesi doğalgaz arz güvenliği açısından önemli aktörlerden

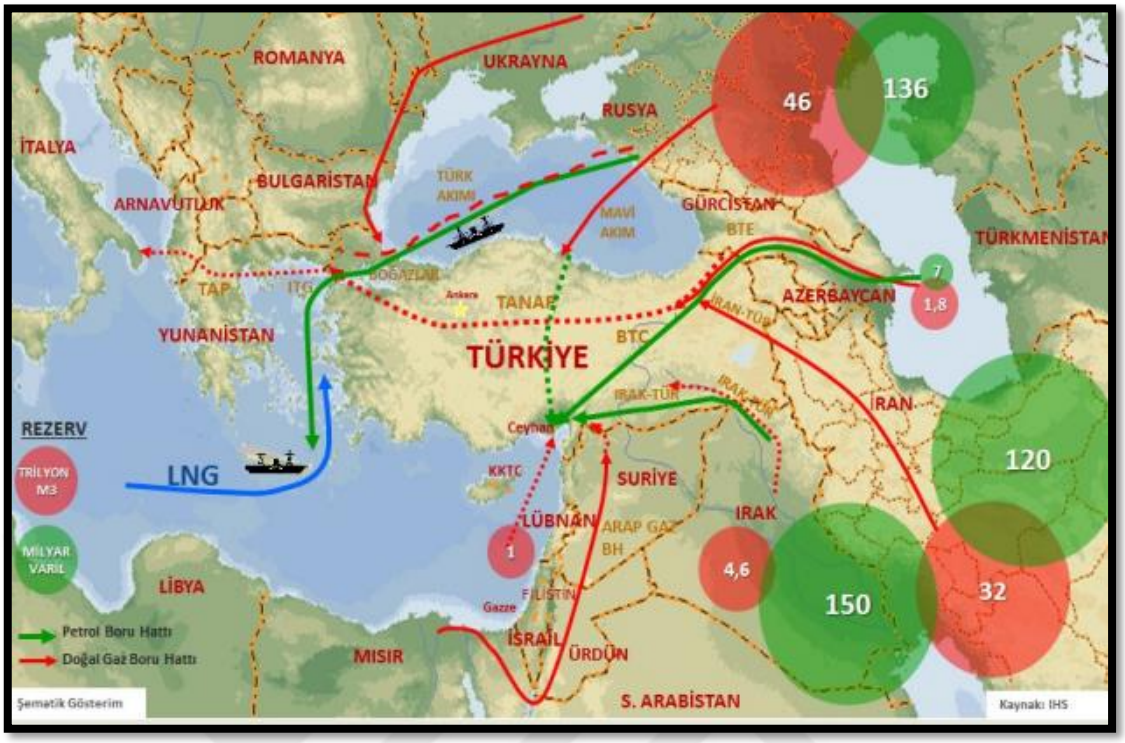
biridir. Depolama ne kadar yapılabiliniyorsa o oranda da doğalgaz arz güvenliğiniz daha az risktedir denilebilir.



Şekil 2.9 2016 Yılı Bölgelere Göre Doğalgaz Depolama Kapasiteleri [22]

Dünyada bölgelere doğalgaz depolama kapasiteleri incelendiğinde dünyadaki toplam kapasite yaklaşık olarak 423 milyar m^3 olduğu görünmektedir. Dünaydaki doğalgaz depolama kapasiteleri sırası ile Kuzey Amerika, Rusya, Avrupa, Asya ve Orta Doğu'dur. Amerika'daki kapasitelerinin toplamı 161 milyar m^3 olduğu görülmektedir. Doğalgaz depolama kapasitelerinin doğalgaz üretimlerinin olduğu bölgeler de de fazla olduğu görünmekle beraber Orta Doğu'daki depolama kapasitesinin az olduğu görünmektedir. Şekil 2.4'deki dünya doğalgaz üretimi incelendiğinde Amerika'nın enfazla olduğu aynı şekilde doğalgaz depolama kapasitesinin de en fazla olduğu görülmektedir. Rusya'daki doğalgaz üretiminde ikinci sırada iken yine aynı şekilde doğalgaz depolama kapasitesinde de ikinci sıradadır [22].

2.2 Türkiye'de Enerji ve Doğalgaz

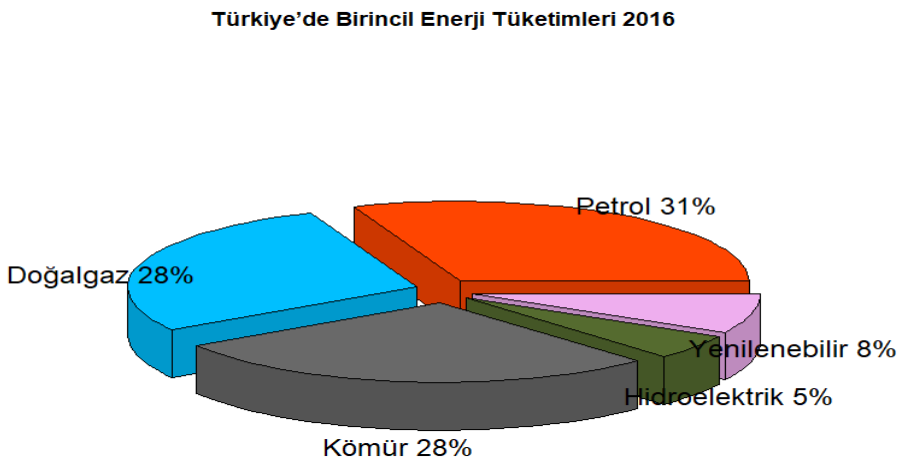


Şekil 2.10 Türkiye'de Mevcut ve Planlanan Petrol ve Doğalgaz Hatları [22]

Türkiye bulunduğu jeostratejik konum nedeni ile bölgemizdeki petrol ve doğalgaz projelerine öncülük etmektedir. Özellikle Avrupa enerji arz güvenliği noktasında önemli bir role sahiptir. Dünya da önemli petrol ve doğalgaz üretimi ile birlikte reserve sahip olan Rusya ve Orta doğu bölgesindeki kaynakları enerji tüketiminin fazla olduğu Avrupa bölgesine taşınmasında stratejik öneme sahip bir konumdayız. Bu doğrultuda T.P.A.O ham petrol ve doğalgaz sektör raporunda da görüleceği üzere mevcut ve planlanan boru hatları projeleri şunlardır;

- "Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı (BTC)"
- "Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı"
- "Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı (BTE)"
- "Samsun-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı Trans-Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı (TANAP)"
- "Türkiye-Yunanistan Enterkonnektörü (ITG)"
- "Irak-Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı"
- "Türk Akımı Doğal Gaz Boru Hattı" [22].

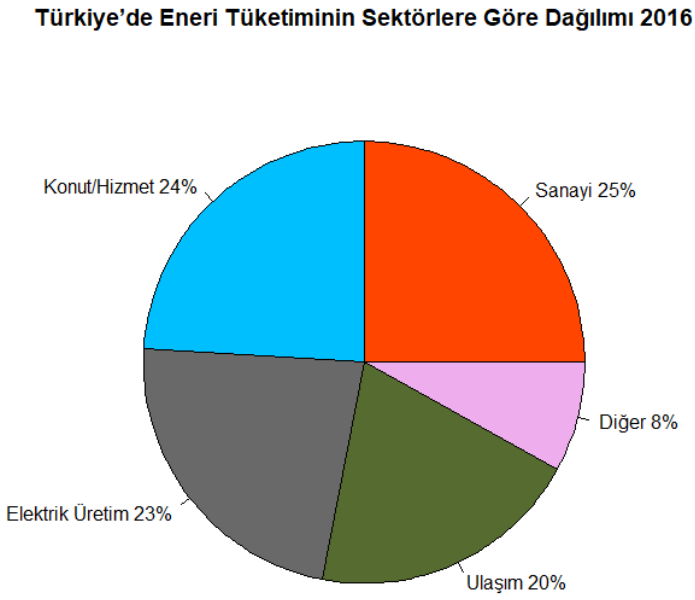
Türkiye ve Rusya devlet başkanları arasında Türk Akımı projesi için Aralık 2016'da imzalar atılmıştır. Proje kapsamında, yıllık kapasitesi 15,75 milyar m^3 olacak tek hattın, toplam da ise iki hattın yıllık 31,5 milyar m^3 kapasite ile Türkiye'de Kıyıköy'e kadar inşa edilmesi hususunda anlaşmaya varılmış ve Kasım 2018 tarihi itibariyle de bu projenin deniz geçişi bitmiştir. Projedeki bir doğalgaz hattının Türkiye'de gaz talebini karşılaması, diğer hattın ise Güney Doğu Avrupa ülkelerinnin gaz ihtiyacını karşılaması planlanmaktadır.



Şekil 2.11 2016 Yılındaki Türkiyede Birincil Enerji Tüketimleri [22]

Türkiye gelişen ekonomisi ve sanayisi ile birlikte dünyada enerji tüketimi bakımından önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde 2016 yılı itibari ile yaklaşık 136,2 milyon petrol eşdeğeri(tpe) birincil enerji talebinde şekil 2.11'de görüldüğü gibi %31 pay oranı ile petrol birinci sırada yer almaktadır. Petrol tüketiminin ardından doğalgaz ve kömür tüketimi gelmektedir. Daha sonra yenilenebilir enerji %8'lik pay ile dördüncü sırada yer alırken %5'lik pay ile hidroelektrik enerjisi son sırada yer almaktadır [22].

Ülkemizde halihazırda nükleer enerji kullanılmamakla beraber 2023 yılında işletmeye alınacak Akkuyu nükleer enerji tesisi ile birlikte ülkemizde de kullanılması planlanmaktadır. Söz konusu projenin devreye girmesi ile yıllık yaklaşık 16 milyar m^3 doğalgaza denk gelen nükleer enerjinin kullanılacağı ifade edilmektedir. Yıllık yaklaşık 50 milyar m^3 doğalgaz kullanıdığı ve bunun %99'u ithal edildiği düşünüldüğünde ciddi anlamda ülke ekonomisine katkısı olacağı düşünülmektedir [23].

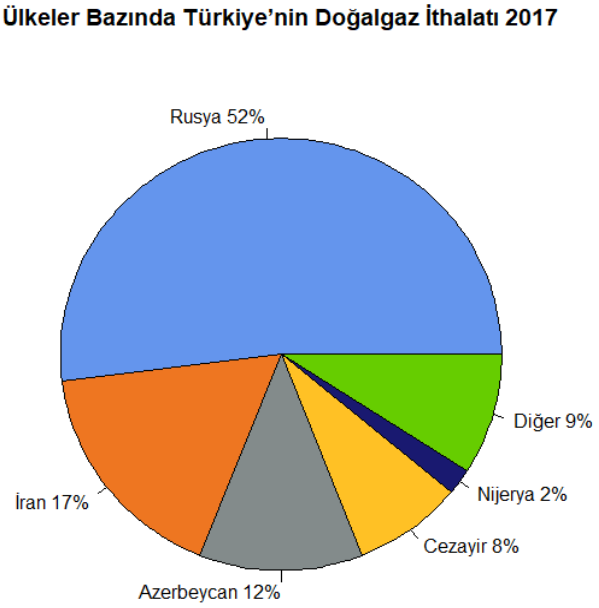


Şekil 2.12 2016 Yılındaki Türkiyede Sektörlere Göre Enerji Tüketimleri [22]

2016 yılı Enerji Tabi Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre ülkemizdek enerji tüketimi %25'lik enerji tüketimi ile en fazla enerji tüketiminin olduğu sektördür. Sanayideki enerji tüketimini sırası ile; konut/ hizmet, elektrik çevrim santralleri, ulaşım ve diğer sektörler takip etmektedir.

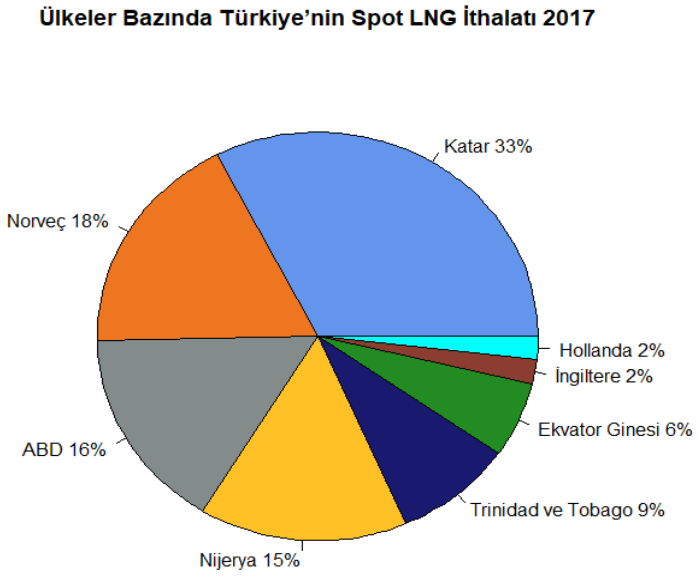
2016 yılı itibari ile enerji ihtiyacımızın kendi üretimimiz ile karşılama oranımız %25,9 olmuştur. Yani ihtiyacımız olan enerjinin %74,1'i diğer ülkelerden ithal edilmiştir. Bu oran petrolde ise yaklaşık %35'dir. Bu ithalat ise %89'u 9 ülkeden ithal edilmiştir. Bu ülkeler; %27 ile İran, %19 ile Rusya, %17 ile Irak, %8 ile Hindistan, %5 ile Suudi Arabistan, %4 ile Kuveyt ve %3'er ile Yunanistan, Bulgaristan ve İsrail'dir.

Doğal gaz tüketiminde dışa bağımlılık oranı çok yüksektir. Türkiye gaz talebinin %99'unu ithalatla karşılanmaktadır. Ülkemizde, 2017 yılında yaklaşık 55 milyar m^3 doğal gaz tüketilmiş ve bu tüketimin %0,7'si (354 milyon m^3) ülke içi üretim ile karşılanmıştır. 2017 yılı Türkiye doğal gaz ithalatının ülkelere göre dağılımında, Şekil 2.17'de görüldüğü üzere Rusya %52'lik oran ile birinci sıradadır. Rusya'yı %17 ile İran, %12 ile Azerbaycan, %8 ile Cezayir ve %2 ile Nijerya takip etmektedir [24].



Şekil 2.13 2017 Yılında Ülkeler Bazında Türkiye'nin Doğalgaz İthalatı [24]

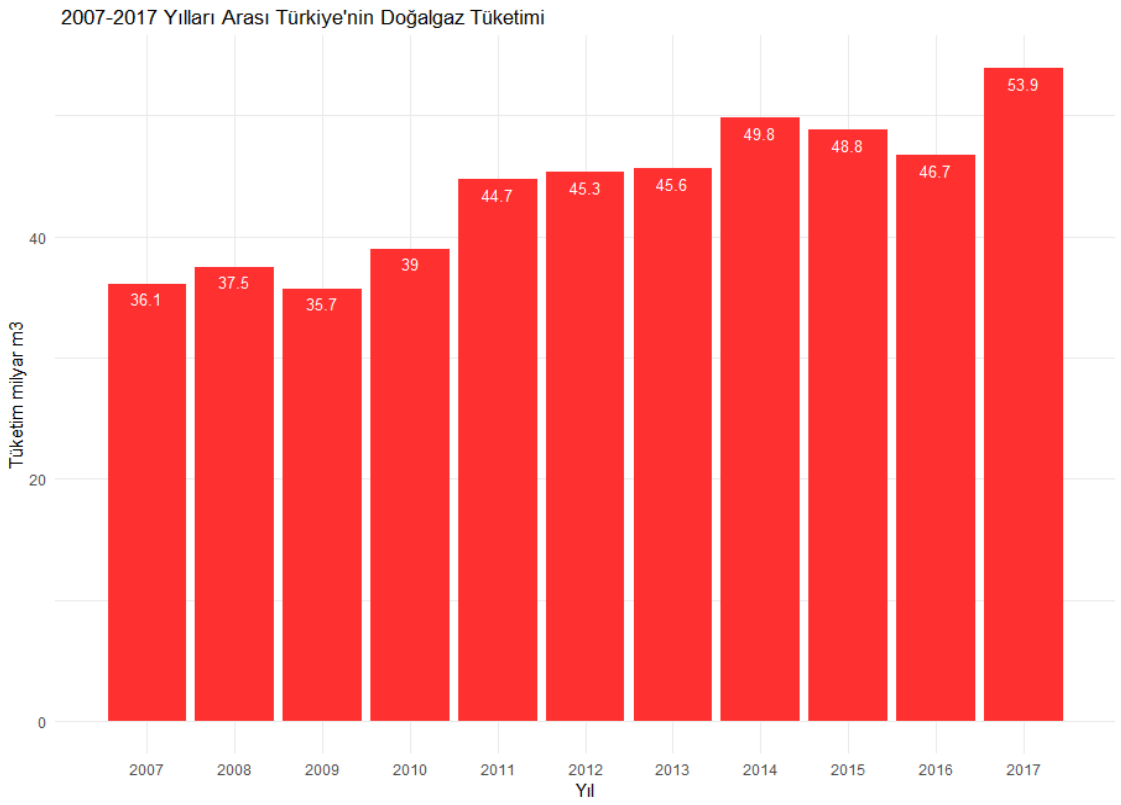
Şekil 2.13'de gösterilen 2017 yılında ülkeler bazında ülkemizin doğalgaz ithalat oranlarından %9'luk kısım diğer ülkeler olarak ifade edilmiştir. Buradaki diğer ülkeler spot LNG ithalatını ifade etmektedir. 2017 yılındaki LNG ithalatı yaklaşık olarak 4.8 milyar m^3 olduğu EPDK kaynaklarında verilmiştir.



Şekil 2.14 2017 Yılında Ülkeler Bazında Türkiye'nin Spot LNG İthalatı [24]

Şekil 2.14'de de gösterildiği üzere spot LNG ithalatı payı en fazla olan ülke %33 pay ile Katar'dır. Daha sonar sırası ile %18 ile Norveç, %16 ile ABD, %15 ile Nijerya, %9

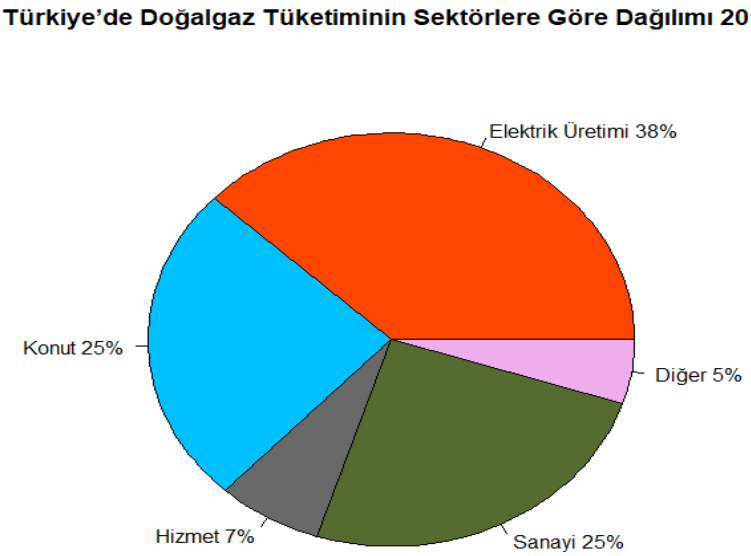
ile Trinidad ve Tobago, %6 ile Ekvato Ginesi ve %2'şer pay oranı ile İngiltere ve Hollanda gelmektedir.



Şekil 2.15 2007-2017 Yılları Arasında Türkiye'de Doğalgaz Tüketimi [24]

Türkiye'de 2007-2017 yılları arasında doğalgaz tüketimleri şekil 2.15'de gösterilmiştir. 2007 yılında 36 milyar m^3 iken 2017 yılına gelindiğinde 53,9 milyar m^3 doğalgaz tüketimi ile rekor kırılmıştır. 2007-2017 yılları arasında bazı yıllarda tüketimde düşüş görünsede düzenli olarak doğalgaz tüketimi artmıştır.

Şekil 2.16'da ülkemizdeki doğalgaz tüketiminin sektörlere göre dağılımı gösterilmiştir. Buradaki en büyük pay doğalgaz çevrim santrallerinden elektrik üretilmesidir. 2017 yılı itibari ile ülkemizdeki doğalgaz tüketiminin yaklaşık 20 milyar m^3'lük kısmı elektrik üretimi için kullanılmıştır. Çevrim santrallerini sırası ile sanayi, konut, hizmet ve diğer sektörler takip etmektedir [24].



Şekil 2.16 2017 Yılındaki Türkiyede Sektörlere Göre Doğalgaz Tüketimleri [24]

EPDK 2017 yılı sektör raporu incelendiğinde çevrim santrallerinin doğalgaz tüketimi kış aylarında düşerken konutların doğalgaz tüketimi bu dönemde artmaktadır. Aynı şekilde konutların doğalgaz tüketimi yaz aylarında düşerken çevrim santrallerinin doğalgaz tüketimi aynı dönemde artmıştır. Sanayinin doğalgaz tüketimi ise yaz ve kış aylarında belirgin bir değişim göstermediği görülmektedir.

Doğalgaz arz güvenliği açısından önemli bir yeri olan gaz depolama kapasitemiz 2017 yılı sonu itibari ile yaklaşık 3 milyar m^3 iken 2019 yılı sonu itibari ile 5 milyar m^3 2023 yılında ise 10 milyar m^3 olması hedeflenmektedir. Bunu sağlanabilmek için Tuz gölü depolama tesisinde çalışmalar yapılmaktadır. Aynı zamanda diğer doğalgaz depolama tesislerinin kapasiteleri arttırılmaktadır [24].

2017 yılı itibari ile ülkemizdeki doğalgaz dağıtım sektöründe en fazla doğalgaz satışı yapan firma İstanbul Gaz Dağıtım A.Ş.(İGDAŞ)'dir. İGDAŞ 2017 yılında yaklaşık 6,4 milyar m^3 doğalgaz dağıtımda, 2,2 milyar m^3 doğalgaz ise taşımada satış yapmıştır. Türkiye'de kullanılan doğalgazın yaklaşık %16'lık kısmı İGDAŞ tarafından yani İstanbul ilinde kullanılmaktadır. 2017 yılında İGDAŞ tarafında satılan doğalgazın 160 milyon m^3'u çevrim santrallerinde, 1,16 milyar m^3'u sanayi seköründe, 667 milyon m3'u hizmet sektöründe ve 4,4 milyar m^3'ü ise konutlarda kullanılmıştır [24].

2.3 Doğalgazın Enerji Sektöründeki Yeri

2.3.1 Doğalgazın Tarihçesi

Doğalgaz, aslında yeni bulunan birşey olmamakla beraber bilinçli olarak kullanımı 1700'lü yıllarda olmuştur. M.Ö. 1000 yıllına Yunanlılar tarafından bulunmuş ama ilahi birşey sanıp tapınak yapmışlar. Daha sonar Çinliler tarafından M.Ö. 940 yılında tuzun çökeltisinde bambu ağaçlardan yaptıkları boru ile kullanmışlardır. Avrupa da ise 1959 yılında İngilterede bulunmuş ve 1790 yılına gelindiğinde ise İngiltere sokaklarının aydınlatılmasında içten yanmalı motorlarda doğalgaz kullanılmıştır [25].

ABD'de ise doğalgaz ilk defa 1626 yılında Erie Gölü çevresinde sızan doğalgaz Amerika yerlileri ve Fransız kaşifler tarafından bulunmuştur. Amerika gaz endüstrisi ilk olarak bu bölgede başlamıştır diyebiliriz. 1815 yılına gelindiğinde Amerika'daki il gaz sahası olarak bilinen Charleston Bölgesinde bir tuz madeni civarında gaz çıkarılmış ve 1816 yılından itibaren ise Baltimore'da sokakların aydınlatılmasında kullanılmıştır. Bundan beş yıl sonra da ilk ticari gaz işletmeciliği yani 1821 yılında William Hart tarafından gaz kuyusu kazılarak yapılmış oldu ve Fredonia Gas Light şirketi kurulmuş oldu. Doğalgaz'ın ticari amaçla uzun bir mesafeye nakli ilk defa 1883'te gazın boru hatları ile Pittsburg, PA'a getirilmesi ile gerçekleşmiştir. 1890 yılında aynı şehirde doğalgaz dağıtımı için tesis edilen boru hatlarının toplam uzunluğu 750 km'ye ulaşmıştır. Yine aynı tarihlerde Amerika sınırları içindeki diğer iletim hatlarının toplam uzunlukları ise 40.000 km mertebesinde idi.

19. yy içerisinde doğalgaz sadece ışıklandırılmada kullanılan hammade olarak görülürken 19. yy sonlarına doğru elektiriğin kullanılması ile birlikte doğalgazında kullanım çeşitliliği armaya başlamıştır. 1885 yılında, Robert Bunsen tarafından icat edilen Bunsen beki olarak bilinen icadı ile oksijenle doğalgazı doğru oranlarda karıştırarak istenildiği zaman kullanılmasıyla doğalgaz konutlarda da kullanılmaya başlanmış ve kullanım alanları biraz daha genişlemiştir. 1920'lerde boru hattı taşımacılığının uygulamaya konulması ile hızlı bir artış gösteren doğalgaz kullanımı 2. Dünya Savaşı'ndan sonra sürekli gelişme göstermiştir. Boru imalat ve kaynak

teknolojilerindeki gelişmeler, daha önceleri 25-30 bar olan boru hattı basınçlarının 60-70 bara, boru hattı çaplarının ise 75 cm'ye kadar çıkartılabilmesine imkân sağlayarak nakledilen doğalgaz hacimlerinin önemli ölçüde artmasına yol açmıştır.

1900'lü yılların ortalarından itibaren doğalgaz ülkeler arasında ihraç edilmeye başlanmıştır ama 1970-1980 arasında yaşanan kriz sonrası özellikle gaz fiyatlarındaki düzensizlik nedeni ile doğalgaz piyasasında bir gerileme görünse de kriz sonrasında dünya genelinde doğalgaz üretimi yaklaşık yedi ve sekiz kat arttığı görülmektedir [26]. Bölüm 2'nin başlarında doğalgaz üretimi ve doğalgaz tüketimi ile ilgili grafikler son yıllardaki trendi anlamamızı sağlamaktadır.

2.3.2 Doğalgazın Özellikleri Ve Avantajlari

Doğalgaz, yeryüzü derinliklerinde gözenekli oluşumlarda bulunan ve doğal olarak oluşan hidrokarbon ile hidrokarbon olmayan gaz karışımıdır. Metan, etan, propan v.b. gibi yanıcı gazların karışımıdır. İçerisinde ağır karbonlar dediğimiz C8, C12 de bulunabilir. Ağır karbonların bulunması normal şartlarda doğalgazın içerisinde olması istenmez.

Bileşiminin büyük bölümünü metanın (yaklaşık %95 CH4) oluşturduğu doğalgaz, yüksek kalorifik değere sahip (8200 – 10300 Kcal/ m^3) renksiz, kokusuz ve havadan hafif yanıcı bir gazdır. Özellikle fosil yakınlardaki karbondisoksit oranına göre çok çok az karbondisoksit salınımı yapar. 1995 yılında doğalgazın İstanbul ilinde kullanımının yaygınlaştırılması sonucu hava kirliliğinde ciddi oranlarda azalma görülmsi ise doğalgazın daha çevreci olduğunu göstermektedir. Doğalgazda yanma görülebilmesi için %4-15 aralığında gaz ile havanın karışması gerekmektedir. İdeal yanma ise bu oran %10 olmalıdır.

Doğalgaz -161,5 °C'de sıvılaşır. -182,5 °C'de katı hale dönüşür. Havaya göre izafi yoğunluk aralığı 0,54- 0,64'tür. bağlı olarak 590 – 650 °C'dir. Tam yanma anında mavi bir alevle yanar. Teorik yanma sıcaklığı ise 1960 °C'dir. Havada maksimum yanma hızı 0,43 m/sn'dir". Doğalgaz havadan yoğunluğu daha düşük, yani daha hafiftir diyebiliriz.

Doğalgaz normal şartlarda kokusuzdur ama gaz kaçaklarının anlaşılmasını sağlamak için şehir giriş istasyonlarında doğalgaza çürük sarımsak kokusuna

benzer bir karışım ilave edilir ve kokulandırma yapılmış olur. Doğalgaz kaçaklarında doğalgaz zehirlemez ama ortamda hava bırakmadığı için isanların havasızlıktan boğulmasına sebep olur. Zehirlenmelerin ekseriyeti karbonmonoksit zehirlenmeleridir. Ayrıca doğalgaz havadan hafif olduğundan sızmalarda kapalı ortamlarda birikme yapar ve patlamalara sebebiyet verebilir.

2.3.3 Doğalgaz Sektör Yapısı

Doğalgaz sektör yapısı incelendiğinde görülmektedir ki en fazla konut, sanayi, araçlarda ve elektrik üretiminde kullanılmakla beraber fosil kaynaklı enerjilerin ikamesi olarak da kullanılmaktadır.

2.3.3.1 Doğalgazın Konutlarda Kullanımı

Konutlarda doğalgaz, özellikle kış şartlarında en fazla ısınma amaçlı kullanılmakla beraber, sıcak su elde edilmesinde ve mutfakta yani ocakta da kullanılmaktadır. Konutlarda ısınma ve sıcak su elde edilmei için merkezi system ve bireysel yani kombili system ile doğalgaz kullanılmaktadır. Son kullanıcı tarafından kullanılan doğalgazın yaklaşık %60-70 aralığında kış aylarında ısıtma amaçlı kulanılmaktadır. Evsel kullanılan doğalgazın özellikle mevsimsel değişkenliklere yani sıcaklık değişimlerine karşı son derece duyarlı olduğu bilinmekle beraber Bölüm 5'te bu etki İstanbul özelinde incelenmiştir.

2.3.3.2 Doğalgazın Ticari Sektörde Kullanımı

Doğalgaz ticari sektörde özellikle otel, restaurant, hastana, is merkezi ve AVMler tarafından kullanılmaktadır. Hizmet sektörü oluğundan dolayı bu kullanım sektöründe de mevsimsellik ciddi anlamda doğalgaz tüketimine etki eder.

2.3.3.3 Doğalgazın Endüstride Kullanımı

Doğalgaz bilindiği üzere bir çok farklı alandaki endüstriyek ürünün üretiminde doğrudan kullanılmaktadır. Bunlar üretim amaçlı kullanımlar olduğundan dolayı mevsimsel değişimlerden etkilenmezler. Ama buradaki tüketim ise doğrudan ülkedeki makro ekonomik değişimlere karşı çok duyarlıdır.

2.3.3.4 Doğalgazın Araçlarda Kullanımı

Doğalgazın enerji yoğunluğu düşük olduğu bilinmektedir. Bu enerji yoğunluğunu yükseltmek için ise doğalgaz sıkıştırma ve sıvılaştırma işlemine tabi tutulur. Doğalgazın sıkılıaştırma işi CNG olarak bilinmektedir. CNG kompresörü 250–350 bar'a kadar doğalgazı sıkıştırmak süreti ile doğalgazı sıkıştırmış olur ve daha az hacim kaplamasını sağlar. Böylelikle araçlara monte edilmesi ile araçlarda kullanımı sağlanmış olur. CNG, benzin ile çalışan araçlara göre %70 LPG ile çalışan araçlara göre ise yaklaşık %30 oranında tasarruf yapıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca motor ömrünü uzatttığı ile ilgili bilgilerde vardır [27].

Yetişken ve arkadaşları çalışmalarında doğalgazın "ısıl değeri 47 MJ/kg veya 40MJ/ m^3'e eşit olup, 1 kg doğalgaz 1,33 litre benzine veya 1,22 litre motorine eşittir. Diğer bir karşılaştırma ile 1 m^3 doğalgaz 1,1 litre benzine veya 1,0 litre motorine eşit olmaktadır" demişlerdir [27].

Doğalgazın araçlarda kullanılması halinde insanlar ilk olarak kaza halindeki CNG etkisini merak etmektedirler. CNG sıkıştırılmış gaz olduğundan herhangi bir sızma halinde direct olarak atmosphere karışırlar ve benzin ile LPG gibi yerde birikme yapmazlar. Ayrıca doğalgazlı araçların desteklenmesi için en önemli neden ise şüphesiz karbondioksit emisyonunun benzinli ve dizel araçlara göre yaklaşık %20 oranında daha azdır [28].

2.3.3.5 Doğalgazın Soğutmada Kullanımı

Soğutma işlemi bilindiği üzere yaygın olarak elektrik kullanılarak sağlanmaktadır. Doğalgaz ile soğutma işleminin yapılabilirliği ortaya çıkması ile birlikte elektrik ile rekabet edebilir hale gelmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte doğalgazlı soğutma, elektrikli soğutma teknolojilerine karşı daha az maliyetli ve çevreye karşı daha uyumludur. Ancak bakım maliyetleri ektrikli soğutmaya göre daha fazladır. Ayrıca doğalgaz ile soğutma sistemleri arasındaki en büyük fark bakım maliyetidir. Doğalgaz ile soğutmada teknik personel eksikliği nedeni ile bakım maliyetleri oldukça yüksektir. İlerleyen zamanlarda bu durumunda ortadan kalkması ile ciddi yoğunlukta kullanılması öngörülmektedir. Üç tip doğalgazlı soğutma sitemi vardır;

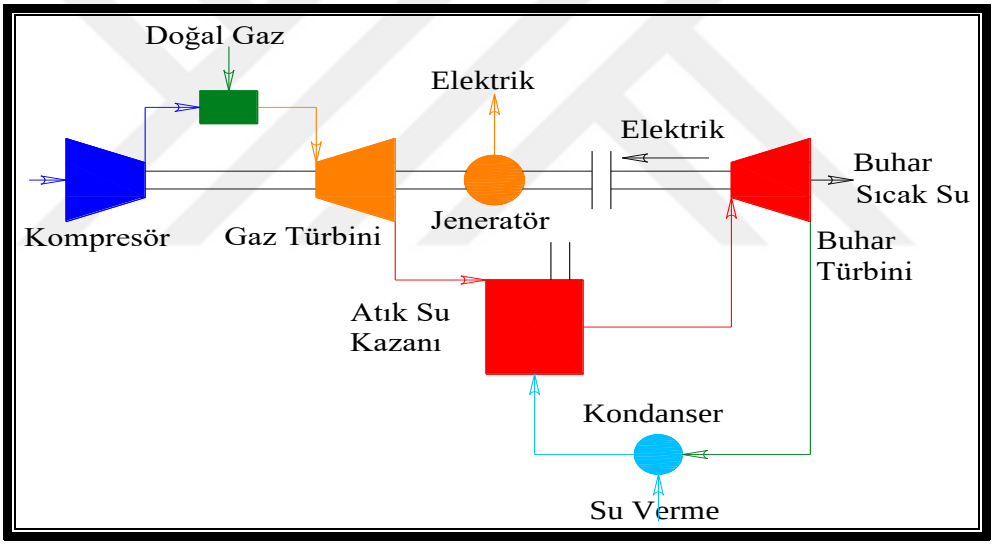
• Doğalgazla Çalışan Emişli Soğutucular

• Motor Tahrikli Soğutucular

• Nemi Gidererek Kurutma Sistemleri

2.3.3.6 Doğalgazın Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinde Kullanımı

Doğalgazın verimliliği anlaşılması ile birlikte doğalgaz çevrim santrallerinde elktrik üretmek amacı ile kullanımıda yaygınlaşmıştır. Doğalgaz çevrim santrellerinde lektrik üretimi iki şekilde sağlanır. Birincisi doğalgazın yakılması ile elde edilen su buharının türbinleri döndürmesi ile elde edilen enerji ile ikincis ise doğalgazın türbinlerin içerinde yakılması ile elde edilen enerjidir. Enerjinin hem ısı hemde elektrik formda elde edilen sistemlere kojenerasyon sistemlerdir. Kojenerasyon sistemindeki elektrik, ısıtma ile birlikte buharın sistemden geçirilmesi ile soğuk su üretilmesi ise trijenerasyon sistemlerdir. Trijenerasyon sistemlerinde doğalgaz kullanımı Şekil 2.17'de gösterilmiştir [28].



Şekil 2.17 Kojenerasyon Tesisi Şematik Görünüm [28]

2.3.4 Kaynaktan Tüketiciye Doğalgaz

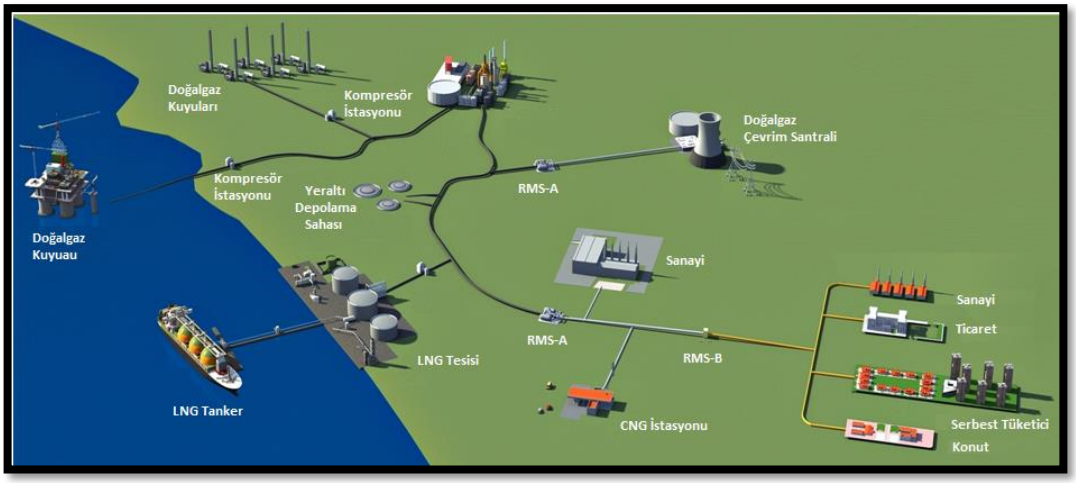
Enerji kullanımı içerisinde önemli bir paya sahip olan doğalgaz genellikle kuyular ile yeraltından çıkarılır ve ham petrolün yan ürünü enerji kaynağıdır. Kuyular ile kara ve denizlerden çıkarılan doğalgaz işleme tabi tutulmadan önce içerisinde çok çeşitli partiküller ve su bulundurur. Kompresörler ile toplama boruları kullanılarak merkezi işleme ünitelerine getirilir. Merkezi ünitelerde faz ayrımı, asit giderme, kurutma ve uygun kompozisyonlarına ayırma işlemi yapılarak doğalgaz temizleme

işleme yapılmış olur. Daha sonar boru hatları yada deniz ulaşımı ile son kullanıcıya kadar doğalgaz iletilmiş olur.

Şekil 2.18'de kaynaktan son kullanıcıya gelinceye kadar doğalgazın izlediği yolu grafik ile anlatmaya çalıştık. Kullanımahazır hale getirilen doğalgaz boru hatları ile binlerce kilometer ötedeki son kullanıcıya basınç düşürme istasyonları ile istene basınca düşürülen doğalgaz son kullanıcıya getirilmiş olur. Özellikle depolar ve iletim hatları ile alınan doğalgaz dağıtım şebekesine gelmeden önce şehir giriş istasyonlarında basınç düşümü yapılarak işletme basıncına getirilmiş olur. Daha sonra RMS-B tipi denilen basınç düşürme istasyonları ile son kullanıcıya yani mahalle boyutundaki kullanıcılara istenen basınç düzeyine getirilir.

Doğalgaz sıvılaştırılarak denizden LNG tankerleri ile de taşınabilmektedir. -163 °C derecenin altında soğutularak sıvılaştırılan doğalgaz (Liqufied Natural Gas–LNG) tüketim yerine ulaştırıldıktan sonra tekrar gaz haline getirilmekte ve sisteme verilmektedir. Doğalgazın LNG olarak taşınması boru hattı bağlantısının olmadığı yerlerde ve kıtalararası taşımacılıkta kullanılmaktadır. (Şahin, 2007). Sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG); gaz türbinlerinde, uçak sanayisinde, helikopterlerde jet yakıtı olarak, otomotiv sanayisinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Ayrıca soğutma ünitelerinde ve diğer alanlarda da kullanılmaktadır.

Doğalgaz boru hatlarının bulunmadığı bölgelere ve özellikle araçlarda yakıt olarak kullanılacak gazın uygun koşullara getirilmesi için, Sıkıştırılmış Doğalgaz-Compressed Natural Gas (CNG) tesislerine de doğalgaz sağlanmaktadır. Doğalgaz genellikle dolum istasyonlarına sıvı (LNG) olarak taşınmakta, bu yakıt is-tasyonlarında araçların depolarına kompresörlerle sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) olarak doldurulmaktadır [28].



Şekil 2.18 Kaynaktan Son Kullanıcıya Doğalgaz [28]

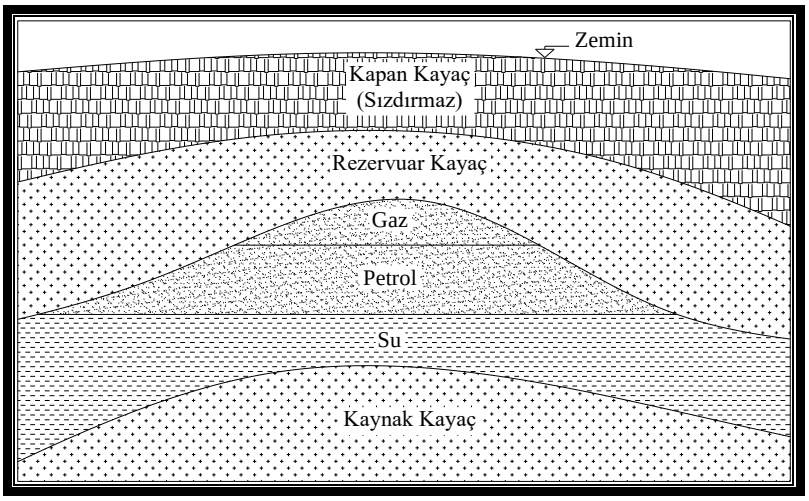
2.3.5 Doğalgaz Üretimi

Doğalgazın üretimi bilindiği üzere kullanılan ekipmanların maliyetinden dolayı ilk kurulum maliyetleri yüksek bir yatırımdır.

2.3.5.1 Rezervuar Oluşumu

Doğalgazın oluşumu için bir çok teori ortaya atılsada en yaygın olarak bilineni ve kabul edilenleri organik ve inorganik teorilerdir. Dünyanın çok derininde yüksek basınç ve sıcaklığın etkisi ile hidrojen ve karbonun reaksiyonu sonrası hidrokarbonlar oluşmuştur.

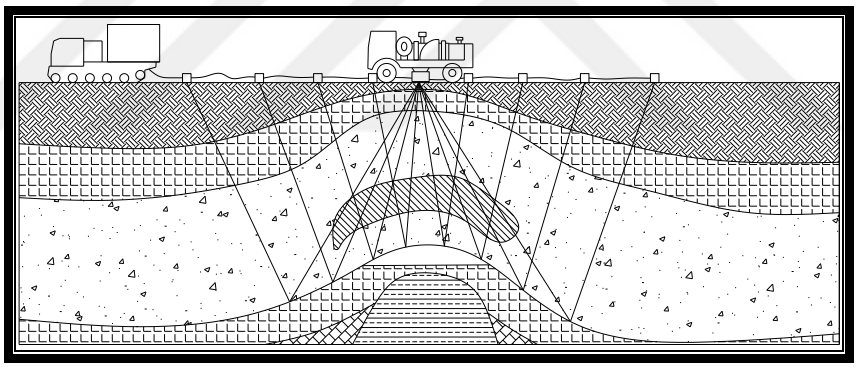
Şekil 2.19'da petrolve doğalgazın kayaçlar içerisindeki gözenekli yapıdaki konumu gösterilmiştir. Bu gözenekli yapılara vasıtası ile oluşamn hidrokarbonlar taşınır. Organik teoriye göre ise oluşan hidrokarbonlar organic maddelerin zamanla fosilleşmesi sonrası hidrokarbonlar oluşmuştur.



Şekil 2.19 Petrol ve Doğalgazın Gözenekli Kayaçtaki Konu [29].

2.3.5.2 Rezervuarların Tespit Edilmesi

Şekil 2.20'de sismik cihazlar ile jeolojik haritaların çıkarılması işlemi gösterilmiştir. Doğalgaz üretiminin ilk basamağı olan bu aşamaya göre doğalgazı içeren kayaçların yerinin tespit edilme işlemi yapılmaktadır.



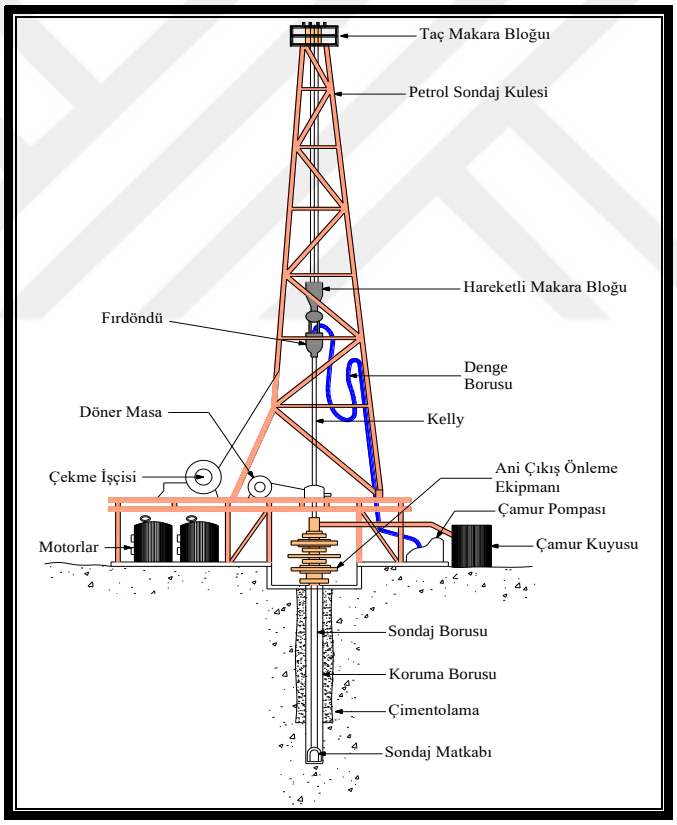
Şekil 2.20 Sismik Cihazlarla Jeolojik Haritasının Çıkarılması [30]

Doğalgaz bilindiği üzere dolomit, kireçtaşı ve kumtaşı olarak adlandırılan sedimenter kayaçlarda bulunmaktadır. Bu kayaçlar petrolve doğalgaz rezervuarlarıdır. Bu rezervuarlar içerisiden yoğunluklarına göre sırası ile doğalgaz (ddoğalgaz=0.1), petrol (dpetrol=0.8) ve su (dsu=1) vardır. Aynı zamanda petrol ve doğalgaz aynı tip hidrokarbonlarda oluştuğu ama gaz ve sıvı fazlarından dolayı ayrıştırıldığı bilinmektedir. Doğalgaz yeraltında yalnız bulunabileceği gibi petrol rezervuarlarında da bulunabilmektedir. Doğalgaz C1-C5 olarak bilinen hafif hidrokarbon karışımlarından oluşurken petrol ise daha ağır karbonlar olan C60 ve

daha ağır karbonlar bünyesinde bulundurabilir. Yapılan araştırmalarda doğalgazın içerinde de bazen C8-C12 gibi ağır karbonların da karıştığı gözlenmiş ve bu ağır karbonların doğalgazın çiğlenme noktasını yükselttiği belirlenmiştir. Doğalgazın içerisinde bulunması muhtemel ağır karbonların uzaklaştırılması için çeşitli çalışmalar devam etmektedir [30].

2.3.5.3 Rezervuar Miktarının Tespiti

Rezervuar miktarının hesaplaması için genelde Monte Carlo yöntemiyle üretim alanındaki kuyudan DST (Kuyu basınç test) verileri ile geçirgenlik gözenek, kayacçların özellikleri, başlangıç basıncı, rezervuar sıcaklığı ve sınırları gibi veriler belirlenebilmektedir. Şekil 2.21'de onshore sondajının şematik gösterimi verilmiştir [30].



Şekil 2.21 Onshore Sondajın Şematik Görünümü [30]

2.3.5.4 Üretim Mekanizması ve Üretim Elemanları

Rezervuar basıncının düşük olduğu kuyularda gaz akışı itici güç olarak kullanılan pompalar ile sağlanırken yüksek olduğu kuyularda ise gaz akışı kendiliğinden

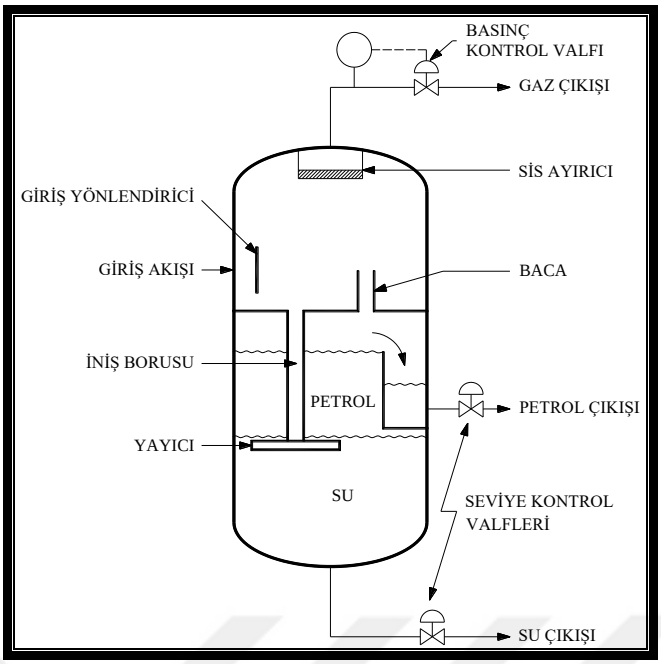
saplanmaktadır. Doğalgaz üretimine başlanması ile kuyu baına güvenliği sağlamak için vana grubu yerleştirilir. Ayrıca choke, flanş gibi basınç düşürücü ekipmalarda yerleştirilir. Kuyulardaki uç basıncın düşük yada yüksek olması rezervuarın sahip olduğu potensiyel hakkında bilgi vermektedir. Kuyulardaki uç basıncı tesislerdeki gerekli olan işletme basınca düşürme işlemi chokelar ile yapılmaktadır. Rzervuardaki basın düşük olması halinde ise pompalar aracılığı ile işlemtme basıncına gazın basıncı yükseltilmiş olur. Doğalgaz üretim enstümanları genellikle 5000-0 psia aralığında çalışmaktadır.

2.3.5.5 Doğalgaz İşleme Tesisi Süreci

Kuyulardan işelenmemiş halde çıkarılan doğalgaz ilk olarak faz ayrımı işlemi yapılır. Daha sonra doğalgazın ısıl değerini düşüren asitler ayrıştırılır. Son olarak ise kurutma yöntemi ile taşınımı zorlaştıran ve aynı zamanda da ısıl değeri düşüren gaz içerindeki su ayrıştırılır.

2.3.5.6 Gazın Faz Ayrımı

Gazın, katı ve akışkanlardan fiziksel ayrımı için momentum, ağırlık çötürme ve birleştirme yöntemleri olmak için üç yöntem vardır. Genellikle akışkanların hacim ayrımı için momentum kuvveti kullanılır. Yer çekimi kuvveti ise kışkının hızını azaltarak akışkan damlalarının istenen boşluğa düşürülme işlemidir. Yer çekimi kuvveti ile ağır akışkanlar dibe çökerken hafif akışkanlar yani yoğunluğu az olan akışkanlar üst yüzeyde kalır. Ama toz gibi küçük partiküller yer çekimi yöntemi ile ayrıştırılmaz. Separatörler ile bu parçacıklar ayraştırılarak filtrelerir Şekil 2.22 bu ayraştırma teknikleri şematize edilmiştir [28].



Şekil 2.22 Dikey Üç Fazlı Separatörün Şematik Görünümü [28]

2.3.5.7 Gazın Zehirli Gazlardan Temizlenmesi

Doğalgaz, içerisindekei hidrokarbonların oluşumunda yüksek miktarda sülfit ve karbondioksit gibi benzer asit gazlarını ihtiva etmektedir. Karbondioksit doğalgazın ısıl değerini düşürüken sülfit ise kaoroxif yapıdadır. Bunlara benzer zararlı asitleri kimyasal tepkimeler ile doğalgazdan ayrıştırma işlemi yapılır [28].

2.3.5.8 Gazın Kurutulması

Doğalgaz gaz formunda akışkan buhar formunda ise genellikle akışkan ve buhar formunda su içermektedir. Buhar formunda bulunan su güvenli taşınım için en aza indirilmelidir. Doğalgazın içerindeki su formu birçok problemlere neden olmaktadır. Doğalgaz su veya sıvı formile birşelinde boru hatlarında özellikle vanalarda tıkanmalara neden olabilir. Aynı zamanda boru hatlarında korozyona neden olmaktadır. Bu gibi problemeri yaşamamak için ayrım yöntemlerinden Glikol kurutma ve ağırlık ayırıcı kullanılır. Bu kurutma işlemlerinden sonra da doğalgazın içerisine dışarda su buharı girebilir bu durumlarda tekrar ayırma işlemleri yapılmalıdır.

2.3.6 Doğalgazın Depolanması

Bilindiği üzere enerji sistemlerindeki en önemli konu depolama konusudur. Elektirik enerjisinin depolanmasındaki kısıt gibi doğalgazda yoktur.

Doğalgaz özellikle kış aylarında ısınma amaçlı kullanılmasından dolayı tüketiminde mevsimsel dalgalanmalar bulunmaktadır. Mevsimsel taleplerdeki değişkenlikler nedeni ile kış şartlarının gelmesi halinde gaz arz güvenliği noktasında depolama işlemi olmazsa olmaz işlemdir. Doğalgazda yer altı ve yerüstü depolama seçenekleri vardır.

Doğalgaz talebinin arttığı kış döenmlerinde depodan takviye yapılan doğalgaz yaz aylarında ise kullanılmayan doğalgazın depolanmasıyla gaz arz güvenliği önemli ölçüde sağlanabilmektedir.

Elektrik enerjisinin depolanmasında yaşanan sıkıntılar ve kısaıtlar nedeni ile özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektiriğin elektroliz ile hidrojene ayrıştırılması sonrası depolanabilmesinin önü açılmış olacaktır. Hidrojen gazı ile ilgili son yıllarda önemli çalışmalar yapılmış ve deoğalgaz dağıtım şebekelerinde de kullanılmaya başlanmıştır.

2.3.6.1 Sistem İçi Depolama

Sistem içi depolamada iletim ve dağıtım jatlarında basınç değişimi yapılarak kısa süreleri depolama işlemidir. Bu işlem sonrasında depolanan gaza yatak gazı denilmektedir.

2.3.6.2 Yeraltı Depolaması

Yeraltı tuz çökeltileri, yeraltı su gölleri ve dereleri, yeraltındaki yapay boşluklar ile maden çıkarma işlemleri yapıldıktan sonra terk edilmiş kullanılması ile yapılan depolama işlemi ile özellikle uzun dönem talep değişimlerini karşılayacak deoplama yöntemidir. Yeraltı depolamasında değişik usuller kullanılabilir. Yeraltı Su Gölleri ve Dereleri Yeraltı su gölleri ve dereleri ile depolamada içine nüfuz etmiş süngerimsi geçirgen yapıdaki mil tabakaları arasına doğalgaz basınçlı olarak gönderilerek depolanmaktadır. Yeraltı gölünün, gazın sıkıştırma basıncına dayanıklı kil tabakası ile çevrili olması gereklidir. Depolama yapılan su tabakalarının derinliği 400-500 metre arasında değişmektedir. Bu tür depolarda doğalgaz orijinal yatağındaki kuyu

şartlarına benzer şekilde depo edilmektedir. Depolama için uygun bir yerin bulunması için araştırılması ve depolama için kullanılacak yerin test ve uygunluk deneylerinin yapılmasını gerektirir. Yeraltı depolarından geri çekilen doğalgaz su ve bazen de sülfür bileşikleri ihtiva eder. Bu sebeple depolardan çekilen doğalgazın temizleme ve arıtma işlemlerinden sonra taşıma ve dağıtım sistemlerine verilmesi gerekir.

2.3.6.3 Tuz Tabakaları

Tuz tabakalarında depolama tekniğiyle her tabakada 200.000 m^3 'lük bir hacimde depolama imkanı vardır. Tuz tabakalarının tespit edilmesinde kullanılan metot ve cihazlarla etrafı kayalarla çevrili yeraltı tabakasına su gönderilerek tuz eritilmektedir. Dışarıya alınan tuzlu suyun yerine basınçlı doğalgaz depolanmaktadır. Ülkemizde de tuz gölü bölgesinde T.P.A.O' nun yaptığı sondaj çalışmalarında doğal tuz tabakaları tespit edilmiş ve BOTAŞ tarafından ülkemiz doğalgaz arz güvenliği açısından önemli olan doğalgaz depolama işlemi başlanmış ve mevcut hali ile 5 milyar m^3 doğalgaz deoplanması sağlanmıştır. 2022 yılına gelindiğinde ise bu miktarın 5 milyar m^3 olması hedeflenmektedir.

2.3.6.4 Yeraltındaki Yapay Boşluklar

Kayalık bölgelerde, granit, syanit, mika, kireç taşı, tebeşir, dolomit gibi maddelerden oluşan yer katmanlarında madencilik teknikleriyle yapay olarak açılır. Maliyetinin fazla olmasından dolayı diğer depolama seneneklerinin sınırlı olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Özellikle gaz halinde sızdırmazlık için yapılan işlemlerin maliyeti arttırmasından dolayı sıvı formdaki gazın depolanmasında kullanılır.

2.3.6.5 İşlevini Yitirmiş Ve Kullanılmayan Maden Yatakları

İzolasyon ve sızdırmazlık sağlandığı takdirde doğalgazın depolanması amacıyla işlevini yitirmiş doğalgaz, petrol, su ve diğer bazı maden yatakları depolama amaçlı kullanılabilir. Bu tip yataklar, doğalgaz için en uygun ve en ekonomik yeraltı depolama şeklidir. Bazı durumlarda henüz işlevini bitirmemiş petrol ve gaz yataklarında da bir yandan üretim yapılırken dışarıdan doğalgaz verilerek depo olarak faydalanılabilir.

2.3.6.6 LNG Depolaması

Doğalgazın sıvılaştırılması işlemi sonrasında LNG tanklarında depolanma işlemi yapılabilmektedir. Bilindiği üzere sıvılaştırma işlemi sonrası doğlagazın gacmi yaklaşık olarak 587 defa küçülmekte ve daha az yer kaplamaktadır. Böyle olması da gazın deoplanmasına ciddi anlamda olanak sağlamaktadır. Doğalgaz atmosfer basıncında ancak –163 °C'nin altında sıvı olarak tutulabilmektedir. Bu sebeple LNG depolarının –163 °C sıcaklığı koruyabilen ve soğutma yapabilen yapıda olmaları gerekir.

2.3.7 Doğalgazin Taşınması

2.3.7.1 Boru Taşımacılığı

Doğalgaz, daha önceki bölümlerde de anlattığımız gibi kuyularda doğalgaz kullanımının olduğu bölgelere uzak yerlerde çıkarılır ve kullanılan yerlere ulaştırılması genellikle boru hattı ile sağlanır. Gazın taşınmasında kullanılan boru hatları korozyona karşı özel malzemeler ile kaplanmış, katodik koruması yapılan ve elektrik etkilerine karşı izole edilmiş çelik borular ile sağlanır. Kullanılan borular taşım yapılacak yerlere ve debilere göre özel olarak çapları belirlenir. Doğalgaz iletim hatlarında çeşitli çaplardaki borular, kompresörler basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarıyla vana v.b. malzemelerden oluşur. Normal koşullarda doğalgaz çıkarıldıktan sonra doğal basınç ile iletilirken şehir giriş istasyonlarına gelmeden önce istenilen basınca getirmek için kompresörler kullanılır. Şekil 2.23'te doğalgaz taşınmasında kullanılan ekipmanlar gösterilmiştir.



Şekil 2.23 Doğalgaz İletim Hattı, Kompressör İstasyonu ve Yer Vanası [28]

Boru hatları ile doğalgazın taşınmasındaki en büyük avantaj gazın fiziksel veya kimyasal hal değişimine uğramadan taşınması sağlanmasıdır. Dezavantajı ise

doğalgazı kullanacak bölge ile üretimin yapıldığı yer arasındaki önemli mesafenin olması nedeniyle yatırım maliyetinin fazla olmasıdır.

2.3.7.2 LNG (Sıvılaştırılmış Doğalgaz)

Doğalgazın boru hatları ile taşınamaması gibi durumlarda deniz yolu ile LNG taşınması yapılmaktadır. Doğalgaz arz güvenliği açısından önemli yere sahip olan LNG taşınmasında tankerler özel tasarlanmışlardır. Buradaki tankerler küresel bir biçimde yapılmışlardır ki rüzgar vey angına karşı tedbir alınmış olur.

Şekil 2.24'te LNG tesisi gösterilmiştir. Burada kullanılan tankerlerin uzunlukları yaklaşık 270-300 m arasındadır. Kapasiteleri yaklaşık 25.000 m3 ile 125.000 m3 arasında değişmektedir. LNG depolanması başlığında anlatılan özellikler burada da geçerlidir.



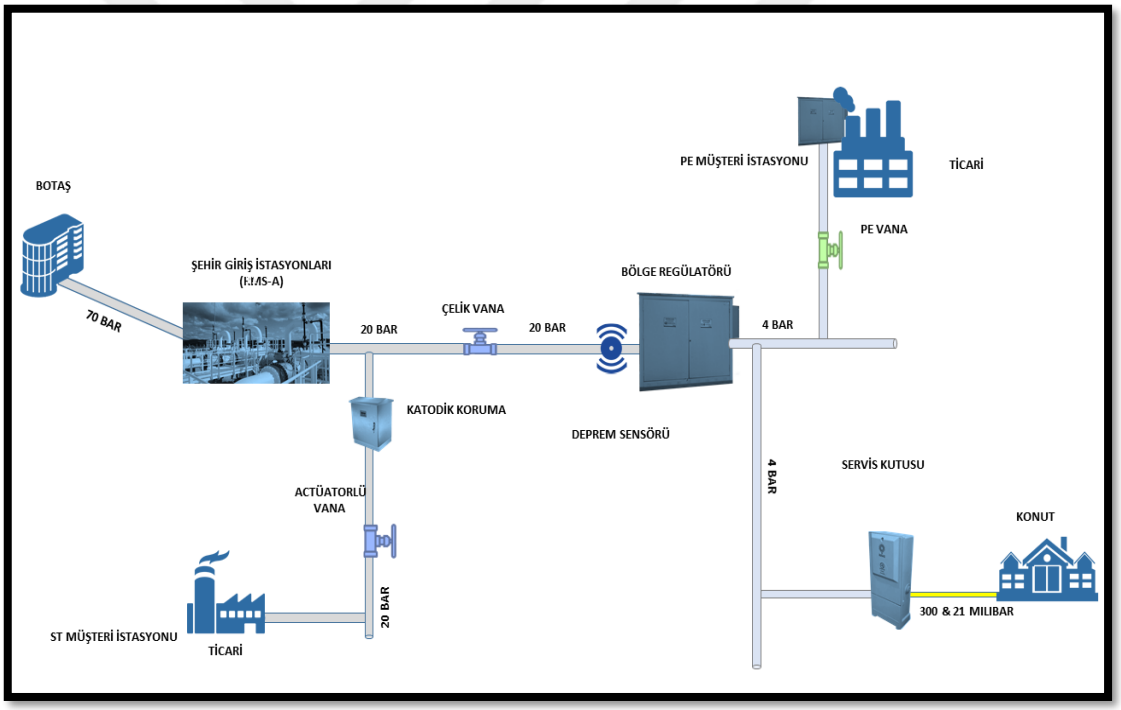
Şekil 2.24 LNG Depolama ve Yükleme İstasyonu [30]

2.3.8 Doğalgaz İletim ve Dağıtım

Ülkemizde doğalgaz iletimi büyük bölümü boru hattı ile taşınmaktadır. İletim şirketlerinden en büyüğü ise BOTAŞ'tır. Şekil 2.25'de doğalgaz iletim ve dağıtım şemasında gösterildiği gibi doğalgaz iletim firması yurt dışından aldığı gazı 35-70 bar aralığında basınç ile doğalgaz dağıtım firmalarına RMS-A diye tabir edilen şehir giriş istasyonlarında teslim alır. Şehir giriş istayonlarında teslim alınan doğalgaz

şehir giriş istasyonlarında 10-25 bar'a kadar düşürülür. Şehir giriş istasyonlarında basınçı düşürülen doğalgaz çelik hatlar ile doğalgaz bölge regülatörlerine ve çelik hat ile 20 bar'da çalışabilen ticari merkezlere doğrudan verilir. Bölge regülatörlerine 10-20 bar aralığında gelen doğalgaz burada tekrar basınçı düşürülerek 4 bar'da polietilen hatlarda konutlar ve ticari kuruluşlara verilir. Burada doğalgaz doğalgaz servis kutuları ile 300 ve 21 milibar'a düşürülerek son kullanıcıya teslim edilir.

Doğalgaz dağıtım şebekesi tasarımı yapılırken EPDK kriterlerine göre tasarım yapılması gerekmektedir. Bu kriterlerin en önemlisi polietilen ve çelik dağıtım şebekesinde hız maksimum 25 m/s olacak şekilde doğalgaz dağıtım şebekesi tasırımı yapılmalıdır. Aynı zamanda çelik dağıtım şebekesinde uç basınç minimum 6 bar olması gerekirken polietilen dağıtım şebekesinde ise uç basınç minimum 1,5 bar olmalıdır.



Şekil 2.25 Doğalgaz İletim ve Dağıtım Şeması

3
Talep Tahmini ve Kullanılan Yöntemler

Çalışmanın bu bölümünde, talep tahmini kavramı ile ilgili ve talep tahmini çalışmalarında kullanılan yöntemlerden başlıcaları hakkında bilgi verilecktir.

3.1 Talep Tahmini

Talep, tüketicilerin bir ürün veya bir hizmetin belirli fiyat seviyesinden almaya hazır oldukları miktar şeklinde tanımlansa da tüketiciyi tatmin edecek seviyedeki fiyat ve kalitedeki belirli bir fiyat seviyesinden almaya ürünleri, almaya hazır oldukları miktar da denilebilir. Talebi etkileyen en önemli faktörler; fiyatı, alıcının maddi alabilirliği, ihtiyacın ne derecede olduğu, mevsimler etkieler gibi etkiler olabilir. Tahminin ise en basit tanımı geçmiş veriler ışığında geleceğin kestirilmesi denilebilir.

Bir kuruluşun rürünlerinin yada hizmetlerinin ilerleyen zaman dilimlerinde ne olabileceğini geçmiş veriler ışığında tespit ve analiz çalışmalarını yapılması ile talep tahmini yapılamaktadır. Telep tahmini çalışması ile ürünlerin ve hizmetin hangi dönemlerde ne kadar satacağı önceden öngörülebilmektedir [31].

Talep tahmin çalışması aslında temel üç tür yöntem kullanılarak yapılmaktadır. Bu yöntemler kantitatif, kalitatif ve yapay zeka tabanlı yöntemler olarak adlandırılmaktadırlar. Özellikle son 10 yıl içerisinde yapay zeka tabanlı talep tahmin yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır [32].

Talep tahmini çalışmalarında şüphesiz belirli kurallara göre yapılır. Talep tahmin çalışmalarında hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, yapılan tüm talep tahminlerinin belli bir doğruluk derecesi söz konusudur ve hiç bir tahmin yüzde yüz doğruluk derecesine sahip olamaz. Böyle bir sonucu veren modellerde modelin verileri ezberlediği Kabul edilerek yeni modeler çalışılır. Talep tahminlerinde bazı temel ilkeler göz önünde bulundurulmalıdır. Buna göre;

- Daha fazla etki eden faktör ve bu faktörler ile ilgili fazla verinin olması doğruluk derecesini olumlu yönde etkiler,
- Talep tahminleri ile ilgili zaman aralığının kısaltılması doğruluğunu arttırır,
- Talep tahminin başlanmadan önce Kabul edilebilecek hata oranı belirlenmelidir.

Talep tahmin araştırmasının sonuçlarını uygulamaya geçmeden önce kullanılabilecek yöntemler karşılaştırmalı olarak denenmelidir [33].

3.1.1 Talep Tahmini Aşamaları

Talep tahminin başarılı olup olmadığı beş temel aşamada irdelenir. İzlenmesi gereken bu aşamalar sırası ile şunlardır;

1. Tüketimi etkileyen parametrelerin belirlenmesi: Bu aşamada tüketime etkileyecek veya etki etmesi öngörülen parametreler belirlenerek tüketime ne oranda etki ettiği tespit edilir.
2. Etki eden parametreler ışığında verilerin toplanması: bir önceki aşamada tespit edilen parametlerin ulaşılabilir ve anlamlı eski verileri edlde elilerek anlamlı olacak şekilde toparlanır.
3. Talep tahmini yapılacak periyotların belirlenmesi: Talep edilen tahmin zaman aralığı tespit edilir. Bu periyotlara göre tahminlemeler yapılır.
4. Talep tahmin modelinin veya modellenlerin seçilmesi: Talep tahmin modeli seçilirken oluşturulan modellerin doğruluk derecelerine göre seçim işlemi yapılır. Tahmin doğruluğu gerçekleşen ile tahmin değerleri arasındaki farktır.
5. Talep tahmin modellerinin geçerliliğinin araştırılması: Talep tahmini modellerinin oluşturulması sonrasında modellerden elde edilen tahmin ile gerçekleşen değerler arasındaki tutarlılığa bakılır.

3.2 Talep Tahmin Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Talep tahmin yöntemleri temel olarak üç sınıfa ayrıldığını daha önce belirtmiştik. Söz konusu yöntemler; nitel yöntemler, nicel yöntemler olmak üzere ana iki başlık altında tıplanabilir. Nicel yöntemler içerisinde ise son yıllarda özellikle bir çok alanda kullanılan yapay zeka tabanlı yöntemlerdir. Bu çalışmamızda yapay zeka

tabanlı yöntemler üzerinde durulacak ve bu yöntemler içerindde yıllardır kullanılan yapay siznir ağları yöntemi hakkında ayrıntılı bilgi verilmeye çalışılacaktır.

3.2.1 Nitel Yöntemler

Bu yöntemde verilerin geçmiş zamanlarına bakılarak tamamen deneyim ve sezgisel deneyime dayanılarak yapılan tahmin yöntemidir. Bu yöntem bilimsellikten uzak bir yöntem olduğundan diğer tahmin yöntemine göre tutarlılığı çok düşük bir yöntemdir.

Bu yöntem kullanılması talep tahminine etki eden faktörlerin verilerinin elde edilememesi ve bunun için de yeterli vaktin olmaması durumunda zorunluluk halinde kullanılabilir. Nitel yöntemler şunlardır:

- Uzman görüşünün alınması
- Delphi tekniği
- Anket yöntemi
- Senaryo analizi
- Satış gücü birleşimi

3.2.1.1 Uzman Görüşünün Alınması

Talep yapılması yapılmak istenen iş için o iş pozisyonunda uzman olan kişilerin deneyimlerine dayanılarak tahmin yapılması istenir. Bu yöntem için görüşü alınacak personeller, departman müdürü, analist veya yönetim kurulu üyesi herhangi biri olabilir. Bu yöntem personellerin sezgi ve deneyimlerine dayandığı için tutarlı sonuçlar elde edilmemekle beraber maliyet açısından çok az maliyetlidir. Zorunlu olmadıkça kullılmaması tavsiye edilir.

3.2.1.2 Delphi Tekniği

Bu yöntemde uzman kişiler bir ürün veya hizmetin gelecekteki talebinin birebir görüşmeler yapmadan uzman kişilerin tahmin etmesi yöntemidir. Delphi tekniği, 1950'li yılların başında Amerika'da yaşayan Olaf Helmer ve Norman Dalkey tarafından geliştirilmiş ve RAND firmasında ise uygulanmıştır [34]. Genel olarak üç özelliğe sahiptir:

- Katılımda gizlilik

- Grup tepkisinin istatistiksel analizi
- Kontrollü geri besleme

3.2.1.3 Anket Yöntemi

Bu yöntem piyasaya yeni çıkacak ürünün ön araştıması için kullanılan bir yöntemdir. Anket yolu ile büyük kitlelerin yeni çıkarılacak ürün hakkındaki bilgi ve düşüncelerine göre talep tahmini genelleme yolu ile yapılmaya çalışılır. Bu yöntem ile gruplama yapılarak da geneleme yoluna gidilip talep tahmini yapmak mümkündür. Nitel yöntemler içerisindeki diğer yöntemlere göre tutarlılığı daha fazla olabilir.

3.2.1.4 Senaryo Analizi

Senaryo analizi klasik tahmin yöntemlerinin dışında gelecekteki durumlar hakkında alternative senaryolar üreterek gelecekteki belirsizliği de modellemeye çalışır. Bu belirsizliklere göre esneklik ve dayanım testleri yapılmasına imkan sağlanır.

Bu yöntemde daha klasik yöntemlerden farklı olarak farklı senaryonalr kurgulanarak oluşabilecek farklı senaryolara karşı hazırlıklı hale getirilmesini amaclamaktadır. Değişimlere hızlı şekilde adapte edilmesini ve şok etkisi oluşturabilecek durumlara hazırlıklı hale gelinmesini sağlar.

3.2.1.5 Satış Gücü Birleşimi

Satış sorumlularının kendi bölgelerindeki satışların deneyimlerine göre önceden tahmin edilmesidir. Tahminleme yaparken kendilerinin önceki satış verilerini alarak işlem yapabilirler. Bu işelmin en önemli dezavantajı deneyimsiz prsonellerle bu işlemlerin yapılabilirliği yoktur. Bu yöntem uzman görüşü alma yönmtemine benzemektedir.

3.2.2 Nicel Yöntemler

Nicel yöntemlerde daha önceki dönemlere ait gerçekleşen talep verileri ile talebe etki eden faktör verilerim ile işlem yapan istatistiki yöntemlerdir. Geçmiş dönemlerdeki veriler esas alınarak gelecekteki talepler tahmin edilir. Bu çalışmamızda bu yöntemlerden zaman serisi analizleri, bulanık yöntem ve yapay sinir ağları hakkında bilgi verilmeye çalışılacaktır.

3.2.2.1 Bulanık Mantık Yöntemi

İnsanlar günlük hayatta bir çok problem ile karşı karşıya kalmaktadırlar, bu problemleri çözmek için geçmiş dönemlerdeki bilgi birikimi ve tecrübelerini kullanmaktadırlar. Bu işlemler ile bazı problemler kolayca çözülebilirken bazı problemleri çözümü oldukça zor ve karmaşıktır.

Problemlerin çözümü için belirsizlik durumları oldukça önemli olduğu ortaya çıkmasından sonar klasik mantıktan belirsizliği baz alan bir düşünceye geçiş dönemi başlamıştır.

Bu çalışmalara ilk olarak 1930 da Max Black öncülük etsede Bulanık mantık kavramı ise ilk kez Zadeh 1965 yılında yaptığı çalışmalarda kullanmıştır. Zadeh yapmış olduğu çalışmada girdi verilerinin farklı gruplandırması ve farklı derecelenmişme yaparak girdi verilerinin çıktıya dönüşümünü kümeleme yöntemi ile yaptığını söylemiştir. Bu yöntem özellikle deneyimlerle ifade edilen ama sayısal ifade edilemeyen verilein yorumlanması için kullanılır [35].

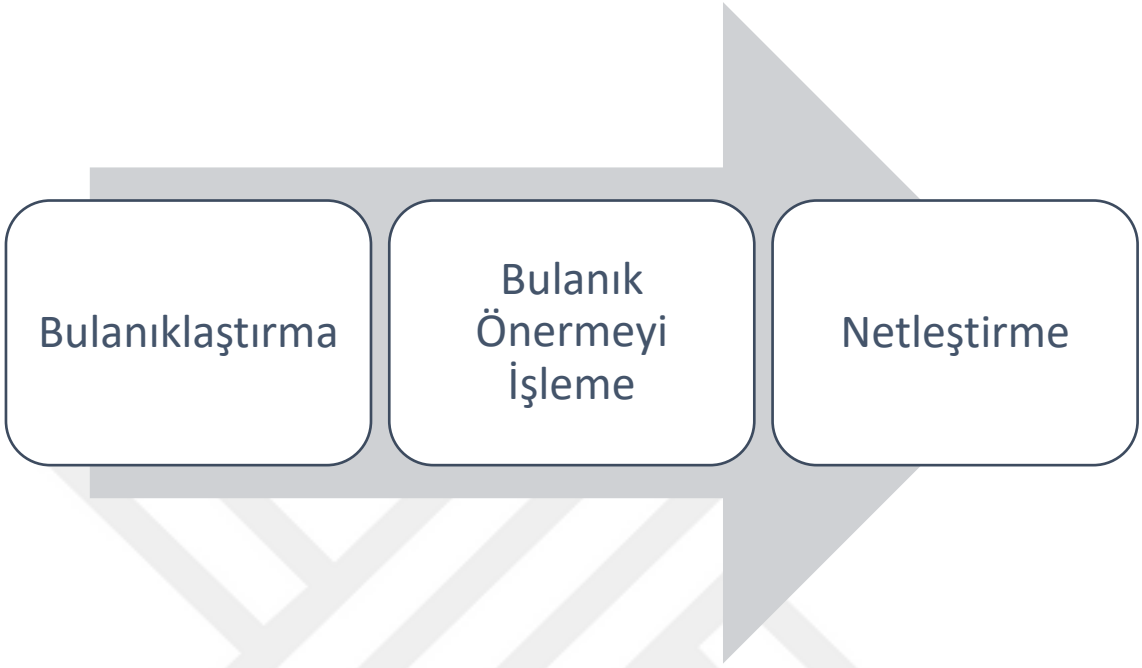
Bulanık küme, Zadeh'in anlattığı gibi farklı derecelendirmelerin olduğu bir kümedir. Bir amacı aktaran veya bir sistemi tanıtmak için kullanılan ifadelerin belirsizliği ile kesin olmamasına bulanık denilebilir. Bulanık kavramı ile insanların zihinsel düzeydeki algılamadaki farklılıkları açıklanabilmektedir [36].

Bulanık mantığın özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Bulanık mantıkta yaklaşık düşünme yöntemi kullanılır, kesin değerlere dayanmaz.
- Bulanık mantıkta küçük, büyük gibi dilsel ifadeler kullanılır.
- Bulanık mantıkta sıfır bir aralığında dereceyi gösteren ifadeler kullanılır.
- Bulanık mantıkta çıkarım dilsel ifadelerin arasındaki kuralla ile yapılır.
- Mantıksal olarak ifade edilen sistemler bulanık olarak da ifade edilebilir.
- Daha öncede ifade ettiğimiz gibi matematiksel ifade edilemeyen çıkarımlar için rahat bir şekilde bulanık mantık kullanılabilir [36].

Şekil 3.1'de bulanık mantık işlem süreci elemanları vardır. Burada ilk olarak ış dünyadan sisteme verilen bilginin belirsizliğini bulanıklaştırma yolu ile anlamlandırmaya çalışır. Daha sonar bulanık önemeyi sisteme işler ve en son olarak

da karar verme birimi olarak düşünebileeğimiz netleştirme safhasında ise bulanık çıkarı yapılarak insan beyni taklit ederek beyin gibi karar verme yeteneğine sakip olurlar.



Şekil 3.1 Bulanık Mantık İşem Süreci [36]

Bulanık mantık yönteminin iler versiyonu olarak sinirsel bulanık mantık diyebiiliriz. Sinirsel bulanık mantık yöntemleri ise genellikle çok katmanlı ve ileri beslemeli olarak oluşturuluyor. Sinirsel bulanık mantık yöntemine ANFIS, GARIC, NEFCLASS ve NEFON örnek olarak verilebilir.

Sinirsel bulanık mantık yöntemlerinde normal bulanık mantık sürecinde olduğu gibi üyelik fonksiyonlarının tip ve paramrelerin belirlenmesi için uzman bilgisine gerek yoktur. Bu işlemleri sistemin sahip olduğu sinir ağı sayesinde kuralları öğrenme yeteneği sayesinde kendiliğinde oluşturabilir.

Bulanık mantık genel olarak tıp, mühendislik, psikoloji, akıllı sistemler, yapay zeka, görüntü işleme ve makine öğrenmesi gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Bulanık mantık dilsel ifadelerle oluşturulan karmaşık probnlemlerde kulanılabilir diyebiliriz.

3.2.2.2 Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmanın en güçlü yönü şüphesiz karmaşık ve çözümü çok zor olan problemlerde iyi sonuç vermesidir. Genetik algoritmanın aşamaları şunlardır;

1. Arama uzayındaki çözümler bir dizi olarak kodlaması yapılır
2. Buarada rastsal olarak bir çözüm kümesi seçilerek basşalngıç popülasyonu olduğu kabuli ile işlemler yapılır.
3. Her bir dizi için uygunluk değeri hesaplanır, bu hesaplanan değerler aynı zamanda çözüm kalitesini göstermektedir.
4. Bir grup dizi rastsal olarak seçilir ve çoğalma gerçekleştirilir.
5. Yeni giren bireyler içinde aynı şekilde uygunluk değerleri hesapnalır ve çarplazlama ile mutasyon işlemleri yapılır.
6. Daha önceden belirlenen kuşak sayısı kadar bu işlemler devam edilir.
7. Daha önceden belirlenen kuşşak sayısına ulaşılınca iterasyon bitirilir. Buradaki amaç fonksiyona göre en doğru dizi seçilmesidir.

Genetik algoritma yönteminin en önemli dezavantajı şüphesiz problemin çözüme uygun hale getilmesinin çok zor olmasıdır, modelin anlanabilmesi güş olması, Genetik algoritma uygunluk fonsiyonlarının, çarplazlama ve mutason tekniklerinin belirlenmesizinin zor olmasıdır.

Genetik aldoritmada kullanılan parametler şunlardır;

- Çarplazlama oranı
- Mutasyon sayısı
- Nesil sayısı
- Nüfus sayısı
- Seçim mekanizması
- Seçkinlik
- Çarprazlama türü

Genetik algoritma tabanlı yaklaşım kullanılarak veri yığınlarından modeller elde edilmektedir. Talep tahmininin bulunmasında yararlanılan bir yöntemdir.

3.2.2.3 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları yapay zeka temelli kullanılan yöntemlerden en yaygın olanıdır. Bölüm 4'te yapay sinir ağları hakkında ayrıntılı bilgi vermye çalışacağız.

3.3 Tahmin Yöntemlerinde Doğrulukların Ölçülme Metodları

Tahmin yöntemlerinin doğruluklarını ölçmek için başlıca yöntemler vardır. Bu yöntemlerin doğruluk değerleri hiç bir zaman için %100 olamaz ve olmamalıdır. Eğer %100 doğruluk varsa burada öğrenmeden ziyade ezberleme vardır denilir ve modeler tekrar gözden geçirilir. Çeşitli tahmin modellerinden birini seçerken tahmin modellerinin doğruluklarını veriler ışında ölçmemiz gerekiyor. Bu doğruluk derecelerini ölçtükten sonrasında doğruya en yakın olan model seçilerek tahmin modelleri oluşturuluyor. Tahmin hatası olarak kullandığımız ifade ise gerçek değer ile tahmin değeri arasındaki farktır diyebiliriz.

$$e = Y - F \tag{3.1}$$

Burada Y: Gerçek değer, F: Tahmin değeri, e: Tahmin hatası

Söz konusu tahminlerin doğruluklarını ölçen başlıca yöntemler şunlardır:

- "Ortalama Hata Kareleri (Mean Squared Error- MSE)" yöntemi ile gerçekleşen değer ile tahmin değerler arasındaki ortalama karaler yöntemi ile kıyaslama yapılır.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} e_j^2 \tag{3.2}$$

- "Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Squared Error- RMSE)" yöntemi aslında tahmin hatalarının standart sapması diyebiliriz. MSE'nin karekökü alınması ile bulunur.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} e_j^2}{n}} \tag{3.3}$$

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

- “Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error- MAE)” yöntemi ile oluşan hataların mutlak değerleri olarak iade eder.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} |e_j| \tag{3.4}$$

- “Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error- MAPE)” yöntemi ile oluşan hataları yüzde olarak ifade eder. Bu yöntemde hatalar arasındaki yüzdesel olarak kıyaslama yapılır.

$$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{j}^{n} \frac{|e_j|}{|A_j|} \tag{3.5}$$

- “Kök Ortalama Yüzde Hata Kare (Mean Squared Percentage Error- MSPE)” bu yöntem ortalama hata karelerinin yüzdesel olarak karekökünü ifade eder.

$$MSPE = \frac{100}{n}\sum_{j}^{n} \left(\frac{|e_j|}{|A_j|}\right)^2 \tag{3.6}$$

Bu formüllerde ifade edilen değerlerin anlamları şunlardır;

A_j: Gerçekleşen değer

P_j: Tahmin edilen değer

e_j: Gerçekleşen değer – tahmin edilen değer

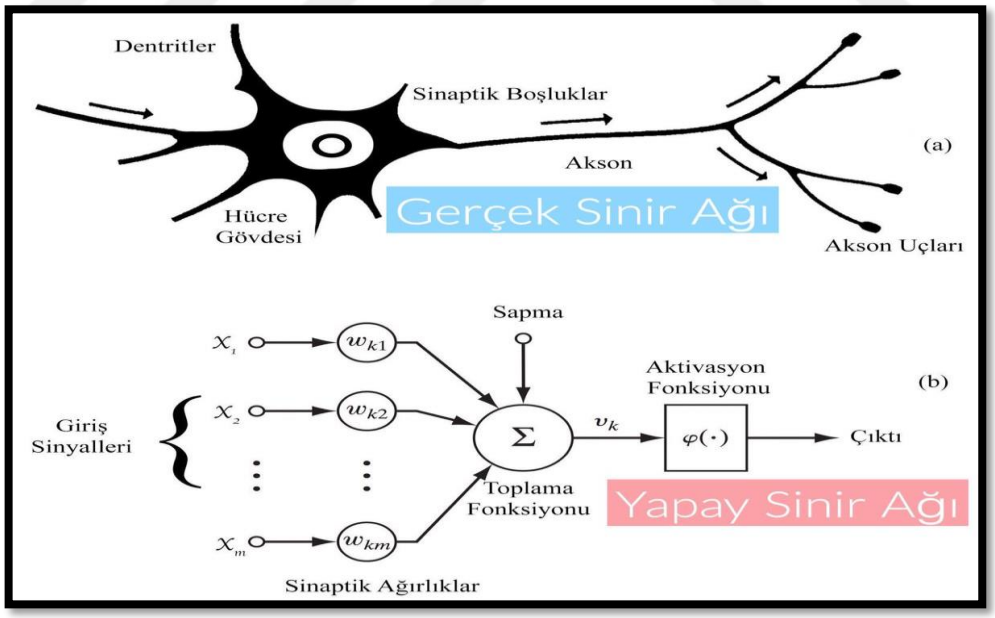
n= veri sayısı

4
Yapay Sinir Ağları

4.1 Yapay Sinir Ağları

İnsan beyninde bulunan nöron baz alınarak modellenme yapılmaktadır. Tıp ilminde başlanan bu çalışmalar daha sonra bilgisayar, matematik ve elektrik mühendislikleri gibi alanlarda araştırma konusu olmuştur.

Yapay sinir ağlarının en avantajlı kısmı problemlerin çözümünde yapılar farklı bile olsa bilgileri hızlıca tamalayıp algılayabilmesidir. Diğer en önemli özelliği ise öğrenme yolu ile modelleme yapılabilirliği olmasıdır. İnsana göre bilgisayarın işlem gücü, doğruluğu ve hızı daha iyi olmasına rağmen insanın beyni gibi öğrenme yeteneğine sahip değildir. YSA ise bu gücü bilgisayara aktarmayı hedeflemektedir. YSA ile klasik yöntemlerle çözümü çok zor olan problemleri çok daha kolay seçilde çözülebilir.



Şekil 4.1 Gerçek Sinir Ağları(a) ve Yapay Sinir Ağları Yapısı [5]

YSA biyolojik sinir ağının taklidi gibidir. Beyin yapısının daha iyi anlaşılması için yapılan sinirsel ve sinirselpsikolojik deneyler neticesinde fen bilimleri ve matematik

bilimlerindeki araştırmalar insan bilgi işlem sürecini taklit etmek sureti ile modellemek için bir yol oluşturmuştur. YSA işlem elamanı olarak biyolojik sinir ağında olduğu gibi sinir hücrelerine sahiptir. Sinir hücreleri YSA da birbirlerine ağırlık olarak isimlendirilen değerler bulunan bağlantılar ile bağlanmaktadır. Aynı zamanda YSA, dağıtılmış veri işleme ve paralel olarak hesaplama yapabilen bir yapıya sahiptir. Bu nedenlerden dolayı YSA'nın biyolojik sinir ağlarını taklit ettiği söyleyebiliriz.

Yapay sinir ağları geleneksel yöntemlerin aksine problemin çözümü için kendi kendine öğrenme yeteneğine sahiptir. Böyle olması onun kullanımını bizim için daha önemli hale getirmektedir. YSA'nın en önemli yeteneklerinden biri ise problemin sahip olduğu bilgiler arasındaki ilişki bağını oluşturabilmesidir.

YSA özellikle sınıflandırma, modelleme ve tahminleme gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca YSA probleme ait elde edilen veriler ile öğrenme sonrasında elde edilen bilgiler kullanılarak olayların yorumlanmasına imkân sağlar. YSA'nın yaygın olarak kullanıldığı sektörler ve uygulama alanları şunlardır:

- Ses tanıma
- Fotoğraf tanıma
- El yazısı tanıma
- Parmak izi, Yüz ve retina tanıma
- Plaka Tanıma
- Hava Durumu tahmini
- Talep tahmini
- Tıpta hastalık teşhisi
- Dil tercüme
- Yüz eşleştirme
- Görüntü ve bilgi karşılaştırma
- Otomatik yol izleme

- Sinyal işleme
- Kredi uygulamaları
- Dayanıklılık analizleri, Kalite kontrol
- Sistem modelleme v.b.

Yapay sinir ağlarının ortak özellikleri:

1. Doğrusal olmayan yapı: YSA'nın en önemli özelliği olarak bilinen doğrusal olmayan diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği bilinmektedir. Bir olaya ait tüm parametreler tespit edilsede parametrelerin kendi aralarında da bir ilişki vardır. Doğrusal olmayan ve anlaşılması zor olan problemlerin çözümünde kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir.
2. Paralellik: Yapay sinir ağlarında yavaş birimin diğer birimleri etkilememesi için paralel işlemci kullanılmaktadır. Bu nedenden dolayı yapay sinir ağları hızlı ve güvenilir bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Geleneksel yöntemlerde ise seri işlemler vardır ve bu nedenle de yavaştır.
3. Öğrenme: Yapay sinir ağları eğitilmesi ve başlangıçta bir tecrübesi olması nedeni ile öğrenme yeteği vardır. Geleneksel yöntemler ile çözülmesi çok zor olan problemler bu özelliği sayesinde YSA ile çok daha basit çekilde çözümlenir.
4. Gerçek zamanlı işlem yapabilme: Yapay sinir ağları paralel olarak işlem yapabileceklerinden gerçek zamanlı olarak çalışabilirler. Çünkü dağıtılmış paralel yapıları sayesinde, birim zamanda çok daha fazla veriyi işleyebilme kabiliyetine sahiptir.
5. Dağıtılmış Hafıza: Yapay sinir ağlarında ağa yayılmış halde bilgi aynı zamanda hücrelerin birbirleriyle bağlantılarının değeri de bilgidir. Bu özellikleri ile birlikte YSA dağınık bellekte de bilgi saklayabilmektedir.
6. Kendi ilişkisini oluşturma: Yapay sinir ağları aldığı bilgiler ışığında kendi ilişki ağını oluşturu ve denklemi yoktur.
7. Genelleme: Yapay sinir ağları öğrenmesi nedeni ile bildiği örneklerden yola çıkarak daha önce karşılaşılmamış durumlarla ilgili "Yapay sinir ağları,

öğrenme yetenekleri sayesinde bilinen örnekler üzerinde öğrenerek, karşılaşılmamış durugenelleme yapabilmektedir.

8. Bilginin saklanması: Yapay sinir ağları kendi bağlantıları içerisinde ağ bağlantılarını ölçüp bu değerleri bağlantılarda saklamaz [5].
9. Sınırsız sayıda değişken ve parametre: Yapay sinir ağları birçok değişken ve parametreler ile çalışma yeteneğine sahiptir, bu parametrelerin ve değişkenlerin bir sınırı yoktur. [37].
10. Dereceli bozulma: Yapay sinir ağları eksik veya anlaşılamayan bir problem ile karşılaştığında hemen bozulmaz. YSA hata toleransına sahip olduğu için dereceli şekilde bozulur [38].
11. Adaptasyon: Yapay sinir ağları eğitim ve testleri tekrar tekrar yapılarak sisteme uygun çözümler sağlar [39].
12. Nümerik bilgi ile çalışma: Yapay sinir ağları ile çalışabilmek için nümerik verilere ihtiyaç vardır. Nümerik olmayan veriler olması halinde nümerik hale getirilerek çalışma yapılabilir.

4.1 Yapay Sinir Ağları Tarihi

İlk yapay sinir ağı modeli nörolog Warren McCulloch ve bir bilim adamı Walter Pits tarafından 1943 yılında insan beyninin hesaplama yeteneğinden taklit ederek elektrik devreleriyle basit bir sinir ağı modelleyerek başlanmıştır.

1949 yılında Hebb, “Organization of Behavior” isimli kitabında, öğrenme ile ilgili öğrenme prosedürünü açıklayan teoriyi işlemiştir. Hebbian kuralı olarak bilinen kuralı Hebb tarafından geliştirilmiştir. Bu kurala göre yapay sinir ağlarında ağın bağlantı sayısı değişikliğinde öğrenmenin olabileceği söylenmektedir [38].

1957 yılına gelindiğinde “Perceptron” yapay sinir ağlarındaki çalışmalar Frank Rosenbalt tarafından yapılmıştır. Perceptron tek katmanlı aynı zamanda eğitilebilin ve tek çıkışı olan bir yapay sinir ağ çeşididir. Perceptron yapay sinir ağlarının temeli olrak bilirnir ve yapay sinir ağlarının gelişiminde temel yapı taşı olara bilirinir [37].

1959 yılında Bernard Widrow ve Marcian Hoff ADALINE (Adaptive Linear Neuron) öğrenme algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritmadaa eğim düşümü tabanlı eğitim kuralı kullanmışlardır [38].

Telefon hatlarındaki yankıları yok eden bir model MADALINE tarafından geliştirilmiştir [40].

1970'li yıllara gelindiğinde ise Minsky ve Papert tarafından yazılan "Perceptrons" adlı kitapta doğrusal olmayan problemlerede çözüm bulunamadığını söylemişlerdir. Bu durumu katırları ile ortaya çıkaran iki matematikçi nedeni ile çalışmalarda durklama yaşanmıştır [38].

1982 yılında ise çok doğrusal olmayan problemlerin çok katmanlı algılayıcılar ile çözülebilindiğini Hopfield tarafından ortaya çıkarılmıştır. Yaptığı bu çalışmanın pratikte uygulanabilirliği nedeni ile yapay sinir ağları ile ilgili çalışmalarda tekrar yoğunluk olmuştur [37].

1986 yılında yapay sinir ağlarının geri yayılım algoritması Rumelhart ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Buradaki çalışmada özellikle çok katmanlı algılayıcıların çözemediği problemler geri yayılım algoritması ile çözülebilindiği görülmüştür [38].

1988 yılında ise Radyal Tabanlı Fonksiyonlar (RBF) modeli ile Broomhead ve Lowe özellikle very sıkıştırma ile filtreleme problemlerinde kullanmışlardır [40].

1990 yılına gelindiğinde radial tabanlı fonksiyonlardan daha gelişmiş olan olasılıklı sinir ağları Spetch tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmasından sonra 1992 yılında da geliştirilmiş regresyon ağlarını (RNN) geliştirmiştir [40].

Günümüze gelindiğinde ise özellikle tahmin, sınıflandırma, görüntü ile tanıma v.b. konularda yapay sinir ağları ile birlikte yapay zeka tabanlı programlar kullanılmaktadır.

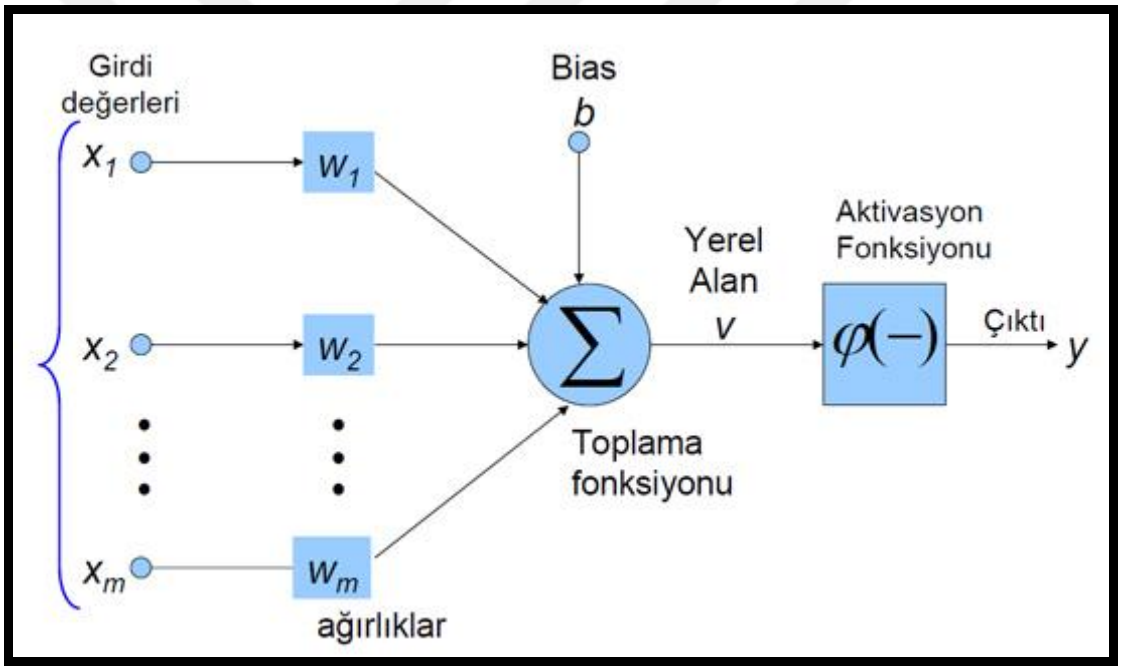
4.2 Yapay Sinir Ağı Ana Öğeleri

YSA için bir önceki bölümde de bahsettiğimiz yapı olarak biyolojik sinir hücrelerine benzemektedir. Model içerisinde bulunan nöronlar bir sonraki katmanda bulunan nöronlar ile bağlantı oluşturarak yapay sinir ağını meydana getirmektedir. Birbirine bağlı olan bir işlem elemanına sahip YSa, genellikle parallel işleyen bir yapıdadır. Yapay nöronlar, niyolojik nöronlara benzetim yapılarak modellendiğinden dolayı giriş sinyallerini alıp işyerek ürettiği çıktıyı ilettiği birimlere sahiptir. YSA, insan beynini modellediği için öğrenme, adepte olma, genelleme gibi yeteneklere sahiptirler. İnsan beyninde öğrenme işlemi aksonlar üreterek; aksonları uyararak

veya mevcut aksonların güçlerini değiştirerek gerçekleşir. Aksonların üzerinde bulunan işaretleri değerlendirme yeteneği olduğu düşünülmekle beraber akson sinir yapısı önemlidir. Yapay sinir ağları ile biyolojik sinir hücrelerine benzerliğini Şekil 4.1 'de gösterildiği gibidir.

Yapay sinir ağlarında 5 temel öğe vardır, bunlar Şekil 4.2' de gösterilmiştir. Bu 5 ana öğe sırası ile şunlardır;

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Toplama Fonksiyonu
- Aktivasyon Foksiyonu
- Çıktılar



Şekil 4.2 Yapay Sinir Ağları Yapısı [41]

4.2.1 Girdiler

Dış dünyadan veya başka hücreden nöronlaar gelen değerlerdir. Bu bilgiler ağın öğrenmesi istenen bilgilerdir. Yapay sinir ağları, biyolojik sinir sistemini taklit ettiğinden dolayı giriden sisteme gelen veriler toplanması için nöron çekirdeklerine iletilir.

4.2.2 Ağırlıklar

Nörona gelen bilgilerin problem için önemini ve nöron üzerindeki etkisini ağırlıklar gösteriri. YSA'ya gelen veriler girdiler üzerinden çekirddeğe iletilmeden önce sahip oldukları bağlantıların ağırlıkları le çarpılmak süreti ile etkisi ayarlanabilmektedir. Dolayısı ile problem için oluşturulan modeled ağırlığın değerinin büyük olması veya küçük olması etkisinin büyüklüğü veya küçüklüğü ile ilgilidir.

4.2.3 Toplama Foksiyonu

Yapay sinir hücresine gelen tüm girdilerin ağırlıklarıyla çarpıp toplayarak net girdisini hesaplayan fonsiyona toplama fonksiyonu denir.

Tablo 4.1 YSA Toplama Fonksiyonu [42]

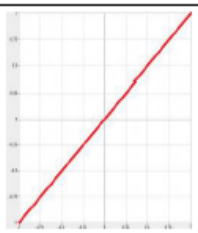
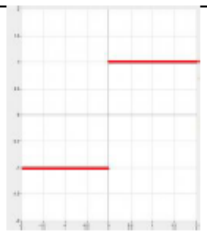
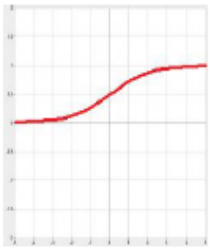
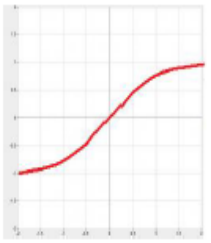
Toplam $\text{Net} = \sum_{i=1}^{N} X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve bulunan değerler birbirleriyle toplanarak Net girdi hesaplanır.
Çarpım $\text{Net} = \prod_{i=1}^{N} X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve daha sonra bulunan değerler birbirleriyle çarpılarak Net Girdi Hesaplanır.
Maksimum $\text{Net} = \text{Max}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en büyüğü Net girdi olarak kabul edilir.
Minimum $\text{Net} = \text{Min}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en küçüğü Net girdi olarak kabul edilir.
Çoğunluk $\text{Net} = \sum_{i=1}^{N} Sgn(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden girdilerle ağırlıklar çarpıldıktan sonra pozitif ile negatif olanların sayısı bulunur. Büyük olan sayı hücrenin net girdisi olarak kabul edilir.
Kumilatif Toplam $\text{Net} = \text{Net(eski)} + \sum_{i=1}^{N} X_i * W_i$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır. Daha önce hücreye gelen bilgilere yeni hesaplanan girdi değerleri eklenerek hücrenin net girdisi hesaplanır.

4.2.4 Aktivasyon Fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan hücreye gönderilen net bilgiyi işler ve bu bilgi ışığında da çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonunda kullanılma nedeni zamanla ilgili durumlarda toplama fonksiyonunun çıkışının değişimine olanak sağlamaktadır. Çok katmanlı yapay sinir ağ mimarisinde türevi alınablen bir

aktivasyon fonksiyonu olduğundan dolayı genellikle sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır.

Tablo 4.2 YSA Aktivasyon Fonksiyonu [42]

Doğrusal (Lineer) Aktivasyon Fonksiyonu		F(NET)=A* NET (A sabit bir sayı)	Doğrusal problemler çözmek amacıyla aktivasyon fonksiyonu doğrusal bir fonksiyon olarak seçilebilir. Toplama fonksiyonundan çıkan sonuç, belli bir katsayı ile çarpılarak hücrenin çıktısı olarak hesaplanır.
Adım (Step) Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net)=\begin{cases} 1 \text{ if Net>Eşik Değer} \\ 0 \text{ if Net<=Eşik Değer} \end{cases}$	Gelen Net girdinin belirlenen bir eşik değerin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerini alır.
Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net)=\frac{1}{1+e^{-Net}}$	Sigmoid aktivasyon fonksiyonu sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur. Doğrusal olmayışı dolayısıyla yapay sinir ağı uygulamalarında en sık kullanılan fonksiyondur. Bu fonksiyon girdi değerlerinin her biri için 0 ile 1 arasında bir değer üretir.
Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net)=\frac{e^{Net}+e^{-Net}}{e^{Net}-e^{-Net}}$	Tanjant hiperbolik fonksiyonu, sigmoid fonksiyonuna benzer bir fonksiyondur. Sigmoid fonksiyonunda çıkış değerleri 0 ile 1 arasında değişirken hiperbolik tanjant fonksiyonunun çıkış değerleri -1 ile 1 arasında değişmektedir.
Eşik Değer Fonksiyonu		$F(Net)=\begin{cases} 0 \text{ if Net<=0} \\ Net \text{ if } 0<Net<1 \\ 1 \text{ if Net>= 1} \end{cases}$	Gelen bilgilerin 0 dan küçük-eşit olduğunda 0 çıktısı, 1 den büyük-eşit olduğunda 1 çıktısı, 0 ile 1 arasında olduğunda ise yine kendisini veren çıktılar üretilebilir.
Sinüs Aktivasyon Fonksiyonu		F(Net) = Sin(Net)	Öğrenilmesi düşünülen olayların sinüs fonksiyonuna uygun dağılım gösterdiği durumlarda kullanılır.

4.2.5 Çıktı

Aktivasyon fonksiyonu sonucunun dış dünyaya veya diğer sinir hücresine göndeilen birimidir. Sinirin çıkışında başka bir sinir girişi olabilmekle beraber hücrelere

birden fazla giriş gelebilir. Her hücrenin mutlaka bir çıktısı olmalıdır. Bu çıktıda ise diğer hücrelere istenilen miktarda bağlantı yapılabilir.

4.3 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

Yapay sinir ağlarının önemli özelliği öğrenebilmesidir. Bu öğrenme işlevini yaparken ağırlıkların ayarlanması ile bunu yapar. Ağırlık ayarlamasını probeme ait önceki veriler yardımı ile yapmaktadır. Yağay sinir ağlarındaki karşılaştığı her very için ağırlıkları değiştirebilir. Bu işlem modeled genelleme yapabileceği duruma kadar devam eder ve en sonunda model için genelleme yapar. Bu işlemleri yaparken öğrenme kuralları ve stratejisine göre belirli kurallara göre yapar.

Yapay sinir ağlarında öğrenme süreci içerindeki bilgiler sinir hücreleri arasındaki bağlantı ağırlıklarında saklanır. Bilindiği üzere ağırlıklar verilerin başarılı işlenmesi sağlamaktadır. Yapay sinir ağlarındaki öğrenmeyi sağlayacak eğitim kümesinin hassas bir şekilde seçilmelidir [15].

Hebbian öğrenme kuralı yapay sinir ağlarının temel modeli olarak kabul edilmektedir. Bu kurala göre eğer iki düğüm aynı zamnda etkin olması durumunda burada bağ gücünün arttığını göstermektedir. İnsanların beyin yapısı bebeklikten sonraki süreçte etrafındaki algıladığı davranışları yorumlayarak ilerleyen süreçte karşılaştığı durumlarda yorumlayarak kullanır. İnsanların yaşları ilerledikçe yaşadıkları insanın beynini geliştirir ve tecrübe kazanır. Ama daha önceden hiç karşılaşmadığı bir durum karşısında tecrübesiz kalır. Yapay sinir ağlarındaki öğrenmede tıpkı insan beyninin tecrübeleri ile gelişimi gibidir. İnsan beynindeki merkeze gelen bilgilerin değerlendirilmesi gibi yapay sinir ağlarında da aktivasyon fonksiyonundan geçilerek bir çıktı oluşur. Buradaki çıkışlarda da hata olabilir bu hataları azaltmak için çeşitli öğrenme algoritmaları kullanılmaktadır. Bu süreçte ağ içerindeki ağırlıklar güncellenir. En doğru sonuca ulaşabilmek için her çevrimde bu ağırlıklar yenilenir [3].

Yapay sinir ağlarında öğrenme insan gibi deneme yanılma sonucunda hata yaparak gerçekleşmektedir. Bu öğrenmenme işleminin yapılması bulunması gereken sonuca en yakın sonucun bulunmasıdır. Bulunan sonuç ile gerçek sonuç arasındaki farkın minimum değerde olması istenmektedir. Bunu sağlayabilmek içinde sürekli bu

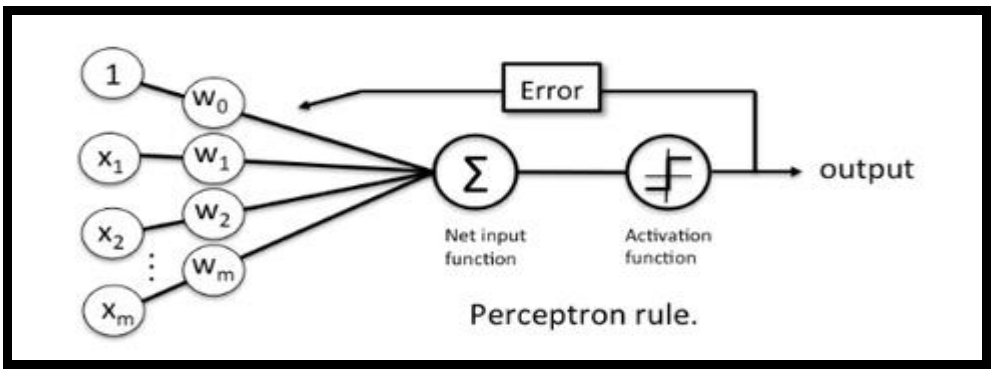
işlemleri tekrar etmektedir. Bu işlemlerden her birine epoch denilmektedir. Epoch sasyısının fazla olması ağın öğrenme süresine doğrudan etki ederek ağın performansına düşürmektedir. Devir sayısı seçilirken bu sebeple dikkat edilmelidir, öğrenme yöntemi ve mimarisi ile aktivasyon fonksiyonunun optimazasyonu yapılmalıdır.

4.4 Yapay Sinir Ağları modelleri ve Yapıları

Daha önceki başlıklarda yapay sinir ağının yapısı hakkında bilgi vermiştir. Yapay sinir ağlarındaki nöron ve cinsinin durumuna göre YSA farklı şekillerde isimlendirilmektedir. Akış yönü ile incelendiğinde ağ mimarileri ileri ve geri beslemeleri ağlar olark adlandırılmaktadır. Ayrıca katman sayısına göre de tek katmanlı sinir ağları ve çok katmanlı sinir ağları olarak adlandırılmaktadır.

4.4.1 Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları (Perceptron)

En basit yapay sinir ağı olan perceptron 1960 yıllarında Rosentblatt tarafından yapay sinir ağı modeli olarak önerilmiştir. Bu yöntemi kulladıldığı modellerde öğrenme algoritması hatalar üzerine inşaa ediliştir. Yani eğer model halar ile karşılaşıyorsa öğrenme işlevi dev ediyor diyebilirz. Buradaki hedef öğrenme işlevi devam ederek hatayı minimize etmekdir. Şekil 4.3'te tek katmanlı yapay sinir ağlarının yapısı gösterilmiştir. Girdi parametreleri ve ağırlıklarına göre net foksiyona oradan da aktivasyon foksiyonuna gelir hataların olması halinde tekrar eden döngü hatalar minimize edildikten sonra çıktı olarak sonuç veririr.



Şekil 4.3 Percepton Çalışma Mimarisi [3]

5
Doğalgaz Talep Tahmini Uygulaması ve Yeni RMS-A İstasyonu Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında kullanılan İstanbul ili Anadolu yakası ve Avrupa yakası için ayrı ayrı 2008 yılından 2018 yılı sonuna kadar günlük doğalgaz tüketimleri ile doğalgaz kullanıcı sayıları İGDAŞ şirketinden Microsoft Excel® formatında, günlük meterolojik veriler meteroloji genel müdürlüğünden Excel formatında, resmi tatil günleri Milli Eğitim Bakanlığı akademik çalışma takviminden aynı tarihler için alınmıştır.

Talep tahmini uygulaması MATLAB® (2018A sürümü) yazılımı yapay sinir ağları ile yapılmıştır. Bu çalışmada grafiklerin çizimi R® Programı (3.5.2 sürümü) kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada tüketime etki eden parametrelerin İstanbul ili Anadolu yakası ve Anadolu yakası olmak üzere tüketime etki eden parametrelerin 4070 günlük verileri ile İstanbul ilinde son yüz yıl içerisinde yaşanan en soğuk gün olan 9 Şubet 1929 tarihinde olan günlük minimum -16 ^{o}C, günlük ortalama -7 ^{o}C olması halinde doğalgaz taleplerin ne olacağı 2027 yılına kadar hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerler ışığında doğalgaz RMS-A istasyonlarının ne zaman kurulması gerektiği ve Synergi Gas program ile de optimum olarak nereye projelendirilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Bu bölümde meterolojik veriler ile doğalgaz tüketimleri gibi veriler İGDAŞ'tan alınmış, bu bilgilere göre de Tablo 5.1 oluşturulmuş ve Şekil 1'de Şekil 12'ye kadarki grafikler çizilmiştir.

5.1 Doğalgaz Tüketimine Etki Eden Parametreler

İstanbul ilinde doğalgaz tüketimine etki eden faktörler kısa dönemli ve uzun dönemli süreçler şeklinde ele alınabilir. Kısa dönemli olarak bakıldığında doğalgaz tüketimine etki eden faktörler; hava sıcaklıkları, derece gün sıcaklıkları, resmi tatil

günleri, mevsimsellik, gaz kullanıcı sayıları, doğalgaz fiyatı gibi parametreler sayılabilecekken uzun dönemli doğalgaz tüketimine etki eden faktörler ise toplum nüfusu, politik etkenler ve teknolojik gelişmeler sıralanabilir. Bu çalışmamızda İstanbul ili için doğalgaz tüketimine etki eden paramereler tespit edilerek bu faktörlerin önceden tahmin edilebilirliği ne derece tutarlı olduğu göz önüne alınarak modelimizde tutarlılığı oranında yer almıştır yada yer almamıştır.

İncelenen literatür çalışmalarında doğalgaz tüketimine etki eden parametlerin arasında doğalgazın fiyatı ve meterolojik verilerden rüzgarın şiddeti ile yönü de vardır. Bizim çalışmamızda doğalgaz fiyatının doğalgaz tüketimine etkisi olmadığını tespit ettik.

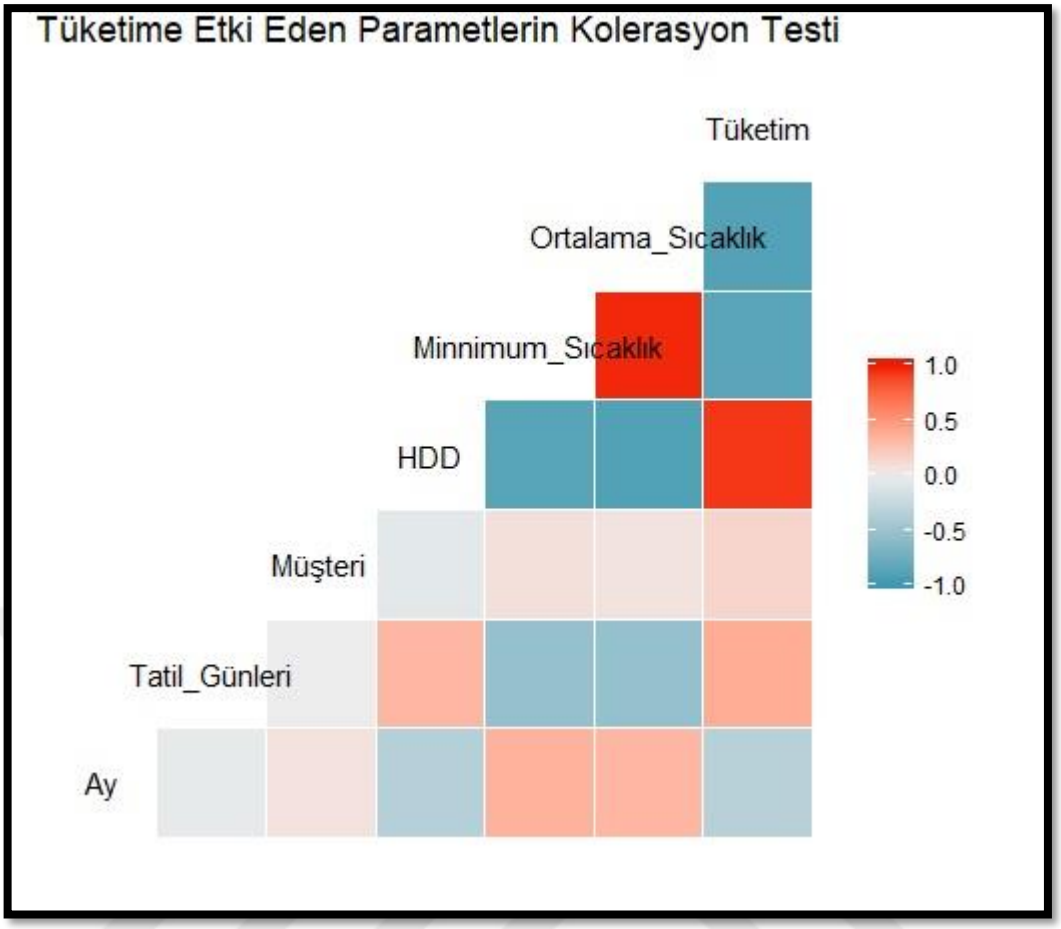
Bu durumdan dolayı da İstanbul ilinde doğalgaz tüketimine etki eden parametrelerde doğalgazın fiyatını modelimizde kullanmadık.

Aynı zamanda İstanbul ili Avrupa yakası ve Anadolu yakası için veriler aldığımızdan dolayı İstanbul'un yüz ölçümünün 5 bin 315 km^2 olduğu göz önünde alındığında rüzgarın şiddeti ve yönünü tek bir veriye indirmek ve bunu tahmin etmek çok zor olduğundan dolayı rüzgar şiddeti ve yönünü çalışmamızda modelimizde kullanmadık.

Bundan sonraki bölümde doğalgaz tüketimine etki eden faktörler İstanbul ili Anadolu yakası ve Avrupa yakası için irdelenecektir.

5.1.1 Tüketime Etki Eden Parametreler Kolerasyon Testi

İstanbul ili Avrupa ve Anadolu yakaları için doğalgaz tüketimine etki eden parametreleri tespit ettik ve bunlar; Abone sayısı, hangi ay olduğu, resmi tatil günleri (okulların tatil olduğu günler), Isıtma gün sıcaklığı (HDD), günlük minimum sıcaklık ve günlük ortalama sıcaklıktır. Bunlar için yaptığımız kolerasyon testi Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Doğalgaz Tüketimine Etki Eden Parametrelerin Kolerasyon Testi

Doğalgaz tüketimine etki eden parametrelerin kolerasyon testinde görüldüğü üzere;

- Ortalama sıcaklık arttıkça doğalgaz tüketimi azalmaktadır. Burada tüketim ile ortalama sıcklık arasında güçlü negatif kolerasyon olduğu görülmektedir.
- Günlük minimum sıcaklık değeri arttıkça doğalgaz tüketimi azalmaktadır. Burada tüketim ile günlük minimum sıcaklık arasında güçlü negative kolerasyon vardır.
- Isıtma gün sıcaklığı (HDD) değeri arrıkça doğalgaz tüketimi artmaktadır. Burada tüketim ile HDD arasında güçlü pozitif kolerasyon vardır. Isıtma gün sıcaklığı (HDD)'nin ne anlama geldiği bir sonraki bölümde anlatılacaktır.
- Müşteri sayısı arrıkça doğlagaz tüketimi arrtığı görülmektedir. Burada doğalgaz tüketimi ile müşteri arasında zayıf pozitif kolerasyon olduğu görülmekle birlikte daha sonraki bölümde müşteri arttışı ile doğalgaz

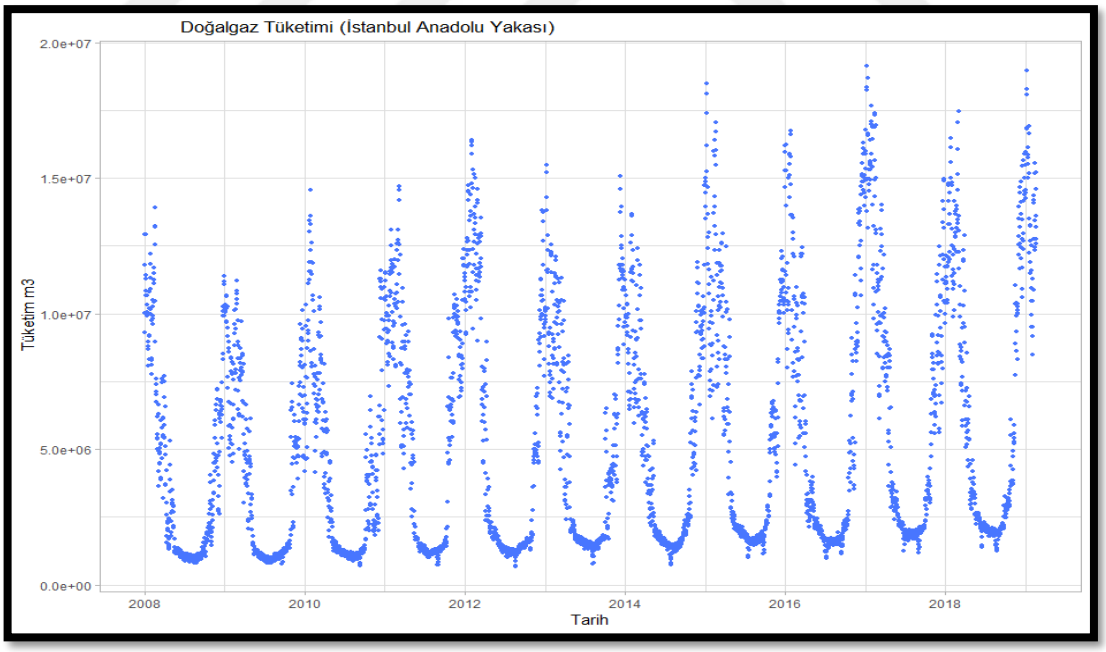
tüketimi arasında zayıf pozitif kolerasyonun sebebi mesvsimsellik dalgalanma ile açıklanacaktır.

- Tatil günleri ile doğalgaz arasındaki ilişki de; tatil günleri olduğunda doğalgaz tüketimi azalmaktadır. Burada doğalgaz tüketimi ile resmi tatil günleri arasında pozitif ve etkili bir kolerasyon vardır.
- Aylar ilerledikçe doğalgaz tüketimin azaldığı görülmektedir, yani 1. Aydan 12. Aya doğru gidildikçe doğalgaz tüketiminin azaldığı görülmektedir. Burada ayar ile doğalgaz tüketimleri arasında negatif güçlü kolerasyon vardır.

İstanbul ilinde doğalgaz tüketimi ve doğalgaz tüketimine etki eden parametler üzerinde duracağız.

5.1.2 İstanbul İli Doğalgaz Tüketimi

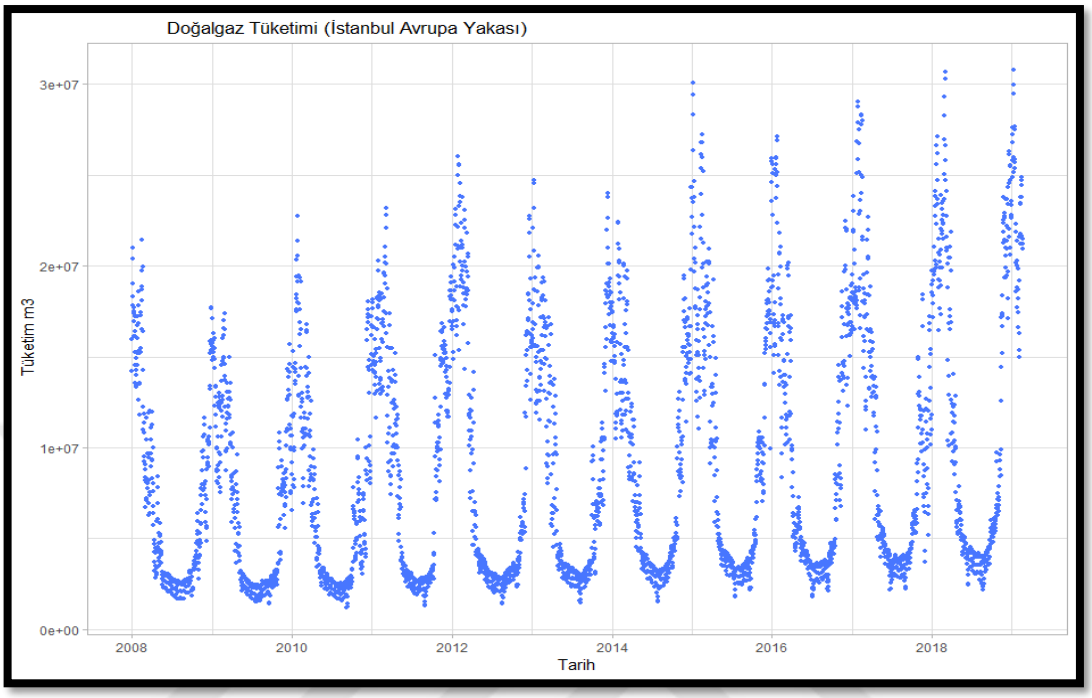
İstanbul ili Anadolu ve Avrupa yakaları için 1 Ocak 2008 ile 31 Aralık 2018 tarihleri arası doğalgaz tüketimleri gün gün İGDAŞ'tan alınmıştır. Şekil 5.2'de İstanbul Anadolu yakası 2008-2018 yılları arası doğalgaz tüketimleri gün gün gösterilmiştir.



Şekil 5.2 İstanbul Anadolu Yakası Doğalgaz Tüketim Grafiği

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi İstanbul Anadolu yakası doğalgaz tüketimi kış aylarında peak değerlerine ulaşırken yaz aylarında minimum değerleri görmektedir.

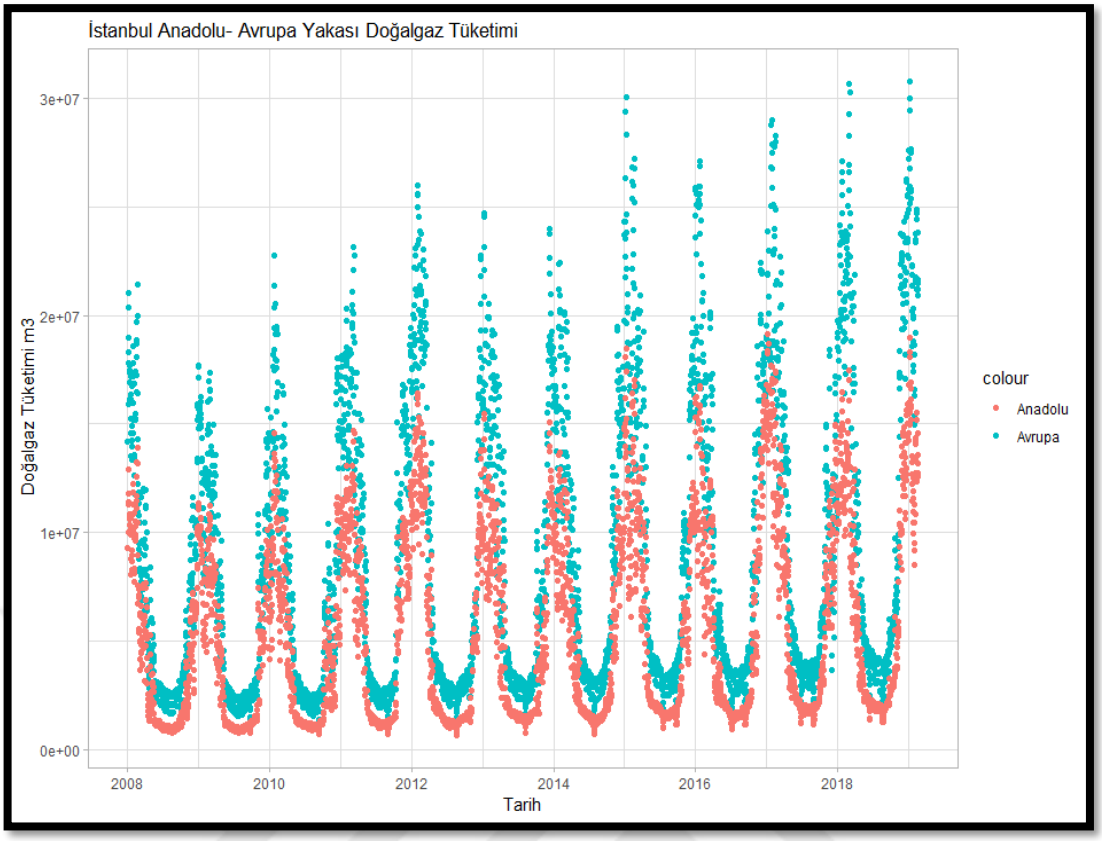
Özellikle 2008-2018 yılları arasında aralık-nisan ayları arasında tüketim değerleri günlük sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte yaz aylarına gelen dönemlerde doğalgaz tüketim değerleri günlük sabite yakındır.



Şekil 5.3 İstanbul Avrupa Yakası Doğalgaz Tüketim Grafiği

Şekil 5.4'te İstanbul ili Anadolu ve Avrupa yakası 2008-2018 yılları arası günlük doğalgaz tüketimi gösterilmiştir. Bu grafikteki turuncu renk Anadolu yakası günlük doğalgaz tüketimini gösteriyorken yeşil renk ise Avrupa yakası günlük doğalgaz tüketimini sembolize etmektedir. 2008 yılına bakıldığında en yüksek tüketimin olduğu gün Anadolu yakası 14 milyon m^3 ike Avrupa yakası ise 22 milyon m^3 doğalgaz olduğu görülmektedir. 2018 yılına gelindiğinde ise en yüksek doğalgaz tüketiminin olduğu gün Anadolu yakası 19 milyon m^3 iken Avrupa yakası 31 milyon m^3 doğalgaz tüketimi gerçekleşmiştir.

İstanbul ili Anadolu ve Avrupa yakalarının günlük doğalgaz tüketimleri incelendiğinde aynı zamanda kış dönemlerinin soğuklukları hakkında da bilgi sahibi olabiliriz. Doğalgaz tüketim grafiği yıl yıl incelendiğinde günlük peak çekişlerin abone artışı kaynaklı heryıl artması beklenirken kış dönemlerinin soğuk geçip geçmediğine bağlı olarak bu durum değişkenlik göstermektedir.



Şekil 5.4 İstanbul Anadolu ve Avrupa Yakaları Doğalgaz Tüketim Grafiği

Tablo 5.1'de 2011 yılından 2018 yılana kadar her kış dönemi için günlük maksimum gaz tüketimi ile saatlik maksimum doğalgaz tüketşmleri gösterilmiştir. Günlük gaz tüketimleri meterolojik verilere göre değişkenlik göstermektedir. Tablo 5.1 incelendiğinde günlük doğalgaz tüketimleri ile saatlik doğalgaz tüketimleri arasında belli bir oranın olduğu görülmektedir. Fakat 2017 yılındaki günlük doğalgaz tüketimi ile saatlik doğalgaz tüketimi arasında dengesiz biro ran vardır. Bunun sebebi 2017 yılı kışında İstanbul'da yaşanan elektrik kesintileri kaynaklıdır. Bölgesel olarak uzun süreli elektrik kesintileri olmasından dolayı doğalgaz tüketimi de elektrik kesintileri olduğu zaman aralığında aboneler tarafından kullanılamamıştır.

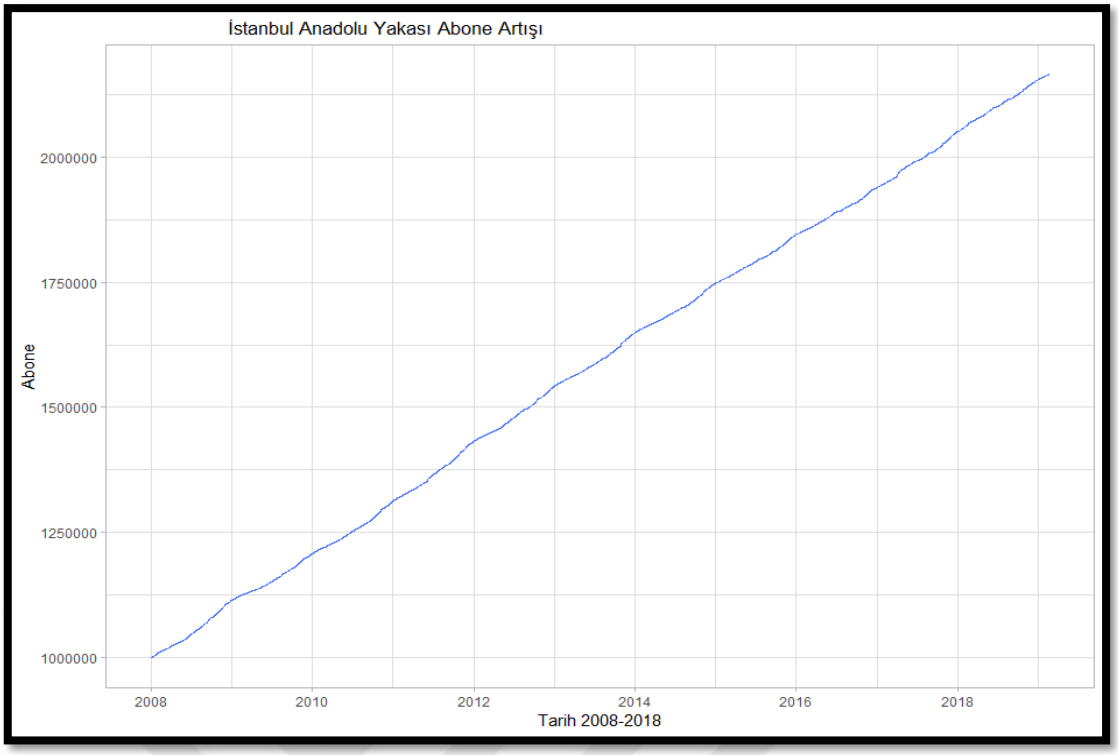
Tablo 5.1'deki günlükten saatlik değerlere oranı ile talep tahmini sonucu elde edilen değer günlük değerden saatlik degree indirgenecek ve saatlik tüketim değerleri bulunacaktır. Tablodaki Avrupa kıtası için elektrik kesintileri kaynaklı olduğundan dolayı buradaki oran gözardı edilerek hesaplama yapılacaktır.

Tablo 5.1 İstanbul Anadolu Yakası Günlük-Saatlik Peak Doğalgaz Tüketimleri

Tarih	Bölge	Günlük Tüketim (m3)	Saatlik Tüketim(m3)
09.03.2011	Avrupa	23.166.797	1.087.000
10.03.2011	Anadolu	14.561.605	724.000
31.01.2012	Avrupa	26.016.613	1.203.090
02.02.2012	Anadolu	16.343.025	797.284
09.01.2013	Avrupa	24.718.517	1.197.232
09.01.2013	Anadolu	15.480.952	744.180
11.12.2013	Avrupa	24.005.730	1.134.404
11.12.2013	Anadolu	15.059.433	718.745
08.01.2015	Avrupa	30.053.892	1.370.840
08.01.2015	Anadolu	18.475.121	895.727
26.01.2016	Avrupa	27.119.943	1.282.698
25.01.2016	Anadolu	16.622.102	822.092
09.01.2017	Avrupa	23.885.069	1.526.704
09.01.2017	Anadolu	19.130.062	924.327
01.03.2018	Avrupa	29.254.012	1.407.800
01.03.2018	Anadolu	17.461.798	867.248

5.1.3 Abone Sayısı

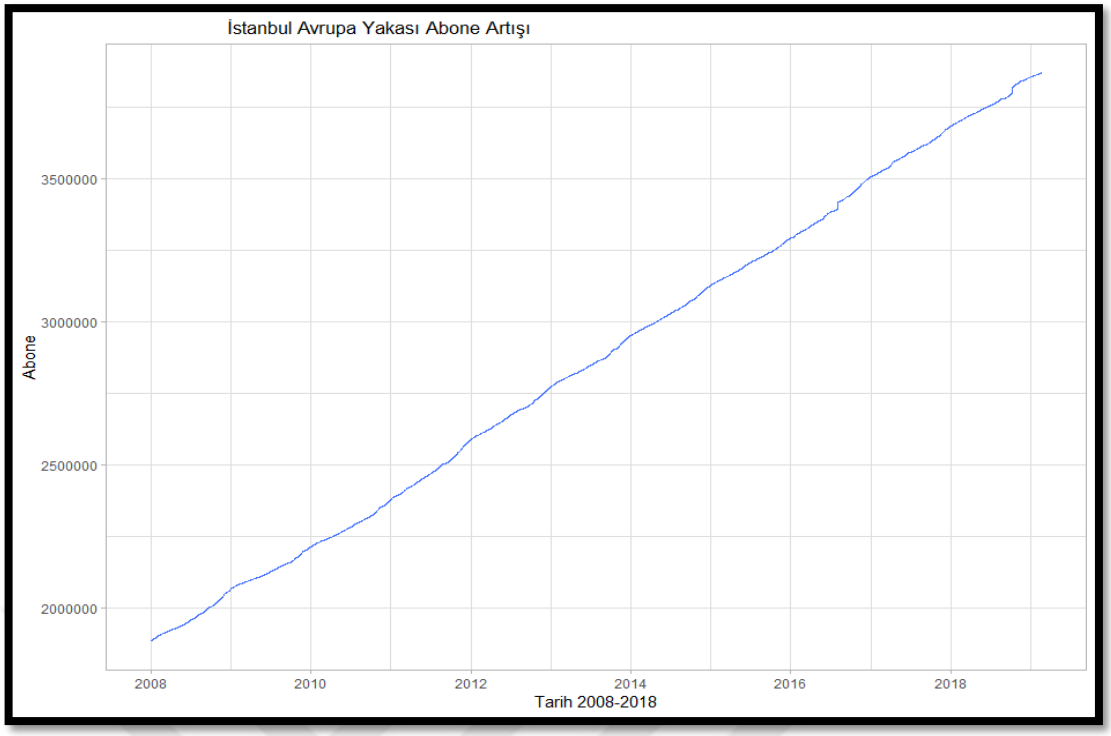
Anadolu ve Avrupa yakaları için 1 Ocak 2008 den 31 Aralık 2018'e kadar gün gün abone sayısındaki değişiklikler İGDAŞ'tan temin edilmiştir.



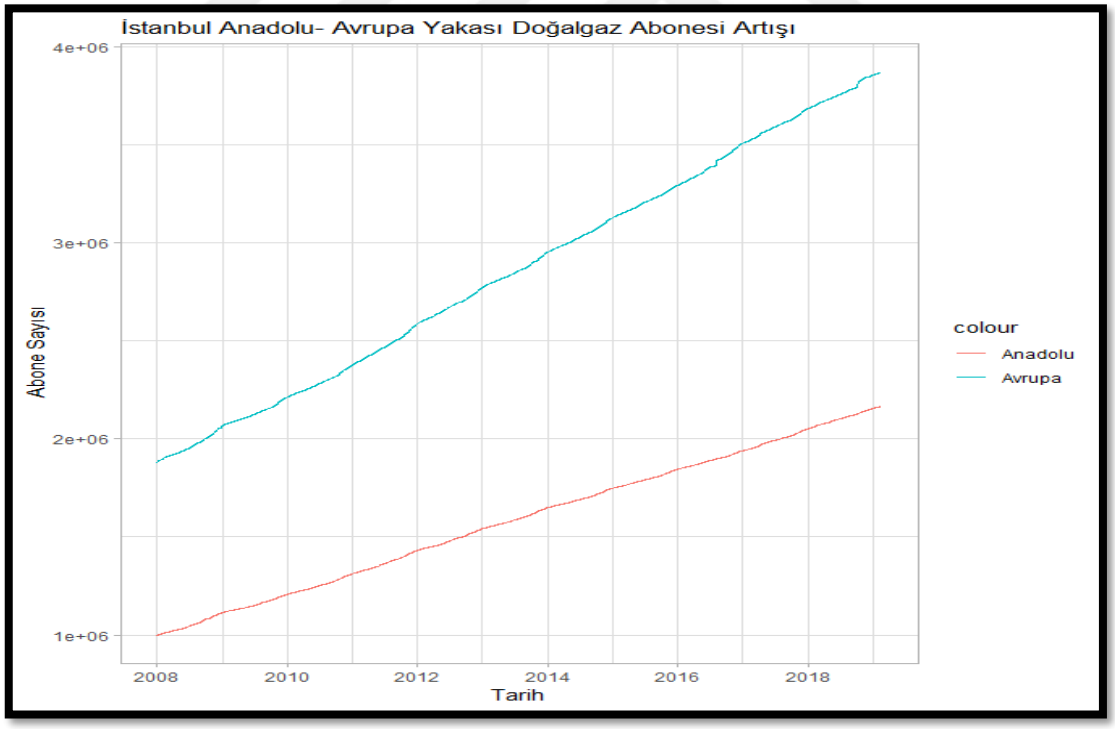
Şekil 5.5 İstanbul Anadolu Yakası Doğalgaz Abone Artış Grafiği

Şekil 5.2'de İstanbul Anadolu yakası 2008 ile 2018 yılları arasındaki abone artışı gösterilmiştir. Ocak 2008 tarihinde yaklaşık 1 milyon abone olmasına karşın 2018 yılının sonuna gelindiğinde doğalgaz abone sayısı 2 milyon 700 bin civarına kadar çıkmıştır. Grafik incelendiğinde doğrusal bir artış olduğu görülmektedir.

Şekil 5.3'te İstanbul Avrupa Yakası 2008 ile 2018 yılları arasındaki abone artışı gösterilmiştir. Ocak 2008 tarihinde yaklaşık 1.8 milyon abone olmasına karşın 2018 yılının sonuna gelindiğinde doğalgaz abone sayısı 3 milyon 750 bin civarına kadar çıkmıştır. Grafik incelendiğinde Anadolu yakasında olduğu doğrusal bir artış olduğu görülmektedir.



Şekil 5.6 İstanbul Avrupa Yakası Doğalgaz Abone Artış Grafiği



Şekil 5.7 İstanbul Anadolu ve Avrupa Yakaları Doğalgaz Abone Artış Grafiği

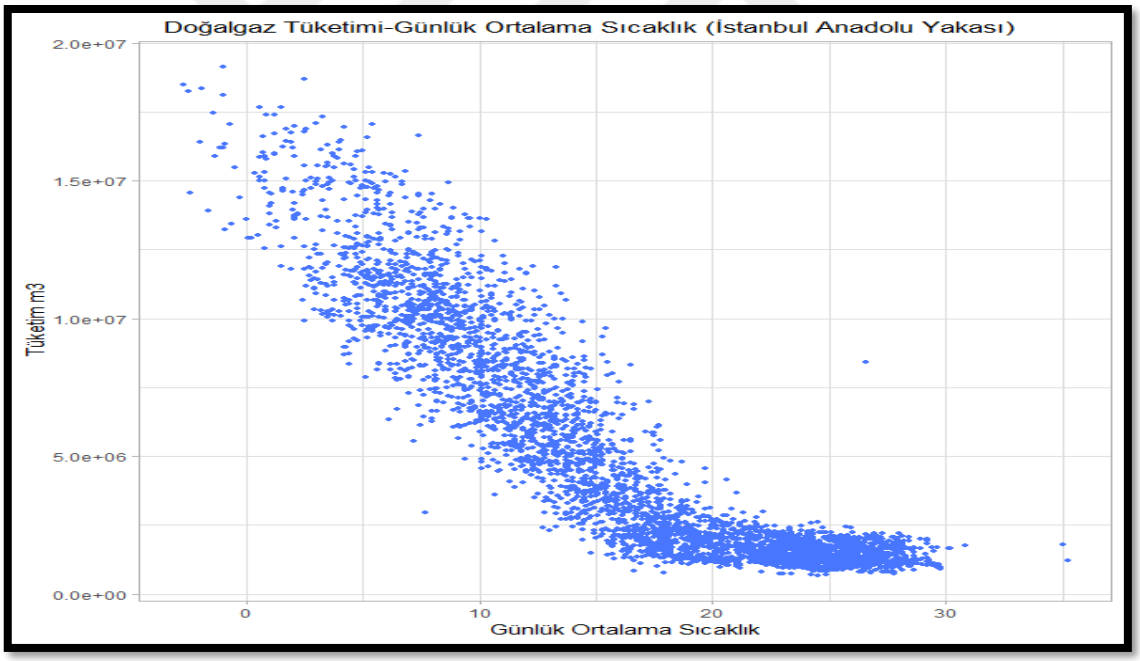
Şekil 5.7'de ise İstanbul ili Avrupa yakası ile Anadolu yakası 2008 ile 2018 yılları arasındaki doğalgaz abone artışları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu grafik iki

bölgeyi karşılaştırmak bize yardımcı olacaktır. İki bölgenin doğalgaz abone artışı dorusal iken Avrupa yakasının abone artış hızı Anadoluya göre daha fazladır. Buradaki mavi renk Avrupa yakasındaki doğalgaz abone artışını simgelerken, kırmızı renk ise Anadolu yakası doğalgaz abone srtışını simgelemektedir. Bu durum doğal olarak doğalgaz tüketim artışlarını da etkilemektedir.

Yaptığımız çalışmada son 10 yılın verisine bakılarak müşteri artışının doğrusal olduğu görülerek, doğrusal şekilde abone artışı olacağı öngörüşmüştür.

5.1.4 Günlük Minimum ve Ortalama Sıcaklık

Yapılan çalışmalarda doğalgaz tüketimine etki eden parametlerin en önemlisi kuşkusuz gün ortalama sıcaklığıdır. Aynı zamanda buna parallel olarak gün mininmum sıcaklıkta doğalgaz tüketimine etki etmektedir. Sıcaklığın düşmesi ile birlikte özellikle konutlar ile toplu yaşam alanlarında doğalgaz tüketimi artmaktadır.



Şekil 5.8 İstanbul Doğalgaz Tüketimi- Sıcaklık Grafiği

Şekil 5.8'de görülen İstanbul Anadolu yakası doğalgaz tüketimi günlük ortalama sıcaklık grafiği İstanbul Avrupa yakası ile benzerlik göstermektedir. Grafikte görüldüğü gibi günlük ortalama sıcaklık 15 ^{o}C'nin üzerine çıktıktan sonra doğalgaz tüketimindeki değişkenlik minimuma inmekte ve sabite yakın devam etmektedir.

Grafik incelendiğinde son 10 yıl içerisinde gün ortalama sıcaklığı en düşük -3 ^{o}C yaşandığı görülmektedir.

5.1.5 Isıtma Gün Sıcaklığı

Isıtma gün sıcaklığı Heatin Degree Day olarak ifade edilen ve kısaca HDD olarak kısaltılan insanların ısıtma ihtiyacının hangi sıcaklıkta başlayacağını ifade eden bir parametredir. Berlirli sıcaklığın altında olduğu zaman insanlar ısınma ihtiyacı için enerji harcanmaya başlanır. Isıtma gün sıcaklığı için litaratürde zaman içerisinde ve bölgelere göre hesaplanan değerler farklılık göstermektedir [42]. 1990 yıllarda hava sıcaklığı 21 ^{o}C' lerin altında indiği zaman ısıtma ihtiyacı olduğu ile ilgili bilgiler varken küresel ısınma ve ısı adası etkisi ile bu sıcaklık İstanbul ili için 18 ^{o}C olarak kabul edilmiş, buna göre hesaplama yapılmıştır. Şekil 5.8'de görüldüğü üzere gün ortalama sıcaklığının 15 ^{o}C'lere gelindiğinde sıcaklıktan bağımsız tüketimler görülmekte ve gün ortalama sıcaklığının 18 ^{o}C'nin üzerindeki değerlerinde ise sıcaklıktan bağımsız tüketimler var olduğu anlaşılmaktadır.

Isıtma gün sıcaklığı HDD'nin hesaplanması formül 5.1'de gösterilmiştir. Bu formüldeki değerler ülkemiz için genel bir kabul olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından genel bir Kabul olarak görünse de illere göre bu değerler yapılan kademik çalışmalarda farklılık olacağını göstermiştir [43].

$$HDD = \begin{cases} 0 & T > 15\ \text{C} \\ 18 - T & T \leq 15\ \text{C} \end{cases} \tag{5.1}$$

Formül günlük ortalama sıcaklık verileri üzerinden 2008 ile 2018 yılına kadar günlük olarak hesaplanmış ve modelimizde kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarımızda HDD etkisi göz ardı edilerek modeler kurulmaya çalışmış ama başarılı sonuçlar elde edilememesine karşın HDD etkisi modelde kullanılması sonrası başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Formül 5.1'de gösterilen formüller göre ısıtma gün sıcaklığı değerleri hesaplanmış ve doğalgaz talep tahmin modelimizde kullanılmıştır.

5.1.6 Resmi Tatil Günleri ve Tüketimin Hangi Ayda Olduğu

Resmi tatil günlerinde doğalgaz tüketiminin azaldığı gözlemlenmektedir. Modelimizde günler için ya resmi tatil yada değil şeklinde giriş yaptık. Resmi tatil günlerini ise Milli eğitim Bakanlığı takvimine göre oluşturduk.

Doğalgaz tüketiminin kış aylarında arttığı ve yaz aylarında ise minimuma indiği şekil 5.4'te görünmektedir. Veri setimizde her ay 1-12'ye kadar numaralandırılmıştır. Bu veriler modelimiz oluşturulurken kullanılmıştır.

5.1.7 Verililerin Normalize Edilmesi

Doğalgaz tüketimine etki eden faktörlerin elde ettiğimiz verileri kıyaslanabilirlik açısından önemli olduğundan ve model performansına etki ettiği de düşünüldüğünde normalizasyon işlemi yapılması gerekmektedir. Normalizasyon işlemi için bir çok farklı yöntem vardır. Bunlar; Mininmum kuralı, maksimum kuralı, medyan, sigmoid ve z- score v.b. gibidir. Deveci ve Yavuz'un yaptıkları çalışmada Matlab üzerinden yapay sinir ağlarında hangi normalizasyon tekniğinin daha iyi sonuç verdiğini kıyaslamışlardır [44]. Bu kıyaslama sonucunda ise D_Min_Max normalizasyon tekniği kullanılmıştır. Bu normalizasyon tekniğine göre uygulama içerisinde kullanılacak veriler 0.1 ile 0.9 aralığına getirilmektedir. Bu yöntemin denklemi denklem 5.2 'de gösterilmiştir [44].

$$x' = 0.8 * \left(\frac{x_i - xmin}{xmax - xmin}\right) + 0.1 \qquad (5.2)$$

x' = Normalize değer

x_i = Girdi verisi

$xmin$ = Girdi değerlerindeki en küçük değer

$xmax$ = Girdi değerlerindeki en büyük değer

Değerlerini ifade etmektedir.

Bu çalışmamızdaki tüm veriler denklem 5.2' de gösterilen formül uygulanarak 0.1 ile 0.9 aralığına alınarak yapay sinir ağları uygulaması yapıldı. Modelde elde edilen

talep tahminleri daha sonra denlem 5.2'de gösterilen formülün tersi mahiyetindeki formül ile de denormalizasyon işlemi yapılarak sonuç elde edilmiştir.

5.2 Yapay Sinir Ağları İle Doğalgaz Talep Tahmini Uygulaması

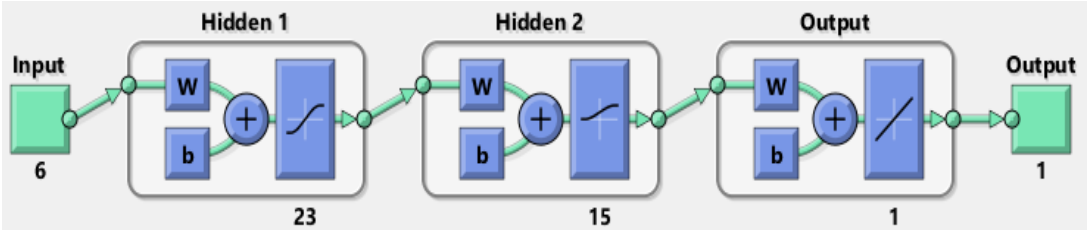
Çalışmamızda 2008 ile 2018 yılları arasındaki günlük olarak elde edilen veriler normalize edilmesi sonrası kullanılarak talep tahmin modeli oluşturulmuştur.

Yaptığımız çalışmada MSE kıyaslaması ile en uygun modeli elde etmeye çalıştık. Bu modeli oluştururken herbi değişkeni değiştririp kendisi içerisinde 20 defa çalıştırarak ortalama MSE üzerinde işlem yaptık ve son olarak bulduğumuz model mimarisi Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2 İstanbul Anadolu Yakası Günlük-Saatlik Peak Doğalgaz Tüketimleri

Model Ağ mimarisi	
Ağ Tipi:	Feed Forward Backprop (İleri Beslemeli Geri Yayılım)
Eğitim Fonksiyonu:	Trainlm
Aktivasyon Fonksiyonu:	Tansig-Logsig
Gizli Katman Sayısı:	2 (23, 15)
Çevrim Sayısı:	2000
Eğitim Verisi:	%75
Test Verisi:	%15
Validasyon Verisi:	%10

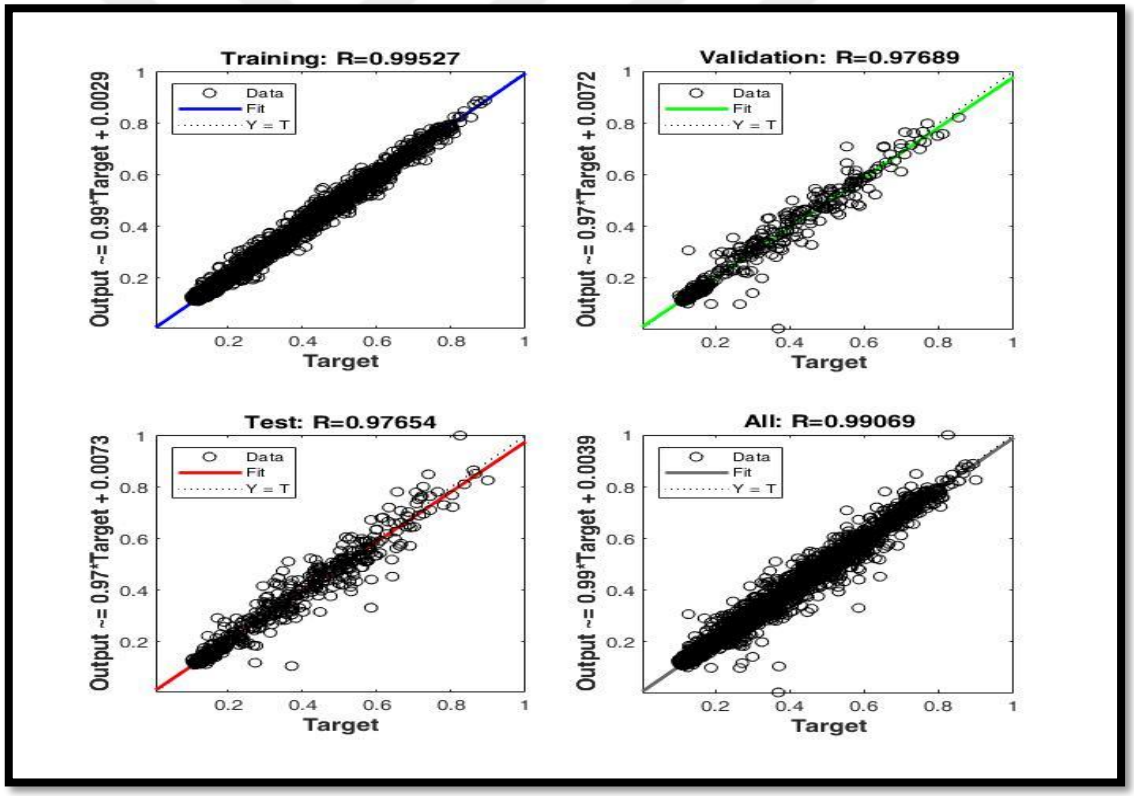
Tablo 5.2'de gösterildiği yapı ile yapay sinir ağları talep tahmin modelimizi İstanbul Anadolu ve Avrupa yakaları için oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modellerle ile Avrupa ve Anadolu yakaları için ayrı ayrı talep tahmin çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 5.9 Talep Tahmin Modeli Mimarisi

Şekil 5.9'da talep tahmin modelimizin mimarisi gösterilmiştir. 6 faktör verisi girilerek doğalgaz tüketim tahmini yapılmaya çalışılmıştır. Bu mimaride 2 gizli katman ve bu gizli katmanlarda ilkinde 23 ikincisinde ise 15 gizli hücre yapısı vardır.

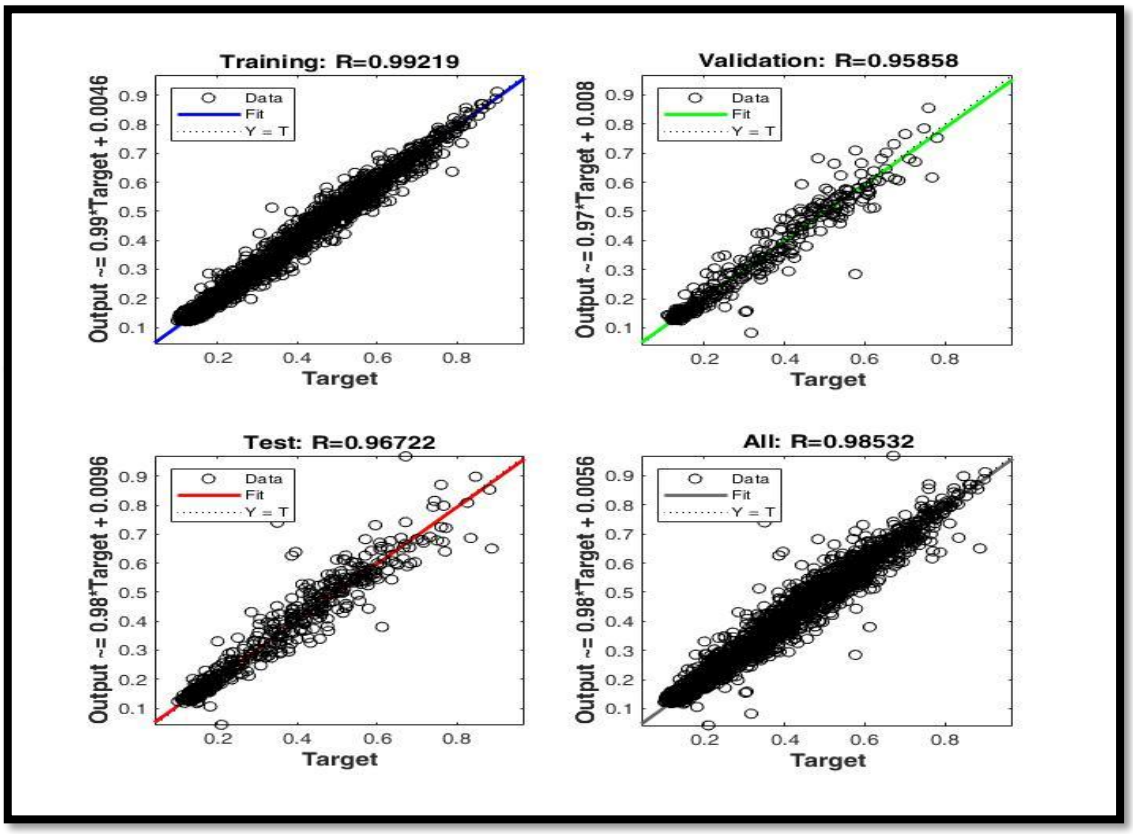
Talep tahmin modelleri oluştururken yapıda kolerasyon değerlerinide bakarız. Bizim talep tahmin çalışmamızda iki farklı veriler ile eğitip test ettiğimiz iki farklı model vardır.



Şekil 5.10 İstanbul Anadolu Yakası Talep Tahmin Modeli Kolerasyon Grafiği

Şekil 5.10'da İstanbul Anadolu yakası doğalgaz talep tahmini modelinin kolerasyon grafiği gösterilmiştir. Bu grafikte de görüleceği gibi talep tahmin modelimizin R-kare değeri 0.98 olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde İstanbul Avrupa yakası içinde doğalgaz talep tahmin modelimizin kolerasyon değeri Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Bu grafikte de anlaşılacağı üzere İstaanbul Avrupa yakası doğalgaz talep tahmin modelimizin R-kare değeri 0.97 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.11 İstanbul Avrupa Yakası Talep Tahmin Modeli Kolerasyon Grafiği

5.2.1 Talep Tahmini

İstanbul Anadolu ve Avrupa yakaları için ayrı ayrı oluşturduğumuz doğalgaz talep tahmini modelleri ile günlük talep tahmin uygulamasını son yüz yıl içerisindeki en soğuk gün olan 9 Şubat 1929 tarihindeki günlük minimum sıcaklık -16 ^{o}C ve günlük ortalama sıcaklık -7 ^{o}C olması halinde 2027 yılına kadar peak kullanımlara göre tahminleme yapılmıştır. Son yüz yıl içerindeki İstanbul ilinde yaşanan en soğuk gününü gösteren görsel Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 İstanbul İli 9 Şubat 1929 Tarihi

Doğalgaz talep tahmin modellerimize göre son yüz yıl içerisindeki en soğuk gün yaşanması halinde 2027 yılına kadar günlük doğalgaz talep tahminleri yapılmış ve bunun sonucuna göre doğalgaz RMS-A kapasitelerinine İstanbul Anadolu yakası için 2023 yılına kadar, Avrupa yakası için ise 2024 yılına kadar yeni doğalgaz RMS-A istasyonlarının kurulması gerekliliği gözlenmiştir.

Tablo 5.3 İstanbul Anadolu Yakası Günlük-Saatlik Peak Doğalgaz Tüketimleri

Tarih	AYLAR	Kullanıcı Sayısı	Ortalama Sıcaklık	Tüketim	Saatlik Tüketim	RMS-A KAPASİTE (m3/h)
2020	OCAK	4.185.790	-7,00	36.850.084	1.953.054	< 2.190.000
2021	OCAK	4.367.268	-7,00	38.557.077	2.043.525	< 2.190.000
2022	OCAK	4.548.746	-7,00	39.353.407	2.085.731	< 2.190.000
2023	OCAK	4.730.224	-7,00	41.298.794	2.188.836	< 2.190.000
2024	OCAK	4.911.703	-7,00	42.700.360	2.263.119	> 2.190.000

Tablo 5.4 İstanbul Anadolu Yakası Günlük-Saatlik Peak Doğalgaz Tüketimleri

Tarih	AYLAR	Kullanıcı Sayısı	Ortalama Sıcaklık	Tüketim	Saatlik Tüketim	RMS-A KAPASİTE (m3/h)
2020	OCAK	2.407.870	-7,00	27.520.868	1.348.523	< 1.495.000
2021	OCAK	2.513.100	-7,00	28.636.774	1.403.202	< 1.495.000
2022	OCAK	2.618.331	-7,00	29.719.198	1.456.241	< 1.495.000
2023	OCAK	2.723.561	-7,00	30.758.753	1.507.179	> 1.495.000

Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te bulunan saatlik tüketimler Tablo 5.1'de bulanan günlük tüketimlerden saalik tüketimlere göre ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

5.3 Synergi Gas ile Doğalgaz RMS-A İstasyonlarının Yerlerinin Tespitleri

5.3.1 Dağıtım Şebekesi Analiz Yöntemleri ve Synergi Gas Yazılım Programı

Doğalgaz arz güvenliğinin sağlamak için özellikle gaz dağıtım fimaları uygun şebeke tasarımı üzerine çalışmaktadırlar. Dağıtım firmalarının bunu sağlamak için yaptığı çalışmalar ekonomik açıdan da önemlidir.

Doğalgaz arz güvenliğini sağlamak için yapılan çalışmalar şirketler için öenmli maliyet oluşturmaktadır. Mevcut şebekenin projeler yapılırken mühendislik temelleri ile maliyet ölçülerinin dengesi sağlanmalıdır.

Doğalgaz şebekesinin arz güvenliğinin sağlanması için tüketim, basınç, hız, uzunluk gibi fiziksel büyüklükleri tasarımı için gaz hesaplama yazılımı kullanılması gerekmektedir. Bu durum aynı zamanda yasal zorunluluktur. Doğalgaz dağıtım ve iletim hatlarında çelik ve polietilen hatların şebeke dizaynının yapılabilmesi için şebeke dizayn yönlendirmesi şeklinde işlevi olan İGDAŞ trafından da kullanılan Seyynergi Gas program ile sağlanmaktadır.

Türkiye Enerji Piyasası Denetleme Kurumu (EPDK) tarafından doğalgaz dağıtımında uyulması gereken kurallar şunlardır;

- Gazın hızı 25 m/s'yi geçmemeli, kriz anlarında 30m/s hıza izin verilebilir.
- Polietilen hatlarda uç basınç minimum 1.5 barg
- Çelik hatlarda uç basınç 10 barg, kriz anlarında 6 bag'a kadar izin verilebilir.

Doğalgaz şebekelerinin simulasyonunda çeşitli amaçlar, örneğin düşük sınıf basıncı veya yüksek basınç sınıfı vb. için farklı akış modelleri kullanılabilmektedir. Türkel'in kitabında da verdiği gibi Synergi Gas programında kullanılabilen akış modelleri şunlardır:

- Fundamental with flow-dependent friction (FM)
- Fundamental with consant friction factor (FD)
- General (GP)
- IGT distribution (IG)
- Spitzglass (high pressure) (SP), Spitzglass (low pressure) (SL)
- General (GP)
- Panhandle A (PA), Panhandle B (PB)
- Mueller (MU)
- Weymouth (WE)

olarak sıralanabilir. Dağıtım şebekesinde analiz çalışmasında sürtünmenin akışa bağlı değişimine göre yapıldığından deklem 5.3'deki gibi FM formülü İGDAŞ'da kullanılmıştır. Uygulamada boru hattı verimliliği (e) 1 olarak alınmaktadır [28].

$$Q = (n+1)\ 77.54\ \frac{T_b}{P_b} D^{2.5} e \left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - \left(\frac{0.0375 G (h_2 - h_1) P_a^2}{Z T_a} \right)}{G T_a L Z f} \right)^{0.5} \qquad (5.3)$$

Gaz dağıtım şebekesi simulasyon işlemlerinde;

Hesap yapılacak bölgenin atmosfer basıncı, hava sıcaklığı ve denizden yükseklik bilgileri,

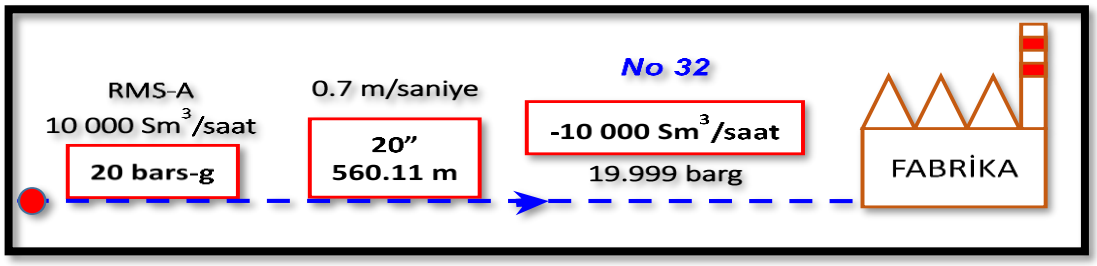
- Boruların pürüzlülük, sertlik değeri, sürtünme katsayısı bilgileri,
- Gazın iç enerjisi, özgül yoğunluk, CO^2 değeri, akma direnci, sıcaklık ve ısı katsayısı vb. bilgilerinin girilmesi gereklidir. Mevcut hatlarda değişken değerler olarak,

- Boruların metraj bilgisi (GIS veritabanlı program üzerinden sistemindeki boruların, gaz hesaplama programına ülke koordinat sisteminde belirli bir ölçekte aktarılması),
- Boruların iç çap bilgisi,
- Gazın sisteme giriş basıncı (çelik hatlar için RMS-A çıkış basınç değerleri),
- Gaz tüketim noktalarındaki tüketim değerleri (çelik hatlar için müşteri istasyonu ve bölge regülatörü çekiş değeri) gereklidir.

Şekil 5.13'te Synergi Gas yazılım algoritması örneğinde görüldüğü gibi kırmızı çerçeve içerisinde gösterilen veriler analiz programına girilmektedir.

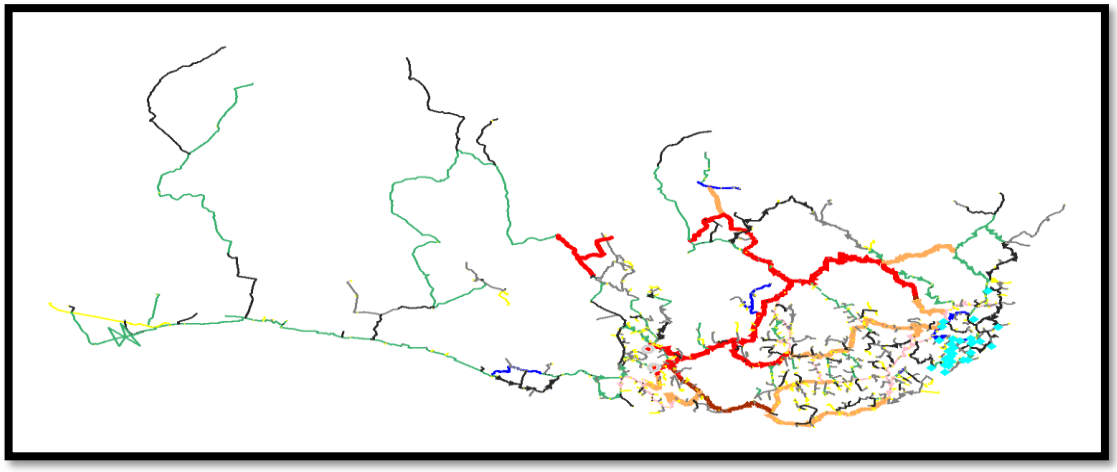
Burada, Çıkış basıncı 20 barg olarak doğalgaz şehir giriş istasyonundan beslenen 20" çapta bir çelik boru hattı üzerinde istasyondan 560 m uzaklıkta yer alan ve 10.000 Sm^3/st debide tüketime sahip bir fabrikanın girişinde gaz basıncının, (tüketim ve güzergah boyunca basınç kaybından dolayı) 19,999 barg değerine düştüğü, boru hattındaki gaz akış hızının ise 0.7 m/s değerinde gerçekleştiği görülmektedir. Gaz akış hızı 20 m/s altında olduğundan sistem doğru tasarlanmıştır.

20 bar çıkış basıncında otomatik olarak çap belirlenebilmesi için tüketim ve mesafe bilgisinin programa girilmesi yeterlidir.



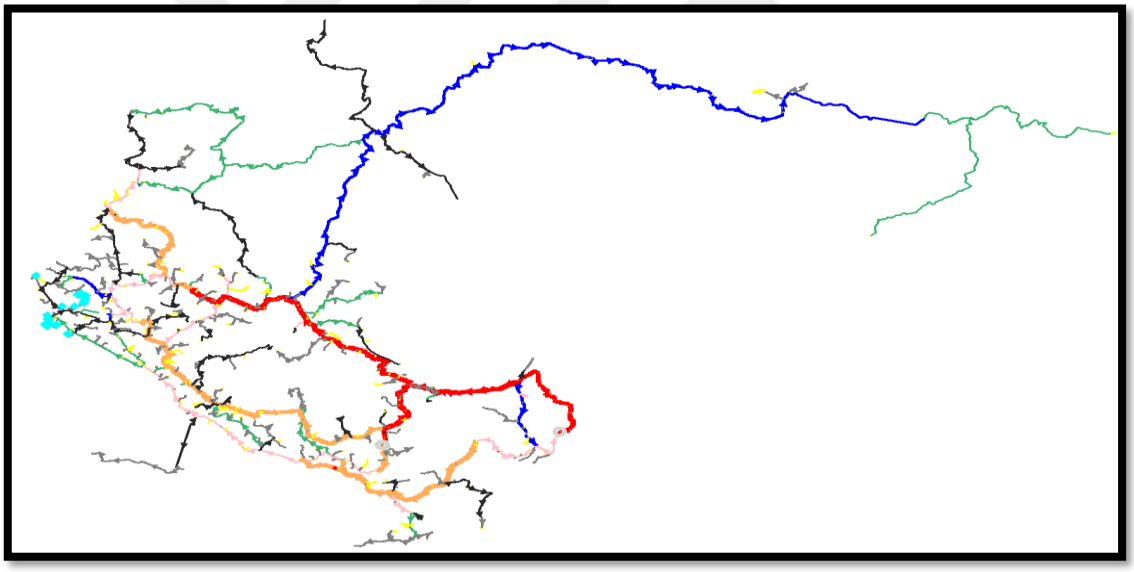
Şekil 5.13 Synergi Gas Program Algoritması

Yapay sinir ağları ile yapmış olduğumuz doğalgaz talep tahmini sonucuna göre İstanbul Anadolu yakası için 2023 yılına kadar ve Avrupa yakası için ise 2024 yılına kadar ilave doğalgaz RMS-A istasyonları ihtiyacı olduğu görülmektedir. Çıkan sonuca göre doğalgaz RMS-A istasyonlarımızın konumlarını hız, basınç analizleri ışığında ve Doğalgaz iletim hattına yakınlığına göre Synergi Gas program ile ideal konumunu tespit etmeye çalıştık.



Şekil 5.14 2019 Yılı İstanbul Avrupa Yakası Doğalgaz Dağıtım Hattı Uç Basınç

Şekil 5.14'te görüldüğü üzere Synergi Gas program ile ile hesaplanan Avrupa yakası en düşük basınçları açık mavi şeklinde gösterilmiştir. Avrupa yakası için en kritik yerler bu bölgelerdir.



Şekil 5.15 2019 Yılı İstanbul Anadolu Yakası Doğalgaz Dağıtım Hattı Uç Basınç

Şekil 5.15'te görüldüğü üzere Synergi Gas program ile ile hesaplanan Anadolu yakası en düşük basınçları açık mavi şeklinde gösterilmiştir. Andolu yakası için en kritik yerler bu bölgelerdir.

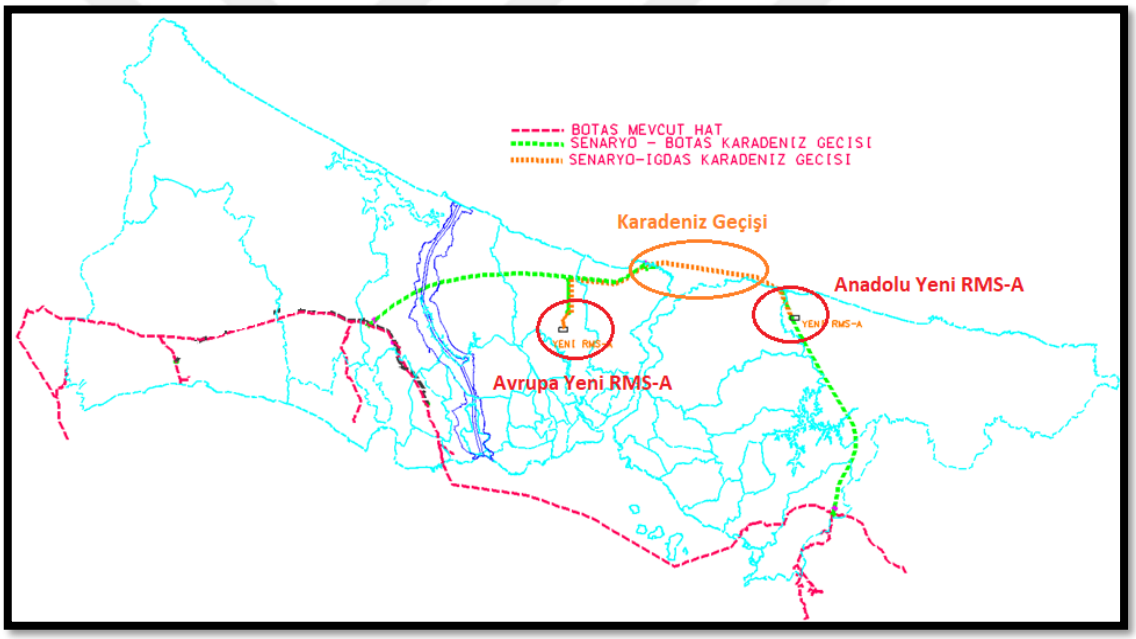
Bu kritik bölgeler göstermektedir ki bu bölgelere yakın doğalgaz RMS-A istastonları kurulması halinde bu kritik devreler de rahatlama olacaktır.

Doğalgaz RMS-A istasyonları kurulurken dikkat edilmesi gereken hususlar:

- Minimum yatırım maliyeti ve olası hasarların minimize edilmesi için doğalgaz iletim hattına İstanbul için BOTAŞ hattına yakın bir konumda,
- Olası tehlikelerden dolayı yerleşim yerlerine mümkün olduğunca uzak noktalara,
- Olası gaz sızıntılarından dolayı havayolu uçuşlarına uzak noktalara,
- Dağıtım şebekelerinin minimum basınç yaşanan bölgelerine en yakın noktalara,

konumlandırılmalıdır.

Yapılan çalışmaya göre en uygun doğalgaz şehir giriş istasyonları Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.16 İstanbul ili için Belirlenen Yeni Doğalgaz RMS-A İstasyon Yerleri

6
Sonuç ve Öneriler

6.1 Sonuç

Yapay sinir ağları ile yapmış olduğumuz doğalgaz talep tahmini sonucuna göre İstanbul Anadolu yakası için 2023 yılına kadar ve Avrupa yakası için ise 2024 yılına kadar ilave doğalgaz RMS-A istasyonları ihtiyacı olduğu görülmektedir. Çıkan sonuca göre doğalgaz RMS-A istasyonlarımızın konumlarını hız, basınç analizleri ışığında ve Doğalgaz iletim hattına yakınlığına göre Synergi Gas program ile ideal konumunu tespit etmeye çalıştık.

Yaptığımız çalışmaya göre Şekil 6.1' de de görüldüğü gibi yeni kurulacak doğalgaz şehir giriş istasyonlarının (RMS-A) kurulması gereken yerlerinin tespitini yaptık. Söz konusu yerler tespit edilirken sayfa 82'deki kriterler dikkat edilmiş ve aynı zamanda yapılacak boru hattı imalatının güzergahıın uygunluğu ve mülkiyet durumlarda incelenmiş ve uygunluğuna göre yerler belirlenmiştir.

Karadeniz geçişi ile yeni imalatı yapılacak olan doğalgaz hatları ile Istanbul doğalgaz daıtım şebekesi ise Avrupa ve Anadolu yakaları da bağlanılmış olacaktır. Böylelikle doğalgaz dağıtım şebekesi kendi içerisinde iki farklı kıta birleştirilerek doğalgaz arz güvenliği açısında da önemli bir uygulama hayata geçmiş olacaktır. Anadolu yakasındaki şehir giriş istasyonlarında veya doğalgaz iletim hattında gelebilecek hasar anında Avrupa yakasındaki şehir giriş istasyonları arasındaki vanaların açılması ile doğalgaz dağıtım hattı kendini yedeklemiş olacaktır. Aynı durum Avrupa yakasındaki benzer hasar anında Anadolu yakasındaki şehir giriş istasyonu arasındaki vana açılması ile gaz yoklukları minimize edilmiş olacaktır.

Sonuç olarak yaptığımız çalışma ile;

- Günlük ve saatlik doğalgaz talep tahmin modelleri ile daha gerçekçi talep tahminleri,

- Talep tahmin modelinden çıkan sonuçlara göre olası gaz ihtiyacı önceden belirlenmesi,
- Talep tahmin modellerinden çıkan sonuçlara göre İstanbul Anadolu ve Avrupa yakaları için son yüz yıl içerisindeki en soğuk gün yaşanması halinde yeni doğalgaz şehir giriş istasyonlarının ne zaman kurulması gerektiği,
- Synergi Gas program ile İstanbul ili Avrupa ve Anadolu yakaları için uç basınç (minimum basınç) yerleri tespit edilerek yeni kurulması gereken istasyonların yerlerinin tespit edilmesi,
- Yeni kurulacak olan doğalgaz giriş istasyonlarının Karadeniz geçişleri ile bir birine bağlantısı sağlanmış ve iki bölgede yaşanacak olan sıkıntı halinde birbirlerine destek olması,
- Oluşturulan doğalgaz talep tahmin modelleri ile makro ve mikro ölçüde doğalgaz dağıtım şebekesinin ilerleyen zamanlarda gelebilecek yüklerin hesaplanmasıyla şebekenin zayıf bölgeleri Synergi Gas programıyla hesaplanarak öncelden müdahale edilmesiyle şebekenin doğalgaz arz güvenliği,

Sağlanmıştır. Aynı zamanda 1 Eylül 2018 yılında aktif olarak kullanılmaya başlanan Türkiye spot doğalgaz piyasası ile doğalgaz talep tahminleri çok önemli hale gelmiştir. Oluşturulan doğalgaz talep tahmin modelleri ile İstanbul ili için doğalgaz tüketim tahminleri doğru şekilde yapılarak en uygun maliyetlere doğalgaz satın alınması sağlanmış olacaktır.

Yaptığımız çalışmanın yapılan diğer çalışmalardan ayırın en önemli özelliği talep tahmini modelinden çıkan sonuca göre yeni şehir giriş istasyonlarının ne zaman ihtiyaç olduğu belirlenerek istasyon yerlerinin önceden öngörülmesidir.

Kaynakça

[1] R. H. Brown, L. Matin, P. Kharouf ve L. P. Piessens, "Development of artificial neural-network models to predict daily gas consumption," A.G.A. Forecasting Rev., vol. 5, pp. 1–22, 1996.

[2] F. Gümrah, "Modeling of gas demand using three-day concept: case for Ankara", Energy Sources, 23 (2), s. 101–114, 2001.

[3] H. V. Nguyen ve J. Mandziuk, "Neural and fuzzy neural networks for natural gas consumption prediction, Neural Networks for Signal Processing", NNSPapos;03. 2003 IEEE 13th Workshop on Volume, Issue, 17-19 Sept. 2003 Page(s): 759 – 768, 2003.

[4] F. Görücü, (2004). "Artificial neural network modeling for forecasting gas consumption", Energy Sources, 26, pp. 299–307

[5] C. Hamzaçebi ve F. Kutay, "Yapay sinir agları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini", J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. 19 (3): 227-233, 2004.

[6] Z. Yumurtacı ve E. Asmaz, "Electric energy demand of Turkey for the year 2050", Energy Sources, 26 (12), s. 1157–1164, 2004.

[7] T. Yalcinoz ve U. Eminoğlu, "Short term and medium term power distribution load forecasting by neural networks", Energy Conversion and Management 46, pp. 1393–1405, 2005.

[8] M. Tunç, U. Çamdalı ve C. Parmaksizoglu, "Comparison of Turkey's electrical energy consumption and production with some European countries and optimization of future electrical power supply investments in Turkey", Energy Policy, 34: 50–59, 2006.

[9] V. Ediger ve S. Akar, "ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey", Energy Policy, 35. Cilt, s.1701–1708, 2007.

[10] E. Erdogdu, "Electricity Demand Analysis using cointegration and ARIMA modelling: a case study of Turkey", Energy Policy, 35. Cilt, s. 1129-1146, 2007.

[11] Ö. Demirel, "ANFIS ve ARMA Modelleri ile Elektrik Enerjisi Yük Tahmini", Yüksek Lisans Tezi, T.C. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.

[12] M. Akkurt, "Forecasting Turkey' s Natural Gas Consumption by Using Time Series Methods", European Journal of Economic and Political Studies-3(2), 2010.

[13] Z. Dilaver ve C. H. Lester, “Industrial electricity demand for Turkey: A structural time series analysis", Surrey Energy Economics Centre (SEEC), Department of Economics, University of Surrey, Energy Economics, 33. Cilt, 3. Sayı, Mayıs 2011.

[14] S. Bordignon ve diğerleri, "Combining day-ahead forecasts for British electricity prices", Energy Economics, 2011.

[15] B. Soldo, "Forecasting natural gas consumption", Applied Energy, 92. Cilt, Nisan 2012

[16] W. Yuanyuan ve diğerleri, “Application of residual modification approach in seasonal ARIMA for electricity demand forecasting: A case study of China”, Energy Policy, 48. Cilt, Eylül 2012

[17] Ö. Demirel, S. Zaim, A. Çalışkan, P. Özuyar, “Forecasting natural gas consumption in ˙Istanbul using neural networks and multivariate time series methods”, Turk J Elec Eng & Comp Sci, Vol.20, No.5, 2012.

[18] S. Hosseinipoor, “Forecasting Natural Gas Prices in the united states using artificial neural networks”, Oklahoma Üniversitesi, 2016.

[19] BP, 2018 BP Statistical Review of World Energy Report, https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf, (8 Mayıs 2019).

[20] DNVGL, Energy Transition Outlook 2018, https://www.dnvgl.com/news/the-world-s-energy-demand-will-peak-in-2035-prompting-a-reshaping-of-energy-investment-128751 ,(8 Mayıs 2019).

[21] EIA, World Energy Investement 2018 Executive Summary, http://www.worldenergy.org.tr/wp-content/uploads/2018/09/WEI_summary_2018.pdf , (8 Mayıs 2018).

[22] Türkiye Petrolleri A.Ş., 2017 Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu, http://www.tpao.gov.tr/tp5/docs/rapor/sektor_rapor_2017.pdf (8 Mayıs 2019).

[23] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/nukleer-enerji, (8 Mayıs 2019).

[24] Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, Doğalgaz Piyasası 2017 Yılı Sektör Raporu, https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-94-1007/dogal-gazyillik-sektor-raporu, (8 Mayıs 2019).

[25] Bülbül, O., (2007), “Doğalgaz Piyasasında Rekabet”, Rekabet Kurumu Uzmanlık Tezleri Serisi, Bölüm1 s.8, ISBN: 978-975-8936-40-3.

[26] Mekanikci, Doğalgazın Tarihçesi, http://www.mekanikci.com/dogalgazin-tarihcesi.html ,(8 Mayıs 2018).

[27] Y. Yetişken ve İ. Ekmekçi, "Alternatif Enerji ve Enerji Verimliliği Yönüyle Otobüslerde Sıkıştırılmış Doğalgaz Kullanımı", 1. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu, 15-16 Ocak 2009, İstanbul, 2009.

[28] V. Turkel, "Doğalgaz Dağıtımında Tasarım İmalat ve Yönetim", Bölüm 1 s. 29-33, 2014.

[29] EGEA, 2010, "Introduction in Petroleum Geology: formation, accumulation and exploitation methods", Annual Congress 2010, www.egea.eu/congresses/ac10/congress_ workshops.php?content_ id=11 (15 Haziran 2018).

[30] İTÜ, "Petrol ve doğalgaz hakkında merak edilenler", https://web.itu.edu.tr/~yamanlar/faq_t/ (8 Mayıs 2019).

[31] A. Karahan İstatiksel Tahmin Yöntemleri: Yapay Sinir Ağları Metodu ile Ürün Talep Tahmini Uygulaması, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2006.

[32] A. Kılıç, "Yapay Sinir Ağları ile Yemekhane Günlük Talep Tahmini", Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2015.

[33] N. Acar, "Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları", Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 1998.

[34] S. Olgun, "Tedarik Zinciri Yönetiminde Talep Tahmini Yöntemler ve Yapay Zeka Tabanlı Bir Talep Tahmini Modelinin Uygulanması", İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.

[35] N. Yazıcıoğlu, "Yapay Zeka İle Talep Tahmini", Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.

[36] A. Aikeshan, "Bulanık Doğrusal Regresyon Yöntemi ile Talep Tahmini: Medikal Asistans Firmasında Bir Uygulama", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014.

[37] M. Yücesoy, "Temizlik Sektöründe Yapay Sinir Ağları ile Talep Tahmini", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitisü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.

[38] E. Öztemel, "Yapay Sinir Ağları", 3.Cilt, Papatya Yayıncılık, 1-232, 2015.

[39] A. Bulgan, "Pnömatik Devrelerde Optimum Tasarım ve Yapay Sinir Ağları ile Titreşim Analizi", Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitisü, Makina Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.

[40] V. Kargı, "Yapay Sinir Ağ Modelleri ve Bir Tekstil Firmasında Uygulama", 1.Cilt, Ekin Yayınevi, 1-163, 2005.

[41] Psikolojik Gen, "Yapay Sinir Ağları", https://www.psikolojik.gen.tr/yapay-sinir-aglari.html , (9 Mayıs 2019).

[42] ASHRAE, ASHRAE Handbook — Fundamentals (SI). Energy Estimating Methods (chapter 28), 1993.

[43] İ. Ekmekçi ve S. Pusat, "Calculation of variable base degree-hours for four stations in Istanbul", NUYEK, Ankara, 2009.

[44] S. Yavuz ve M. Deveci, "İstatiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağı performansına etkisi" Erciyes Üni. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 40. Sayı, ss. 167-187, Kayseri, 2012.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: vedatbalikci@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. V. Balıkçı ve A. S. Dalkılıç, "Natural Gas Distribution Network in Supply Security Support: Demand Forecast for İstanbul", YTÜ 4th İnternational Conference on Advances in Mechanical Engineering İstanbul 2018 (ICAME 2018), 19-21 Aralık İstanbul, 2018.