

Doğal Gaz Talep Tahmininin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi: Danimarka Örneği

Güller ŞAHİN*

Geliş Tarihi (Received): 27.01.2022 – Kabul Tarihi (Accepted): 14.03.2022

Öz

Küresel enerji yapısındaki tarihsel izlek, özellikle doğal gaz ve yenilenebilir enerji talebinin arttığı bilgisini sunmaktadır. Bu kapsamda doğal gaz, en önemli enerji kaynaklarından birisidir ve yüksek metan içeriği ile karakterize edildiğinden, yenilenebilir enerjiden sonraki en temiz enerji kaynağı kabul edilmektedir. Aynı zamanda, küresel ısınmanın azaltılması ve iklim değişikliği sorunsalına çözüm için gerekli olan düşük karbonlu enerji sistemlerine geçişte önemli bir köprü yakıtı olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, dünyanın sürdürülemez olduğu bir gelecek öngörüsünde, enerji kaynaklarının öncülüğünde bir dizi politika önleminin alınması gerekmektedir. Bununla birlikte, bu politika önlemlerinin ülkelerin enerji politikalarındaki toplumsal davranış ve tercihlerdeki değişimlerle güçlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, artış trendinde olan doğal gaz enerji kaynağı ile ilgili politika kararlarının alınmasında ve uygulanmasında doğal gaz talep tahmin işlemleri oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu kapsamda çalışmanın amacı, Danimarka'nın 2021-2050 dönem aralığındaki yıllık doğal gaz talebinin Yapay Sinir Ağları metodolojisi izlenerek tahmin edilmesidir. Amaç doğrultusunda 1984-2020 dönem aralığına ait doğal gaz tüketimi, doğal gaz üretimi, doğal gaz ithalatı, GSYH, nüfus ve enflasyon değişkenlerine ilişkin veriler kullanılmıştır. Ampirik kanıtlarda, modelin ortalama mutlak yüzde hatasının 2.22 düşük bir hata oranına sahip güçlü, kararlı ve etkili bir yöntem olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, senaryo tahmin sonuçları doğal gaz talebinin 2050 yılında 2.25 milyar m³ tüketime ulaşacağını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Gaz Talebi, Tahmin, Yapay Sinir Ağları, Danimarka

Modeling of Natural Gas Demand Forecast with Artificial Neural Networks: The Example of Denmark

Abstract

The historical trajectory in the global energy structure presents the information that especially demand for natural gas and renewable energy is increasing. In this context, natural gas is one of the most important energy sources and is considered the cleanest energy source after renewable energy, as it is characterized by its high methane content (70-90%). At the same time, it is considered as a important bridge fuel in the transition to low-carbon energy systems, which is necessary for reducing global warming and solving the problem of climate change. In this context, in the foresight of a future in which the world is unsustainable, a series of policy measures should be taken under the leadership of energy resources. At the same time, these policy measures need to be strengthened by changes in the social behavior and preferences of countries' energy policies. Therefore, natural gas demand forecasting processes have a very important place in taking and implementing policy decisions regarding the natural gas energy source, which is in an increasing trend. In this context, the aim of the study is to estimate the annual natural gas demand of Denmark in the 2021-2050 period by following the Artificial Neural Networks methodology. For the purpose, data on natural gas consumption, natural gas production, natural gas imports, GDP, population and inflation variables for the 1984-2020 period were used. In the empirical evidence, the mean absolute percent error of the model has been shown to be a powerful, stable and effective method with a low error rate of 2.22. At the same time, scenario estimation results showed that natural gas demand will reach 2.25 billion m³ consumption in 2050.

Keywords: Natural Gas Demand, Forecast, Artificial Neural Networks, Denmark

* Dr., Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, guller.sahin@ksbu.edu.tr ORCID: 0000-0002-5987-359X

Giriş

Enerji talebi sadece ekonomik büyüme oranları ile değil, aynı zamanda yaşam kalitesi ve ekolojik çevrenin inşası ile de ilgilidir. Enerji yapısı temel olarak enerji tüketimi, kirletici emisyonlar ve karbon emisyonları yoluyla ekonomiyi etkilemektedir. Enerji girdisi, ekonomik gelişme için son derece önemli bir faktördür ve ülkelerin enerji yapısı, enerji girdisinin tahsisini yansıtmaktadır. Enerji yapısındaki değişim, enerji verimliliğini etkileyerek ülkelerin sürdürülebilir ekonomik büyüme amaçlarına yansımaktadır. Üç temel enerji kaynağı olan doğal gaz, petrol ve kömürün verimlilikleri, -sırasıyla- %57, %50 ve %27'dir. Dolayısıyla enerji yapısı, farklı konfigürasyon biçimlerine karşılık gelen toplam enerji verimliliğini oluşturmaktadır (Jiang vd., 2021, s. 1).

Küresel enerji talebi; yaşam standartlarının yükselmesi, artan refah, yüksek kentleşme oranları, hızlı ekonomik gelişme gibi faktörlere bağlı olarak artmaya devam etmektedir. Belirtilen faktörler, küresel enerji talebini son 25 yılda %30 oranında artırmıştır (BP, 2020, s. 6; Wang vd., 2018, s. 1). Geleneksel fosil bazlı enerji kullanımı, çevreye zarar veren ve küresel ısınmaya neden olan kirliliği açığa çıkarmaktadır (Wang vd., 2021, s. 1). Artan enerji talebi içerisinde enerji kaynaklarının dağılımı incelendiğinde, doğal gaz tüketiminin diğer fosil bazlı yakıtlara kıyasla yüksek verim, daha temiz, güvenli ve ucuz kaynak olma özelliklerine bağlı olarak arttığı görülmektedir (Bai ve Li, 2016, s. 571; Shaikh ve Ji, 2016, s. 25; Wang vd., 2018, s. 1). Aynı zamanda doğal gaz, küresel ısınmayı azaltmak için gerekli olan düşük karbonlu enerji sistemlerine geçişte çok önemli bir 'köprü yakıtı' olarak kabul edilmektedir (Stephenson vd., 2012, s. 452). Avantajları göz önüne alındığında doğal gaz, elektrik üretimi, ulaşım, endüstriyel imalat, ısınma, havacılık, kimya mühendisliği ve konut gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Geniş kullanım alanına bağlı olarak doğal gaz enerji kaynağı, son yıllarda sosyal ve ekonomik gelişmeler için temel faktörlerden biri haline gelmiştir (Bai ve Liu, 2016, s. 571; Panapakidis ve Dagoumas, 2017, s. 231; Sharma vd., 2021, s. 2).

Doğal gaz talep tahmini, ülkelerin özellikle enerji politikaları ve planlamalarının oldukça önemli bir yönünü oluşturmaktadır. Yanlış tahmin işlemleri, nihai tüketicileri ekonomik kayıplara maruz bırakabilmekte, tedarik zincirleri ve altyapı sistemlerinin yanlış yönetilmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle, doğal gaz talebinin doğru tahmin edilmesi, tüm piyasa katılımcılarının yerli üretim, yurt dışı tedarik sözleşmeleri ve altyapılarını daha iyi organize edebilmeleri açısından büyük önem taşımaktadır (Wang vd., 2018, s. 2). Bununla birlikte artan doğal gaz talebi ek yatırımlara neden olmaktadır. Yatırım etkisi, kabul edilebilir limitlerin ötesinde hata oranlarının oluşması durumunda talep tahmini açısından dengesizlikler yaratmaktadır. Tahmin hatalarının artması, talep tahmini dengesizliklerini de artırmaktadır. Bu

nedenle, kıt bir kaynak olan doğal gazın optimal kullanımı açısından tahminlerin doğru yapılması son derece önemlidir (Akpınar vd., 2017, s. 1). Doğal gaz tedarik sistemlerindeki temel amaç, doğal gazın kaynaktan nihai tüketiciye verimli ve güvenilir dağıtımınıdır. Birçok ülke için doğal gaz şebekesi, elektrik santrallerine, sanayiye, küçük ve orta ölçekli işletmelere ve evlere gaz sağlayan enerji tedarik altyapısının önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Dolayısıyla, tüketim miktarlarının doğru tahmini, dağıtıcı doğal gaz şebekelerinin ekonomik ve güvenilir bir şekilde işletilmesi açısından da gereklidir (Bai ve Liu, 2016, s. 571; Oliver vd., 2017, s. 1).

Enerji kaynaklarının tahminine ilişkin kapsamlı bir literatür taraması, literatürde özellikle elektrik talebinin tahminine yönelik yapılan araştırmaların yoğun olduğu bilgisini sunmaktadır. Daha sınırlı bir literatürü içeren doğal gaz talep tahmininin araştırıldığı çalışmalarda ise sıklıkla günlük verilerin kullanıldığı dikkati çekmektedir. Bu kapsamda, yıllık verilerin kullanıldığı bu çalışmanın mevcut literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, doğal gaz talebi tahmin işlemlerinin piyasadaki tüm aktörlerin farklılaştırılmış amaçları içerisindeki son derece önemli rolü çalışmanın önemine atfedilen bir diğer faktördür.

Doğal gaz enerjisi entegrasyon çalışmalarına genel bakışın dikkate değer bir istisnası, karmaşık enerji sistem çalışmalarının tasarlanmasında ve raporlanmasında en iyi uygulama kılavuzlarını ve ülke örneklerini önermeyi amaçlayan araştırmalar sunmaktır. Bu bağlamda çalışmada, hem enerji sistemi açısından geniş deneyime hem de güçlü enerji tedarikini sağlama hedeflerine sahip olan Danimarka örneği ele alınmaktadır. Aynı zamanda Danimarka'nın 2050 yılına kadar fosil yakıt bazlı enerji kaynaklarından bağımsız bir ülke olma konusundaki iddialı planı ülkenin örneklem kümesi olarak tercih edilmesinin bir diğer nedenidir.

Bu çalışmanın amacı, Danimarka'nın 1984-2020 dönem aralığına ait doğal gaz tüketimi, doğal gaz üretimi, doğal gaz ithalatı, GSYH, nüfus ve enflasyon değişkenlerine ilişkin veriler kullanılarak 2021-2050 dönemindeki yıllık doğal gaz talebinin tahmin edilmesidir. Tahmin işlemleri için literatürde sık kullanıma sahip Yapay Sinir Ağları (YSA) metodolojisi takip edilmiştir.

Çalışma, amaç doğrultusunda dört başlık altında örüntülenmektedir. Giriş bölümünün ardılı, birinci başlıkta birincil enerji tüketiminin küresel görünümü, ikinci başlıkta Danimarka'nın enerji yapısı açıklanmaktadır. Ardılı literatür incelemesi yapılmakta, dördüncü başlıkta ise çalışmanın ampirik analiz kısmına yer verilmektedir. Çalışma, sonuç bölümü ile tamamlanmaktadır.

1. Birincil Enerji Tüketimi: Küresel Görünüm

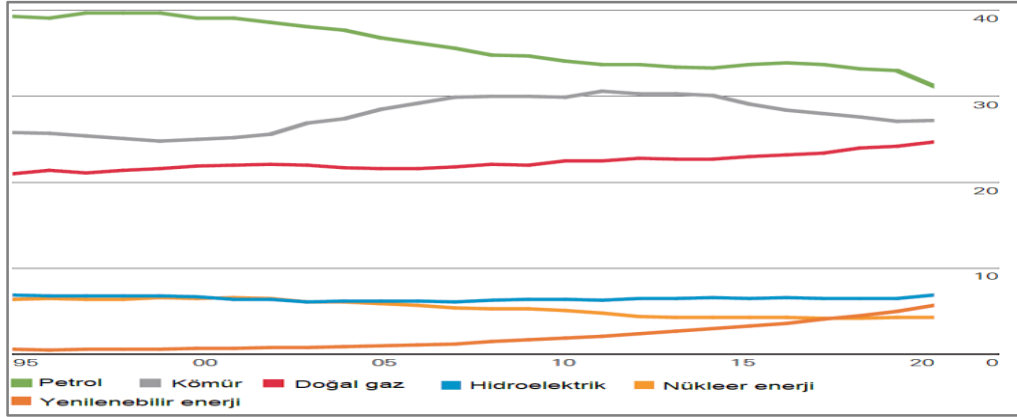
Küresel enerji talebi, artan refah ve yükselen yaşam standartlarının etkisi ile büyümeye devam etmektedir. Enerji tüketiminde ve enerjiye erişimde ise, önemli eşitsizlikler devam etmektedir. Küresel enerji sisteminin mevcut yapısı aşağıdaki eğilimlere sahiptir (BP, 2020, s.6-7; Pata, 2021, s. 197):

- a) Fosil enerji kaynaklarının çevresel bozulmanın kaynağı olması ve insan sağlığını tehlikeye atması, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi artırmaktadır.
- b) Enerji talep yapısı, yenilenebilir enerjinin artan payı ve elektriğin artan rolü ile birlikte dengelenen fosil yakıtların azalan rolüne bağlı olarak zamanla değişmektedir.
- c) Daha düşük karbonlu enerji sistemlerine geçiş süreci; daha çeşitli enerji kaynağı karışımı, daha yerel enerji piyasaları ve artan entegrasyon, daha fazla tüketiciye erişim ve rekabet seviyeleri sayesinde enerji sistemini yeniden yapılandıracak eğilim sergilemektedir.
- d) Petrol talebinin 30 yıl içerisinde düşmesi beklenmektedir. Bu düşüşün ölçeğinin ve hızının, karayolu taşımacılığının artan verimliliğinden ve elektrifikasyonundan kaynaklanacağı tahmin edilmektedir.
- e) Doğal gazın görünümü, petrolden daha esnektir. Doğal gaz talebinin karbondan arındırıp kömüre olan bağımlılıklarını azaltarak hızla büyüyen gelişmekte olan ekonomileri desteklemekteki rolü, karbon yakalama ve depolaması ile birleştiğinde sıfıra yakın bir karbon enerjisi kaynağı olmasıyla desteklenmektedir.
- f) Yenilenebilir enerji, rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesinin geliştirilmesinde ve yatırımlarında önemli artışlar doğrultusunda, 30 yıl içerisinde en hızlı büyüyecek enerji kaynağı varsayılmaktadır.
- g) Fosil yakıt tüketimi azaldıkça, biyoenerjinin öneminin artma eğiliminde olacağı varsayılmaktadır.

Küresel birincil enerji ihtiyacı %85 oranında fosil bazlı yakıtlardan karşılanmaktadır (Bakay and Ağbulut, 2021, s. 1). Dünya Enerji İstatistikleri Raporu, 2020 yılında toplam birincil enerji tüketiminin doğal gaz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkisinde güçlü bir şekilde arttığını göstermektedir. 2009-2019 zaman aralığı içerisindeki küresel birincil enerji tüketimi %1.9 oranında yükselmiştir. 2020 yılı birincil enerji tüketimi ise 2019 yılına göre %4.5 oranında bir azalma göstererek, 2009 yılından günümüze değin enerji tüketimindeki ilk düşüş olmuştur. Bu düşüşün nedeni, büyük ölçüde azalmanın yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ünü oluşturan petrolden (%9.7) kaynaklanmıştır. Yenilenebilir enerji (%9.7) ve hidroelektrik (%1) dışındaki tüm enerji

kaynaklarında tüketim azalmıştır (BP, 2021, s. 10-12). Şekil 1, 2020 yılında petrolün enerji karışımında en yüksek paya (%31.2) sahip olmaya devam ettiğini; kömürün, en büyük ikinci yakıt kaynağı olduğunu ve toplam birincil enerji tüketiminin %27.2'sini oluşturduğunu açıklamaktadır. Bununla birlikte fosil bazlı yakıtların enerji tüketiminde baskın enerji kaynağı olduğunu, sadece doğal gazın (%24.7) değil, aynı zamanda yenilenebilir enerjinin (%5.7) payının da rekor seviyelere ulaştığını göstermektedir.

Şekil 1. Küresel Birincil Enerji Tüketimi (%): 1995-2020

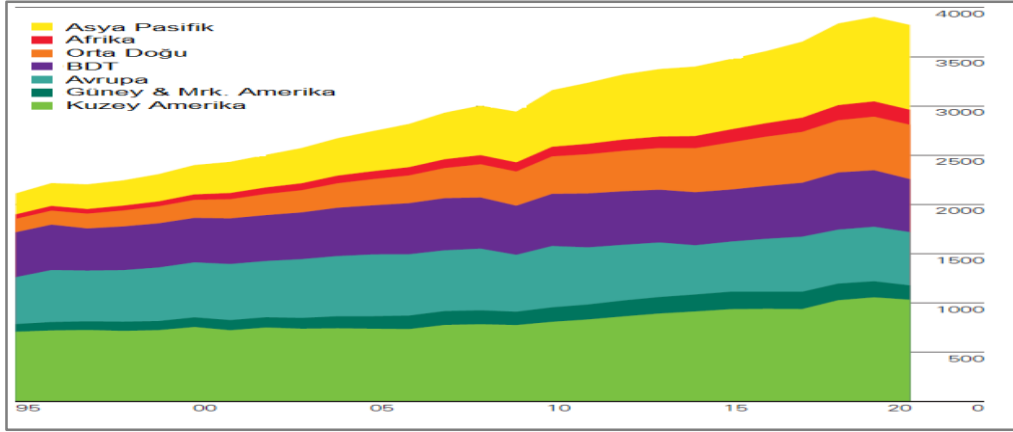


Kaynak: BP, 2021, s. 12.

Doğal gaz talebi, küresel enerji tüketiminin yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. 2009-2019 dönem aralığı içerisinde %2.9 oranında artan küresel doğal gaz talebi, 2020 yılında %2.3 azalarak yaklaşık 3.8 trilyon m³ olarak gerçekleşmiştir. En büyük düşüş Güney ve Merkezi Amerika'da (%11.1), en küçük düşüş ise Afrika'da (%1.8) kaydedilmiştir. Kuzey Amerika, Avrupa ve Bağımsız Devletler Topluluğu'nda gaz talebi -sırasıyla- %2.6, %2.5 ve %6.5 oranında düşmüştür. Buna karşılık, Orta Doğu'da %1.2 Asya Pasifik bölgesinde ise %0.1'lik artış yaşanmıştır (BP, 2021, s. 38).

Şekil 2 içerisine aktarılan bölgesel doğal gaz tüketimine ilişkin verilere göre, 2020 yılında en yüksek tüketimin Kuzey Amerika'da (1030.9 m³), en düşük tüketimin ise Güney ve Merkezi Amerika'da (145.6 m³) olduğu görülmektedir. Avrupa'da 541.1 m³ olarak gerçekleşen doğal gaz tüketimi, Bağımsız Devletler Topluluğu'nda 538.2 m³, Orta Doğu'da 552.3 m³, Afrika'da 153 m³, Asya Pasifik'te ise 861.6 m³ olarak gerçekleşmiştir (BP, 2021, s. 38).

Şekil 2. Bölgesel Bazda Doğal Gaz Tüketimi (milyar m³): 1995-2020



Kaynak: BP, 2021, s. 40.

Dünya enerji arzının önemli bir bileşeni olan doğal gaz talebi, özellikle 2014-2019 döneminde dünya genelinde önemli ölçüde artmıştır. Asya bölgesinin tetiklediği bu ivme, doğal gaz talebindeki artışın yaklaşık 1/3'ünü oluşturmuştur. Çin, bu dönemde en büyük gaz tüketicisi olmakla birlikte Hindistan, Japonya ve Güney Kore'deki ekonomik büyüme ile birlikte bu ülkelerdeki doğal gaz talebi de artmıştır. Rusya, doğal gaz talebindeki artışta önemli bir paya sahip olarak ilave doğal gaz talebinin yaklaşık 1/4'ini oluşturmuştur. Bu durum, Rusya'daki ekonomik büyümenin yanı sıra ısınma ihtiyacının artmasıyla birlikte tetiklenmiştir. Benzer bir eğilim Ortadoğu ülkelerinde de görülmüştür. İran ve Suudi Arabistan gibi ülkelerde de doğal gaz tüketimi yükselmiştir. Benzer bir etki, Mısır ve Nijerya gibi ülkelerde yerli üretim ve tüketimin artması nedeniyle Afrika pazarında da gözlenmiştir. Avrupa ülkeleri de gelişmiş ekonomileri, hidroelektrik ve nükleer enerji kullanılabilirliğinin azaltılması sayesinde küresel ölçekte doğal gaz tüketimindeki artışa katkıda bulunmuştur. İngiltere'de yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen sert rekabet ile doğal gaz tüketiminde düşüşler yaşanmıştır. Benzer şekilde Kuzey Amerika'da da düşük elektrik talebi, yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen rekabet ve nispeten yüksek hidroelektrik üretimi nedeniyle ilk kez düşüş görülmüştür (Sharma vd., 2021, s. 2). Aynı zamanda birçok ülke yenilenebilir enerji geliştirme stratejileri formüle etmiştir. Avrupa Birliği (AB), 2020 yılına kadar '%20 yenilenebilir enerji hedefi' belirlerken, Almanya ve Fransa -sırasıyla- %18 ve %23 hedefini belirlemişlerdir. Danimarka ise, fosil enerjiye olan bağımlılığını 2050 yılına kadar tamamen ortadan kaldırmak için büyük bir strateji önermiştir (Jiang vd., 2021, s. 2). Tüm Avrupa ülkeleri, artan enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları ile bu hedeflere uyum sağlamak için stratejiler tasarlamıştır (McKenna vd., 2021, s. 1).

2. Enerji Yapısı: Danimarka Görünümü

2009 yılında kabul edilen AB Direktifi, tüm AB üye ülkelerini yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmekle yükümlü hale getirmiştir. Danimarka için bu durum, 2020 yılına

kadar brüt enerji tüketiminin %30'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından gelmesi gerektiği anlamını taşımaktadır (Bojesen vd., 2015, s. 462-463). 2018'de kabul edilen AB Enerji Verimliliği Direktifi ile birlikte, 2021-2030 dönemi için birliğe üye devletlerde kümülatif enerji tasarrufu için bir hedef belirlenmiştir. Enerji tasarrufu, yeni politika önlemleri olmayan temel senaryoya göre kümülatif hedefi 2016-2018 döneminde ülkelerin ortalama nihai enerji tüketiminin %0.8'ine eşdeğer yıllık ortalama tasarrufa karşılık gelmektedir. Danimarka için Enerji Verimliliği Direktifi hedefi, 2021-2030 döneminde nihai enerji talebinde 275 petajoule kümülatif bir azalmayı yansıtmaktadır (Andersen, 2020, s. 1). Aynı zamanda 'AB 2050 Enerji Yol Haritası'nda doğal gaz enerji kaynağının, ara iklim hedeflerine ulaşmak için kilit rol oynayacağı varsayılmaktadır (Hagos ve Ahlgren, 2020, s. 2).

Enerji sistemi açısından gelişmiş bir görünüm ve uzun bir tarihsel deneyim sergileyen Danimarka'nın enerji görünümü aşağıdaki gibi özetlenmektedir (Karabiber ve Xydis, 2019, s. 2; Tschopp vd., 2020, s. 15).

- a) Enerji piyasasının, yenilenebilir enerjinin artan penetrasyonu tarafından domine edilmesi,
- b) Özellikle evlerin ısı tedarikinde mevcut merkezi ısıtma ağlarının yüksek pazar penetrasyonu,
- c) Merkezi ısıtma yükü ile güneş enerjisi ısı kaynağının yüksek uyumluluğu, önemli yaz yükü ve merkezi ısıtma tedarik noktalarının yakınında ucuz arazinin mevcudiyeti,
- d) Düşük merkezi ısıtma sıcaklık seviyeleri,
- e) Kömür ve doğal gazla çalışan birleşik ısı ve güç tesislerini daha az kârlı hale getiren fosil yakıtlar üzerindeki yüksek enerji vergileri, birleşik ısı ve güç tesisleri için düşük elektrik satış fiyatları,
- f) Güneş enerjisi verimliliğine dayalı sübvansiyon oranları ve enerji dağıtım şirketlerine yönelik ulusal emisyon ticaret sisteminde büyük ölçekli güneş enerjisi sistemleri için piyasaya dayalı sübvansiyonların varlığı,
- g) Kâr amacı gütmeyen oryantasyon, uzun vadeli yatırım vizyonu ve merkezi ısıtma kamu hizmetleri için ucuz kredilerin sağlanmasıdır.

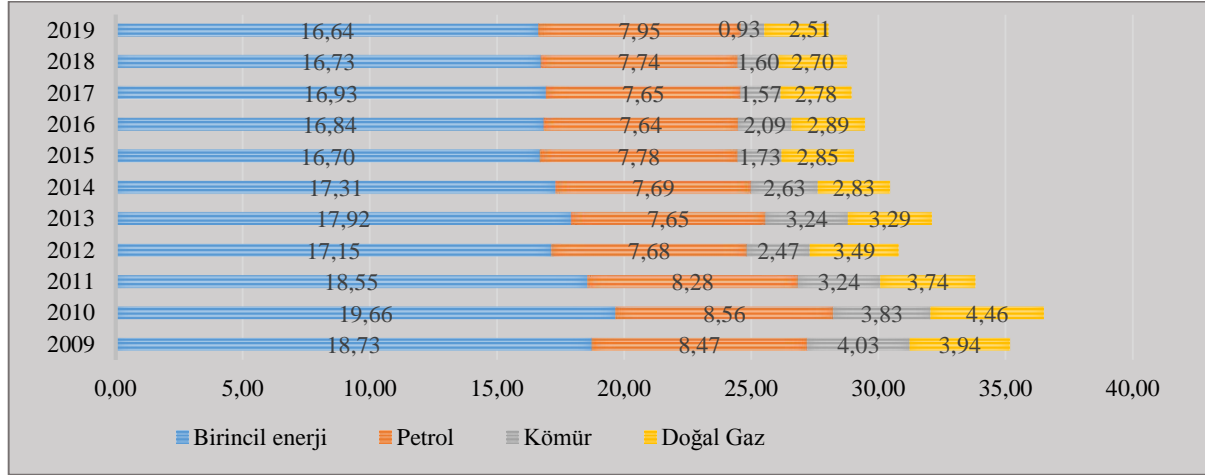
Yukarıda açıklanan bilgiler doğrultusunda, Danimarka hâlihazırda kapsamlı birleşik ısı ve güç sistemine, ülke çapında gelişmiş doğal gaz sistemine ve yüksek oranlarda rüzgâr enerjisi kullanımı deneyimine sahiptir (Meibom vd., 2013, s. 48).

Danimarka Hükümeti'nin 2050 yılına kadar fosil yakıtlardan bağımsız bir enerji sistemine ulaşma hedefi çerçevesinde genel bir değerlendirme; kömür tüketiminin son 30 yılda çok azaldığına, petrol ve doğal gazdaki değişimlerle kıyaslandığında bu azalışın marjinal

olduğuna, fosil yakıt miktarlarındaki düşüşlere rağmen bu yakıtların hala önemli enerji tüketim bileşenleri olduğuna, petrol üretiminde büyük petrol sahalarının önemine ve yenilenebilir enerji kullanımının arttığına işaret etmektedir (Karabiber ve Xydis, 2019, s. 2; Sällh vd., 2014, s. 336).

Şekil 3 içerisine aktarılan verilerin incelenmesi; Danimarka’da 2009-2019 döneminde birincil enerji, petrol, kömür ve doğal gazda yaşanan düşüşleri ifade etmektedir. Bu bağlamda en yüksek düşüş oranının kömürde, ardılı doğal gaz ve petrol tüketiminde olduğu izlenmektedir.

Şekil 3. Danimarka’da Birincil ve Fosil Bazlı Enerji Tüketimi: 2009-2019



Kaynak: BP, 2021 (<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>).

Danimarka, önemli kurulu üretim kapasitesi (yaklaşık 15 GW), boru hattındaki ek ara bağlantı projeleri (örneğin, 2016 yılında yapılan anlaşmaya göre Almanya ve Birleşik Krallık’a iki yeni bağlantı) ve komşu ülkelerle güçlü bağlantıları göz önüne alındığında yenilenebilir enerji üretiminin entegrasyonuna elverişli olarak görülmektedir (Pinson vd., 2017, s. 27).

Enerji üretim kaynaklarının dağılımını açıklayan Tablo 1’e göre; enerjinin yaklaşık %39’u rüzgâr enerjisi, %40.7’si ise fosil yakıtlar tarafından üretilmektedir. Dikkate değer bir diğer nokta, nükleer enerji üretiminin olmamasıdır.

Tablo 1. Üretim Kaynağına Göre Enerji Üretim Kapasitesi: 2019 yılı

Enerji Üretim Kaynağı	Kapasite (MW)	Kapasite (%)
Kömür	3.656	23.0
Doğal Gaz	1.814	11.4
Petrol	1.007	6.3
Rüzgâr	6.126	38.6
Güneş	1.014	6.4
Atık	384	2.4
Diğer yenilenebilir enerji	135	0.9
Biyokütle	1.722	10.9

Kaynak: Soini, 2021, s. 4.

Danimarka’da enerji geçiş sürecine ilişkin tarihsel izlek, 19. yüzyıla kadar uzanmaktadır. Ancak, enerji tasarrufu ve enerji verimliliği ile birleştirilmiş yenilenebilir enerjideki artış (1960’ların sonundan itibaren) ve nükleer enerjideki (1950’lerden başlayarak) azalışla birlikte; sürece ilişkin en önemli temeller, 1973 Petrol Krizi’nden sonra parlamentonun nükleer enerjiyi yasaklamaya karar verdiği 1985 yılına kadar geçen son derece dinamik, çeşitli ve geniş bir toplumsal süreçte atılmıştır (Soini, 2021, s. 4; Veenman vd., 2019, s. 3).

1973 yılındaki ilk Petrol Krizi’nden önce Danimarka enerji sistemi, neredeyse %100 fosil yakıtlara ve özellikle petrol ithalatına bağımlıydı. Petrol krizleri ekonomiyi ciddi şekilde etkileyerek ülkeyi kriz durumuna getirmiştir. Bu durum, parlamentoda enerji krizi ile ilgili mücadelede alternatif fikirlere karşı açık bir tutum yaratmıştır. Bu kapsamda yenilenebilir enerjinin istihdam yarattığı, ithalatı azalttığı ve enerji üzerinde nispeten sabit fiyatlar sağladığı gibi alternatif fikirleri ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte, Danimarka enerji sisteminin bir diğer özelliği fosil yakıtlara dayalı enerji arzı için mevcut sosyo-teknik bir altyapının mevcut olmasıdır. Enerji sistemi, maliyeti karşılanan kr amacı gütmeyen bir düzenleme rejimi kapsamında %100 tüketicisi ve belediyeye ait elektrik ve bölgesel ısıtma şirketlerinden oluşmaktaydı. Elektrik üreten rüzgâr trbınlerinin prototipleri ve daha büyük miktarda elektrik üreten rüzgâr trbınleri ile deneyler yapıldı, bu ise rüzgâr türbini sektörünün gelişmesine yol açtı. Buna paralel olarak, tarım sektörü için makine üreten birçok kk, yenilikçi şirketi ve zanaatkrı ile birlikte mevcut endüstriyel yapı, 19. ve 20. yüzyıllarda Danimarka’da özellikle yavaş bir sanayileşme süreci nedeniyle korunmuştur. Daha kk imalat şirketleri, nispeten çok sayıda kk ölçekli işletmenin yenilenebilir enerji teknolojilerini yerel olarak geliştirmesine yol açmıştır. Petrol Krizi sırasında refah devletinin rolü, sivil toplum kuruluşlarının ve bağımsız ağların çalışmaları için çok önemli olmuştur. 1993 yılına kadar işsizler, bir takım temel şartları yerine getirmeleri koşuluyla uzun yıllar işsizlik maaşı alabiliyorlardı. Bu nedenle, birçok işsiz aktivist ve kk girişimci, yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi gibi yenilikçi konularla tam zamanlı olarak meşgul olmuşlardır (Veenman vd., 2019, s. 4). Açıklanan tarihsel izlek Danimarka’daki enerji sisteminin gelişmesini sağlayarak, 2050 yılı hedefine temel oluşturmuştur.

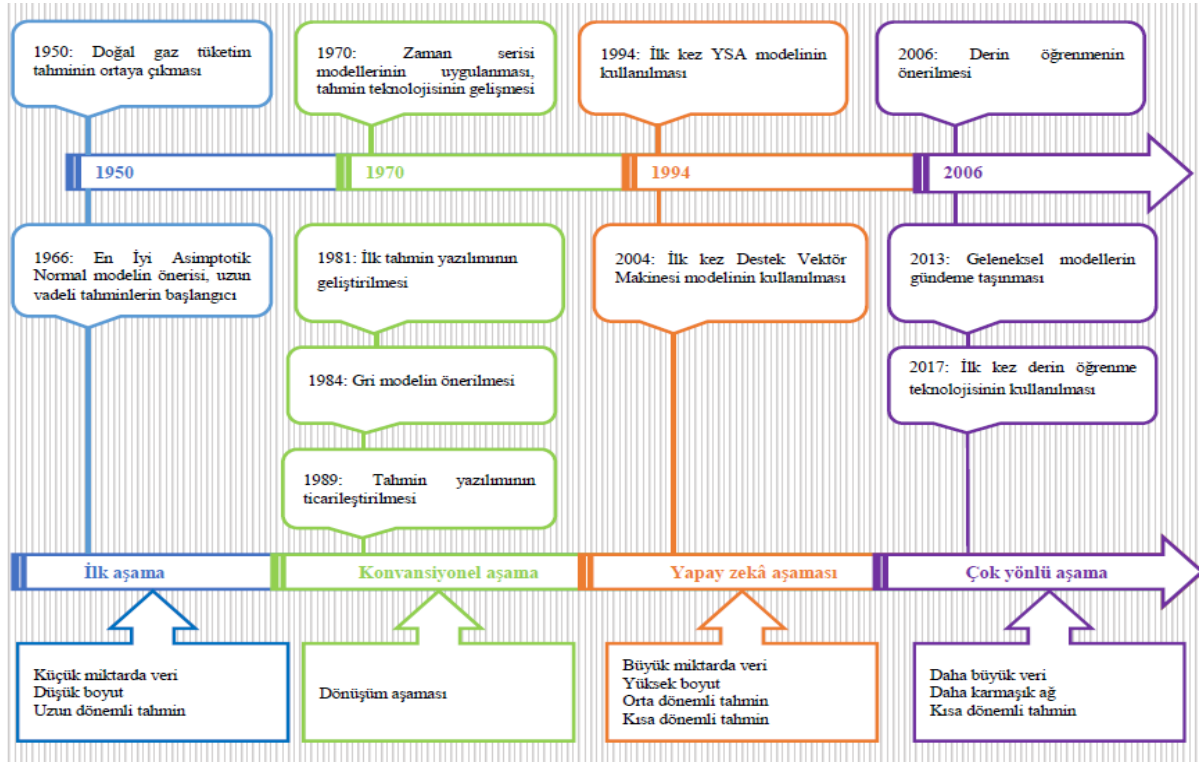
3. Literatür İncelemesi

Enerji tahmini ile ilgili literatürde, çalışma sayısı açısından genellikle elektrik enerjisi tahminlerinin baskın olduğu, doğal gaz enerjisi tahminlerinin ise daha az olduğu görülmektedir. Dolayısıyla doğal gaz tüketicisi tahmini ile ilgili literatür, elektrik tahminindeki kadar kapsamlı değildir. Bunun başlıca nedenleri, elektriğin çok daha az esnek bir meta olması, yani depolanmasının kolay olmaması ve doğal gaz boru hatlarındaki geniş basınç aralığına kıyasla

denge nin çok daha hassas olmasıdır. Ancak doğal gaz tahmininin piyasadaki ekonomik aktörler açısından öneminin artması üzerine, özellikle son yıllarda bu önemi yansıtan çalışmaların daha sık yapılmaya başlandığı görülmektedir (Hosovský vd., 2021, s. 3; Karabiber ve Xydis, 2021, s. 6-7). Doğal gaz talebinin tahmininde ise günlük doğal gaz talep tahminine dayalı birçok çalışma bulunmaktadır (Akpınar vd., 2017, s. 2). Talep tahmin işlemlerinde yıllık veriler kullanılarak yapılan çalışma sayısı ise azdır.

Doğal gaz tüketiminin tahmini üzerine ilk araştırmalar 1950’lerde başlamıştır. Doğal gaz tüketimi tahmininin ilk aşaması 1950-1970 yılları arasındadır. Geriye dönük hesaplama koşullarıyla sınırlı olan bu dönemde araştırmacılar, uzun vadeli doğal gaz tüketimini tahmin etmek için genellikle doğal gaz fiyatları, milli gelir, üretim ve ticaret hacmi gibi faktörlere dayanan basit yapısal istatistiksel modeller kurmuşlardır. Hubbert Eğrisi modeli, Üstel Ağırlıklı model, En Küçük Kareler (Least Squares-LS) modeli, Lojistik Regresyon modeli, Gompertz Eğrisi modeli gibi erken istatistik modelleri bu modellerden bazılarıdır (Liu vd., 2021, s. 3). Farklı dönemlerde kullanılan tahmin modellerinin özelliklerine göre doğal gaz talep tahmininin gelişim tarihi: İlk aşama (1950-1970), konvansiyonel aşama (1970-1994), yapay zekâ aşaması (1994-2006) ve çok yönlü aşama (2006’dan günümüze) olmak üzere dört aşamaya ayrılabilir. Şekil 4, doğal gaz tüketim tahminine ve tahmin tekniklerine ilişkin sistematik tarihsel bir genel bakış vermektedir.

Şekil 4. Doğal Gaz Tüketim Tahminine İlişkin Çalışmalarda Gelişim Aşamaları



Kaynak: Liu vd., 2021, s. 4.

Doğal gaz tüketimini tahmin etme çalışmaları geçen yüzyılın ortalarında başlamış, günümüze kadar çok sayıda yöntem tasarlanmış ve geliştirilmiştir. İlk etkili çalışma Hubbert (1949, 1956) tarafından yapılmıştır. Hubbert, fosil yakıt alanlarının ve nükleer enerjinin yaşam döngüsünü araştırmak için tamamen tükenebilir kaynakları içeren matematiksel ilişkilere dayanan ‘Hubbert Eğrisi’ modelini kurmuştur. Ardılı bu model, doğal gaz tüketimini tahmin etmek için standart model olarak kabul edilmiştir. Son yıllarda, ekonomik gelişme ve buna karşılık gelen enerji, özellikle de doğal gaz da dahil olmak üzere temiz enerji gereksinimleri nedeniyle, politika yapıcılara ve karar vericilere önceden değerli bilgileri net bir şekilde sunmak için giderek daha fazla metodoloji hızla ortaya çıkmıştır (Zheng vd., 2020, s. 2). Dolayısıyla, konu ile ilgili çalışmaların sayısında da artış yaşanmıştır.

Bu kapsamda literatürün güncel ampirik örneklerinden Wadud vd. (2011) Bangladeş üzerine yaptıkları çalışmalarında, 1981-2008 yılına ait doğal gaz fiyatı, GSYH, nüfus değişkenleri ile enerji talep modelini kullanarak, toplam doğal gaz talebinin uzun vadeli gelir esnekliğini yaklaşık 1.5 değerinde bulmuşlardır. Taşpınar vd. (2013) 2011-2014 dönem aralığına ait nem, atmosferik basınç, rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığı meteorolojik verilerini kullanarak, Sakarya’nın kısa dönemli doğal gaz tüketimini zaman serileri ve YSA ile tahmin etmişlerdir. Sonuçlar, önerilen algoritmanın kısa vadeli doğal gaz tüketimini tahmin etmek için iyi çalıştığını ve gelecekteki enerji yatırım politikası için anlamlı olduğunu göstermiştir. Karimi ve Dastranj (2014) İran’da günlük doğal gaz tüketimini genetik algoritma modeli ile inceleyerek, derece-gün, bağıl nem, yağış ve rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak tahmin etmişlerdir. Soldo vd. (2014) Hırvatistan’ın konut doğal gaz tüketimini sinir ağları ile tahmin ederek, analizlerde güneş radyasyonu verilerini kullanmanın daha iyi tahmin sonuçları elde etmeye yardımcı olduğunu gösteren bulgulara ulaşmışlardır. Szoplik (2015) Polonya’da doğal gaz tüketim tahminini takvim ve hava durumu faktörleri ile YSA metodolojisini izleyerek yapmış, çok katmanlı algılayıcı modelin yılın herhangi bir gününde ve günün herhangi bir saatinde gaz tüketimini tahmin etmede başarılı bir şekilde kullanılabileceğini bulmuştur.

Akpınar ve Yumusak (2016) Sakarya ilindeki doğal gaz talebini tahmin etmek için 2011-2014 dönemindeki mevsimsellik içeren konut ve düşük tüketimli ticari aylık verileri kullanmışlardır. Zaman serisi, Holt-Winters üstel düzeltme ve Bütünleşik Otoregresif Hareketli Ortalama yöntemlerine ait tahmin sonuçları; modelin hesaplama karmaşıklığı arttıkça, daha düşük hata oranlarına bağlı olarak tahmin doğruluğunun arttığını, tahmin hataları ve belirleme değerleri katsayılarının daha tutarlı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Ervural vd. (2016) İstanbul’un doğal gaz tüketiminin tahmininde Otoregresif Hareketli Ortalamalar modeli ile genetik algoritmayı birleştiren yeni bir tahmin yöntemi sunmuşlardır. Shaikh ve Ji (2016)

Çin'deki orta (2020) ve uzun (2035) dönemli doğal gaz talebini tahmin etmek için lojistik modelleme yapmışlardır. Tahmin sonuçları, doğal gaz talebinin orta vadede 330-370 milyar m³, uzun vadede ise 500-590 milyar m³ olacağını göstermiştir. Akpınar vd. (2017) Sakarya'da doğal gaz tüketiminin kısa dönemli tahmininde hanehalkı ve düşük tüketimli ticari kullanıcıların 2011-2014 yılları arasındaki verileri ile yapay arı kolonisi tabanlı YSA yöntemi üzerinde çalışmışlardır. Sonuçlar, yapay arı kolonisi tabanlı YSA'nın yaklaşık 14.9 ortalama mutlak yüzde hata (Mean Absolute Percentage Error-MAPE) ile düşük bir orana sahip olduğunu açıklamıştır. Pino-Mejías vd. (2017) Şili'deki ofis binalarının enerji talebi ve CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için YSA ile doğrusal regresyon modelleri geliştirmeye çalışmışlardır.

Chai vd. (2018) kentleşmenin gelecekteki doğal gaz tüketimi üzerinde etkisi olduğunu gösteren değişkenleri seçmek için ayrıştırma araçlarını ve istatistiksel testleri kullanmışlardır. Çin'in yıllık doğal gaz tüketimine ait tahmin modelinde Kısmi LS Regresyon sonuçları, düşük tahmin hatası verdiği için senaryo analizi olarak gösterilmiştir. Gascón ve Sánchez-Úbeda (2018) çalışmalarında, doğal gaz talebine ilişkin toplamsallık varsayımlarına ve parçalı doğrusal regresyona dayalı modeller için otomatik bir tanımlama prosedürü sunmuşlardır. Ampirik sonuçlarda, önerilen modelin doğruluğu ve sinir ağları gibi daha karmaşık yöntemlerle rekabet edebildiği görülmüştür. Liu vd. (2018) Çin'in 30 ilinde kent sakinlerinin doğal gaz tüketimini ve kişi başına doğal gaz tüketimini araştırmak için Genelleştirilmiş LS yöntemini kullanmışlardır. Senaryo tahmin sonuçları, Çin hanelerinde doğal gaz tüketiminin 2025 yılında 75.469 milyar m³'e ulaşacağını göstermiştir. Merkel vd. (2018) Amerika'da 62 alandaki günlük doğal gaz tüketimini gün, hafta, yıl ve sıcaklık değişkenlerini kullanarak derin sinir ağları yöntemi ile tahmin etmişlerdir. Önerilen derin sinir ağlarının, geleneksel YSA'dan %9.83 ağırlıklı MAPE değeri ile daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Özmen vd. (2018) Türkiye'nin doğal gaz tüketimini tahmin etmek için geliştirilmiş Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon ve Konik Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon modelini önermişler, MAPE değerini %4.8 olarak bulmuşlardır. Wang vd. (2018) çalışmalarında, Çin'de 2017-2025 yılları arasındaki doğal gaz tüketiminin düşük senaryo, referans senaryo ve yüksek senaryo olmak üzere üç senaryo üzerinden senaryo analizini yapmakta; Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması ile Dalgacık Sinir Ağı yöntemini birleştirerek Hibrit bir tahmin modeli önermektedirler. 1995-2006 dönemine ait GSYH, doğal gaz üretimi, hanehalkı tüketimi, kentleşme oranı, doğal gaz kullanan nüfus ve kentleşme oranlarının kullanıldığı tahmin işlemlerinin sonuçları düşük, referans ve yüksek senaryolarda doğal gaz tüketiminin -sırasıyla- 2020 yılında 342.70, 358.27, 366.42 milyon ton ve 2025 yılında ise 407.01, 437.95, 461.38 milyon ton olacağını göstermiştir. Wu ve Shen (2018) Çin'in yıllık doğal gaz tüketiminin

tahmininde 2004-2015 dönemine ait GSYH, birincil, ikincil ve üçüncül sanayi katma değeri, doğal gaz kullanan nüfus ve toplam enerji oranı değişkenlerini ele almışlardır. Sonuçlar, Gri analize dayalı LS Destek Vektör Makine modelinin daha iyi genelleme kabiliyetine ve eğitim etkisine sahip olduğunu; Ağırlıklı Uyarlanabilir İkinci Dereceden Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması ile optimize edilen Gri analize dayalı LS Destek Vektör Makine modelinin, Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması ve İkinci Dereceden Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması için optimize edilmiş modelden daha yüksek tahmin doğruluğuna sahip olduğunu açıklamıştır.

Lu vd. (2019) çalışmalarında, Çin'deki doğal gaz tüketiminin tahmin işlemleri için dört farklı algoritmayı entegre etmişler ve en düşük MAPE değerini %3.07 bulmuşlardır. Marziali vd. (2019) İtalya'nın günlük gaz tüketimini tahmin etmek için regresyon, Gauss Süreci, K-en yakın komşu, YSA ve Toroidal modellerini kullanmışlar, Gauss sürecinin diğer modellerden daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Sen vd. (2019) Türkiye'nin doğal gaz tüketiminin tahmininde tanımlayıcı değişken olarak sosyo-ekonomik göstergeleri kullanarak farklı çoklu regresyon modelleri kurmuşlardır. Bu değişkenler arasında GSYH ve enflasyon, tahminler için anlamlı değişkenler olarak bulunmuştur. Doğal gaz tüketiminin kademeli olarak yılda 1.3 ± 0.2 milyar m^3 aralığında artarak, 2025 yılında 64.0 ± 3.5 milyar m^3 tüketime ulaşacağı öngörülmüştür. Wei vd. (2019) Çin'in günlük doğal gaz tüketimini tahmin etmek için Yaşam Genetik algoritması ile Destek Vektör Regresyon modellerini birleştirmişlerdir. Tahmin sonucunun mutlak hatası, genetik algoritma modeline göre yaklaşık %50 oranında iyileştirilmiştir. Ye vd. (2019) Çin'deki petrol ve doğal gaz tüketiminin tahmininde doğal gaz fiyatı, gelir, boru uzunluğu, doğal gaza erişimi olan nüfus, hane büyüklüğü, enerji ikamesi, ortam sıcaklığı ve merkezi ısıtma gibi değişkenlerle optimize edilmiş ayırık modele dayalı yeni bir Hibrit tahmin modeli geliştirmişlerdir.

Karabiber ve Xydis (2020) Danimarka'da dört alt ağın doğal gaz tüketimini tahmin etmek için tahmin modellerini karşılaştırmışlardır. Önerilen modellerle, mevcut Energinet tahmincisine kıyasla her alt ağ için %34'ten %72'ye kadar değişen bir hata azalması sağlanmıştır. Tek değişkenli bir modelle karşılaştırıldığında, veri açısından zengin modellerin %20-%47 daha düşük hata oranı gösterdiği; güneş radyasyonu kullanılan veri setlerinin tahmin doğruluğu açısından etkisiz olduğu ifade edilmiştir. Wang ve Li (2020), Çin'in doğu, orta ve batı bölgelerindeki doğal gaz talebini, GSYH, endüstri yapısı, çevre koruma mekanizması, kentleşme oranı, nüfus yoğunluğu, enerji tüketim yoğunluğu ve enerji tüketim yapısı dâhil olmak üzere 7 potansiyel etkiden üç ana önemli faktörü seçmek için Gri İlişki analizi yöntemini benimsemişlerdir. 2025 yılına kadar, söz konusu üç bölgedeki doğal gaz talebinin -sırasıyla-

yaklaşık 244, 64 ve 100 milyar m³ olacağını hesaplamışlardır. Zheng vd. (2020), Çin'deki doğal gaz tüketiminin tahmininde geleneksel Gri modelin tahmin doğruluğunu test etmişlerdir. Ampirik kanıtlar, önerilen yeni Gri modelin yaygın olarak kullanılan geleneksel gri modellerden daha iyi tahmin performansına sahip olduğunu göstermiştir. Danimarka üzerine yaptıkları bir diğer çalışmada Karabiber ve Xydis (2021), doğal gaz iletim sisteminin uzun vadeli istikrarı ve güvenliği hakkında analitik bir açıklama sunmuşlardır. Çift mevsimselliği destekleme seçeneği, farklı dışsal değişkenler, gün öncesi tahmin için uygunluk ve kullanım kolaylığı uygulamaları için uygun model seçiminin belirlenmesine odaklanmışlardır. Peng vd. (2021) Londra'nın kısa vadeli gaz tüketimini tahmin etmek için üç farklı modeli entegre eden yeni bir birleşik model önermişlerdir. Sonuçlar, Yerel Ortalama Ayırıştırma, Dalgacık Eşiği Gürültü Giderme ve Uzun Kısa Süreli Bellek yöntemlerinin mükemmel performans gösterdiğini, tahmin süresi 20 gün olduğunda MAPE değerinin %11.63 oran ile diğer yöntemlere kıyasla en düşük olduğunu açıklamıştır.

Literatürün güncel teorik örneklerinden Liu vd. (2021) çalışmalarında, doğal gaz talep tahmin teknolojisine ilişkin literatürün kapsamlı bir örneğini sunmuşlardır. Çalışmada, doğal gaz talep tahmininin tarihi gözden geçirilmekte ve tahmin teknolojisindeki değişiklikleri etkileyen faktörler ve tahmin performansları tartışılmaktadır. İnceleme sonuçları, bilgisayar bilimi ve yapay zekâ teknolojisinin gelişmesinden etkilenen kısa vadeli tahminlerin en hızlı büyüyen tahmin ufku olduğunu, ardılı uzun vadeli ve orta vadeli tahminlerin takip ettiğini göstermektedir. Bununla birlikte, uzun vadeli tahminlerin temel olarak üretim, nüfus ve ekonomik değişkenlerden; orta vadeli tahminlerin genellikle ekonomik ve sıcaklık değişkenlerinden etkilendiği belirtilmektedir. Kısa vadeli tahminleri etkileyen faktörler ise temel olarak sıcaklık değişkenlerine, hava durumuna ve tarih tipine bağlanmaktadır. Ayrıca, veri özelliklerinin, model özelliklerinin ve tahmin sonuçlarının istatistiksel analizi, zaman serisi modellerinin uzun vadeli tahmin için en iyi modeller olduğunu ortaya koymaktadır. Uzun vadeli tahminde en düşük MAPE değerinin %1.90 olduğu açıklanmaktadır. Orta ve kısa vadeli tahminlerde, yapay zekâ tabanlı modellerin en iyi performansı sunduğu belirtilmektedir. Bunlar arasında orta vadeli tahminler için %2.21 oranında YSA modellerinin, kısa vadeli tahminler için ise %4.98 oranında Destek Vektör Regresyon modellerinin tercih edildiği söylenmektedir.

4. Ampirik Analiz

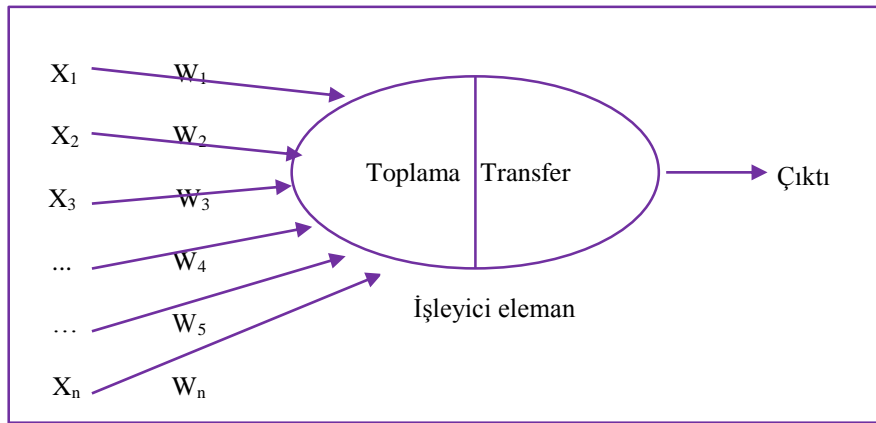
Bu çalışmada, Danimarka'nın 2021-2050 dönem aralığındaki yıllık doğal gaz talebi yapay sinir ağları metodolojisi takip edilerek tahmin edilmektedir.

4.1. Yapay Sinir Ağları Metodolojisi

YSA, biyolojik sinir sistemlerinden esinlenilerek tasarlanmış bir makine öğrenme modelidir. İnsan beyninin çalışma mekanizmasını modelleyerek, öğrenerek, hatırlayarak ve genelleyerek yeni bilgiler edinme yeteneğine sahiptir. Sınıflandırma, tahmin, optimizasyon, regresyon ve örüntü tanıma gibi birçok uygulama alanına sahip olan YSA'nın mimari yapısı; giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanından meydana gelmektedir (Bakay ve Ağbulut, 2021, s. 5). YSA parametrelili doğrusal haritalar ve sabit eleman bazında doğrusal olmayan haritaların birbirinin yerine geçecek şekilde bileşiminden oluşmaktadır. YSA'ların önemli bir yönü, gizli bir katmana sahip olarak doğrusal olmayan bir çıktı işlevi elde edilebilmesidir. İleri beslemeli bir sinir ağında, bilgi geriye doğru değil bir katmandan sonraki katmanlara doğru taşınmaktadır. Ağın eğitimi olarak adlandırılan her çalıştırmada bağlantıların ağırlıkları güncellenmektedir. YSA, gaz talebi tahmininde sık kullanıma sahip başarılı bir modeldir ve tatmin edici tahmin doğruluğu sağladığı görülmektedir (Hribar vd., 2019, s. 516; Karabiber ve Xydis, 2021, s. 17).

Bir yapay sinir ağı, en az iki nöron katmanından oluşur. Şekil 5'te basit bir yapay sinir hücresinin yapısı görselleştirilmektedir. Katmanların uygun boyutu, hesaplama yükü ve tahmine dayalı performans arasında optimum dengenin elde edilmesini sağlamaktadır (Ogliari vd., 2021, s. 1468).

Şekil 5. Basit Bir Yapay Sinir Hücresinin Yapısı



Kaynak: Ülkü ve Yalpır, 2021, s. 193.

YSA'nın avantajları arasında doğrusal olmama, genelleme, öğrenme, hata toleransı, uygulanabilirlik, eksik verilerle çalışabilme, paralellik ve uyum yeteneği bulunmaktadır. Dezavantajları arasında ise donanıma bağlı olması, ağın davranışlarının açıklanamaması, belirli bir kural olmadığı için probleme uygun ağ yapısının belirlenmesinde deneme-yanılma yapılması, geniş veri seti gereksinimi, ağın eğitiminin ne zaman biteceğine ilişkin karar verilmesinde belirli bir yöntem olmaması, uygulamanın zor ve karmaşık olması sayılmaktadır (Ülkü ve Yalpır, 2021, s. 193).

4.2. Materyal

Doğal gaz tüketimi; GSYH, gaz fiyatları, gaz üretim miktarı, ekonomik yapı, kişi başına tüketim, gaza erişimi olan nüfus, tüketilen enerji oranı gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Wang vd., 2018, s. 8). Bu çalışmanın girdi değişkenlerinin tercihinde Liu vd. (2021), Sen vd. (2019), Wadud vd. (2011), Wang vd. (2018), Wang ve Li (2020), Wu ve Shen (2018) tarafından yapılan araştırmalarda kullanılan girdi değişkenleri kombine edilmiştir. Bu kapsamda açıklanan ve açıklayıcı değişkenlere ilişkin vektörel gösterim aşağıdaki gibi kurulmuştur:

$$DGT = f(DGÜ, DGİ, YET, GSYH, N, KN, İ, E, S) \quad (1)$$

Denklik 1’de yer alan *DGT*, doğal gaz tüketimini (milyar m³); *DGÜ*, doğal gaz üretimini (milyar m³); *DGİ*, doğal gaz ithalatını (gigajoule); *YET*, yenilenebilir enerji tüketimini (gigajoule); *GSYH*, kişi başına gayri safi yurtiçi hasılayı (sabit, 2010 ABD \$); *N*, nüfusu (toplam); *KN*, kentsel nüfusu (toplam nüfusun %’si); *İ*, işgücüne katılım oranını (%15+ yaş, toplam nüfusun %’si); *E*, enflasyonu (yıllık, %); *S* ise sanayi katma değerini (*GSYH*’nin %’si) açıklamaktadır. *DGT ve DGÜ* verilerine, Britanya Petrol Şirketi’nin; *DGİ ve YET* verilerine Danimarka İstatistik Kurumu’nun; *GSYH, N, KN, İ, E ve S* verilerine ise Dünya Bankası’nın dünya gelişme göstergeleri web sitesinden ulaşılmıştır. Analiz işlemleri, SPSS ve EViews paket programları içerisinde yer alan işlemlere dayalı olarak yapılmıştır.

4.3. Bulgular

Denklik 1 içerisinde yer alan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistiklere ilişkin bilgiler Tablo 1 içerisinde yer almaktadır. Tanımlayıcı istatistiklere ilişkin inceleme; %95 güven düzeyinde H_0 hipotezinin reddedilemediğini (JB eşik değ. = ~ 6) ve model içerisinde yer alan değişkenlerin normal dağılım sergilediğini ifade etmektedir. Bu bağlamda değişkenler için normalizasyon işlemi yapılmamıştır.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

İstatistikler	DGT	DGU	DGI	YET	GSYH	KN	N	I	E	S
Ortalama	3.608422	5.918412	25050706	42793033	53980.11	85.86649	5399792.	64.91892	2.238035	21.80165
Maksimum	5.440918	10.91301	38716844	81234305	65867.00	88.12000	5831404.	68.12000	6.290779	23.65271
Minimum	0.117803	0.241860	7324264.	24957300	40130.84	84.24000	5111619.	61.26000	0.250000	19.70492
Std. Hata	1.471590	2.939214	8675303.	19177311	7442.177	1.220724	227424.5	2.171315	1.358098	1.089961
Jarque-Bera	2.360126	1.649924	2.007439	4.493982	2.928026	3.943507	2.589611	2.341815	6.270693	3.759612
Olasılık	0.307259	0.438252	0.366514	0.105717	0.231306	0.139213	0.273951	0.310085	0.043485	0.152620
Gözlem	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37

Korelasyon analizi, değişkenler arasındaki olası ilişkilerin yönünü ve bu ilişkinin derecesini ölçmekte, sonuçların güvenilirliği açısından önem taşımaktadır. Korelasyon katsayısı ise, açıklayıcı değişkendeki değişikliklerin açıklanan değişkende değişikliklere yol

açıp açmayacağını göstererek bir parametrenin tahmin yeteneklerinin anlaşılmasında yardımcı olmaktadır. Açıklanan değişkendeki değişimin yönü katsayının işaretine bağlıdır. Bu bağlamda katsayı pozitif ise, açıklanan değişken açıklayıcı değişkenle aynı yönde; katsayı negatif ise, açıklanan değişken açıklayıcı değişkenin tersi yönde hareket etmektedir. Düşük korelasyon katsayısı, iki değişken arasında ilişkinin zayıf olduğunu ya da ilişki olmadığını göstermektedir. Yüksek korelasyon katsayısı ise, açıklayıcı değişken değiştiğinde açıklanan değişkenin genellikle değişeceğini belirtmektedir (Wang vd., 2018, s. 9). Tablo 3, değişkenler arasındaki korelasyonun genel karar aralığını açıklamaktadır.

Tablo 3. Değişkenler Arasındaki Genel Karar Aralığı

Korelasyon Mutlak Değeri	Korelasyon Düzeyi	Korelasyon Mutlak Değeri	Korelasyon Düzeyi
$ r = 1$	Doğrusal	$ r > 0.95$	Önemli
$ r \geq 0.8$	Güçlü	$0.5 \leq r \leq 0.8$	Orta
$ r < 0.8$	Zayıf	$ r = 0$	İlişki yok

Kaynak: Wang vd., 2018, s. 9.

Açıklanan değişken üzerine kurulan Pearson korelasyon matrisine ait çözümlene bulgularının aktarıldığı Tablo 4 incelendiğinde; -0.01 ve 0.05 anlamlılık düzeylerinde- doğal gaz tüketimi ile doğal gaz üretimi, doğal gaz ithalatı, GSYH, nüfus ve enflasyon açıklayıcı değişkenleri arasında ilişki olduğu; buna karşılık yenilenebilir enerji tüketimi, kentsel nüfus, işgücüne katılım oranı ve sanayi katma değeri açıklayıcı değişkenleri arasında ise ilişki olmadığı görülmektedir. Doğal gaz tüketiminin korelasyon düzeyinin güçlü ve önemli olduğu değişkenler, doğal gaz üretimi (0.95) ve doğal gaz ithalatı (0.95) değişkenleridir. GSYH'nin (0.60) korelasyon düzeyi orta; enflasyon (0.45) ve nüfus (0.33) değişkenlerinin ise zayıftır. Bununla birlikte doğal gaz tüketimi parametresi; doğal gaz üretimi, doğal gaz ithalatı, GSYH ve nüfus parametreleri ile aynı yönlü, enflasyon parametresi ile ters yönlü hareket etmektedir.

Tablo 4. Pearson Korelasyon Analizi Bulguları

	DGT	DGÜ	DGİ	YET	GSYH	N	KN	İ	E	S
Pearson										
Korelasyon	1	0.945**	0.949**	0.135	0.600**	0.327*	0.219	-0.233	-0.454**	-0.078
DGT										
Sig. (2-tailed)		0.000	0.000	0.427	0.000	0.048	0.192	0.165	0.005	0.645
N	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37

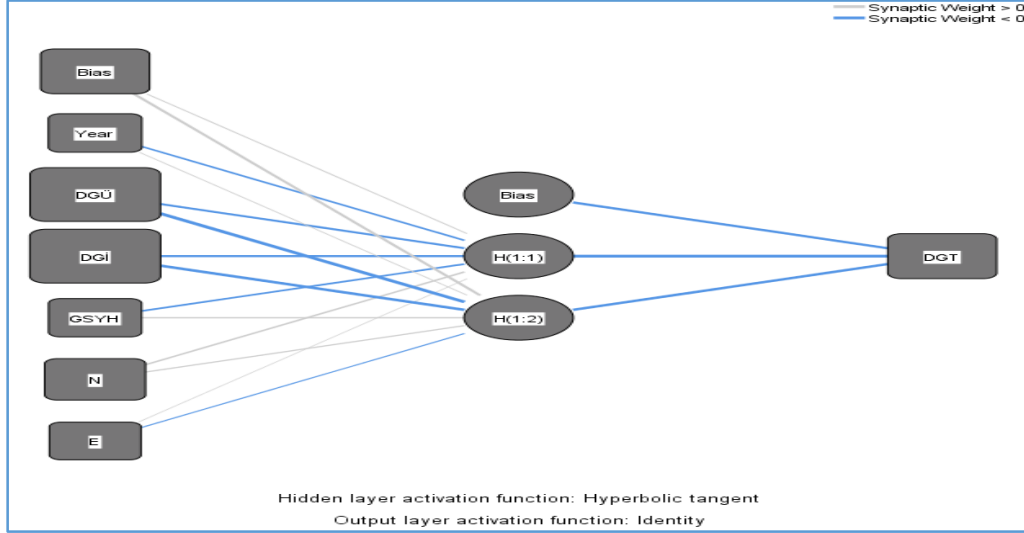
NOT: ** simgesi 0.01 düzeyindeki anlamlılık derecesi, * simgesi ise 0.05 düzeyindeki anlamlılık derecesidir.

Danimarka'nın 2021-2050 yılları arasındaki doğal gaz tüketiminin tahmininde YSA modelinde kullanılan açıklayıcı değişkenlerin tercih işlemi, Pearson korelasyon analizi bulgularına göre belirlenmiştir. Bu doğrultuda modelde kullanılan değişkenler için vektörel gösterim aşağıdaki gibidir:

$$DGT = f(DGÜ, DGİ, GSYH, N, E) \quad (2)$$

Ampirik analize dâhil edilen toplam veri sayısı ($N = n * T$) 222'dir. Şekil 6, bu çalışmada benimsenen YSA modelinin konfigürasyonunu göstermektedir.

Şekil 6. YSA Model Konfigürasyonu



Model içerisine dâhil edilen 25 verinin %70'i eğitim verisi, %30'u ise test verisi olarak kullanılmıştır. Açıklayıcı değişkenlerin önem dereceleri Tablo 5 içerisine aktarılmıştır. Bu doğrultuda en yüksek önem derecesine sahip parametrenin doğal gaz ithalatı, en düşük önem derecesine sahip parametrenin ise enflasyon olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Açıklayıcı Değişkenlerin Önem Dereceleri: 1984-2020

Değişken	Önem	Normalize edilmiş değer
Yıl	0.053	%14.2
DGÜ	0.370	%99.1
DGİ	0.374	%100
GSYH	0.050	%13.4
N	0.116	%31.1
E	0.037	%9.9

Çalışmada YSA modelinin tahmin performansının ve öngörü doğruluğunun ölçümü için, önerilen ortalama mutlak yüzde hata benimsenmiştir. MAPE istatistiğinin hesaplama formülü aşağıdaki gibidir (Wang vd., 2018, s. 11):

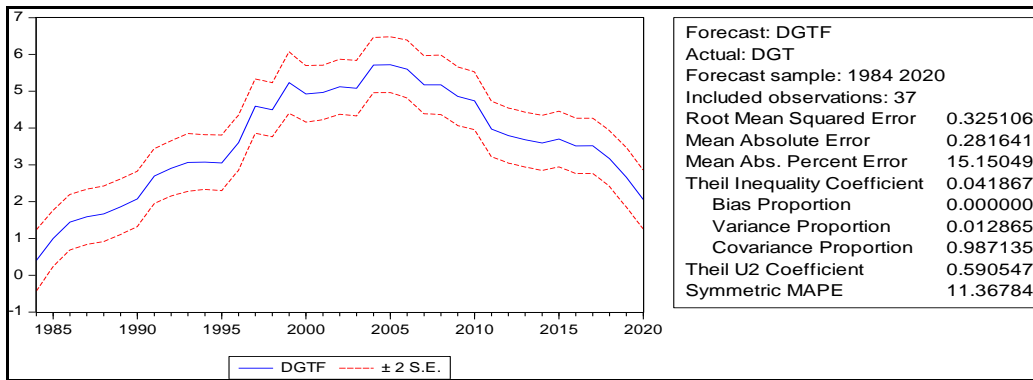
$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^n \left| \frac{Y_n - O_n}{Y_n} \right| \quad (3)$$

Formüldeki N , gözlem sayısını; Y_n , doğal gaz tüketiminin gerçek değerlerini; O_n ise doğal gaz tüketiminin tahmini değerlerini açıklamaktadır. Doğal gaz tüketiminin gerçek, tahmini (MLP) ve fark (Δ) değerleri Tablo 6 içerisinde gösterilmektedir. Modelin R_2 değeri 0.95, $F_{ist.}$ değeri ise 117.40 ($prob = 0.000$)'dir.

Tablo 6. Doğal Gaz tüketiminin Gerçek, Tahmini ve Fark Değerleri: 1984-2020

Yıl	DGT	MLP	Δ	Yıl	DGT	MLP	Δ
1984	0.12	0.33	0.21	2003	5.44	5.12	-0.32
1985	0.67	0.71	0.04	2004	5.42	5.29	-0.13
1986	1.20	1.17	-0.03	2005	5.20	5.33	0.13
1987	1.52	1.41	-0.11	2006	5.30	5.31	0.01
1988	1.85	1.66	-0.19	2007	4.75	5.12	0.37
1989	1.97	2.00	0.03	2008	4.77	5.25	0.48
1990	2.10	1.85	-0.25	2009	4.58	4.75	0.17
1991	2.43	2.69	0.26	2010	5.18	4.82	-0.36
1992	2.55	2.95	0.40	2011	4.35	4.31	-0.04
1993	2.87	2.90	0.03	2012	4.06	4.06	0.00
1994	3.21	3.24	0.03	2013	3.83	3.60	-0.23
1995	3.71	3.24	-0.47	2014	3.29	3.44	0.15
1996	4.38	3.91	-0.47	2015	3.31	3.50	0.19
1997	4.57	4.84	0.27	2016	3.37	3.27	-0.10
1998	4.93	4.74	-0.19	2017	3.23	3.43	0.20
1999	5.17	5.25	0.08	2018	3.14	3.08	-0.06
2000	5.10	5.17	0.07	2019	2.92	2.77	-0.15
2001	5.33	5.11	-0.22	2020	2.30	2.25	-0.05
2002	5.38	5.18	-0.20				

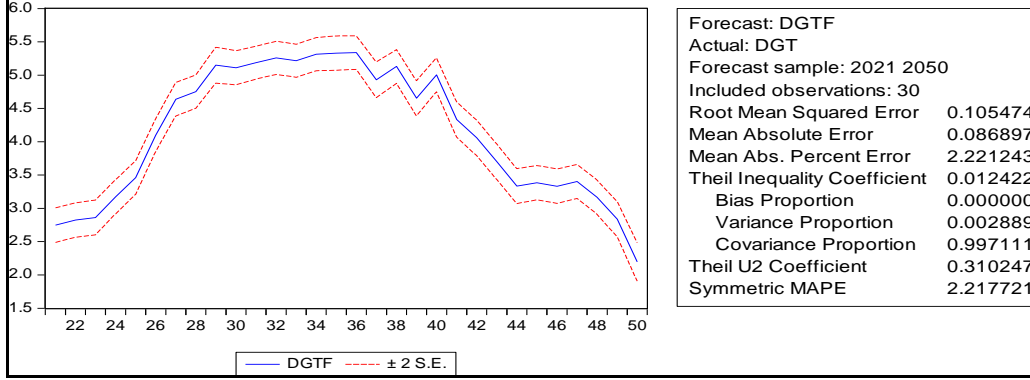
Şekil 7, doğal gaz tüketimine ait 1984-2020 dönem aralığındaki tahmin değerlerinin trend ve hata istatistik değerlerinin bilgisini vermektedir. RMSE, MAE ve MAPE metrik değerlerinin -sırasıyla- yaklaşık 0.33, 0.28 ve 15.15 olduğu görülmektedir.

Şekil 7. Doğal Gaz Tüketiminin Trendi ve Hata İstatistik Değerleri: 1984-2020

Doğal gaz tüketiminin 2021-2050 dönem aralığına ilişkin tahmin değerlerinin trend ve hata istatistik değerleri Şekil 8 içerisine aktarılmıştır. Modele ait R_2 değeri 0.99, $F_{1st.}$ değeri ise 412.96 ($prob = 0.000$)'dır. Bu bağlamda, modelin açıklama gücünün oldukça yüksek ve kurulan modelin anlamlı olduğu ifade edilmektedir. RMSE, MAE ve MAPE metrik değerleri,

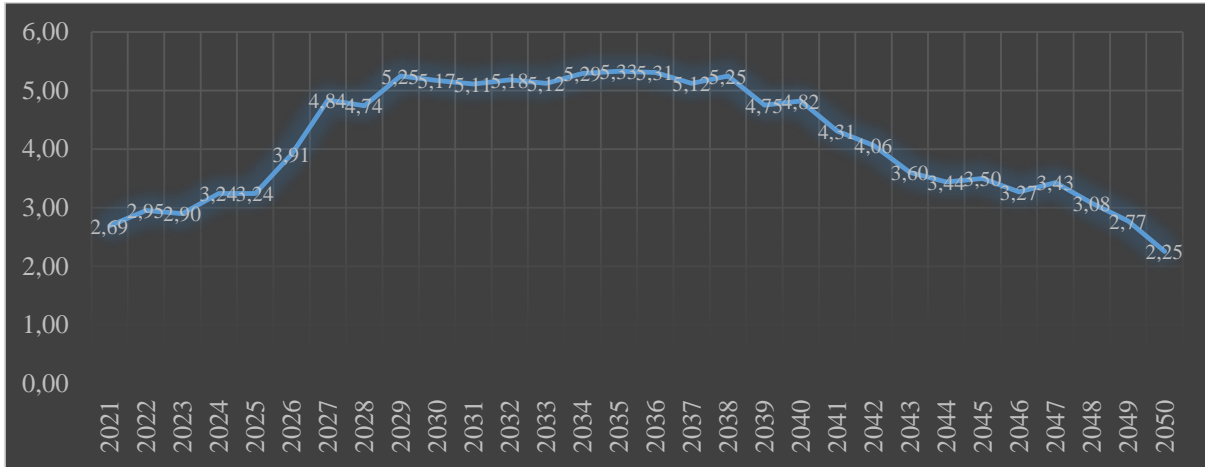
-sırasıyla- yaklaşık 0.11, 0.09 ve 2.22'dir. MAPE değerinin %10'nun altında olan tahmin modellerinin yüksek doğruluk derecesine sahip olduğunu ifade eden literatür sonuçlarına göre, kurulan tahmin modeli yüksek doğruluk derecesine sahiptir.

Şekil 8. Doğal Gaz Tüketiminin Trendi ve Hata İstatistik Değerleri: 2021-2050



Şekil 9, Danimarka'nın 2021-2050 dönem aralığı içerisindeki doğal gaz talebine ilişkin tahmini değerleri göstermektedir. Bu kapsamda ampirik analiz bulgularına göre, 2021 yılında 2.69 milyar m³ gerçekleşmesi beklenen doğal gaz talebinin 2050 yılında 2.25 milyar m³ olacağı varsayılmaktadır.

Şekil 9. Doğal Gaz Tüketiminin Tahmini Değerleri: 2021-2050



Sonuç

Enerji kaynaklarına ilişkin güçlü tahmin işlemleri, enerji sistemi planlamasının dayandığı temel süreçtir. Farklı enerji projelerinin tasarım, uygulama ve değerlendirme aşamalarında enerji talebi, piyasa fiyatları, yakıt rezervleri gibi kilit değişkenlerin tahminleri oldukça önemlidir. Enerji piyasalarındaki serbestleşme ve doğal gaz ünitelerinin kömür santrallerine kıyasla düşük sermaye maliyeti, piyasadaki aktörler için fırsatlar yaratmakta, bu durum ise doğal gaz projelerine çok sayıda yatırım yapılmasına yol açmaktadır. Aynı zamanda artan çevre bilinci ve enerji güvenliğinin önemi, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasıyla birlikte bu eğilimi kolaylaştırmıştır. Bu nedenle doğal gaz talebi, enerji karışımında önemli bir

taşıyıcıdır ve birçok uygulamada doğru tahmin edilmesi temel öneme sahiptir (Panapakidis ve Dagoumas, 2017: 231). Doğal gaz hizmet operasyon grupları, satın alma ve işletme kararlarını vermek için güvenilir kısa vadeli doğal gaz yükü tahminlerine bağlıdır. Yanlış kısa vadeli tahminler, doğal gaz hizmetleri ve müşterileri için maliyetlidir. Düşük tahminler, bir doğal gaz kuruluşunun spot piyasadan çok daha yüksek bir fiyattan gaz satın almasına neden olabilir. Aşırı tahminler ise, fazla gazı depolamak için yeni doğal gaz kuruluşları gerektirebilir (Merkel vd., 2018: 2). Dolayısıyla tahmin işlemlerindeki hata oranlarının yüksek olması, önemli ekonomik maliyetlere ve aksamalara yol açabilir.

Bu çalışmada, 2050 karbon nötr hedeflerine ulaşmada fosil bazlı yakıtlardan bağımsız bir gelecek hedefleyen Danimarka'nın olası doğal gaz tüketim davranışı analiz edilmektedir. Amaç, Danimarka'nın doğal gaz tüketiminde tarihsel deneyiminin gelecekteki gelişime uygulandığı olası bir gelecek tüketim profili oluşturmaktır. Parametrelerin başarılı ve kapsamlı bir şekilde incelenmesi ve karşılaştırmalı amaçlar için bağımsız bir tahminin oluşturulması, karar vericiler ve politika yapıcılar için faydalı olabilir.

Amaç kapsamında Danimarka'nın 2021-2050 dönem aralığındaki doğal gaz talep tahmini literatürde sık kullanıma sahip Yapay Sinir Ağları analizi ile modellenmiştir. Korelasyon analizi sonuçları, doğal gaz talebine ilişkin açıklayıcı parametreler olarak 1984-2020 dönemindeki doğal gaz üretimi, doğal gaz ithalatı, GSYH, nüfus ve enflasyon parametrelerinin kullanılmasını önermiştir. Ampirik kanıtlar, modelin ortalama mutlak yüzde hatasının 2.22 düşük bir hata oranına sahip güçlü, kararlı ve etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte senaryo tahmin sonuçları, Danimarka'nın doğal gaz talebinin 2050 yılında 2.25 milyar m³ tüketime ulaşacağını öngörmüştür.

Kaynaklar

- Akpınar, M., Adak, F. M., & Yumusak, N. (2017). Day-ahead natural gas demand forecasting using optimized ABC_based neural network with sliding window technique: The case study of regional basis in Turkey. *Energies*, *10*(781), 1-20.
- Akpınar, M., & Yumusak, N. (2016). Year ahead demand forecast of city natural gas using seasonal time series methods. *Energies*, *9*(727), 1-17.
- Bai, Y., & Li, C. (2016). Daily natural gas consumption forecasting based on a structure-calibrated support vector regression approach. *Energy and Buildings*, *127*, 571-579.
- Bakay, M. S., & Ağbulut, Ü. (2021). Electricity production based forecasting of greenhouse gas emissions in Turkey with deep learning, support vector machine and artificial neural network algorithms. *Journal of Cleaner Production*, *285*, 1-18.
- Bojesen, M., Skov-Petersen, H., & Gylling M. (2015). Forecasting the potential of Danish biogas production - Spatial representation of Markov chains. *Biomass and Bioenergy*, *81*, 462-472.
- BP, British Petroleum. (2020). Energy Outlook: 2020 edition, 1-157.
- BP, British Petroleum. (2021). Statistical Review of World Energy 70th edition, 1-69.
- BP, British Petroleum. (2021). <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (erişim tarihi: 21.09.2021).
- Chai, J., Liang, T., Lai, K. K., Zhang, Z. G., & Wang, S. (2018). The future natural gas consumption in China: Based on the LMDI-STIRPAT-PLSR framework and scenario analysis. *Energy Policy*, *119*, 215-225.
- Denmark Statistical Office. (2021). <https://www.dst.dk/en/Statistik/emner/miljoe-og-energi> (erişim tarihi: 04.09.2021).
- Ervural, B. C., Beyca, O. F., & Zaim, S. (2016). Model estimation of ARMA using genetic algorithms: A case study of forecasting natural gas consumption. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *235*, 537-545.
- Gascón, A., & Sánchez-Úbeda, E. F. (2018). Automatic specification of piecewise linear additive models: application to forecasting of natural gas demand. *Statistics and Computing*, *28*(1), 201-217.
- Hagos, D. A., & Ahlgren, E. O. (2020). Exploring cost-effective transitions to fossil independent transportation in the future energy system of Denmark. *Applied Energy*, *261*, 1-20.
- Hosovský, A., Pitel, J., Adámek, M., Mizáková, J., & Zidek K. (2021). Comparative study of week-ahead forecasting of daily gas consumption in buildings using regression

- ARMA/SARMA and genetic-algorithm-optimized regression wavelet neural network models. *Journal of Building Engineering*, 34, 1-20.
- Hribar, R., Potocnik, P., Silc, J., & Papa, G. (2019). A comparison of models for forecasting the residential natural gas demand of an urban area. *Energy*, 167, 511-522.
- Hubbert, M. K. (1949). Energy from fossil fuels. *Science*, 109(2823), 103-109.
- Hubbert, M. K. (1956). *Nuclear energy and the fossil fuel*. Drilling and Production Practice, American Petroleum Institute, New York, USA.
- Jiang, P., Yang, H., Li, H., & Wang Y. (2021). A developed hybrid forecasting system for energy consumption structure forecasting based on fuzzy time series and information granularity. *Energy*, 219, 1-14.
- Karabiber, O. A., & Xydis, G. (2019). Electricity Price Forecasting in the Danish Day-Ahead Market Using the TBATS, ANN and ARIMA Methods. *Energies*, 12(928), 1-29.
- Karabiber, O. A., & Xydis, G. (2020). Forecasting day-ahead natural gas demand in Denmark. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 76, 1-25.
- Karabiber, O. A., & Xydis, G. (2021). A review of the day-ahead natural gas consumption in Denmark: starting point towards forecasting accuracy improvement. *International Journal of Coal Science & Technology*, 8(1), 1-22.
- Karimi, H., & Dastranj, J. (2014). Artificial neural network-based genetic algorithm to predict natural gas consumption. *Energy Systems*, 5(3), 571-581.
- Liu, G., Dong, X., Jiang, Q., Dong, C., & Li, J. (2018). Natural gas consumption of urban households in china and corresponding influencing factors. *Energy Policy*, 122, 17-26.
- Liu, J., Wang, S., Wei, N., Chen, X., Xie, H., & Wang, J. (2021). Natural gas consumption forecasting: A discussion on forecasting history and future challenges. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 90, 1-20.
- Lu, H., Azimi, M., & Iseley, T. (2019). Short-term load forecasting of urban gas using a hybrid model based on improved fruit fly optimization algorithm and support vector machine. *Energy Reports*, 5, 666-677.
- Marziali, A., Fabbiani, E., & Nicolao, G. D. (2019). Short-term Forecasting of Italian Residential Gas Demand. *Computer Science, Mathematics*, <https://arxiv.org/pdf/1902.00097v1.pdf>, 1-17.
- McKenna, R., D'Andrea, M., & González M. G. (2021). Analysing long-term opportunities for offshore energy system integration in the Danish North Sea. *Advances in Applied Energy*, 4, 1-16.

- Meibom, P., Hilger, K. B., Madsen, H., Vinther, D., & Vinther D. (2013). Energy Comes Together in Denmark: The Key to a Future Fossil-Free Danish Power System. *IEEE Power and Energy Magazine*, 11(5), 46-55.
- Merkel, G. D., Povinelli, R. J., & Brown, R. H. (2018). Short-term load forecasting of natural gas with deep neural network regression. *Energies*, 11(2008): 1-12.
- Ogliari, E., Guilizzoni, M., Giglio, A., & Pretto S. (2021). Wind power 24-h ahead forecast by an artificial neural network and an hybrid model: *Comparison of the predictive performance. Renewable Energy*, 178, 1466-1474.
- Oliver, R., Duffy, A., Enright, B., & O'Connor R. (2017). Forecasting peak-day consumption for year-ahead management of natural gas networks. *Utilities Policy*, 44, 1-11.
- Özmen, A., Yilmaz, Y., & Weber, G.-W. (2018). Natural gas consumption forecast with MARS and CMARS models for residential users. *Energy Economics*, 70, 357-381.
- Panapakidis, I. P., & Dagoumas, A. S. (2017). Day-ahead natural gas demand forecasting based on the combination of wavelet transform and ANFIS/genetic algorithm/neural network model. *Energy*, 118, 231-245.
- Pata, U. K. (2021). Linking renewable energy, globalization, agriculture, CO₂ emissions and ecological footprint in BRIC countries: A sustainability perspective. *Renewable Energy*, 173, 197-208.
- Peng, S., Chen, R., Yu, B., Xiang, M., Lin, X., & Liu, E. (2021). Daily natural gas load forecasting based on the combination of long short term memory, local mean decomposition, and wavelet threshold denoising algorithm. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 95, 1-10.
- Pino-Mejías, R., Fargallo, A. P., Rubio-Bellido, C., & Arcas, J. A. P. (2017). Comparison of linear regression and artificial neural networks models to predict heating and cooling energy demand, energy consumption and CO₂ emissions. *Energy*, 118, 24-36.
- Pinson, P., Mitridati, L., Ordoudis, C., & Østergaard, J. (2017). Towards Fully Renewable Energy Systems: Experience and Trends in Denmark. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 3(1), 26-35.
- Sällh, D., Höök, M., Grandell, L., & Davidsson, S. (2014). Evaluation and update of Norwegian and Danish oil production forecasts and implications for Swedish oil import. *Energy*, 65, 333-345.
- Sen, D., Günay, M. E., & Tunç, K. M. M. (2019). Forecasting annual natural gas consumption using socio-economic indicators for making future policies. *Energy*, 173, 1106-1118.

- Sharma, V., Cali, Ü., Sardana, B., Kuzlu, M., Banga, D., & Pipattanasomporn, M. (2021). Data-driven short-term natural gas demand forecasting with machine learning techniques. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 206, 1-12.
- Shaikh, F., & Ji, Q. (2016). Forecasting natural gas demand in China: Logistic modelling analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 77, 25-32.
- Soini, V. (2021). Wind power intermittency and the balancing power market: Evidence from Denmark. *Energy Economics*, 100, 1-11.
- Soldo, B., Potocnik, P., Simunovic, G., Saric, T., & Govekar, E. (2014). Improving the residential natural gas consumption forecasting models by using solar radiation. *Energy and Buildings*, 69, 498-506.
- Stephenson, E., Doukas, A., & Shaw, K. (2012). Greenwashing gas: Might a 'transition fuel' label legitimize carbon-intensive natural gas development? *Energy Policy*, 46, 452-459.
- Szoplik, J. (2015). Forecasting of natural gas consumption with artificial neural networks. *Energy*, 85, 208-220.
- Taşpınar, F., Çelebi, N., & Tutkun, N. (2013). Forecasting of daily natural gas consumption on regional basis in Turkey using various computational methods. *Energy and Buildings*, 56, 23-31.
- Tschopp, D., Tian, Z., Berberich, M., Fan, J., Perers, B., & Furbo, S. (2020). Large-scale solar thermal systems in leading countries: A review and comparative study of Denmark, China, Germany and Austria. *Applied Energy*, 270, 1-19.
- Ülkü, H., & Yalpır, Ş. (2021). Enerji talep tahmini için metodoloji geliştirme: 2030 yılı Türkiye örneği. *NÖHÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1): 188-201.
- Veenman, S., Sperling, K., & Hvelplund, F. (2019). How future frames materialize and consolidate: The energy transition in Denmark. *Futures*, 114, 1-10.
- Wadud, Z., Dey, H. S., Kabir, M. A., & Shahidul, I. K. (2011). Modeling and forecasting natural gas demand in Bangladesh. *Energy Policy*, 39(11), 7372-7380.
- Wang, D., Liu, Y., Wu, Z., Fu, H., Shi, Y., & Guo, H. (2018). Scenario analysis of natural gas consumption in China based on wavelet neural network optimized by particle swarm optimization algorithm. *Energies*, 11(825), 1-16.
- Wang, J., & Li, N. (2020). Influencing factors and future trends of natural gas demand in the eastern, central and western areas of China based on the grey model. *Natural Gas Industry B* 7, 2020, 473-483.
- Wang, Y., Zou, R., Liu, F., Zhang, L., & Liu, Q. (2021). A review of wind speed and wind power forecasting with deep neural networks. *Applied Energy*, 304, 1-24.

- Wei, N., Li, C., Peng, X., Li, Y., & Zeng, F. (2019). Daily natural gas consumption forecasting via the application of a novel hybrid model. *Applied Energy*, 250, 358-368.
- World Bank. (2021). <https://databank.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG/1ff4a498/Popular-Indicators> (erişim tarihi: 04.09.2021).
- Wu, Y.-H., & Shen, H. (2018) Grey-related least squares support vector machine optimization model and its application in predicting natural gas consumption demand. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 338, 212-220.
- Ye, J., Dang, Y., Ding, S., & Yang, Y. (2019). A novel energy consumption forecasting model combining an optimized DGM (1, 1) model with interval grey numbers. *Journal of Cleaner Production*, 229, 256-267.
- Zheng, C., Wu, W.-Z., Jiang, J., & Li, Q. (2020). Forecasting Natural Gas Consumption of China Using a Novel Grey Model. *Wiley Hindawi Complexity*, 2020, 1-9.