



T.C.

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANABİLİM DALI

ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**SÜRDÜRÜLEBİLİR GELECEK İÇİN GEÇİŞ YAKITI: DOĞAL GAZIN ROLÜ VE
HANEHALKINA YANSIMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HANDAN TÜRKMEN

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. ABDULBAKİ BİLGİÇ

BİLECİK, 2025

10713854

T.C.

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANABİLİM DALI

ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**SÜRDÜRÜLEBİLİR GELECEK İÇİN GEÇİŞ YAKITI: DOĞAL GAZIN ROLÜ VE
HANEHALKINA YANSIMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HANDAN TÜRKMEN

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. ABDULBAKİ BİLGİÇ

BİLECİK, 2025

10713854

BEYAN

Sürdürülebilir Gelecek İçin Geçiş Yakıtı: Doğal Gazın Rolü Ve Hanehalkına Yansıması başlıklı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazım aşamasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, [Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehberine](#) uygun olarak tez/dönem projemi hazırladığımı, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel etik kurallarına uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, çalışmamın herhangi bir kısmının başka bir tez/dönem projesi olarak sunulmadığını, aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Handan Türkmen

.../.../...

İmza:

ÖN SÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca her türlü bilimsel desteği sağlayan, tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimiyle bana yol gösteren, değerli zamanından fedakârlık göstererek tecrübelerini esirgemeyen, tezimin planlanmasında, yürütülmesinde ve tamamlanmasında büyük emeği olan kendisiyle çalışmaktan onur duyduğum, çok kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Abdülbaki BİLGİÇ'e,

Tezimin değerlendirilmesi sürecinde bilgi ve deneyimleriyle katkıda bulunan, yapıcı eleştirileri ve önerileriyle çalışmamın kalitesini artıran değerli jüri üyeleri Sayın Prof. Dr. Vedat CENGİZ ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ALKARA'ya,

Yüksek Lisans eğitimimin ilk gününden itibaren ekip ruhu oluşturarak enerjisiyle ufkumu açan, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen çok değerli Endüstriyel Sürdürülebilirlik Ana Bilim Dalı Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Şenay BALBAY'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca beni hep destekleyen, yanımda olan, emeklerini asla ödeyemeyeceğim ve her daim varlıklarından güç aldığım çok kıymetli anneme, babama ve her konuda desteğini daima hissettiren çok kıymetli sevgili eşim Fatih TÜRKMEN'e, küçük yürekleriyle büyük destekler veren canım oğullarım Yusuf Talha ile Yunus Emre'ye ve

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'ndeki hocalarıma ve arkadaşlarıma, sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Handan Türkmen

2025

ÖZET

Kentleşme sürecinin hız kazanması, doğal çevre üzerinde derin ve geri dönüşü zor etkiler bırakmaktadır. İnsan faaliyetlerinin yol açtığı çevresel bozulma, özellikle iklim değişikliği çerçevesinde kritik bir boyuta ulaşarak ekosistemler üzerinde yıkıcı sonuçlar doğurmaktadır. Bu çalışma, hanehalklarının ve hane reislerinin sosyo-demografik ve ekonomik özelliklerinin doğal gaz harcama olasılığı ile koşullu ve koşulsuz harcama düzeyleri üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 1 Ocak - 31 Aralık 2022 tarihleri arasında gerçekleştirilen hanehalkı Bütçe Anketi'nden elde edilen, 11,296 hanehalkına ait geniş çaplı veri seti kullanılmıştır. Analiz sürecinde, kalıntı bağımlı iki değişkenli Çift Engel Sansür Modeli uygulanarak derinlemesine bir değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen bulgular, hane reisi'nin ve hanehalkı'nın sosyo-ekonomik profillerinin doğal gaz tüketim eğilimi ve koşullu ve koşulsuz harcama düzeyleri üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Özellikle hane reisi'nin medeni durumu (evli veya dul olması), yaşanan konut tipi (ikiz ev veya diğer konut türleri), konutun banka ve sağlık merkezlerine yakınlığı, haftalık toplam hanehalkı harcaması, binanın yaşı, oda sayısı ve konutun genişliği gibi faktörlerin, doğal gaz harcama olasılığını ve harcama miktarını anlamlı bir şekilde artırdığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, söz konusu profildeki hanehalklarının daha yüksek doğal gaz tüketimine yöneldiğini ve dolayısıyla karbon emisyonlarını artırarak çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir risk oluşturduğunu göstermektedir. Bu çalışma, belirlenen değişkenler ışığında politika yapıcılara yönelik uygulanabilir ve etkili öneriler geliştirmiştir. Kentleşmenin çevre üzerindeki baskısını azaltmak ve daha sürdürülebilir bir enerji yönetimi sağlamak adına, yeşil enerjiye geçişin teşvik edilmesi, enerji verimliliğini artıran düzenlemelerin hayata geçirilmesi ve çevre dostu politikaların benimsenmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Çalışmanın sunduğu bulgular, sürdürülebilir kentleşme ve enerji politikalarının oluşturulması noktasında yol gösterici nitelikte olup, çevreye duyarlı bir gelecek inşa etme çabalarına önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Türkiye , CO₂, doğal gaz, hanehalkı harcaması, sürdürülebilirlik

ABSTRACT

The acceleration of the urbanization process has profound and difficult-to-reverse effects on the natural environment. Environmental degradation caused by human activities has reached a critical level, particularly within the framework of climate change, leading to devastating consequences for ecosystems. This study aims to comprehensively analyze the effects of the socio-demographic and economic characteristics of households and household heads on the probability of natural gas expenditure, as well as on conditional and unconditional expenditure levels. In this context, an extensive dataset covering 11,296 households, obtained from the Household Budget Survey conducted by the Turkish Statistical Institute (TURKSTAT) between January 1 and December 31, 2022, was utilized. During the analysis process, a residual-dependent bivariate Double-Hurdle Censored Model was applied for an in-depth evaluation. The findings reveal that the socio-economic profiles of household heads and households play a decisive role in natural gas consumption tendencies and conditional and unconditional expenditure levels. Specifically, factors such as the marital status of the household head (being married or widowed), the type of residence (semi-detached house or other housing types), the proximity of the residence to banks and healthcare centers, the total weekly household expenditure, the age of the building, the number of rooms, and the size of the residence significantly increase both the probability of natural gas expenditure and the amount spent. These results indicate that households with these profiles tend to have higher natural gas consumption, thereby increasing carbon emissions and posing a significant risk to environmental sustainability. This study has developed applicable and effective recommendations for policymakers in light of the identified variables. To reduce the environmental pressure of urbanization and ensure more sustainable energy management, the study emphasizes the necessity of promoting the transition to green energy, implementing regulations that enhance energy efficiency, and adopting environmentally friendly policies. The findings of this study serve as a guide for shaping sustainable urbanization and energy policies, contributing significantly to efforts to build an environmentally conscious future.

Keywords: Turkey, CO₂, natural gas, household expenditure, sustainability

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. DOĞAL GAZ.....	5
2.1. Enerji Kaynağı Olarak Doğal Gazın Tarihiçesi	5
2.2. Türkiye ve Dünya’da Hanehalkı Doğal Gaz Kullanımının tarihçesi	9
2.3. Hanehalkında Doğal Gazın Önemi ve Kullanım alanları.....	11
3. DOĞAL GAZ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI	14
3.1. Sürdürülebilir Enerji Nedir?	14
3.2. Sürdürülebilir Enerji Teknolojileri ve Yenilikleri	16
3.2.1. Yüzen Güneş Enerjisi Çiftlikleri	16
3.2.2. Hidrojen Yakıt Hücreleri	16
3.2.3. Dalga ve Gelgit Enerjisi	17
3.2.4. Mikro Şebekeler	17
3.2.5. Enerji Depolama Yenilikleri	17
3.3. Sürdürülebilir Enerji Teknolojilerinin Küresel Etkileri	17
3.4. Sürdürülebilirlik Bağlamında Doğal Gazın Rolü.....	18
4. DOĞAL GAZIN ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	21
4.1. Karbon Salınımı ve Küresel Isınma.....	21
4.1.1. CO ₂ Emisyonları ve Küresel Isınma	21

4.1.2. Fosil Yakıtların Rolü ve Elektrik Santralleri.....	21
4.1.3. Karbon Yakalama Teknolojileri	21
4.1.4. Diğer Sera Gazları	21
4.1.5. Biyokütle ve Tarım Faaliyetleri.....	21
4.2. CO ₂ Emisyon Kaynakları ve Önleme Yöntemleri.....	22
4.3. CO ₂ Emisyonlarının Sektörel Dağılımı ve Etkileri	23
4.4. Mevcut CO ₂ Emisyon Eğilimleri	23
4.5. Sanayilerde CO ₂ Emisyonunun Azaltılması	23
4.5.1. Güç Üretimi	23
4.5.2. Çimento Endüstrisi	24
4.5.3. Petrokimya Tesisleri	24
4.5.4. Demir ve Çelik Endüstrisi	25
4.6. Uluslararası CO ₂ Emisyon Sözleşmeler	25
4.7. Doğal Gazın Temiz Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi	25
4.8. Metan Kaçakları ve Çevresel Sorunlar	27
5. LİTERATÜR ÖZETİ	30
6. MATERYAL VE METODLAR	35
6.1 Materyal	35
6.2 Metod.....	35
6.2.1. Katılım Denklemi	35
6.2.2. Sonuç Denklemi.....	36
7. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	38
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKÇA	58

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 7.1. Bağımlı ve açıklayıcı değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri.....	38
Tablo 7.2. Bağımsız değişkenlere göre aylık doğal gaz harcamalarının tanımlayıcı istatistikleri.....	40
Tablo 7.3. Çift engel sansür regresyon denkleminin tahmincileri ve istatistikleri.....	48
Tablo 7.4. Açıklayıcı değişkenlerin hanehalkı doğal gaz harcama olasılığı ve harcama düzeyleri üzerindeki marjinal etkileri.....	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kanıtlanmış doğal gaz rezervlerinin bölgelere göre dağılımı.....	6
Şekil 2.2. Dünya çapında 10 ülkenin kanıtlanmış gaz rezervleri (tcm).....	6
Şekil 2.3. On ülkeye göre dünya doğal gaz üretimi (bcm).....	7
Şekil 2.4. Yıllara göre dünya doğal gaz tüketimi (bcm)	7
Şekil 2.5. Küresel doğal gaz tüketimi ve yıllık büyüme hızı	9
Şekil 2.6. Birincil enerjinin küresel tüketim yapısı.....	10
Şekil 2.7. Amerika Birleşik Devletleri'nde hane başına günlük gaz tüketimi ve sıcaklıktaki mekânsal ve zamansal dalgalanmalar	12
Şekil 3.1. Enerji Kaynaklarının Gruplandırılması.....	16
Şekil 4.1. Fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan küresel ısınma ve iklim değişikliğinin evrimi	22
Şekil 4.2. Metan emisyonlarının kategorileri	27

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

- ASEAN:** Güneydoğu Asya Uluslar Birliği
- BOTAŞ:** Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi
- CAPP:** Kanada Petrol Üreticileri Birliği
- CCS:** Karbon Yakalama Ve Depolama
- CCUS:** Karbon Yakalama, Kullanımı Ve Depolanması
- CERI:** Kanada Enerji Araştırma Enstitüsü
- DSÖ:** Dünya Sağlık Örgütü
- EPAC:** Kanada Kaşifler ve Üreticiler Birliği
- FCC:** Akışkan Katalitik Çatlatma
- GSS:** Genel Sağlık Sigortası
- ICERM:** Enerji Azaltma Modeli
- IEA:** Uluslararası Enerji Ajansı
- IPCC:** Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
- IPIECA:** Küresel petrol ve gaz endüstrisi derneği
- LDAR:** Sızıntı Tespit Ve Onarımı
- PTAC:** Kanada Petrol Teknolojisi İttifakı
- PV:** Fotovoltaik
- SDG:** Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi
- SKA:** Sürdürülebilir Kalkınma Araçları
- TPAO:** Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
- TÜİK:** Türkiye İstatistik Kurumu
- UNDP:** Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
- VIF:** Varyans Şişme Faktörü
- YEK:** Yenilenebilir Enerji Kaynağı
- İ.B.S:** İngiliz Birim Sistemi

1.GİRİŞ

Enerji, insanlık tarihinin her döneminde toplumların gelişiminde kilit bir rol oynamıştır. İlk çağlardan itibaren insanlar, hayatta kalmak için enerji kaynaklarına yönelmiş; bu ihtiyaç zamanla daha karmaşık yöntemler ve yenilikçi kaynaklarla karşılanmıştır. Tarım toplumlarından sanayi devrimine, oradan da dijital çağa uzanan süreçte enerji talebi hızla artmış, bu talebi karşılamak için fosil yakıtlar gibi kaynaklar ön plana çıkmıştır. İlk insan toplulukları, enerji ihtiyaçlarını odun ve hayvan gücü gibi doğal kaynaklarla sınırlı bir şekilde karşılanarak ateşin keşfi bu dönemde çığır açarken, tarıma geçişle birlikte su ve hayvan gücü daha etkin kullanılmaya başlanmıştır (Chesley, 1993; Smil, 2010; Karakatsanis and Mamassis, 2023). Sanayi devrimi ise enerji kullanımını kökten değiştirmiş, buhar makineleri ve fabrikalar, kömürün yaygınlaşmasını sağlamıştır. 19. yüzyılın sonlarında elektrik enerjisi ise günlük yaşamı ve sanayiye dönüştürmüştür (Chesley, 1993). Bu süreçte fosil yakıtlar, ekonomik büyümeyi destekleyen temel enerji kaynağı haline gelmiştir. Öte yandan doğal gaz, 20. yüzyılda enerji sahnesine güçlü bir giriş yaparak hem çevre dostu özellikleri hem de verimliliğiyle dikkat çekmiştir. Başlangıçta aydınlatma ve endüstriyel işlemler için kullanılan bu kaynak, zamanla ısınma, elektrik üretimi ve sanayide vazgeçilmez bir kaynak haline gelmiştir. Düşük karbon salınımı ve yüksek verimliliği, doğal gazı diğer fosil yakıtlara göre daha sürdürülebilir bir seçenek haline getirmiştir (Smil, 2010). 1970'lerdeki petrol krizinden sonra enerji güvenliği ve maliyet avantajlarıyla doğal gazın önemi daha da artmış, doğalgazın altyapısı dünya genelinde hızla yaygınlaşmıştır.

Günümüzde iklim değişikliği, enerji politikalarının şekillenmesinde belirleyici bir faktördür. Karbon dioksit (CO₂) ve diğer sera gazları salınımları, küresel sıcaklık artışına, ekstrem hava olaylarına ve deniz seviyesinin yükselmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda doğal gaz, kömüre göre %50, petrole göre %30 daha az CO₂ emisyonuyla "geçiş yakıtı" olarak tanımlanmaktadır (Miller, 2019). Yenilenebilir enerjiye geçişi desteklerken fosil yakıt bağımlılığını azaltmakta, hem enerji güvenliğini hem de yeni istihdam alanlarını meydana getirmektedir (Nguyen, 2021). Çevresel açıdan da avantajlı bir durum sergilemektedir: Doğal gazın çıkarımı ve taşınması, kömür ve petrole kıyasla daha az yüzey bozulması ve su tüketimi gerektirmektedir (Lee, 2022).

Hanehalkı düzeyinde ise doğal gaz, ısınma ve pişirme gibi temel ihtiyaçlarda öne çıkmaktadır. Kömür ve petrole göre daha az emisyon üretmesi, iç mekan hava kalitesini iyileştirmesi gibi özellikleriyle hanehalkı ve endüstri tarafından birinci derecede tercih edilmekte (Harrison, 2020), enerji verimliliği sayesinde daha az yakıtla daha çok iş görmekte ve

hanehalklarının karbon ayak izini düşürmektedir (Foster, 2019). Türkiye’de de bu eğilimin açıkça görüldüğüne şahitlik etmekteyiz: Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) 2022 verilerine göre, hanehalkı enerji tüketiminin yaklaşık yüzde ellisi (%48.3) doğal gazdan sağlanmakta; bu enerjinin %76.3’ü ısıtma, %14.5’i su ısıtma, %9.2’si pişirme için kullanılmaktadır. Türkiye’de 19.7 milyon aboneyle nüfusun neredeyse dörtte biri doğal gaza erişim sağlarken, İstanbul 6.9 milyon aboneyle sözü edilen hizmetin başını çekmektedir. Doğal gazın avantajları yalnızca çevresel ve teknik boyutla sınırlı değildir. Doğal gaz ekonomik açıdan da hanehalklarına tasarruf sağlamakta, enerji güvenliği ve esnek kullanım imkanına sahiptir (Derin, 2018). Ancak bu doğal gaz kullanım artışı, beraberinde soru işaretlerini de getirmekte: Doğal gazın geleceği, arz sürdürülebilirliği ve çevresel etkileri tartışma konusu olarak hep gündemde kalmaktadır. Hane halklarının tüketim alışkanlıklarını optimize etmek ve enerji verimliliği farkındalığını artırmak, bu sorulara yanıt ararken kritik önem taşımaktadır (OECD, 2020).

Küresel ölçekte doğal gaz tüketimi, 2021 yılında 3.9 trilyon metreküp’e ulaşarak enerji talebinin hız kesmeden artmaya devam ettiğini ortaya koymaktadır (IEA, 2023). Özellikle hane halkları, dünya genelindeki toplam enerji kullanımının yaklaşık %40’ını oluşturarak, enerji tüketiminde baş aktör konumundadır. Bu tüketimin önemli bir kısmı ısınma, yemek pişirme ve sıcak su temini gibi gündelik yaşamsal ihtiyaçlara dayalı olarak doğal gaz üzerinden karşılanmaktadır (IEA, 2020). Türkiye özelinde bakıldığında ise doğal gazın enerji tüketimindeki payının %48’in üzerine çıktığı görülmektedir (TÜİK, 2021). Bu artış, büyük ölçüde enerji verimliliği arayışları, ekonomik erişilebilirlik ve doğal gazın diğer fosil yakıtlara göre daha “temiz” bir alternatif olarak algılanması gibi faktörlere dayanmaktadır. Ancak bu yaygınlaşmanın arkasındaki asıl dinamikleri anlamak için tüketici davranışlarının derinlemesine analiz edilmesi gerekmektedir. Hanehalkı’nın doğal gaz kullanımına yönelik tercihleri; gelir düzeyi, eğitim seviyesi, farkındalık düzeyi ve tüketim alışkanlıkları gibi çok katmanlı sosyoekonomik faktörler tarafından şekillendirilmektedir (Mann et al., 2019). Özellikle düşük gelirli gruplarda enerji verimliliği konusunda bilgi eksikliği, hem maliyetleri artırmakta hem de kaynak kullanımını sürdürülemez bir hale getirebilmektedir (Büchs & Schnepf, 2013). Dolayısıyla, enerji politikalarının sadece arz ve maliyet odaklı değil; aynı zamanda tüketicinin sosyodemografik ve ekonomik gerçekliğini dikkate alan, bütüncül bir yaklaşımla tasarlanması kaçınılmazdır. Bu noktada, hanehalkı’nın doğal gaz kullanımındaki davranış kalıplarını ve bu kalıpları etkileyen sosyoekonomik faktörleri anlamak, yalnızca enerji politikaları açısından değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal eşitlik açısından da kritik önemdedir. Elde edilecek bulgular, hem karar alıcılara yol gösterici olacak hem de enerji sektöründe hizmet sunan paydaşlara stratejik bir perspektif kazandıracaktır.

Doğal gaz, küresel ölçekte düşük karbonlu bir geleceğe geçiş sürecinde geçici bir çözüm veya “köprü yakıt” olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu pozisyonunun meşruiyeti, yalnızca karbon yoğunluğunun düşüklüğüyle değil, aynı zamanda üretiminden tüketimine kadar olan tüm süreçlerin yaşam döngüsü analizleriyle çevresel açıdan titizlikle değerlendirilmesine bağlıdır (IPCC, 2021). Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde doğal gaz, ekonomik erişilebilirliği ve altyapı olanakları nedeniyle kısa ve orta vadede cazip bir enerji kaynağı olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, uzun vadede karbon ayak izinin azaltılması ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için tüketim davranışlarının yalnızca tespiti değil, aynı zamanda dönüştürülmesi de büyük önem taşımaktadır. Enerji verimliliği yüksek cihazların kullanımı, toplu taşımanın teşvik edilmesi ve bireysel tüketim alışkanlıklarında bilinç düzeyinin artırılması, hane halklarının toplam çevresel etkisini azaltmak açısından kritik öneme sahiptir (IPCC, 2021). Zira birincil enerji tüketimi yalnızca ekonomik bir tercih değil, aynı zamanda karbon emisyonları, hava kalitesi ve ekosistem sağlığı üzerinde doğrudan etkileri olan çevresel bir tercihtir. Bu bağlamda, doğal gaz tüketim alışkanlıklarının detaylı bir şekilde analiz edilmesi, çevresel politikaların daha hedefli, kapsayıcı ve gerçekçi bir biçimde tasarlanmasına olanak tanıyacaktır. Sürdürülebilir enerji sistemlerine geçişin başarıya ulaşabilmesi için, doğal gazın kısa vadeli avantajlarını uzun vadeli çevresel hedeflerle dengeleyen, stratejik ve bütüncül politikaların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, doğal gaz kullanımını teşvik eden politikaların, karbon emisyonlarını sınırlamaya yönelik önlemlerle entegre bir şekilde tasarlanması, Türkiye’nin hem enerji güvenliği hem de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşması açısından hayati bir öneme sahiptir.

Bu çalışma, Türkiye İstatistik Kurumu’nun 2022 yılına ait hanehalkı Bütçe Anketi (HHBA) verilerine dayanarak, çift engel sansür regresyon modelleri kullanmak suretiyle Türkiye’deki hane halklarının doğal gaz tüketim alışkanlıklarını etkileyen çevresel, ekonomik ve demografik faktörleri kapsamlı biçimde analiz etmektedir. Hanehalklarının aylık doğal gaz harcamaları ekseninde yürütülen bu analiz, enerji tüketim kalıplarının enerji verimliliği üzerindeki yansımalarını ortaya koyarak, sürdürülebilir enerji politikalarının geliştirilmesine bilimsel bir zemin sunmayı hedeflemektedir. Çalışma kapsamında yalnızca doğal gaz tüketim olasılığını etkileyen unsurlar değil, aynı zamanda doğal gaz harcamasının –bir başka deyişle faturaların– belirleyici faktörleri de detaylı biçimde ortaya konacaktır. Hanehalkı özelinde doğal gaz tüketiminin şartlı ve şartsız desenleri üzerinden yapılan değerlendirmeler, sosyodemografik ve ekonomik değişkenlerin bu süreçteki etkilerini görünür kılacaktır. Böylelikle elde edilecek bulgular, politika yapıcılar ve enerji sektörü açısından yalnızca mevcut durumu anlamaya yönelik değil, aynı zamanda ileriye dönük stratejik planlamalara ışık tutacak güçlü iç görüler

sağlayacaktır. Ayrıca, bu araştırma bulgularının, Türkiye ile benzer sosyodemografik ve ekonomik yapıya sahip ülkeler için de karşılaştırmalı politika geliştirme süreçlerine katkı sunabilecek potansiyele sahip olduğu değerlendirilmektedir. Bu yönüyle çalışma, sadece ulusal düzeyde değil, bölgesel ve küresel enerji dönüşümü perspektifinde de önemli bir referans noktası olmayı amaçlamaktadır.

2. DOĞAL GAZ

2.1 Enerji Kaynağı Olarak Doğal Gazın Tarihçesi

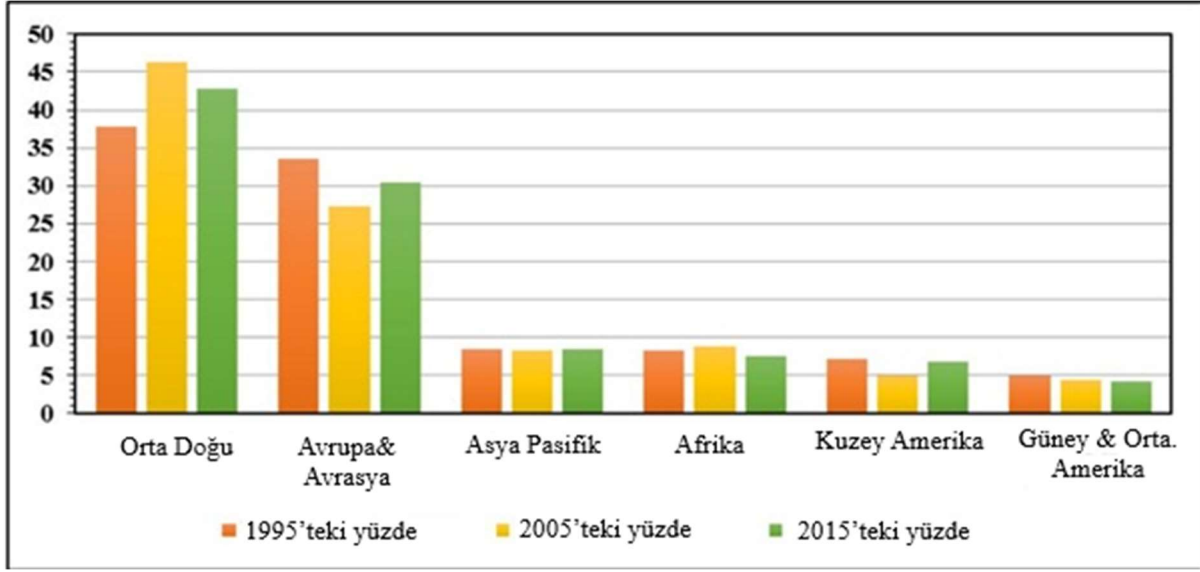
Doğal gaz, milyonlarca yıl önce oluşan canlıların yer altı katmanları arasındaki basınç ve sıcaklık dönüşümü sonucu, büyük miktarda metan gazı içeren fosil kökenli gaz sınıfında bir gazdır. Diğer bir adı da H tipi petrol gazıdır. Petrol gibi doğada yer altı katmanlarında bulunur. Metan, az miktarda etan, propan, bütan, azot ve karbondioksit gazlarından oluşur. Doğal gaz, gaz halinde parafin, karbon, hidrojenden oluşan bir gaz karışımıdır ve bunların yüzdeleri doğal gazın kaynağına bağlı olarak değişebilmektedir.

Avrupa'da ilk doğal gaz 1659 yılında İngiltere'de bulunmuştur. Aynı yüzyılda Kuzey İtalyanlar tarafından aydınlatma ve ısıtma amaçlı doğal gazın kullanıldığını gösteren bazı belgeler mevcut olup özellikle pili bulan kişi olarak bilinen Alessandro Volta, 1776 yılında doğal gazı "Bataklıkların Alevli Havası" olarak ilan etmiştir. 1795 yılında "Doğal Gaz" olarak adlandırılan bu bileşenin adı verilirken İtalyan bilim adamı olan Lazzaro Spallanzani, 1609 yılında Hollandalı bilim adamı Jan Baptista Van Helmont'un oluşturduğu gaz teriminden esinlenilmiştir.

Türkiye'de ilk doğal gaz 1970 yılında Kırklareli'nde tespit edilmiştir. 6 yıl sonra Set Çimento Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi himayesinde işletilen Kırklareli'ndeki bir çimento fabrikasında kullanılmıştır. İlerleyen yıllarda Türkiye doğal gaz piyasasında çok önemli bir rol oynayacak olan Petrol Boru Hatları ile Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ), 1974 yılında Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından kurulmuştur. 1975 yılında çamurlu sahada bulunan doğal gaz, 1982 yılında Mardin Çimento Fabrikası'na tahsis edilmiştir. 1985 yılında Hamitabat Kombine Çevrim Santrali'nde yerli kaynaklarla doğal gaz kullanılarak elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Öte yandan doğal gaz Türkiye'de ilk kez konut ve ticari sektörlerde Ekim 1988'de Ankara'da, Ocak 1992'de İstanbul'da, Aralık 1992'de Bursa'da, Eylül 1996'da İzmit'te ve Ekim 1996'da Eskişehir'de kullanılmıştır.

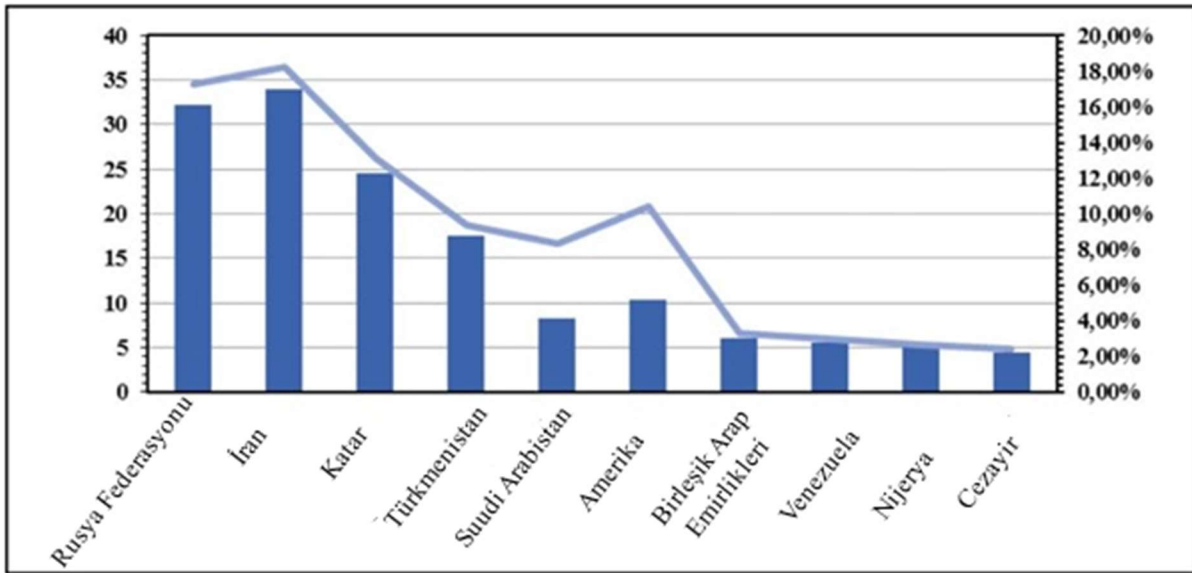
Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) yaptığı çalışmalara göre, her yıl ortalama %2.1 oranında artan dünya doğal gaz tüketiminin 2015 yılında 3.68 tcm'ye ulaştığı ve 2030 yılında 4.78 tcm'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir. 2035 yılına kadar doğal gazın küresel enerji kaynaklarındaki payı artacak tek fosil yakıt olması öngörülmektedir. Bu öngörü nedeniyle Avrupa hariç tüm bölgelerde doğal gaz üretiminin artırılması söz konusu olmaktadır (Aktemur, 2017). Benzer şekilde doğal gaz rezervleri son yirmi yılda yaklaşık %56 oranında artmıştır. 1995 yılı sonunda 119.9 tcm olan doğal gaz rezervi miktarı, 2005 yılında 157.3 tcm ve 2015 yılında 186.9 tcm'ye ulaşmıştır. 1990 yılında Avrupa ve Avrasya ile Orta Doğu ülkeleri dünya doğal gaz rezervlerinin sırasıyla %43.4'ünü ve %30.2'sini oluştururken, 2015 yılında Avrupa ile

Avrasya rezervlerinin payı %30.4 azalmış ve Orta Doğu rezervleri %42.8 artmıştır (bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kanıtlanmış doğal gaz rezervlerinin bölgelere göre dağılımı (Aktemur, 2017).

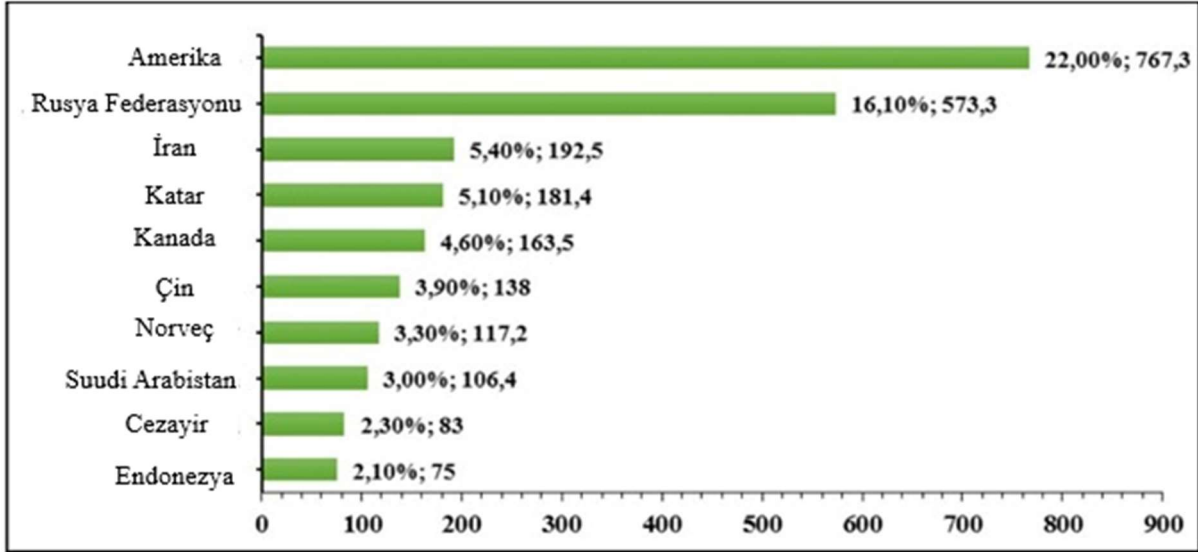
2015 yılında 34 tcm kanıtlanmış rezervi bulunan İran'ı 32.3 tcm'lik rezervle Rusya Federasyonu'nu ve 24.5 tcm ile rezerv ile Katar takip etmektedir. Orta Asya Cumhuriyetleri arasında en büyük doğal gaz rezervlerine ve yıllık üretim kapasitesine sahip olan Türkmenistan'ın toplam doğal gaz rezervi yaklaşık 17.5 tcm'dir (bkz. Şekil 2.2)



Şekil 2.2. Dünya çapında 10 ülkenin 2015 yılına ait kanıtlanmış gaz rezervleri (tcm) (Aktemur, 2017).

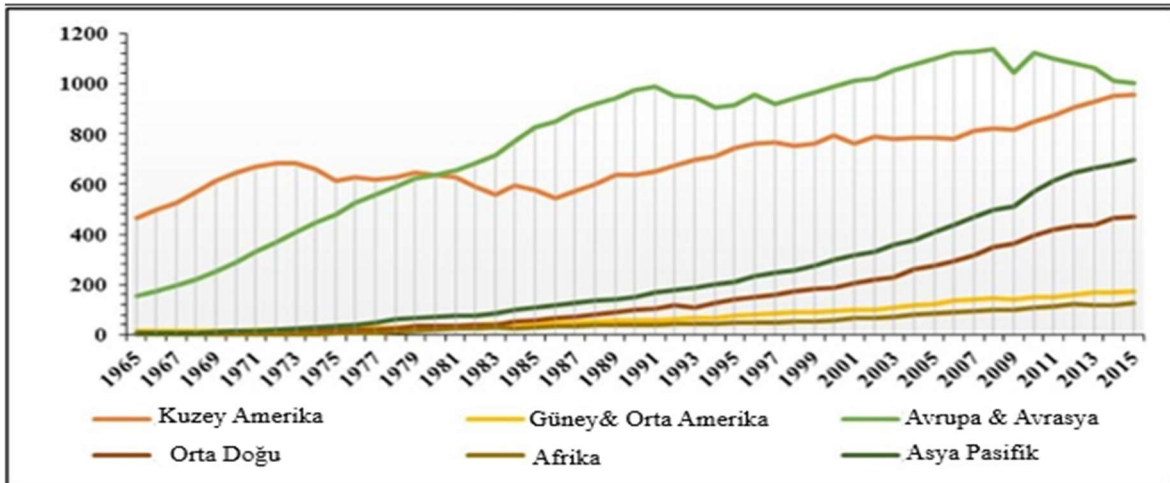
Dünya doğal gaz üretimi 2014 yılında 3463.2 milyar metreküp iken 2015 yılında %2.2 oranında artarak 3538.6 milyar metreküp'e çıkmıştır. Rusya Federasyonu'nda doğal gaz üretimi %1.5 düşerken, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) %5.4, Myanmar'da %16.4 ve İran'da %5.7 oranında artmıştır. ABD, 763.7 milyar metreküp ile dünyanın en büyük doğal gaz üreticisi

olmaya devam etmiştir. 2015 yılında doğal gaz üretiminde en fazla artış gösteren bölgeler Orta Doğu (%45.2), Asya Pasifik (%22.6) ve Kuzey Amerika'dır (21.3). Bu bölgelerde en yüksek toplam paya sahip ilk 10 ülke Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3. On ülkeye göre dünya doğal gaz üretimi (bcm) (Aktemur, 2017).

2015 yılında tüketimin en fazla arttığı bölgeler Asya Pasifik (%20.1), Kuzey Amerika (%28.1) ve Avrupa ve Avrasya (%28.8) oldu. 2009 yılı başından 2015 yılına kadar dünyanın en büyük doğal gaz tüketicisi olan ABD'de doğal gaz tüketimi %20 (129.3 milyar metreküp) artarken, dünyanın ikinci büyük doğal gaz tüketicisi olan Rusya Federasyonu'nda doğal gaz tüketimi yaklaşık %0.5 (1.9 milyar metreküp) artmıştır. Öte yandan Türkiye'nin de içinde bulunduğu Avrupa ve Avrasya bölgesinde tüketim 2010 yılında 2009 yılına göre %10 (3.3 milyar metreküp) artmasına rağmen, 2015 yılındaki tüketim miktarının 2014 yılına göre düşük kaldığı gözlenmiştir. Şekil 2.4'te 1965 yılı başından itibaren yıllara göre doğal gaz tüketim miktarları gösterilmektedir (Aktemur, 2017).



Şekil 2.4. Yıllara göre dünya doğal gaz tüketimi (bcm) (Aktemur, 2017).

IEA'nın 2011'deki tespitini içeren Yeni Politika Senaryosu'na göre, Çin'in doğal gaz tüketim talebinin 2015'teki 197.3 milyar metreküp'ten 2035'te 500 milyar metreküp'e çıkacağı tahmin edilmektedir. IEA'nın 2011'deki tespiti ışığında, dünyanın en büyük doğal gaz üreticisinin yılda 860 milyar metreküp ile yükselen doğal gaz üreticisi Rusya olacağı ve Kuzey Amerika doğal gaz arz-talebinin 2035'te dengede olacağı belirtilmektedir.

Yukarıda zikredilen şekillerdeki verilere göre;

- 2015 yılı itibarıyla dünyanın en büyük doğal gaz rezervlerine sahip olan ülkeleri Rusya Federasyonu ve İran, dünya doğal gaz rezervlerinin yaklaşık 1/3'üne sahiptir.
- Ortadoğu ile Avrupa ve Avrasya bölgelerindeki rezervlerin toplamı dünya doğal gaz rezervlerinin yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır.
- Ortadoğu'da İran ve Katar, Avrupa ve Avrasya'da ise Rusya en büyük doğal gaz rezervlerine sahip ülkelerdir.
- İran ve Katar'ın toplam rezervleri Ortadoğu'nun toplam rezervlerinin yaklaşık %31'ini (%42.8) oluşturmaktadır.
- Dünya doğal gaz üretiminin yaklaşık %43'ü Rusya Federasyonu, İran ve ABD tarafından karşılanmaktadır.
- Dünya doğal gaz üretiminde önemli paya sahip olan Kuzey Amerika bölgesi ise rezerv miktarı açısından beşinci sırada yer almaktadır.

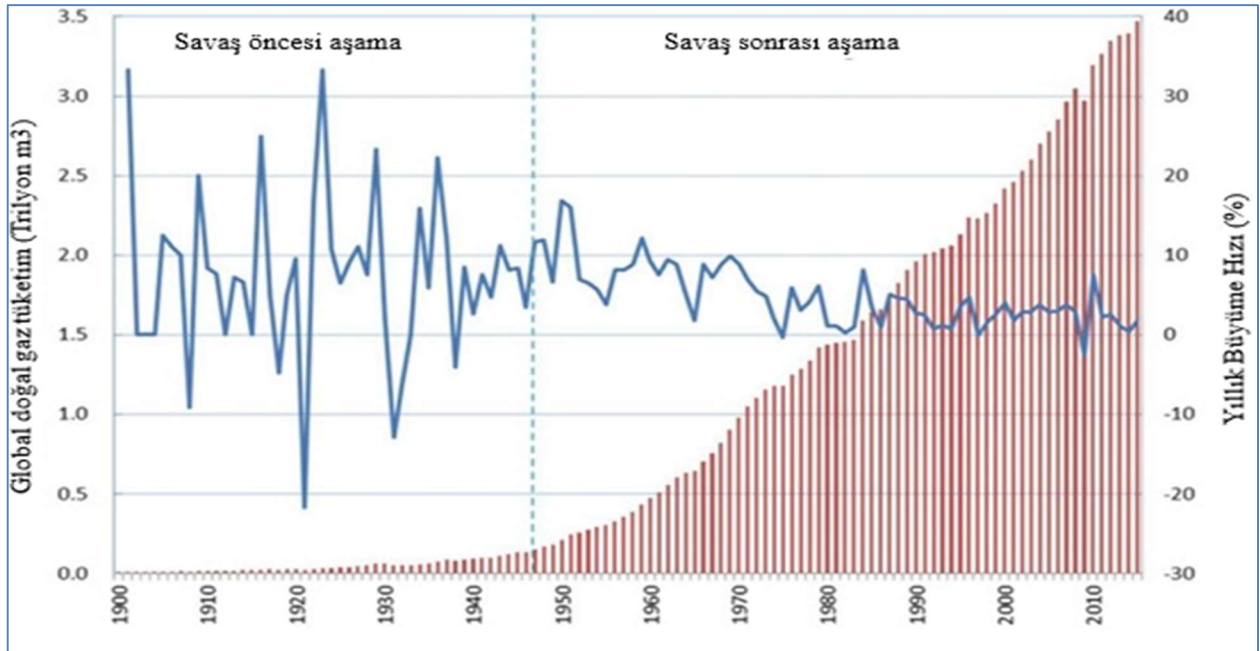
Çağımızın en büyük enerji kaynaklarından biri olan doğal gazın geçmişi yüzlerce yıl öncesine dayanmaktadır. "Kutsal Ateş" ifadesi insanlık tarihi boyunca kullanılmıştır. İlk kez, Çinliler tarafından tuz kurutma işlemi için bir enerji kaynağı olarak doğal gaz kullanılmıştır. Daha sonra, doğal gazı içi boş bambular aracılığıyla başka yerlere taşımışlardır. Böylece, doğal gaz önemli bir şekilde hızla yayılmaya başlamıştır. Kullanıma bağlı olarak farklı şekillerde kullanılan doğal gaz, insanların çoğunluğu tarafından benimsenmiş ve uzun yıllar boyunca dünyanın büyük bir bölümüne kademeli olarak yayılmıştır.

Son yıllarda, özellikle son yirmi yılda, doğal gazın elektrik üretimi ve konutlarda kullanımını muazzam bir şekilde artmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde doğal gazın payının 2030 yılına kadar yılda %4 artacağı, birincil enerji kaynaklarında doğal gazın payı %23 artacağı öngörülmektedir. Ülke bazlı doğal gaz tüketimi yılda ortalama %1.3 artacak, enerji kaynaklarındaki ve çevredeki artış belirleyici faktör olacaktır. Öte yandan doğal gazın saldıği düşük karbon emisyonları nedeniyle gelecekte en çok kullanılan fosil yakıt olacağı ve enerjiye olan talebin artması ile petrolün beklentileri karşılayamaması, doğal gazın gelecekte avantajlı bir

konumda olacağını göstermektedir. Doğal gazın dünyadaki gelişiminin hem politik hem de ticari ve çevresel etkilerin güçlenmesiyle devam etmesi beklenmektedir (Aktemur, 2017).

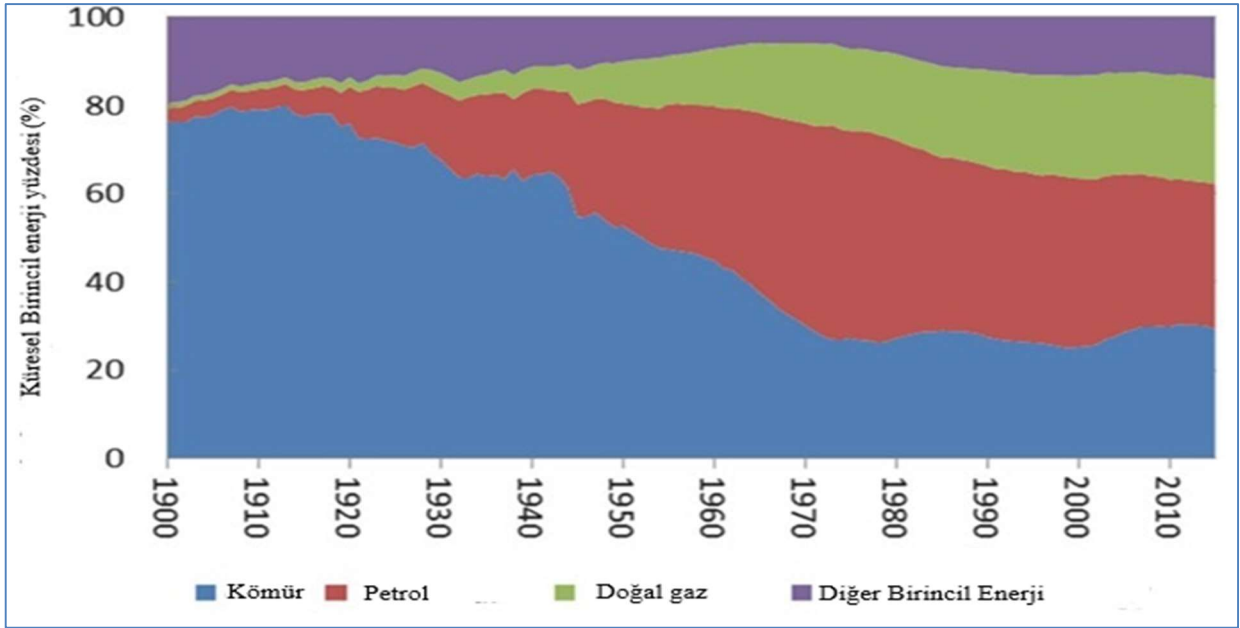
2.2 Türkiye Ve Dünya’da Hanehalkı Doğal Gaz Kullanımının Tarihçesi

Doğal gazın enerji tüketim yapısındaki giderek artan önemli rolü, yalnızca toplam enerji tüketiminin istikrarlı büyümesinde değil, aynı zamanda birincil enerji tüketimindeki payının her geçen yıl artmasında da kendini göstermektedir. 1900 yılından 2015 yılına kadar küresel doğal gaz tüketiminin genel diyagramından (Şekil 2.5), küresel doğal gaz tüketiminin artan bir eğilim içinde olduğu görülebilir. 1900 yılında 0.0067 trilyon metreküp’ten 2015 yılında 3.47 trilyon metreküp’e çıkmıştır. Yani yaklaşık 520 kat artmış ve ortalama yıllık büyüme %5.6’dır. Küresel doğal gaz tüketimi iki faza ayırmak mümkündür: (1) Savaş öncesi yavaş büyüme aşaması (1900 yılından 1945 yılına kadar). Bu fazda küresel doğal gaz tüketimi düşük ve büyüme hızı da önemli ölçüde dalgalanma eğilimindedir. (2) Savaş sonrası düzgün hızla büyüme aşaması (1945 yılından günümüze kadar). Bu fazda ise 1945 yılında küresel doğal gaz tüketimi 0.1289 trilyon metreküp’tür. Sonraki 70 yıl boyunca ise, doğal gaz tüketiminde negatif büyüme sadece 1975 yılında (-%0.25), 1997 yılında (-%0.33) ve 2009 yılında (-%2.37) gerçekleşmiştir. 2009 yılındaki küresel mali kriz ve ekonomik durgunluk nedeniyle, küresel doğal gaz tüketimi 2008 yılına göre azalmıştır. Bu aşamada, ortalama yıllık büyüme oranı %4.8 olup, daha hızlı ve istikrarlı bir büyüme ile karakterizedir (Ye vd., 2017). 1900 yılından 2015 yılına kadar küresel birincil enerji tüketim yapısında doğal gazın oranının her yıl artarak büyüdüğü görülmektedir.



Şekil 2.5. Küresel doğal gaz tüketimi ve yıllık büyüme hızı (Ye vd., 2017).

Doğal gaz enerjisi 2015 yılında birincil enerjinin farklı türleri arasında, tüketimi oranında sürdürülebilir büyümeyi sürdüren tek enerjidir. Kömür'ün oranına bakılacak olursa azalan bir eğilimde olduğu görülmekte, petrolün oranı ise 1970'lerden önce artan bir eğilimde olmakla birlikte, 1970'lerden bu yana sürekli azalan bir eğilimde olduğu görülmektedir (Şekil 2.6) (Derin, 2018). 2015 yılında dünyanın toplam enerji tüketimi 13.147 milyar ton petrol eşdeğeri olmakla birlikte fosil enerji, toplam enerji tüketiminin %86'sını oluşturmaktadır. Petrol %32.9'luk payla hala en büyük enerji olup, kömür ikinci en büyük enerji olarak %29.2'lik bir paya sahiptir. Doğal gaz ise üçüncü sırada olup %23.8'lik bir paya sahiptir. Bu, temel küresel enerji tüketim modelidir.



Şekil 2.6. Birincil enerjinin küresel tüketim yapısı (Derin, 2018).

Doğal gazın 21. yüzyılın enerjisi olacağı öngörülmektedir. Doğal gazın tercih edilmesinin nedeni, diğer fosil yakıtlara kıyasla doğal gazın daha iyi çevresel, sosyal ve ekonomik faydalara sahip olmasıdır. Esas olarak fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan sera gazı, küresel ortalama sıcaklığın yaklaşık 2°C artmasına yol açacak ve bu da ciddi ekolojik çevre tahribatına neden olacaktır. 12 Aralık 2015'te onaylanan Paris Protokolü, küresel enerji tüketimi üzerinde büyük bir etki yaratacaktır. Temel olarak, fosil enerjinin küresel birincil enerji tüketiminde uzun bir süre daha baskın olmaya devam edeceği ve %85 civarının korunacağı ancak fosil olmayan enerji ve yeni enerji tüketim yüzdeleri kademeli olarak artacaktır. Birincil enerji tüketiminde içsel ayarlama kaçınılmaz olacaktır, yani kömürün tüketim yüzdesi düşecek ve petrol tüketimi zirveye ulaşacaktır. Bu arada, doğal gaz tüketimi büyük ölçüde artacaktır. Sonuç olarak, doğal gaz enerji tüketiminin yapısında "birinci enerji" haline gelecektir (Ye vd., 2017).

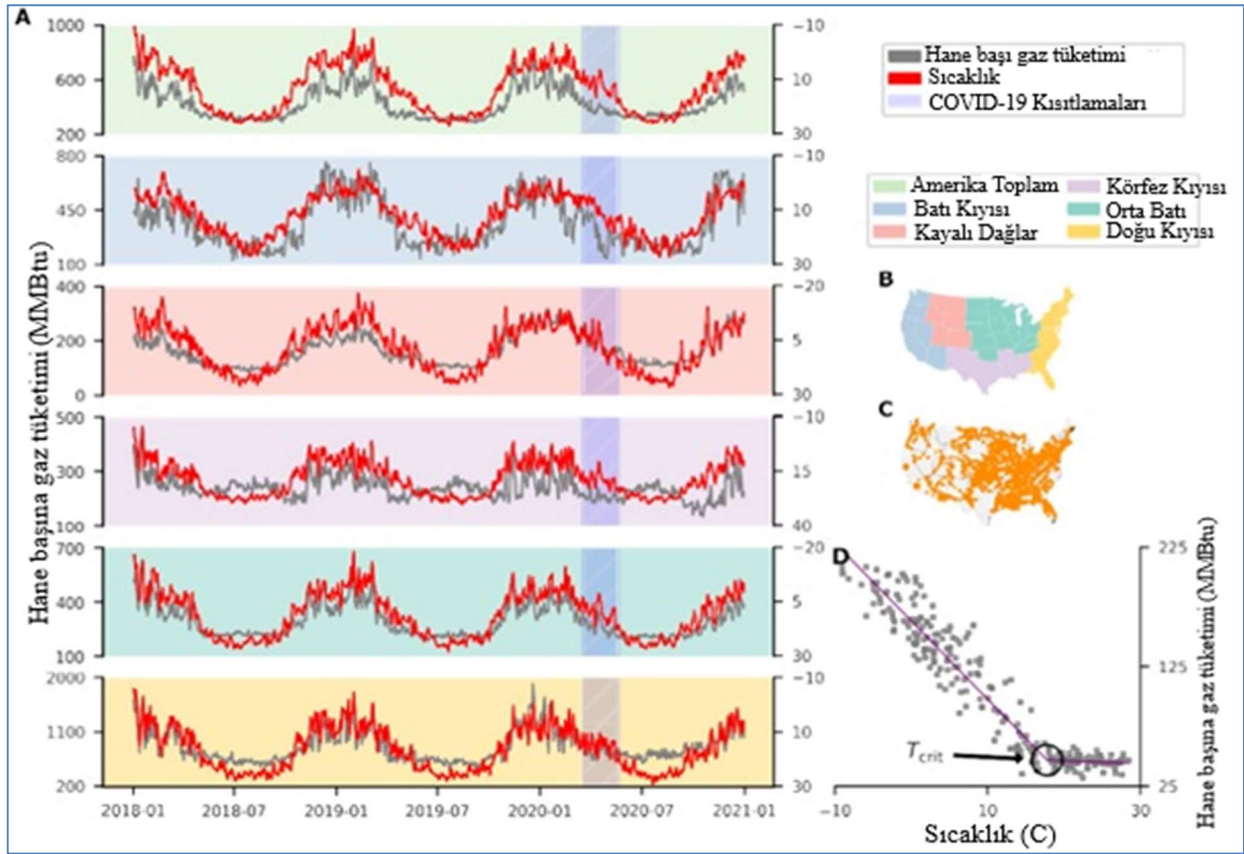
2.3 Hanehalkında Doğal Gazın Önemi Ve Kullanım Alanları

Doğal gaz, ABD konutlarında kullanılan birincil yakıttır, ancak tüketim kalıpları ve itici güçleri hakkında çok az şey bilinmektedir. İlişkilerin mekânsal örüntülerini değerlendirmek için günlük ilçe düzeyinde gaz tüketimi verilerini ve ABD’deki hanelerde gaz tüketiminin dış hava sıcaklığına duyarlılığını bilmek gerekmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri şu anda en büyük küresel doğal gaz üreticisi ve tüketicisidir. ABD’deki haneler toplam ülkenin gaz tüketiminin %15’ini oluşturmaktadır, gaz baskın ısıtma yakıtıdır ve konutlarda tüketilen enerjinin %42’sini temsil etmektedir (Mittakola vd., 2024). Hanelerde, gazdan öncelikle ısınma ve sıcak su için yararlanmanın yanı sıra yemek pişirme ve diğer şekillerde de kullanım sağlanmaktadır. Avrupa’da yapılan önceki çalışmalar, konut ve ticari binaların günlük gaz tüketiminin günlük dış hava sıcaklıkları ile negatif ilişkili olduğunu ve bunun da soğuk mevsimde, tipik olarak sıcaklık kritik bir seviyenin altına düştüğünde daha yüksek ısıtma gereksinimlerini yansıttığını göstermiştir. Bu ters ilişki sekiz büyük Avrupa ülkesinde tutarlı bir şekilde gözlemlenmiş olsa da, bina yalıtımıyla ilgili farklı hassasiyetler göstermiştir. Bu nedenle, enerji tasarrufu politikaları ve iklim değişikliğinin azaltılması bağlamında, sıcaklık ve doğal gaz kullanımı arasındaki ilişkinin ölçülmesi önemlidir (Mittakola vd., 2024).

Doğal gaz, bir “geçiş” yakıtı ve sürdürülebilir ve karbondan arındırılmış bir gelecek enerji yolunda bir ara adım olarak hareket etme potansiyeline sahiptir. Konut sektörünün karbon yoğunluğunun azaltılmasına yönelik acil ihtiyacın karşılanmasında pragmatik bir yaklaşım sunmaktadır. Doğal gaz, kömür gibi diğer fosil yakıtlara göre daha düşük karbon emisyonuna (%44 daha az) sahiptir ve temiz yanar, bu da onu nispeten daha “yeşil” bir yakıt yapmaktadır. Yerel topluluklar, doğal gazın avantajlarından yararlanarak, özellikle doğal gaz rezervlerinin bol olduğu ülkelerde (Amerika Birleşik Devletleri gibi) karbon ayak izlerini azaltma konusunda önemli ilerlemeler kaydedebilirler. Bu, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri’ne (BMSKH), özellikle de sürdürülebilir tüketim ve üretim modellerinin önemini vurgulayan Hedef 12’ye ulaşmada çok önemli bir faktördür.

Gaz tüketimi genellikle kış aylarında düşük sıcaklıklar nedeniyle zirve yapar ve evlerin ısıtılması gerekir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Amerika Birleşik Devletleri'nde hane başına günlük gaz tüketimi ve sıcaklıktaki mekânsal ve zamansal dalgalanmalar. (A) Amerika Birleşik Devletleri'nin tamamı ve farklı bölgeler için gaz tüketimi ve sıcaklık değerlerini gösteren zaman serisi grafiği, taralı alan COVID sırasında hareketlilik kısıtlamalarının ana dönemidir. Sol y eksenini gaz tüketimini ve sağ y eksenini sıcaklığı göstermektedir. (B) Dikkate alınan ABD bölgelerini gösteren harita. (C) Amerika Birleşik Devletleri'ndeki citygate boru hattı gaz dağıtım yerlerinin dağılımı. Haritadaki noktaların büyüklüğü tüketim değerini göstermektedir. Bölgelerdeki farklı ilçelerin örneklem büyüklükleri aşağıdaki gibidir: Batı kıyısı (%6.3), Rocky Dağları (%6.2), Körfez kıyısı (%16.2), Orta Batı (%46.3) ve Doğu kıyısı (%25). (D) Bir kesme noktasına dayalı olarak yerleştirilmiş parçalı fonksiyon Middlesex county, MA (2018) gaz tüketimi ve sıcaklık verilerine dayanmaktadır. Bu grafik, işlenmiş veri kaynaklarından elde edilen verileri sunmaktadır. (Mittakola vd., 2024).

Önemli bir nokta, ABD'de hane halkı gaz tüketiminin gelir düzeyine duyarlı olmasıdır. Yüksek istihdam oranlarına sahip zengin şehirler, ulusal ortalamadan yaklaşık 0.6°C daha düşük bir T_{crit} ve daha düşük bir eğim değeri sergilemektedir. Daha büyük ve tek ailelik evlerde yaşamalarına rağmen, daha varlıklı haneler 2018 ve 2019'da medyan geliri 70.488 \$'dan yüksek olan ilçeler, daha yoksul hanelere kıyasla ısınma için hane başına %57 daha az gaz tüketmiştir (daha zengin ilçeler diğerlerine kıyasla iki kat daha fazla medyan ev değerine sahiptir, bu nedenle daha yüksek ev değerinin daha yüksek taban alanı/ev büyüklüğü ile ilişkili olabileceğini varsayılmıştır). Nispeten yüksek işsizlik oranının yüksek olduğu ilçelerdeki, konut yalıtımının zayıf olması ve işsizlerin özel konutlarda daha uzun süre kalması nedeniyle daha yüksek gaz tüketimi ile geçici olarak açıklanabilir. Bu bulgu, düşük gelirli ve yüksek işsizlik oranına sahip ilçelere gaz tüketimini azaltma çabalarında öncelik verilmesi gerektiğini göstermektedir.

Düşük gelirli hane halklarına ve yüksek işsizlik oranlarına sahip ilçeler için hedeflenmiş

enerji verimliliği programlarına ihtiyaç görülmektedir. Finansal desteği tamamlamak için Teşvikler, hedeflenen politikalar, hane sakinlerini enerji verimliliğinin faydaları konusunda eğitmek ve mevcut yardım programlarını tanıtmaq için halkı bilinçlendirme kampanyalarına da yatırım yapabilir. Buna ek olarak, bir hanenin enerji kullanımını değerlendirmek için enerji denetim hizmetlerine müdahale edilmesi ve iyileştirmeler faydalı bir önlem olup, tüm bu önlemler enerji yoksulluğunun azaltılmasına yardımcı olacaktır (Mittakola vd., 2024).

3. DOĞAL GAZ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI

3.1. Sürdürülebilir Enerji Nedir?

Küresel ölçekte hızla yayılan sanayi faaliyetleri, artan nüfus, değişen tüketim alışkanlıkları, teknolojik yenilikler ve refah düzeyinin yükselmesi gibi dinamikler, enerji ihtiyacını her yıl yaklaşık %4-5 oranında artırmaktadır (Kaya vd., 2018). Bu talep artışı, özellikle kentleşme ve konfor odaklı yaşam tarzlarının etkisiyle daha da belirginleşmektedir. Diğer taraftan küresel enerji üretiminde yoğun şekilde kullanılan kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıt rezervlerinin giderek tükenmesi, bu kaynakların çıkarılması için daha derin jeolojik katmanlara erişme gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Yapılan bilimsel araştırmalar, mevcut enerji tüketim hızının fosil yakıtların doğal oluşum sürecinden 300 bin kat daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, günlük tüketim oranının, bu kaynakların bin yıllık jeolojik süreçte oluşan miktarına denk geldiğini göstererek sürdürülebilirlik açısından kritik bir tabloyu işaret etmektedir. Söz konusu veriler, fosil yakıt rezervlerinin sınırlılığını ve öngörülebilir zaman diliminde tükenme riskini kanıtlamakta; bu da enerji ihtiyacı olan ülkeleri alternatif ve yenilenebilir kaynak arayışlarına yönlendirmektedir (Kaya vd., 2018). Küresel enerji talebi sanayileşme ve kentleşme nedeniyle hızla artarken, fosil yakıtların tükenmesi ve çevresel etkileri dünya genelinde sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır.

Sürdürülebilir enerji, çevresel etkileri minimize eden, doğal kaynakları tükenmeden kullanmayı mümkün kılan ve gelecek nesillerin enerji ihtiyaçlarını tehlikeye atmayan enerji üretim biçimlerini ifade etmektedir. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları bu kapsamda değerlendirilmektedir. Aynı zamanda enerji verimliliğini artırma ve israfı azaltma uygulamaları da sürdürülebilir enerji yaklaşımının temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal süreçlerle sürekli olarak yenilenebilirken; kömür, petrol ve doğal gaz gibi yenilenemeyen enerji kaynakları sınırlı rezervlere sahiptir ve çevresel tahribata neden olmaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilir enerji kullanımı hem ekolojik dengeyi korumak hem de enerji arz güvenliğini sağlamak açısından önem arz etmektedir. Sürdürülebilir enerji sistemlerinin başlıca avantajları arasında sera gazı emisyonlarının azaltılması, enerji ithalatı ve bağımlılığının düşürülmesi, uzun vadede ekonomik tasarruf sağlanması, istihdam yaratılması, halk sağlığı üzerinde olumlu etkileri ve gelişmekte olan bölgelerde enerjiye erişimin kolaylaştırılması sayılabilir. Bununla birlikte, sürdürülebilir enerjiye geçiş süreci bazı yapısal zorlukları da beraberinde getirmektedir. Yüksek ilk yatırım maliyetleri, enerji üretiminde süreklilik sağlayan teknolojilerin henüz yeterince gelişmemiş olması, mevcut altyapının yetersizliği ve bazı ülkelerde uygulanan fosil yakıt destekli enerji politikaları bu geçişi zorlaştıran başlıca etkenlerdir. Sonuç olarak, sürdürülebilir enerji, hem

çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik ve toplumsal gelişim açısından kritik bir role sahiptir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması, enerji verimliliği politikalarının güçlendirilmesi ve fosil yakıtlardan kademeli olarak uzaklaşılması gereklidir (Rayhan, 2023).

Literatürde yoğun olarak güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal enerji kaynakları incelenmiş; her bir kaynağın çalışma prensipleri, avantajları ve sınırlılıkları değerlendirilmiştir (Kaya vd., 2018; Rayhan, 2023; Mittakola vd., 2024). Güneş enerjisi, fotovoltaik hücreler aracılığıyla doğrudan elektrik üretimi sağlar ve düşük emisyonlu, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak öne çıkar. Ancak güneş ışığının süreksizliği ve enerji üretimindeki değişkenlikler şebeke entegrasyonu açısından zorluklar oluşturabilir. Rüzgâr enerjisi, rüzgâr türbinleri ile kinetik enerjiden elektrik üretimini mümkün kılar; çevre dostu yapısı ve düşük işletme maliyetiyle dikkat çekerken, rüzgârın düzensizliği ve yerel ekosistemler üzerindeki etkileri sınırlayıcı faktörlerdendir. Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak güvenilir ve yüksek verimli bir enerji üretim yöntemi sunar. Ancak barajların çevresel ve sosyal etkileri ile uygun lokasyon sınırlamaları önemli dezavantajlardır. Jeotermal enerji ise dünyanın iç ısısından faydalanarak sürekli ve düşük emisyonlu enerji sağlar. Bu kaynağın en büyük zorlukları, sınırlı jeotermal rezervlerin bulunabilirliği ve potansiyel sismik risklerdir. Sonuç olarak, bu yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlara kıyasla çevresel etkileri azaltarak sürdürülebilir bir enerji geleceği için kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, her bir kaynağın teknik, ekonomik ve çevresel zorlukları dikkate alınarak enerji politikalarının bütüncül bir yaklaşımla geliştirilmesi gerekmektedir.

Faydaları incelenecek olursa gerçek zamanlı veri izleme ve otomatik kontrol mekanizmaları sayesinde enerji israfı en aza indirgenir. Güneş ve rüzgâr gibi değişken üretim sağlayan kaynaklarla entegre çalışmak enerji sistemlerinin esnekliğini artırır. Enerji tüketiminin optimize edilmesi, kullanıcılar ve işletmeler için tasarruf sağlar. Sera gazı emisyonlarının düşürülmesine katkıda bulunarak iklim değişikliğiyle mücadelede rol oynar. Arıza tespiti ve müdahale kapasitesi sayesinde şebeke güvenliği ve hizmet sürekliliği sağlanır. Zor tarafları ise akıllı altyapıların kurulumu ciddi sermaye yatırımı gerektirir. Dijitalleşen enerji altyapısı, siber saldırılara karşı savunmasız hale gelebilir. Müşteri verilerinin korunması ve sistem güvenliğinin sağlanması kritik öneme sahiptir (Rayhan, 2023).



Şekil 3.1. Enerji Kaynaklarının Gruplandırılması (Koç vd., 2018).

3.2. Sürdürülebilir Enerji Teknolojileri ve Yenilikleri

Sürdürülebilir enerji alanında ortaya çıkan yeni teknolojiler ve yenilikler, sürekli olarak gelişmekte olup, geleceğe dair önemli potansiyeller sunmaktadır. Bu yeniliklerden bazıları şunlardır:

3.2.1. Yüzen Güneş Enerjisi Çiftlikleri

Yüzen fotovoltaik (PV) sistemler veya floatovoltaikler olarak bilinen yüzen güneş enerjisi çiftlikleri, güneş enerjisinden faydalanmanın yenilikçi bir yolu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemler, güneş panellerinin karada kurulması yerine su kütlelerine yerleştirilmesini sağlar. Paneller, su ortamlarında dengeyi sağlayacak şekilde tasarlanmış yüzen platformlara montelenir. Yüzen güneş enerjisi çiftliklerinin kara tabanlı çiftliklere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Örneğin, kentsel alanlarda bulunan kullanılmayan su kütlelerinden (göller, rezervuarlar vb.) yararlanmak, arazi kullanımına yönelik baskıları azaltabilmektedir. Ayrıca, suyun soğutma etkisi sayesinde paneller daha verimli çalışmaktadır (Rayhan, 2023). Bu sistemlerin su ekosistemleri üzerindeki etkileri minimumda tutularak çevresel faydalar sağlanabilmektedir.

3.2.2. Hidrojen Yakıt Hücreleri

Hidrojen yakıt hücreleri, hidrojen ve oksijenin birleştirilmesiyle elektrik üretirken, yalnızca su buharı ve ısı gibi yan ürünler üretir. Pillerin aksine, hidrojen yakıt hücreleri, yakıt kaynağı mevcut olduğu sürece sürekli olarak enerji üretebilir. Bu teknolojinin en büyük

avantajlarından biri, hidrojenin çeşitli kaynaklardan (doğal gaz, biyokütle, yenilenebilir enerji) üretilmesidir. Bu özellik, hidrojenin esnek ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olmasını sağlar. Ancak, hidrojen yakıt hücrelerinin yaygın olarak benimsenmesinin önünde maliyet, altyapı eksiklikleri gibi zorluklar bulunmaktadır (Rayhan, 2023).

3.2.3. Dalga ve Gelgit Enerjisi

Dalga ve gelgit enerjisi, okyanus dalgalarının ve gelgit hareketlerinin enerjisini kullanarak elektrik üretir. Bu enerji biçimi, rüzgâr ve güneş enerjisinin aksine daha öngörülebilir ve tutarlıdır. Dalga ve gelgit enerjisinin avantajları arasında yüksek enerji yoğunluğu ve diğer yenilenebilir kaynaklara kıyasla daha yüksek öngörülebilirlik yer alır. Ancak bu teknolojiler, hala gelişim aşamasında olup, yüksek kurulum maliyetleri ve deniz yaşamı üzerindeki çevresel etkiler gibi zorluklarla karşı karşıyadır (Rayhan, 2023).

3.2.4. Mikro Şebekeler

Mikro şebekeler, yerel olarak çalışabilen, geleneksel şebekeden bağımsız elektrik kaynakları ve yüklerden oluşan sistemlerdir. Bu şebekeler, yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolama çözümleriyle çalıştırılabilir. Mikro şebekeler, enerji güvenliğini artırabilir, enerji maliyetlerini düşürebilir ve karbon emisyonlarını azaltabilir. Ayrıca, elektrik kesintileri durumunda otonom olarak çalışabilme özelliği, kritik tesisler için hayati önem taşır. Mikro şebekelerin en büyük zorlukları arasında yüksek ilk kurulum maliyeti ve düzenleyici engeller yer almaktadır (Rayhan, 2023).

3.2.5. Enerji Depolama Yenilikleri

Enerji depolama alanında çeşitli yenilikler bulunmaktadır. Bunlar arasında katı hal pilleri, akış pilleri, yer çekimine dayalı depolama sistemleri ve sıvı hava enerjisi depolama sistemleri yer alır. Bu teknolojiler, yenilenebilir enerjinin depolanması ve gerektiğinde kullanılması konusunda büyük bir potansiyel taşımaktadır. Özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi santrallerinden elde edilen fazla enerjinin depolanması açısından oldukça faydalıdır (Rayhan, 2023).

3.3. Sürdürülebilir Enerji Teknolojilerinin Küresel Etkileri

Sürdürülebilir enerji teknolojilerinin küresel etkileri, sera gazı emisyonlarını azaltma, hava kalitesini iyileştirme ve enerji güvenliğini artırma potansiyeline sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artan benimsenmesi, fosil yakıt kullanımını azaltarak enerji bağımsızlığını artırabilir. Ayrıca, bu geçiş, imalat ve mühendislik gibi sektörlerde iş yaratabilir ve ekonomik büyümeyi teşvik edebilir. Bu teknolojilerin en önemli katkıları, iklim değişikliğini yavaşlatma,

hava kalitesini iyileştirme, enerji güvenliğini artırma ve ekonomik büyümeyi teşvik etme potansiyeline dayanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak sera gazı emisyonlarını düşürebilir. Ayrıca, hava kirliliği yüksek olan bölgelerde hava kalitesini iyileştirerek solunum kaynaklı hastalıklarını önleyebilir. Sürdürülebilir enerji çözümleri, yerel enerji üretimi sayesinde daha istikrarlı ve güvenilir enerji tedariki sağlayabilir, bu da bireylere ve işletmelere ekonomik fayda sağlayabilmektedir.

Sürdürülebilir enerji teknolojilerinin benimsenmesi, önemli altyapı yatırımları, teknolojik gelişmeler ve düzenleyici reformlar gerektirmektedir. Bunun yanı sıra, yenilenebilir enerjinin kesintili ve değişken doğası da büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Ancak, bireyler ve işletmeler için daha sürdürülebilir bir gelecek inşa etme fırsatları da mevcuttur. Bu fırsatlar, sürdürülebilir enerji teknolojilerine yatırım yapmayı, enerji verimliliği önlemleri almayı ve çevresel sürdürülebilirlik için politika değişiklikleri önermeyi içerir (Rayhan, 2023).

3.4. Sürdürülebilirlik Bağlamında Doğal Gazın Rolü

2015 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulu, “Dünyamızı Dönüştürmek: Sürdürülebilir Kalkınma İçin 2030 Gündemi” adlı kararı kabul etmiştir. Bu karar, 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi (SKH) ile dünya genelinde sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Bu hedeflerin çoğu, artan enerji talebiyle doğrudan bağlantılıdır ve SKH’lerin başarılabilmesi için hangi enerji kaynaklarının en etkili olacağı konusunda hala tartışmalar devam etmektedir (DSÖ, 2018). 1981-2015 yılları arasında dünya enerji üretimi yaklaşık iki kat artarak 6.68 milyar ton petrol eşdeğerinden 13.23 milyar ton petrol eşdeğerine ulaşmıştır. Aynı dönemde küresel nüfus 4.5 milyardan 7 milyara yükselmiştir. Bu veriler, enerji üretimindeki artış hızının, nüfus artış hızını yaklaşık 1.3 kat oranında aştığını ortaya koymaktadır. Bu durum, enerji tüketiminde gözlemlenen ivmelenmenin, bilimsel ve teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak kaçınılmaz bir eğilim haline geldiğini göstermektedir. Bu bağlamda, doğal gaz çevresel etkileri açısından en temiz fosil yakıt olarak öne çıkmakta ve son 35 yıllık süreçte enerji üretiminde en hızlı büyüyen kaynak konumunda yer almaktadır.

Doğal gazın sürdürülebilir kalkınma üzerindeki rolüyle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmış olup, bu çalışmalar, doğal gazın SKH’lerle ilişkili en önemli enerji kaynağı olduğunu vurgulamaktadır. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP), Dünya Bankası ve Uluslararası Petrol Endüstrisi Çevre Koruma Derneği (IPIECA) tarafından yayınlanan bir atlas, petrol ve gaz endüstrisi ile SKH’ler arasındaki bağlantıları incelemekte ve bu endüstrinin SKH’lerin başarısına nasıl katkıda bulunabileceğini tartışmaktadır. Atlas, özellikle uygun fiyatlı

ve güvenilir enerji (SKH 7), iklim ve yaşam (SKH 13, 14, 15), ekonomik kalkınma (SKH 8, 9), sağlık ve suya erişim (SKH 3, 6) gibi alanlarda güçlü fırsatlar sunmaktadır.

İklim değişikliği, dünya genelindeki en savunmasız nüfusları orantısız şekilde etkileyebilir ve yoksulluğu ortadan kaldırma (SKH 1), cinsiyet eşitliği (SKH 5) gibi hedefleri baltalayabilir. İklim değişikliği ayrıca gıda güvenliğini tehdit edebilir (SKH 2), su kaynaklarını zorlayabilir (SKH 6) ve biyolojik çeşitliliği yok edebilir (SKH 14 ve 15). Bu bağlamda, iklim değişikliğine yanıtlar, diğer SKH'lerin ilerlemesine katkıda bulunabilir, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği yatırımları gibi alanlarda ekonomik fırsatlar meydana getirebilir (SKH 8). Doğal gazın küresel enerji endüstrisindeki rolü, ekonomik kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik için önemli fırsatlar sunmaktadır. Son yıllarda gaz sektöründeki gelişmeler, düşük karbonlu ekonomi için önemli adımlar atılmasını sağlamıştır (Chengzao vd., 2014). Ayrıca enerjiye erişim sorunları, SKH'lerin uygulanmasında temel bir engel teşkil etmektedir. Bu nedenle, enerji sektörünün SKH'lerle ilişkisi ve katkıları, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için kritik bir öneme sahiptir. Doğal gazın bu hedefler üzerindeki olumlu etkileri, gelecekteki enerji stratejilerinin temelini oluşturmaktadır. Doğal gazın avantajları arasında ayrıca düşük sermaye yoğunluğu, ucuzluğu ve daha düşük karbon emisyonları ile geleneksel enerji kaynaklarına göre çevre dostu olması öne çıkmaktadır. Ancak metan emisyonlarıyla ilgili tartışmalar da mevcut, bu emisyonların küresel ısınmaya etkisi çeşitli yöntemlerle hesaplanmaktadır. Ayrıca, doğal gazın farklı sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkısı bulunmakta olup özellikle enerjiye erişimin iyileştirilmesi, sağlık üzerindeki olumlu etkiler ve çevresel etkiyi azaltma gibi başlıklar altında doğal gazın faydaları öne çıkmaktadır (Aksyutin vd., 2020).

Doğal gazın enerji kaynağı olarak kullanılması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkısı üzerine odaklanmaktadır. 2015 yılında Birleşmiş Milletler tarafından kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) kapsamında doğal gazın, yoksulluk, açlık, sağlık, eğitim ve cinsiyet eşitliği gibi alanlarda olumlu etkiler yaratabileceği vurgulanmaktadır. Özellikle su ve enerjiye erişim (SKA 6 ve 7), doğal gazın daha yaygın kullanımıyla sağlanabilir. Elektriğe erişimi olmayan ve sağlıksız enerji kaynaklarına bağımlı olan büyük bir nüfus, doğal gaz sayesinde enerji güvenliği ve daha temiz hava koşulları sağlayabilir. Doğal gazın, özellikle sürdürülebilir ekonomi ve çevresel etki açısından önemli avantajları vardır. Örneğin, yenilenebilir enerjilere göre daha verimli bir enerji üretimi sunmakta ve düşük karbon ayak izi ile iklim değişikliğiyle mücadelede katkıda bulunmaktadır (SKA 13). Ayrıca, doğal gazın kullanımı, ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri azaltarak deniz ve kıyı biyoçeşitliliği (SKA 14 ve 15) için de önemli bir çözüm sunmaktadır. Ekonomik ve toplumsal eşitsizliği azaltarak (SKA 9 ve 10), doğal gazın daha geniş bir erişime sahip olması, daha barışçıl ve güvenli

toplumların oluşmasına zemin hazırlamaktadır (SKA 16). Küresel iş birliğini destekleyen ve kaynakların daha verimli kullanılmasını teşvik eden doğal gaz, SKH 17 ile de ilişkilidir. Doğal gazın kullanımı, yalnızca enerji üretiminde değil, aynı zamanda ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük bir potansiyele sahiptir ve küresel sorunların çözülmesine katkıda bulunmaktadır (Aksyutin vd., 2020).

4. DOĞAL GAZIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

4.1. Karbon Salınımı ve Küresel Isınma

Bu maddenin alt başlıkları atmosferdeki artan CO₂ seviyelerinin çevresel etkilerini ve bu sorunu çözmeye yönelik çeşitli stratejileri tartışmaktadır.

4.1.1. CO₂ Emisyonları ve Küresel Isınma

Fosil yakıtların (özellikle kömürün) yanması, atmosfere salınan en büyük CO₂ kaynağıdır. 1950'den itibaren küresel CO₂ emisyonları %400 oranında artmıştır ve atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu 1750'den bu yana önemli bir artış göstermiş, bu durum, iklim değişikliği ve küresel ısınma üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

2015 Paris Anlaşması'na (PA) göre, küresel sıcaklık artışı 2°C'nin altında tutulmalı ve ideal olarak 1.5°C ile sınırlı olmalıdır. Bu hedefe ulaşmak için yılda 1 gigaton CO₂'nin yakalanması ve depolanması gerekmektedir.

4.1.2. Fosil Yakıtların Rolü ve Elektrik Santralleri

Fosil yakıtla çalışan elektrik santralleri, dünya genelindeki CO₂ emisyonlarının %33-40'ına katkıda bulunmaktadır. Karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojisi, bu emisyonları azaltmanın etkili bir yolu olarak önerilmektedir. Bu teknoloji, fosil yakıtların kullanımına devam ederken atmosfere salınan CO₂ miktarını en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

4.1.3. Karbon Yakalama Teknolojileri:

CO₂'nin atmosferden yakalanması, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. CCS teknolojileri, özellikle elektrik santrallerinde uygulandığında etkili olabilmektedir. CCS teknolojisi, CO₂'yi yer altında depolayarak atmosferdeki sera gazlarını azaltmayı hedeflemektedir.

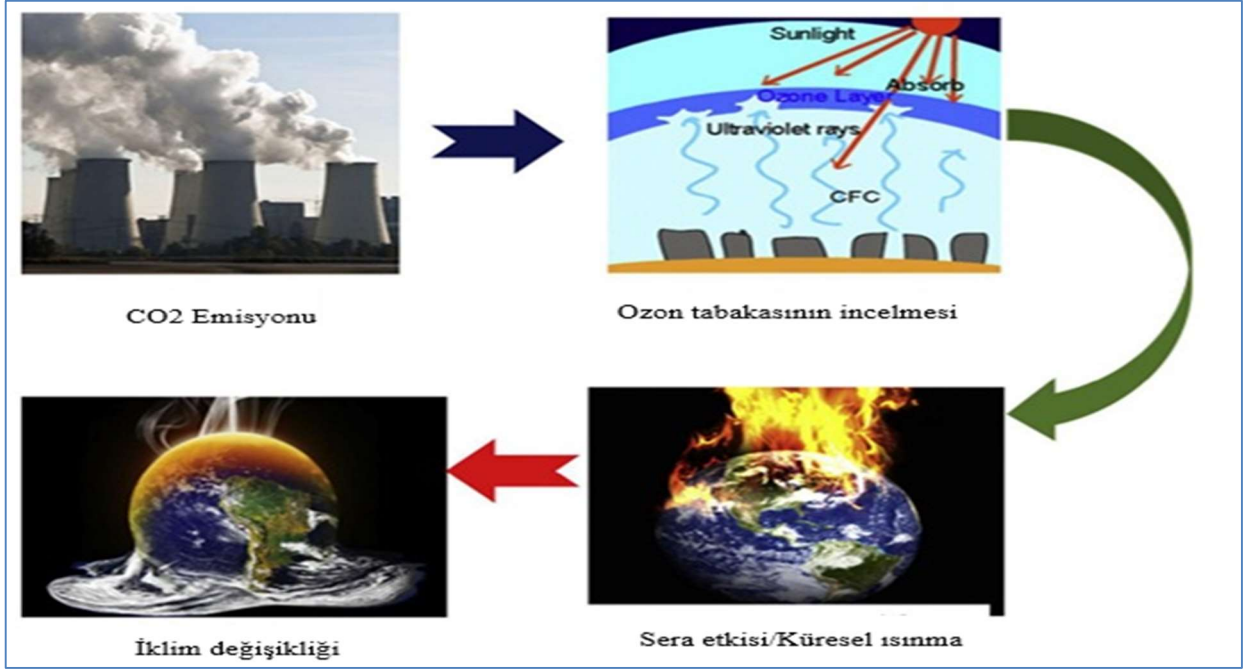
4.1.4. Diğer Sera Gazları

CO₂ dışında, metan (CH₄) ve nitröz oksit (N₂O) gibi diğer sera gazları da küresel ısınmayı artıran önemli faktörlerdir. Metan, tarım, kömür madenciliği ve biyokütle yakımı gibi kaynaklardan salınmaktadır. Nitröz oksit ise tarımsal faaliyetler ve biyogaz üretimi sırasında atmosfere salınan bir diğer güçlü sera gazıdır.

4.1.5. Biyokütle ve Tarım Faaliyetleri

Tarım ve hayvancılık, özellikle metan emisyonlarına yol açan sektörlerdir. Biyokütle yakımından ve atık yönetiminden kaynaklanan metan salınımları, iklim değişikliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. CO₂ ve diğer sera gazlarının emisyonlarını azaltmak için karbon

yakalama ve depolama teknolojilerinin önemini bulunmaktadır. Ayrıca, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının benimsenmesi gibi stratejilerle iklim değişikliğiyle mücadele edilmesi gerekmektedir (Yoro ve Daramolo, 2020).



Şekil 4.1. Fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan küresel ısınma ve iklim değişikliğinin evrimi (Yoro ve Daramolo, 2020).

4.2. CO₂ Emisyon Kaynakları ve Önleme Yöntemleri

CO₂ emisyonuna yol açan başlıca antropojenik kaynaklar şunlardır;

- Fosil yakıtlı motorlar
- Çimento üretimi
- Kömürle çalışan enerji santralleri
- Endüstriyel üretim
- Toplu taşıma
- Arazi kullanım değişiklikleri

CO₂ emisyonuna yol açan başlıca doğal kaynaklar şunlardır;

- Bitki, hayvan ve insan solunumu
- Okyanus-atmosfer değişimi
- Volkanik patlamalar

Önerilen CO₂ emisyon önleme yöntemleri şunlardır;

- ✓ **Karbon yakalama, depolama ve kullanımı (CCSU):** CO₂'nin büyük sabit kaynaklardan yakalanması ve yer altına güvenli şekilde depolanması.
- ✓ **Biyoyakıt kullanımı:** Ulaştırımda fosil yakıt yerine biyoyakıt veya elektrikle çalışan sistemlere geçiş.
- ✓ **Yenilenebilir enerji kaynakları:** Güneş ve nükleer gibi temiz enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması (Yoro ve Daramolo, 2020).

4.3. CO₂ Emisyonlarının Sektörel Dağılımı ve Etkileri

Elektrik üretimi, ulaştırma ve binalar CO₂ salınımında önemli paya sahiptir. Tarım faaliyetleri ise daha düşük bir etki göstermektedir. Eğer önlem alınmazsa, dünya şu tehditlerle karşı karşıya kalabilir:

- ✓ 2050'ye kadar 2°C, 2100'e kadar 4-7°C sıcaklık artışı
- ✓ Gıda güvenliği sorunları
- ✓ Su kaynaklarında azalma ve istilacı türlerin artışı
- ✓ Artan kuraklık, seller ve sağlık sorunları
- ✓ Orman yangınları ve ekosistem tahribatı

4.4. Mevcut CO₂ Emisyon Eğilimleri

2019 itibarıyla CO₂ emisyonları yükseliştir. 2018'de sera gazı emisyonları 55.6 gt CO₂ eşdeğerine ulaşmıştır. Bu artış, ekonomik büyüme ve fosil yakıt kullanımının artmasından kaynaklanmaktadır. 2018'deki emisyonların:

- ✓ %72'si karbondioksit (CO₂)
- ✓ %19'u metan (CH₄)
- ✓ %6'sı nitröz oksit (N₂O)
- ✓ %3'ü F, gazlarından oluşmuştur.

CO₂'nin sera gazları içindeki payı büyüktür ve iklim değişikliğine katkısı çok yüksektir. Eğer mevcut emisyon trendi devam ederse, küresel sıcaklıklar her on yılda ortalama 0.2°C artacağı öngörülmektedir (Yoro ve Daramolo, 2020).

4.5. Sanayilerde CO₂ Emisyonunun Azaltılması

4.5.1. Güç Üretimi

Elektrik üretimi, halen birçok ülkede fosil yakıtların (özellikle kömür) kullanımıyla sağlanmakta

ve bu durum yüksek CO₂ emisyonlarına neden olmaktadır. Kömür, birim enerji başına en fazla karbon salımı yapan fosil yakıttır. Bu nedenle elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonların azaltılması, iklim değişikliğiyle mücadelede kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda alınabilecek önlemler şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ En verimli enerji santrallerinin tercih edilmesi
- ✓ Kömür santrallerinin verimliliğini %35'ten %50'ye çıkaracak teknolojilere yatırım yapılması
- ✓ Kömür gazlaştırma ve kombine çevrim teknolojilerinin kullanılması
- ✓ Gaz türbinlerinin kombine çevrim moduna dönüştürülmesi

Bunlarla birlikte, köklü bir değişim için enerji üretiminde fosil yakıtların yerini yenilenebilir ve nükleer enerji kaynaklarının alması gerekmektedir. Güneş, rüzgâr ve nükleer enerji santralleri, düşük karbon salımı ile sürdürülebilir çözümler sunar. Ayrıca, akıllı şebeke (smart grid) sistemlerinin entegrasyonu da enerji verimliliğini artırmakta, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu kolaylaştırmakta ve hibrit elektrikli araçların yaygınlaşmasını desteklemektedir. Bu sistemler, enerji altyapısında dijitalleşmeyi teşvik ederek karbon emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlar.

4.5.2. Çimento Endüstrisi

Çimento sektörü, yüksek enerji tüketimi ve süreç kaynaklı CO₂ salımları nedeniyle en yoğun karbon yayıcı sanayi kollarından birisidir. Emisyonların yaklaşık %6'sı kalsinasyon sürecinden, %40'ı ise yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bu sektörde emisyonları azaltmak için önerilen başlıca stratejiler şunlardır:

- ✓ Islak üretimden kuru üretime geçiş
- ✓ Klinker yerine puzolan, uçucu kül gibi alternatif katkı maddelerinin kullanımı
- ✓ Kömür ve petrol koku yerine biokütle ya da biokütle-kömür karışımlarının yakıt olarak kullanılması

2050 yılına kadar alternatif yakıt kullanımının %40'a ulaşması ve bunun yarısının biyokütleden sağlanması hedeflenmektedir.

4.5.3. Petrokimya Tesisleri

Petrokimya endüstrisinde CO₂, genellikle oksidatif reaksiyonlar ve yakıt yanması sonucu oluşur. En büyük kaynaklardan biri, akışkan katalitik çatlama (FCC) üniteleridir. Bu sektörde

CO₂ emisyonlarını azaltmak için:

- ✓ CO₂ yakalama sistemlerinin kurulması
- ✓ Absorpsiyon, adsorpsiyon ve membran ayırma teknolojilerinin kullanılması yöntemleri önerilmektedir.

4.5.4. Demir ve Çelik Endüstrisi

Demir-çelik sektörü, küresel antropojenik CO₂ emisyonlarının %7'sinden sorumludur. 2017–2018 yılları arasında üretilen her ton çelik için ortalama 1.83 ton CO₂ salımı gerçekleşmiştir. Bu sektörde CO₂ azaltımı için öne çıkan stratejiler:

- ✓ Enerji verimliliğini artıran yeni teknolojilerin kullanımı,
- ✓ Fosil yakıtlar yerine alternatif yakıtların tercih edilmesi,
- ✓ Hurda metallerin geri dönüştürülmesi,
- ✓ Süreç optimizasyonu ve iş gücünün eğitimiyle daha az emisyonla üretim yapılması

Bu yöntemlerin dışında ayrıca, CCS teknolojilerinin entegrasyonu da, bu alanda CO₂ azaltımı için büyük potansiyele sahip bir yöntem olarak görülmektedir (Yoro ve Daramolo, 2020).

4.6. Uluslararası CO₂ Emisyon Sözleşmeleri

İklim değişikliği küresel bir tehdit olup, emisyon azaltımı için ülkeler çeşitli uluslararası anlaşmalar imzalamıştır. Bunlar arasında:

- ✓ 1979 Cenevre Sözleşmesi
- ✓ 1987 Montreal Protokolü
- ✓ 1997 Kyoto Protokolü
- ✓ 2015 Paris Anlaşması, yer almaktadır.

Özellikle Kyoto Protokolü, gelişmiş ülkeleri tarihsel sorumluluk ilkesi kapsamında emisyonlarını sınırlama yükümlülüğü altına almıştır. Paris Anlaşması ise küresel sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutmayı hedeflemekte ve ülkeleri ulusal katkı beyanları sunmaya teşvik etmektedir (Yoro ve Daramolo, 2020).

4.7. Doğal Gazın Temiz Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi

Enerji güvenliği ve sürdürülebilirlik, iklim değişikliğiyle mücadelede tartışmasız en önemli endişelerdir. Büyük mali etkiler ve yetersiz destekleyici enerji yapısı nedeniyle tamamen yeşil

ve yenilenebilir enerjiye acil bir çağrı yapmak imkânsız görünse de, fosil yakıtlara bir alternatif oluşturulması gerekmektedir. Doğal olarak oluşan bir fosil gaz olan doğal gaz, kömür, bitüm ve dizel gibi diğer fosil yakıtlara kıyasla daha temiz bir enerji kaynağı seçeneğidir. Doğal gaz, kömür gibi diğer fosil yakıtlara karşı rekabet gücü ve yenilenebilir enerjilerin entegrasyonuna yardımcı olma yeteneği nedeniyle, dünyanın herhangi bir ülkesinde sürdürülebilir-yenilenebilir enerji geçişi için en uygundur. Örneğin, Güneydoğu Asya Milletleri Birliği (ASEAN) üye ülkeleri için doğal gaz bileşenleri ve kaynakları bakış açısına odaklanarak, sürdürülebilir-yenilenebilir enerji sistemlerine geçişte doğal gazın kullanılmasının teknolojik yollarını vurgulamak yerinde bir yaklaşım olacaktır. Sürdürülebilir-yenilenebilir enerji geçişinde doğal gazın temel bir alternatif enerji kaynağı olarak geliştirilmesini destekleyen politikalar incelendiğinde bu araştırmalar araştırmacılara, paydaşlara ve politika yapıcılara, bol miktarda bulunan ucuz doğal gazı kullanarak verimli, güvenilir, uygun fiyatlı, sürdürülebilir ve çevre dostu enerji sistemleri inşa etmek ve desteklemek için kapsamlı bir rehber sağlamayı amaçlamaktadır.

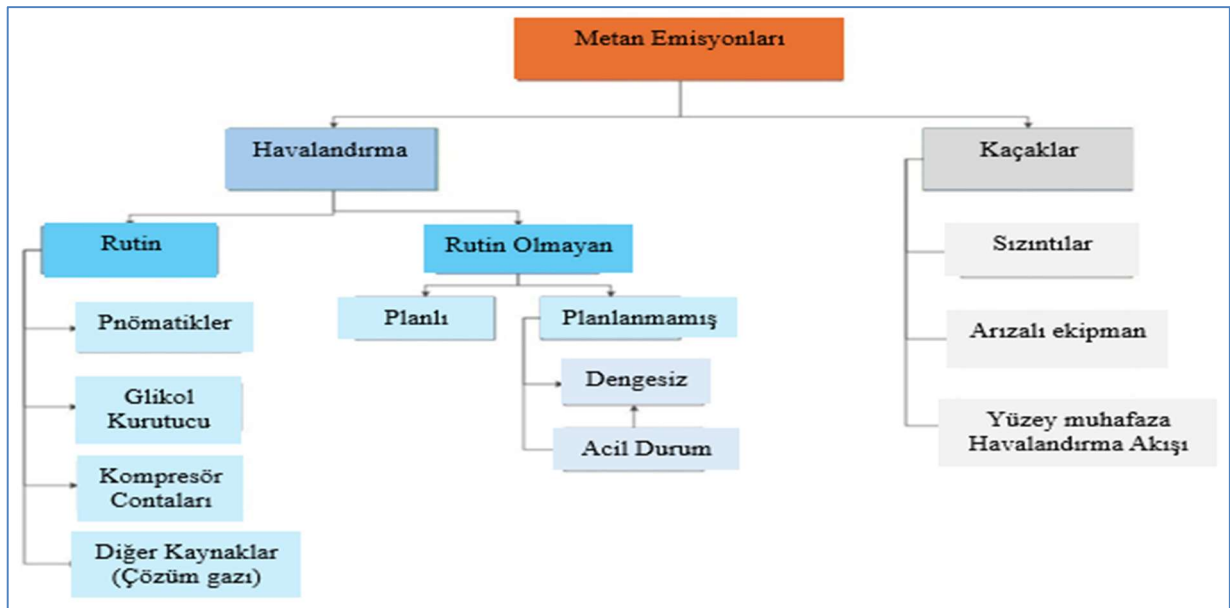
ASEAN bölgesi, iklim değişikliğine karşı yüksek düzeyde kırılganlık göstermesi nedeniyle enerji sistemlerinin karbonsuzlaştırılmasına yönelik politikalarını hızlandırmaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) enerji üretiminde artan payı dikkat çekicidir. Ancak güneş ve rüzgâr gibi değişken YEK'lerin şebeke güvenliği açısından yarattığı dalgalanmalar, sistemde dengeleyici ve esnek kaynaklara olan ihtiyacı artırmaktadır. Doğal gaz, bu geçiş sürecinde “köprü yakıt” işlevi görerek enerji arz güvenliği ve sistem esnekliği açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Diğer fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, birim enerji başına daha düşük karbon salımı üretmesi ve yüksek çevrim esnekliği sunması, doğal gazı YEK entegrasyonunu destekleyen ideal bir kaynak haline getirmektedir. ASEAN ülkelerinde doğal gaz santralleri sıklıkla baz yük ve pik talep dengelemesi için kullanılmakta, böylece yenilenebilir kaynakların elektrik şebekesine entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Bölgenin doğal gaz rezervleri ve mevcut altyapısı (boru hatları, LNG terminalleri vb.) ASEAN içinde enerji ticareti ve bölgesel entegrasyonu destekleyen stratejik bir avantaj sunmaktadır. Bu durum, enerjiye erişimi iyileştirmenin yanı sıra, sistem dayanıklılığını da artırmaktadır. Ancak doğal gaza aşırı bağımlılık, uzun vadeli karbonsuzlaşma hedefleri açısından “karbon kilitlemesi” (carbon lock-in) riskini doğurmaktadır. Bu nedenle enerji politikaları, doğal gazı geçici ve tamamlayıcı bir kaynak olarak değerlendirmeli; uzun vadede yenilenebilir enerji yatırımları, şebeke modernizasyonu ve enerji depolama çözümlerinin önceliklendirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, doğal gaz ASEAN bölgesinde enerji dönüşümünü destekleyen geçici bir çözüm sunmakta, ancak bu rolün stratejik enerji planlaması ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda

dikkatle yönetilmesi gerekmektedir (Mohammad vd., 2021).

4.8. Metan Kaçakları ve Çevresel Sorunlar

Kanada hükümeti, bazı eyalet hükümetleriyle birlikte, 2025 yılına kadar metan emisyonlarını temel değer %40-45'i arasında azaltmak için politikalar belirlemiştir. Temel değerler hükümetler arasında farklılık gösterebilir. Gaz tedarik zinciri, metan emisyonu kaynaklarının belirlendiği ve azaltma teknolojilerinin kuyu başından brülör ucuna kadar değerlendirildiği yukarı akış, orta akış ve aşağı akış sektörlerine ayrılmaktadır. Doğal gaz tedarik zincirlerinden kaynaklanan metan emisyonlarının ekonomik ve çevresel etkilerine ilişkin devam eden tartışmalar doğrultusunda, Kanada Enerji Araştırma Enstitüsü (CERI) Kanada doğal gaz tedarik zincirinin uçtan uca tamamını kapsayan metan emisyonlarını ölçmek ve azaltma fırsatlarını değerlendirmek amacıyla Entegre CH₄ Emisyon Azaltma Modeli (ICERM) adlı bir modelleme aracı geliştirmiştir. CERI, ICERM'i kullanarak 2017 yılında Kanada doğal gaz tedarik zincirinden gelen metan emisyonlarının ölçümlerini yapmıştır.

Ülkede daha fazla petrol ve doğal gaz üretim faaliyeti bulunan batı illeri, doğal gaz talebinin yüksek olduğu ancak diğer illerden doğal gaz tedarik edilen doğu illerine göre daha fazla emisyonla neden olmaktadır. Bu emisyonlar esas olarak petrol ve gaz kuyularından ve toplama tesislerinden kaynaklanmaktadır. Petrol ve gaz kuyuları emisyonları, kuyu başındaki tüm ekipmanlardan ve saha operasyonlarından kaynaklanan metan emisyonlarını içermektedir (Umeozor vd., 2019).



Şekil 4.2. Metan emisyonlarının kategorileri (Umeozor vd., 2019).

Doğal gaz tedarik zincirlerinden kaynaklanan metan emisyonlarının ekonomik ve

çevresel etkilerine ilişkin devam eden tartışmalar doğrultusunda CERİ, Kanada doğal gaz tedarik zincirlerinde metan emisyonu azaltma fırsatlarını araştırmayı amaçlayan bir modelleme aracı geliştirdi. Entegre CH₄ Emisyon Azaltma Modeli (ICERM) olarak adlandırılan model, metan emisyonu azaltma yollarının analizlerini ve düzenleyici politikanın genel azaltma üzerindeki etkisini desteklemek için emisyon inceleme ve azaltma senaryoları analizi için daha resmi ve tutarlı bir çerçeve sağlamak üzere tasarlanmış açık kaynaklı bir Visual Basic aracına paketlenmiştir. İlgili sorunların karmaşıklığı ve mevcut veri edinimi ve kullanılabilirlik zorlukları göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmada geliştirilen modelleme platformu rehberlik sağlar. Ayrıca ölçüm tekniklerinde, azaltma teknolojilerinde ve daha rafine verilerde beklenen gelişmeler daha fazla saha envanteri ve ölçüm kampanyaları aracılığıyla giderek daha fazla kullanılabilir hale geldikçe devam eden tartışmalar sürmektedir. Ölçülen emisyonların çoğu, esas olarak havalandırma (rutin ve rutin olmayan) ve kaçak kaynaklardan kaynaklanan petrol ve gaz sektörü yukarı akış faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır.

Doğal gaz tedarik zincirinden kaynaklanan emisyonlardaki azalmalar konusunda mevcut düzenlemeler kaçak metan emisyonlarının tespiti, ölçümü ve izlenmesi için gereklilikleri ve koşulları açıklığa kavuşturmalıdır. Kaçak emisyonların doğal gaz sistemlerinden kaynaklanan metan salınımının en öngörülemez kaynağı olduğu bilinmektedir. Sızıntı tespiti ve onarımı (LDAR), bu emisyonları kontrol etmek için yaygın olarak kabul gören yöntemdir ve LDAR uygulaması için bir dizi mevcut ve yeni teknoloji bulunmaktadır. Bu teknolojilerin etkinliği, emisyonları tespit etme yetenekleriyle ilgili bir dizi faktöre bağlıdır: bunlar tespit, onarım ve yeniden inceleme maliyetleri ve yeni teknolojilerin standart düzenleyici teknolojilere eşdeğerlik kriteri gibi unsurlardır. Literatürdeki çoğu rapor, gaz tedarik zincirindeki tüm kaçak emisyon sorunlarına yönelik tek bir uygun LDAR çözümü olmadığı konusunda hemfikirler. Düzenlemeler, farklı kaynak kategorilerinden, coğrafi bölgelerden ve yılın mevsimlerinden kaynaklanan emisyonların özelliklerindeki değişkenlikleri karşılayacak doğru özgülük ve esnekliklerin harmanlanmasını gerektirecektir. Metan emisyonunun etkili bir şekilde azaltılması için önerilen politika önlemleri şunlardır; koordineli ölçümler, izleme, raporlama, kontrol ve doğrulama emisyonları düzenlemek için performans hedefleri belirlemek, bölgesel ve zamansal farklılıkları hesaba katan politika mekanizmaları, maliyet etkin azaltmayı sağlamak için teknoloji körü düzenlemeler ve diğer sera gazı azaltım politikalarıyla sinerji içinde bütünleşik uygulama çerçevesidir. Bu nedenle, gaz tedarik zinciri emisyonlarının ekonomik ve çevresel etkilerine ilişkin mevcut anlayışı sınırlayan bazı veri ve niceleme metodolojisi zorluklarını ele alan bir dizi başka çalışma devam etmektedir. Kanada'da, Kaçak Emisyonlar Yönetim Programı Etkinliği Değerlendirmesi (FEMP EA), Petrol Teknolojisi İttifakı Kanada (PTAC), Kanada Petrol

Üreticileri Birliği (CAPP) ve Kanada Kaşifler ve Üreticiler Birliği (EPAC) tarafından ortak bir çabayla yürütölen çalışmalar bu tür çalışmalardır. Bu tür programlarla ve emisyon ölçümüyle ilgili diğer düzenleyici gereklilikler sayesinde yapılan izleme ve raporlama ile mevcut bilgiyi zenginleştirecek yeni saha verileri sunulmuş ve konu hakkında ek bilgiler sağlanmış olmaktadır. (Umeozor vd., 2019).

5. LİTERATÜR ÖZETİ

Türkiye'deki hane halklarının fosil yakıt tüketimi ve bu tüketimin iklim değişikliği üzerindeki etkilerini incelemesi ile ilgili yapılan bir çalışmada (Çoruh vd., 2024), hanehalkı düzeyindeki fosil yakıt harcamalarının sosyoekonomik ve davranışsal faktörlerle ilişkisini araştırarak, fosil yakıt tüketiminin çevresel etkilerini anlamayı hedeflemiştir. Bu bağlamda, Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2019 yılına ait hanehalkı bütçesi verileri çift engel sansürlü ekonometri modeli ile katılım ve harcama seviyesi kararlarını anlamayı amaçlayan çalışmanın temel amacı, fosil yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak ortaya çıkan CO₂ emisyonlarının, özellikle ulaşım sektöründeki etkilerini azaltmak için politika önerileri geliştirilmiştir. Fosil yakıt tüketiminin hanehalkı düzeyinde, özellikle gelir seviyesi, eğitim düzeyi, aile büyüklüğü ve yaşam tarzı gibi sosyoekonomik faktörler ile ilişkili olduğu bulunmuştur (Çoruh vd., 2024). Çalışmanın sonuçlarına göre, eğitim seviyesi yüksek olan haneler, özellikle genç nesiller arasında, çevre bilincinin daha yüksek olması sebebiyle daha düşük yakıt harcamalarına sahiptir. Ayrıca, hane reisi'nin kadın olduğu ve bekâr ya da boşanmış bireylerin yönettiği haneler, genellikle daha düşük fosil yakıt harcaması yapmaktadır. Gelir seviyesi arttıkça, özel otomobil yakıt harcamaları da artmaktadır. Hanehalklarının sahip olduğu mülk sayısı ve kredi kartı kullanımı da harcamaları artıran faktörlerdendir. Araştırmanın politika önerileri, elektrikli araçların yaygınlaştırılmasını ve çevre dostu ulaşım seçeneklerinin teşvik edilmesini içermektedir. Ayrıca, kredi kartları üzerinden yapılan yakıt alımlarına yönelik indirim ve teşviklerin uygulanması, sürdürülebilir şehir planlamaları ve toplu taşıma sistemlerinin güçlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu politika önerilerinin, genç aileler ve çevre bilincine sahip bireyler üzerinde etkili olacağı düşünülmekte olup sonuç olarak, çalışma, hanehalkı düzeyindeki fosil yakıt tüketiminin ve CO₂ emisyonlarının azaltılmasında eğitim, gelir seviyesi ve yaşam tarzı değişikliklerinin önemli bir rol oynayacağını ortaya koymaktadır. Bu unsurların dikkate alınarak, düşük karbonlu tüketime yönlendirecek politikaların uygulanması gerektiği sonucuna varılmaktadır (Çoruh vd., 2024)

Çin'deki hanehalkı sera gazı emisyonları hakkında yapılan kapsamlı araştırma bu emisyonların düzeyini, kaynaklarını, belirleyici faktörlerini ve azaltım potansiyelini ortaya koymaktadır (Safari vd., 2019). Araştırmada, 2015 yılına ait mikro düzey hanehalkı tüketim verileri ve tek bölgeli girdi-çıkıtı analizine dayalı yöntem kullanılmıştır. Hanehalkı emisyonları doğrudan enerji tüketimi (örneğin kömür, doğal gaz) ve dolaylı tüketim (örneğin gıda, elektrik, hizmet üretimi) kaynaklı CO₂ ve CO₂ dışı sera gazlarını (CH₄, N₂O, F-gazları) içermektedir. Çin'in karbon nötr hedeflerine ulaşması açısından hanehalkı tüketimi kritik öneme sahiptir. 2015 yılı itibarıyla kişi başı ortalama hanehalkı emisyon miktarının %23'ü doğrudan enerji ve elektrik

kullanımından, %77'si ise dolaylı tüketimden kaynaklanmaktadır. Kentsel hanelerin emisyonlar, kırsal hanelerin emisyonlarının yaklaşık iki katıdır. Gelir seviyesi arttıkça, hem kentsel hem de kırsal bölgelerde kişi başı emisyonlar belirgin biçimde yükselmektedir (Xie vd., 2023). Kırsal bölgelerde bu artış %60'a kadar çıkabilmektedir. Emisyonların önemli bir bölümü konut, gıda ve ulaşım harcamalarından kaynaklanmaktadır. Logaritmik Ortalama Ayırıştırma Endeksi (LMDI) yöntemi ile yapılan ayırıştırma analizine göre, kentsel ve kırsal haneler arasındaki emisyon farkının temel belirleyicisi toplam tüketim düzeyidir. Emisyon yoğunluğu ve tüketim yapısı daha sınırlı etkiye sahiptir. Ayrıca, kentsel hanelerde doğal gaz kullanımı CH₄ emisyonlarını artırarak, CO₂ emisyonlarındaki azalmayı dengeler hale getirmektedir. Çalışmanın en önemli katkısı, Çin'deki evsel sera gazı emisyonlarını sadece CO₂ değil, aynı zamanda CH₄, N₂O ve F-gazlarını da kapsayacak biçimde analiz ederek, politika yapımcılar için daha bütüncül bir çerçeve sunmasıdır. Sonuç olarak, karbon nötr hedeflere ulaşmada hanehalkı tüketimi temel belirleyici unsurlardan biridir. Bu nedenle, gelir grupları ve bölgesel farklılıklar gözetilerek geliştirilecek, düşük karbonlu kentleşme, gıda politikaları ve davranışsal müdahaleler gibi bütüncül ve hedeflenmiş stratejiler, Çin'in iklim politikalarının etkinliğini artırabilir (Xie vd., 2023).

Danimarka'nın AB Enerji Verimliliği Direktifi kapsamında ki enerji tasarrufu hedefini gerçekleştirme potansiyelini inceleyen bir çalışmada odak noktası (Andersen vd., 2020), konut ısıtma sistemlerinde uygulanan enerji verimliliği politikalarının, hanelerin yatırım kararlarını etkileyen engel oranı (örtük iskonto oranı) üzerinden değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca, doğrudan geri tepme etkileri ve refah üzerindeki olası sonuçlar da analiz edilmiştir. Araştırma, 2017–2030 dönemini kapsamakta ve 2020, 2025 ile 2030 yılları için enerji talebi, maliyetler ve refah etkilerine dair öngörüler sunmaktadır. Danimarka özelinde yürütülen analizde, IntERACT adlı hibrit model kullanılmıştır. Bu model, TIMES-DK (enerji arzı) ve CGE (ekonomik talep) bileşenlerini bütünleştirerek farklı engel oranı senaryoları (%25'ten %4'e) üzerinden yatırım kararları simüle edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, yüksek engel oranlarının enerji verimliliği yatırımlarını nasıl geciktirdiğini anlamak ve sübvansiyonlar ile bilgilendirme politikaları yoluyla bu oranların düşürülmesinin etkilerini değerlendirmektir. Yapılan çalışma engel oranının azaltılmasının hem enerji tasarrufu hedeflerine ulaşmayı kolaylaştırdığını hem de gelir ve refah üzerinde olumlu etkiler meydana getirdiğini ortaya koymuştur (Andersen vd., 2020).

Doğal gazın kısa ve orta vadede yenilenebilir enerjiye geçişte bir köprü yakıt olarak oynadığı rolü ele alan bir çalışmada (Safari vd., 2019) enerji arz güvenliği, altyapı eksiklikleri ve ekonomik kısıtlar nedeniyle birçok ülke için doğal gazın, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş sürecinde pratik bir çözüm sunması beklenilmiştir. Ayrıca doğal gazın düşük karbon salınımı, mevcut altyapılarla uyumu ve kömüre kıyasla çevresel avantajları nedeniyle önemli bir

alternatif olarak öne çıkmaktadır. Ancak metan sızıntısı gibi çevresel riskler, uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından sınırlayıcı bir faktör oluşturmaktadır. Çalışma, İran, Hindistan, Norveç ve İngiltere örnekleri üzerinden doğal gazın enerji geçişindeki farklı rol ve zorluklarını analiz etmektedir. Doğal gazın rolü; altyapı kapasitesi, kaynak potansiyeli ve politika tercihleri gibi ülkeye özgü koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ulaştırma gibi bazı sektörlerde kullanımı sınırlı olup, metan emisyonları nedeniyle tartışmalıdır. 2040 yılına kadar doğal gazın küresel enerji karmasında petrolün ardından ikinci sırada yer alacağı öngörülmekte olup, özellikle SKA 7 (erişilebilir ve temiz enerji) ve SKA 13 (iklim eylemi) gibi hedeflerle ilişkilendirilmektedir. Ancak karbon yakalama ve depolama teknolojilerinin yetersizliği, doğal gazın uzun vadeli çözüm olma kapasitesini sınırlandırmaktadır. Bu bağlamda, kombine çevrim gaz türbinleri (CCGT), hibrit güneş-doğal gaz sistemleri ve Power-to-Gas (P2G) gibi teknolojiler, enerji sistemlerinin esnekliğini ve kararlılığını artırmak adına kritik öneme sahiptir. Özellikle ASEAN ülkelerinde doğal gaz ve yenilenebilir kaynakları birleştiren entegre ve akıllı enerji sistemleri, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada etkili araçlar olarak ortaya çıkmaktadır. Dijitalleşme, gerçek zamanlı veri yönetimi ve sektörler arası bağlantı sayesinde bu sistemler, düşük karbonlu ekonomilere geçiş sürecini desteklemekte ve enerji dönüşümünde doğal gazın rolünü pekiştirmektedir (Safari vd., 2019).

Gana'daki hanehalklarının yemek pişirme ve aydınlatma amaçlı enerji tercihlerinin belirleyicilerini analiz etmekte ve hane düzeyinde Çok Boyutlu Enerji Yoksulluğu İndeksi'ni (MEPI) hesaplanmasına dayalı olarak araştırma yapılmıştır (Karakaya vd., 2019). Bu araştırma 2003, 2008 ve 2014 yıllarına ait Gana Demografi ve Sağlık Araştırması (GDHS) verilerine dayanmakta olup ülke genelinde hem kentsel hem de kırsal bölgeleri kapsamaktadır. Enerji türü tercihlerinin; gelir düzeyi, eğitim durumu, bölgesel farklılıklar ve demografik özelliklerle ilişkisi, çok terimli lojistik regresyon modeli ile incelenmiştir. Pişirme için kullanılan enerji türleri arasında elektrik, LPG, kömür, odun ve gazyağı yer alırken; aydınlatmada şebeke elektriği, jeneratör ve diğer kaynaklar dikkate alınmıştır. MEPI hesaplamasında ise modern pişirme yakıtına erişim, iç hava kirliliği, aydınlatma durumu, ev aletlerine, eğlence/egitim araçlarına ve iletişim araçlarına erişim gibi altı gösterge kullanılmıştır. Çalışma, enerjiye erişimin hem yoksulluğun nedeni hem de sonucu olabileceği varsayımını test etmekte ve enerji yoksulluğunun; sağlık, zaman kullanımı ve yaşam kalitesi gibi sosyal etkilerine dikkat çekmektedir. Bulgular, özellikle kırsal bölgelerde yaşayan kadınlar ve çocuklar gibi kırılgan grupların enerji yoksulluğundan orantısız şekilde etkilendiğini göstermekte ve politika yapıcılara kırsal-kentsel farkları gözetken, kapsayıcı enerji politikaları geliştirmeleri için rehberlik etmeyi amaçlamaktadır (Karakaya vd., 2019).

Temiz enerji kaynaklarına erişim ve sürdürülebilir tüketim, sosyoekonomik kalkınma ve insan refahının artırılması için kritik öneme sahiptir. Ancak dünya genelinde yaklaşık 2.7 milyar insan hâlâ yemek pişirme gibi temel ihtiyaçlarını karşılamak için biokütle kullanmakta ve bu durum, kapalı alan hava kirliliğine bağlı yıllık 3.5 milyon ölüme neden olmaktadır. Gelişmiş ülkelerde temiz enerjiye erişim yaygınken, Sahra Altı Afrika'da enerji tüketimi büyük ölçüde biokütleyle bağımlı kalmaktadır. Kenya hanehalklarının yaklaşık %68'i enerji ihtiyaçlarını karşılamak için biokütleyle bağımlıdır (Mbaka vd., 2019). Elektrik ve petrol ürünleri toplam enerji tüketiminin yalnızca %31'ini oluşturmaktadır. Elektrifikasyon ve yenilenebilir enerji çözümleri gibi çeşitli ulusal politikalar ve programlar sayesinde enerji erişimde bazı ilerlemeler kaydedilmiş olsa da, temiz enerji tüketimi hâlâ düşüktür. Özellikle biokütle kullanımından kaynaklı iç hava kirliliği, Kenya'da yılda yaklaşık 15,000 insanın ölümüne neden olmaktadır. Enerji tercihlerini ve tüketim yoğunluklarını etkileyen faktörleri analiz etmeyi amaçlayan çalışmada (Mbaka vd., 2019), 2009 yılına ait Ulusal Enerji Araştırması verileri kullanılmış ve 3,663 haneden oluşan temsili bir örnekleme çalışılmıştır. Çift engel modeline göre, enerji tüketimi iki aşamada gerçekleşmektedir: İlk aşama, hanehalkı'nın belirli bir enerji kaynağını kullanıp kullanmama kararıdır (katılım); ikinci aşama ise bu kaynağı ne düzeyde (yoğunluk) tüketeceğiyle ilgilidir. Bu model, her iki kararın da farklı faktörlerden etkilenebileceği varsayımına dayanır. Analizde kullanılan bağımsız değişkenler arasında yaş, eğitim, cinsiyet, konut tipi, hane geliri, medeni durum ve karar alıcı kimliği gibi sosyoekonomik faktörler yer almıştır. Modelin sonuçları, katılım ve tüketim düzeylerini etkileyen faktörlerin farklılaştığını göstermektedir. Elektrik, LPG, gazyağı, kömür ve odun gibi farklı enerji kaynakları için koşullu ve koşulsuz marjinal etkiler hesaplanmıştır. Bu analizler, enerji politikalarının hedeflenmesinde kritik rol oynayabilecek nüfus gruplarını ve faktörleri belirlemede önemli bilgiler sunmaktadır (Mbaka vd., 2019).

Birleşik Krallık'taki hanehalkı düzeyindeki elektrik ve gaz harcamalarını etkileyen çeşitli faktörleri analiz ederek enerji kullanımının azaltılmasına yönelik politika önerileri geliştirmeyi amaçlayan bir çalışmada (Taneja ve Mandys, 2022), 2011-2020 yılları arasında elde edilen verilerle gerçekleştirilmiş olup toplumu anlama veri seti ile Enerji ve Sanayi Stratejisi Bakanlığı'ndan (BEIS) alınan fiyat verileri kullanılmıştır. Hanehalkı özellikleri, konut özellikleri, enerji fiyatları ve bölgesel etmenlerin enerji harcamaları üzerindeki etkilerini incelemektedir. Ayrıca, ev sahipleri ve kiracılar arasındaki farklar da özel bir analiz konusu olmuştur. Kiracılar, enerji verimliliğini artırma konusunda ev sahiplerine kıyasla daha az esnek oldukları için enerji fiyatlarındaki artışa karşı daha duyarlıdırlar. Bunun yanı sıra, ev büyüklüğü ve oda sayısının enerji tüketimini artırdığı, merkezi ısıtma sistemlerinin ise enerji harcamalarını

azalttığı bulunmuştur. İnternet erişimi olan haneler ise elektrik harcamalarını artırmaktadır. Gelir değişimlerinin ise gaz harcamalarına olan etkisi, elektrik harcamalarına göre daha düşük bulunmuştur. Bu bulgular, enerji harcamalarını azaltma potansiyelinin ev sahipleri ve kiracılar arasında farklılıklar gösterdiğini ve politika geliştirme süreçlerinde kiracılara yönelik özel düzenlemelerin yapılması gerektiğini ayrıca emekliler ve düşük gelirli haneler için enerji tasarrufu teşvikleri ve düzenlemeleri önerilmektedir. İlgili çalışma, ev sahibi-kiracı ayırımına dikkat ederek geniş ve güncel bir panel veri setiyle enerji harcama kalıplarını inceleyen nadir çalışmalardan biridir ve bu yönüyle literatüre önemli bir katkı sunmaktadır. Araştırma, hanehalkı düzeyindeki enerji harcamalarını azaltmaya yönelik etkili politikaların oluşturulmasına yardımcı olmayı hedeflemektedir (Taneja ve Mandys, 2022).

6. MATERYAL VE METOD

6.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan veriler, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 1 Ocak 2022 – 31 Aralık 2022 tarihleri arasında gerçekleştirilen hanehalkı Bütçe Anketi’nden elde edilmiştir. TÜİK, her ay yaklaşık bin hane ile anket yaparak, sosyo-demografik ve ekonomik değişkenler açısından önceki aylara benzer niteliklere sahip hanelerden veri toplamakta ve böylece mevsimsel etkileri arındırmaktadır. 2022 yılı boyunca toplamda 11,922 hane anketlere katılım sağlamıştır. Çalışma kapsamında, aykırı değerler ve eksik bilgi içeren gözlemler çıkarıldıktan sonra 11,296 haneye ait veriler analiz edilmiştir.

6.2 Metot

Çift Engel Sansür Modeli (Double-hurdle Censored Regression Model), bağımlı değişkenin sıfır değerler aldığı durumlarda hem katılımcıların katılım kararlarını hem de gerçekleşen sonuçları analiz etmeye olanak tanıyan gelişmiş bir ekonometri yöntemidir. Bu model özellikle, örneğin hane halklarının aylık doğal gaz harcamaları gibi sıfır gözlemlerin yoğunlukta olduğu veri setleri için oldukça uygundur. Standart Tobit modelinden temel farkı, sıfır harcamaların yalnızca tek bir nedene değil, iki ayrı karara bağlı olarak ortaya çıkabileceğini varsaymasıdır: (1) hanehalkı’nın doğal gaz kullanma kararı (katılım aşaması) ve (2) doğal gaz kullanımı durumunda ne kadar harcama yapılacağına ilişkin karar (sonuç aşaması). Model, bu iki sürecin hata terimlerinin birbiriyle ilişkili olabileceğini öngören “kalıntı bağımlılığı” (residual dependence) varsayımı altında çalışır. Bu çerçevede, hanehalkı için gözlemlenen bağımlı değişken y_i — yani aylık doğal gaz faturası ya da harcama tutarı — iki aşamalı bir karar süreci sonucunda belirlenmektedir.

6.2.1. Katılım Denklemi

Hanehalkı’nın doğal gaz kullanıp kullanmama kararı bir Probit regresyon mekanizması ile belirlenmektedir:

$$\begin{aligned} d_i^* &= z_i^T \gamma + u_i, \quad u_i \sim N(0,1) \\ d_i &= 1 \text{ eğer } d_i^* > 0 \text{ (doğal gaz harcaması gerçekleşir),} \\ d_i &= 0 \text{ aksi halde (doğal gaz harcaması gerçekleşmez)} \end{aligned} \quad (1)$$

Burada; d_i^* gözlemlenemeyen (gizli) katılım eğilimi değişkeni iken, d_i gözlemlenen ikili harcama kararı değişkenidir. Ayrıca z_i katılım kararını etkileyen yordayıcı değişkenler vektörü (örneğin hane geliri, aile reisinin karakteristik özellikleri, oturlan evin özellikleri gibi) olup bunlara ilişkili katsayı vektörü γ olarak ifade edilmektedir ve harcama kararı

kalıntıları $u_i \sim N(0,1)$ olarak gösterilmekte ve normal dağılım altında gerçekleştiği varsayılmaktadır.

6.2.2 Sonuç Denklemi

Eğer hanehalkı doğal gaz harcamasında bulunduysa ($d_i=1$), bağımlı değişkenin seviyesini belirleyen bir sansürlü regresyon modeli kullanılır:

$$\begin{aligned} y_i^* &= x_i^T \beta + v_i, v_i \sim N(0, \sigma^2) \\ y_i &= y_i^* \text{ eğer } d_i = 1 \text{ ve } y_i^* > 0, y_i = 0 \text{ aksi halde} \end{aligned} \quad (2)$$

Burada y_i^* gizli (latent) hanehalkı'nın aylık doğal gaz harcaması (Türk Lirası, TL), y_i hanehalkı'nın gözlemlenen aylık doğal gaz tüketim harcama tutarı (TL) iken x_i yordayıcı değişkenler vektörüdür (örneğin, hanenin geliri, aile büyüklüğü, yaşam yerinin konumu ve özellikleri, aile reisinin karakteristik özellikleri gibi). Öte yandan β parametre vektörü yordayıcı değişkenlerin tahmin edilecek katsayılarını göstermektedir ve v_i sonuç denkleminde ait hata terimi ifade etmekte olup, $v_i \sim N(0, \sigma^2)$ olarak dağılır. Burada $y_i^* > 0$ doğal gaz harcamasının negatif olamayacağını ifade etmekte ve $y_i = 0$, hem katılımın olmaması (örneğin, doğal gaz bağlantısının olmadığı) hem de potansiyel tüketimin sıfır olması (doğal gaz bağlantısı olduğu halde hiç kullanılmadığı durumu yansıtmaktadır) durumlarını kapsar. Katılım ve harcama süreçleri arasında hata terimleri korelasyonlu olup bunu aşağıdaki ilişki ile belirtiyoruz:

$$\begin{pmatrix} u_i \\ v_i \end{pmatrix} \sim N \left(\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & \rho\sigma \\ \rho\sigma & \rho\sigma \end{pmatrix} \right) \quad (3)$$

Burada ρ her iki denklemin hata terimleri arasındaki korelasyon katsayısıdır. Örneğin, gözlemlenemeyen yordayıcı bir faktör hem doğal gaz kullanım olasılığını hem de harcama miktarını artırabilir; bu bağımlılık modellenmezse tahminler yanlı olur. Ailelerin log olabilirlik fonksiyonu $y_i = 0$ ve $y_i > 0$ durumlarını ayırır (Çoruh et al., 2024):

$$\ln L = \sum_{y_i=0} \ln \left[1 - \Phi_2 \left(z_i^T \gamma, x_i^T \beta / \sigma, \rho \right) \right] + \sum_{y_i>0} \ln \left[\frac{1}{\sigma} \phi \left(\frac{y_i - x_i^T \beta}{\sigma} \right) \Phi \left(\frac{z_i^T \gamma + \rho \left(\frac{y_i - x_i^T \beta}{\sigma} \right)}{\sqrt{1 - \rho^2}} \right) \right] \quad (4)$$

Burada $y_i = 0$ olduğunda hanehalkı doğal gaz kullanmıyor (ya altyapı eksikliği ya da tercih edilmiyor) ve $y_i > 0$ olduğunda ise hanehalkı doğal gaz kullanıyor ve aylık ortalama harcama gerçekleşiyor. Ayrıca Φ , ϕ ve Φ_2 sırasıyla tek değişkenli kümülatif ve yoğunluk dağılım

fonksiyonları ve iki değişkenli kümülatif dağılım fonksiyonunu ifade etmektedir. Log-olabilirlik fonksiyonu (LnL) algoritma kullanımı ile ilgili parametrelere (γ , β , σ ve ρ) ulaşılmaktadır. Parametreler tahmin edildikten sonra ailelerin beklenen doğal gaz kullanma olasılığı, şartsız ve şartlı harcama tutarı sırasıyla şu şekilde elde edilmektedir:

$$P(y_i > 0) = \Phi_2(z_i^T \gamma, x_i^T \beta / \sigma, \rho)$$

$$E[y_i] = x_i^T \beta + \sigma \left[\Phi_2(z_i^T \gamma, x_i^T \beta / \sigma, \rho) \right]^{-1} + \left\{ \phi(x_i^T \beta / \sigma) \Phi \left(\frac{z_i^T \gamma - \rho(x_i^T \beta / \sigma)}{(1 - \rho^2)^{1/2}} \right) + \rho \phi(z_i^T \gamma) \Phi \left(\frac{x_i^T \beta / \sigma - \rho(z_i^T \gamma)}{(1 - \rho^2)^{1/2}} \right) \right\}$$

$$E[y_i | y_i > 0] = E[y_i] / P(d_i = 1) \quad (5)$$

Yukarıdaki her bir denklem yordayıcı değişkene (ya \mathbf{z} veya \mathbf{x}) göre türevi alındığında denklemin birim (marjinal) etkilerine ulaşılmış olup, yordayıcı değişkende bir birim değişmenin karşılığında ilgili bağımlı değişkenin (d veya y) değerinde meydana gelen birimlik değişmeyi göstermektedir. Delta metodu kullanarak marjinal etkilerin standart sapmalarına ulaşılmaktadır (Çoruh et al., 2024).

7. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Modelde bağımlı ve yordayıcı değişkenlere ait betimleyici istatistiki değerler Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Bağımlı ve açıklayıcı değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri

Değişkenler	Tanımlar	Ortalama (Std. Sapma)	VIF
Bağımlı Değişken:			
Gaz harcaması	Hanehalkı aylık doğal gaz harcama tutarı (TL)	221.950 (256.566)	-
Bağımsız Değişkenler:			
İkili Açıklayıcı Değişkenler (hanehalkı ve hane reisi'nin karakteristik özellikleri, Evet=1 Hayır=0)			
Bebek patlaması kuşağı	1946 - 1964 yaş grubunda ise 1, değilse 0	0.345 (0.475)	-
X kuşağı	1965 - 1980 yaş grubunda ise 1, değilse 0	0.338 (0.473)	2.217
y kuşağı	1981 - 1996 yaş grubunda ise 1, değilse 0	0.318 (0.466)	3.327
Zorunlu sigorta	Zorunlu sigortası var ise 1, değilse 0	0.831 (0.375)	-
Yeşil kart	Yeşil kartı var ise 1, değilse 0	0.118 (0.322)	1.320
Özel Sigorta	Özel sigortası var ise 1, değilse 0	0.051 (0.221)	1.078
Hiç evlenmemiş	Hiç evlenmemişse 1, değilse 0	0.050 (0.218)	-
Evli	Evli ise 1, değilse 0	0.785 (0.411)	4.950
Boşanmış	Boşanmış ise 1, değilse 0	0.056 (0.230)	2.277
Dul	Dul kalmış ise 1, değilse 0	0.109 (0.312)	4.010
Diğer istihdam	Diğer istihdam türlerinden yararlanıyor ise 1,değilse 0	0.358 (0.479)	-
Aktif çalışan	Aktif çalışan ise 1, değilse 0	0.607 (0.488)	2.770
İş arayan	İş arıyor ise 1, değilse 0	0.036 (0.185)	1.610
Gayri resmi eğitim	Resmi bir eğitimi yoksa 1, aksi halde 0	0.116 (0.320)	-
İlköğretim	İlköğretim mezunu ise 1, aksi halde 0	0.388 (0.487)	3.331
Lise	Lise mezunu ise 1, aksi halde 0	0.141 (0.348)	2.482
Yüksekokul	Yüksekokul mezunu ise 1, aksi halde 0	0.184 (0.388)	3.138
Üniversite	Üniversite mezunu ise 1, aksi halde 0	0.171 (0.376)	3.519
Müstakil ev	Müstakil evi varsa 1, değilse 0	0.303 (0.459)	-
İkiz ev	Yapışık hane ise 1, değilse 0	0.118 (0.322)	1.375
Diğer ev	Ev dışında kooperatif konutları, misafirhaneler veya işveren tarafından sağlanan konutlar, miras kalan evler, paylaşımlı mülkiyet ve benzeri türler ise 1, değilse 0	0.580 (0.494)	2.586
Diğer mülkiyet	Diğer mülkiyeti var ise 1, değilse 0	0.123 (0.328)	-
Ev sahipleri	Ev sahibi ise 1, değilse 0	0.612 (0.487)	3.071
Kiracılar	Kiracı ise 1, değilse 0	0.265 (0.441)	2.488
Cinsiyet	Erkek ise 1, değilse 0 (referans)	0.750 (0.433)	1.864
Çocuksuz Aile	Çocuğu yok ise 1, var ise 0	0.518 (0.500)	2.758
Tarımsal destek	Tarımsal destek alıyorsa 1, değilse 0	0.069 (0.253)	1.229

Kira geliri	Kira geliri var ise 1, değilse 0	0.107 (0.309)	1.409
Alışveriş merkezlerine yakınlık	Konutu alışveriş merkezlerine yakın ise 1, değilse 0	0.738 (0.440)	3.851
Bankalara yakınlık	Konutu bankalara yakın ise 1, değilse 0	0.589 (0.492)	2.388
Ulaşım merkezlerine yakınlık	Konutu ulaşım merkezlerine yakın ise 1, değilse 0	0.727 (0.445)	4.046
Sağlık merkezlerine yakınlık	Konutu sağlık merkezlerine yakın ise 1, değilse 0	0.711 (0.453)	3.911
	Konutu okula yakın ise 1, değilse 0	0.750 (0.433)	3.190
Okul bölgesine yakınlık			
Sigara alışkanlığı	Sigara alışkanlığı varsa 1, değilse 0	0.522 (0.500)	1.145
Alkol alışkanlığı	Alkol alışkanlığı varsa 1, değilse 0	0.066 (0.248)	1.105
Dışarıda yemek alışkanlığı	Dışarıda yemek yeme alışkanlığı varsa 1, değilse 0	0.432 (0.495)	1.360
Gazete okuma alışkanlığı	Gazete okuma alışkanlığı varsa 1, değilse 0	0.060 (0.238)	1.116
Ücretli TV aboneliği	Ücretli TV aboneliği varsa 1, değilse 0	0.140 (0.347)	1.261
Oyun oynama alışkanlığı	Oyun oynama alışkanlığı varsa 1, değilse 0	0.069 (0.254)	1.132
Kahvehane alışkanlığı	Kahvehaneye gitme alışkanlığı varsa 1, değilse 0	0.219 (0.414)	1.172
Alışveriş alışkanlığı	Alışveriş alışkanlığı varsa 1, değilse 0	0.573 (0.495)	1.131
Sürekli Değişkenler:			
Araba sayısı	Araba sayısı	0.484 (0.556)	1.377
Çalışan kişi sayısı	Çalışan kişi sayısı	1.136 (0.902)	2.087
İşsiz kişi sayısı	İşsiz kişi sayısı	0.137 (0.401)	1.410
Eğitilmiş kişi sayısı	Eğitilmiş kişi sayısı	0.216 (0.501)	1.269
Emekli kişilerin sayısı	Emekli kişilerin sayısı	1.802 (1.376)	2.185
Bina yaşı	Bina yaşı	24.924 (16.100)	1.344
Konut alanları	Konut alanları	109.387 (31.702)	1.198
Toplam ev özellikleri	Toplam ev özellikleri	8.012 (1.895)	2.452
Ev araçları	Ev araçları	3.285 (1.036)	1.455
Gayrimenkul sayısı	Gayrimenkul sayısı	0.965 (1.028)	2.231
Haftalık harcama	Haftalık harcama	2550.683 (1770.136)	1.583

Araştırma kapsamında yer alan hanelerin aylık doğal gaz ortalama harcaması 221.95 (Standart Sapma (SS) =256.566) Türk Lirası (TL) olarak belirlenmiştir. Hane reislerinin doğum yıllarına göre dağılımı incelendiğinde, 1965 öncesinde doğanlarla 1965-1980 yılları arasında doğanların oranının eşit olduğu ve her iki grubun %34'lük bir paya sahip olduğu görülmektedir. 1980 sonrası doğanların oranı ise %32'dir. Hane reislerinin %83'ünün zorunlu sigortaya sahip olduğu, %12'sinin yeşil kartlı olduğu, %5'inin özel sigorta sahibi olduğu görülmektedir. Hane reisi'nin %78'inin evli olduğu, %5'inin hiç evlenmemiş ve yine yaklaşık aynı oranda boşanmış olduğu, %11'inin dul olduğu görülmektedir. Hane reislerinin %61'inin aktif çalıştığı, %31'inin

diğer istihdam türlerinden yararlandığı, %4'ünün de iş arayışında bulunduğu belirlenmiştir. Yine eğitim düzeylerine bakıldığında, hane reislerinin %12'sinin resmi bir eğitim almadığı; %39'unun ilkokul ve %17'sinin üniversite, %14'ünün lise mezunu, %18'inin yüksekokul mezunu olduğu saptanmıştır. Hanelerin %27'sinin kirada ve %61'inin kendi evinde oturduğu tespit edilmiştir. Diğer değişkenlere ait istatistiksel değerler Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Tablo 1'de, aynı zamanda Varyans Şişme Faktörü (VIF) değerleri de yer almaktadır. VIF, bağımlı değişken ile açıklayıcı değişkenler arasındaki korelasyonu değerlendirmek ve çoklu doğrusallığın varlığını tespit etmek amacıyla kullanılan bir ölçüttür. Tabloya göre, hesaplanan tüm VIF değerlerinin 5'in altında olduğu görülmüştür. Bu durum, açıklayıcı değişkenlerin birbiriyle ilişkisiz olduğunu ve çoklu doğrusallık sorununun analizlerde bulunmadığını göstermektedir.

Tablo 7.2, araştırmaya dâhil edilen ikili ve çok düzeyli kategorik değişkenlerin hanelerin aylık doğal gaz harcaması üzerindeki etkilerinin istatistiki açıdan birbirine eşit olup olmadığını ortaya koymaktadır.

Tablo 7.2. Bağımsız değişkenlere göre aylık doğal gaz harcamalarının tanımlayıcı istatistikleri

Değişken	Oran (%)	Ortalama Doğal gaz Harcama Değeri	Doğal gaz Harcamasının Standart Sapması	Ortalama Farkı	t değeri	p değeri
Kuşak:						
X kuşağı	33.764	337.030	254.313	13.534**	1.986	0.047
Y kuşağı	31.772	328.591	258.486	5.094	0.726	0.468
Bebek patlaması kuşağı (Ref.)	34.464	323.496	234.849			
Sigorta Türü:						
Yeşil kart	11.756	301.040	196.626	-33.218***	-3.943	0.000
Özel Sigorta	5.135	297.754	226.050	-36.505***	-2.901	0.004
Zorunlu sigorta (Ref.)	83.109	334.259	254.806			
Evlilik Türü:						
Evli	78.532	337.491	252.329	59.994***	4.697	0.000
Boşanmış	5.586	301.608	249.444	24.111	1.379	0.168
Dul	10.898	309.397	226.043	31.900**	2.150	0.032
Hiç evlenmemiş (Ref.)	4.984	277.497	237.967			
İstihdam Türü:						
Aktif çalışma	60.685	337.280	255.813	17.059***	2.863	0.004
İş arayan	3.559	291.204	212.772	-29.017*	-1.968	0.050
Diğer istihdam (Ref.)	35.756	320.221	240.501			
Eğitim Seviyesi:						
İlköğretim	38.801	327.317	233.095	24.580***	2.669	0.008
Lise	14.085	324.826	240.649	22.089**	2.006	0.045
Yüksek okul	18.422	333.586	263.097	30.850***	2.932	0.003
Üniversite	17.086	347.296	282.320	44.560***	4.087	0.000
Gayri resmi eğitim (Ref.)	11.606	302.737	217.082			
Ev Tipi:						
İkiz ev	11.756	340.942	238.343	26.139***	2.670	0.008
Diğer ev	57.976	332.981	265.777	18.178***	2.995	0.003

Müstakil ev (Ref)	30.267	314.803	195.753			
Mülkiyet Tipi:						
Ev sahibi	61.225	336.340	250.185	14.273	1.636	0.102
Kiracı	26.514	319.148	253.310	-2.919	-0.304	0.762
Diğer mülkiyet (Ref.)	12.261	322.067	235.222			
Cinsiyet:						
Bay	75.027	335.636	252.500	23.453***	3.635	0.000
Bayan (Ref.)	24.973	312.183	239.210			
Çocuksuz Aile:						
Evet	51.824	314.173	236.279	-32.151***	-5.613	0.000
Hayır (Ref.)	48.176	346.324	261.655			
Tarımsal Destek:						
Evet	6.861	341.572	199.663	12.351	1.164	0.245
Hayır (Ref.)	93.139	329.221	251.844			
Kira geliri:						
Evet	10.721	330.466	258.996	0.703	0.076	0.939
Hayır (Ref.)	89.279	329.763	248.219			
Alışveriş merkezlerine yakınlık:						
Evet	73.778	332.183	259.116	11.466*	1.840	0.066
Hayır (Ref.)	26.222	320.717	207.407			
Bankalara yakınlık:						
Evet	58.888	339.579	264.003	27.910***	4.925	0.000
Hayır (Ref.)	41.112	311.669	218.677			
Ulaşım merkezlerine yakınlık:						
Evet	72.743	333.271	260.252	16.146***	2.649	0.008
Hayır (Ref.)	27.257	317.125	204.121			
Sağlık merkezlerine yakınlık:						
Evet	71.069	334.168	260.966	18.918***	3.157	0.002
Hayır (Ref.)	28.931	315.250	205.389			
Okul merkezlerine yakınlık:						
Evet	74.956	332.221	259.090	12.015*	1.920	0.055
Hayır (Ref.)	25.044	320.205	205.693			
Sigara alışkanlığı olanlar:						
Evet	52.160	335.316	254.603	11.505**	2.013	0.044
Hayır (Ref.)	47.840	323.811	243.585			
Alkol alışkanlığı olanlar:						
Evet	6.604	339.833	262.035	10.682	0.879	0.380
Hayır (Ref.)	93.396	329.150	248.581			
Dışarıda yemek alışkanlığı olanlar:						
Evet	43.228	340.128	267.562	19.444***	3.366	0.001
Hayır (Ref.)	56.772	320.684	231.826			
Gazete okuma alışkanlığı olanlar:						
Evet	6.002	338.694	262.053	9.508	0.806	0.421
Hayır (Ref.)	93.998	329.187	248.519			
Oyun oynama alışkanlığı olanlar:						
Evet	6.949	338.102	267.385	8.981	0.801	0.423
Hayır (Ref.)	93.051	329.122	247.851			
Kahvehane alışkanlığı olanlar:						
Evet	21.893	324.963	253.396	-6.288	-0.906	0.365
Hayır (Ref.)	78.107	331.251	248.336			
Alışveriş alışkanlığı:						
Evet	57.303	330.394	252.909	1.390	0.239	0.811
Hayır (Ref.)	42.697	329.003	244.153			
Sürekli değişkenlerin doğal gaz harcaması ile korelasyon ilişkisi:						
Haftalık harcama	0.058***					0.000
Araba sayıları	0.067***					0.000
Çalışan kişi sayısı	0.039***					0.001
İşsiz kişilerin sayısı	0.004					0.716

Eğitimli kişilerin sayısı	0.035***	0.002
Emekli olan kişilerin sayısı	0.040***	0.000
Gayrimenkul sayısı	0.052***	0.000
Bina yaşı	-0.005	0.685
Oda sayısı	0.111***	0.000
Konut alanları	0.105***	0.000
Toplam ev özellikleri	0.079***	0.000
Ev araçları	0.057***	0.000

Not: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$. Ref kısaltması “referans” kelimesi için kullanılmıştır.

Analizde, ikili kategorik değişkenler için bağımsız örneklem t-testi kullanılırken, üç veya daha fazla düzeye sahip değişkenler için belirli bir referans kategori seçilmiş (ileriki ekonometri modeli ile uyumlu bir şekilde) ve diğer düzeyler bu referans ile karşılaştırılarak t-istatistikleri benzer bir biçimde hesaplanmıştır.

Ampirik bulgular, hane reisi'nin ve hanehalkı'nın sosyo-demografik ve ekonomik özelliklerinin, aylık doğal gaz harcamaları üzerinde anlamlı ve farklılaştırıcı etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. Bu etkiler, enerji tüketim davranışlarının kuşaklar arası değişkenliğine işaret etmesi bakımından özellikle dikkat çekicidir. Hane reisi'nin yaş grubu ile doğal gaz harcaması arasındaki istatistiksel olarak anlamlı ilişki, enerji tüketimi konusunda kuşak bazlı eğilimlerin varlığına dair güçlü kanıtlar sunmaktadır. Örneğin, X kuşağına (yaklaşık 1965–1980 arası doğanlar) mensup hane reislerine sahip hanelerin, referans grup olarak belirlenen çocuk patlaması kuşağına (1965 ve öncesi doğumlular) kıyasla aylık ortalama 13 TL daha fazla doğal gaz harcadığı belirlenmiştir ($t = 1.986$, $p < 0.05$). Buna karşın, Y kuşağı (1980 sonrası) ile çocuk patlaması kuşağı arasındaki yaklaşık 5 TL'lik fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu bulgular, kuşaklara özgü enerji tüketim alışkanlıklarının farklılaştığını ve bu farklılıkların yaşam tarzı, konut tipi, konfor beklentileri ve enerjiye erişim biçimleriyle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Örneğin, X kuşağı hane reislerinin daha geniş yaşam alanlarını tercih etme eğilimleri veya ısınma konforuna yönelik yüksek talepleri, doğal gaz tüketimini artırıcı yönde etkide bulunabilir. Öte yandan, çocuk patlaması kuşağına mensup haneler, yaşlı bireylerden oluşmaları, daha mütevazı ve iyi yalıtılmış konutlarda yaşamaları ya da tasarruf odaklı tüketim alışkanlıklarına sahip olmaları nedeniyle daha düşük enerji tüketimi göstermektedir. Bu çerçevede, enerji politikalarının yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda kuşaklar arası davranışsal farklılıkları da dikkate alan bütüncül bir yaklaşımla tasarlanması gerekmektedir. Özellikle karbonsuzlaşma hedeflerine ulaşmak, iklim değişikliğini sınırlamak ve yeşil dönüşümü hızlandırmak adına, enerji sübvansiyonlarının ve tasarruf teşviklerinin kuşak bazlı olarak yeniden yapılandırılması önem arz etmektedir. Genç kuşaklara yönelik enerji verimliliği odaklı

dijital farkındalık kampanyaları, yaşlı nüfusa ise erişilebilir ve düşük maliyetli yalıtım destekleri sağlanması gibi farklılaştırılmış politika araçları geliştirilebilir. Ayrıca, doğal gaz gibi fosil yakıtlara bağımlılığı azaltacak şekilde yenilenebilir enerji kaynaklarının hane ölçeğinde kullanımını teşvik eden politikaların — örneğin konut tipi ve yaş grubu bazlı güneş paneli destekleri veya hibrit sistem sübvansiyonları — yaygınlaştırılması da sürdürülebilir enerji dönüşümünü hızlandıracaktır. Sonuç olarak, bu bulgu, enerji tüketiminde kuşaklar arası farklılıkların yalnızca bireysel tercihler değil, aynı zamanda çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından da belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, enerji ve iklim politikalarının, kullanıcı profiline duyarlı, adil geçişi gözeten ve toplumsal dinamiklerle uyumlu bir zeminde şekillendirilmesi kritik bir gereklilik hâline gelmektedir.

Araştırma sonuçları, sağlık sigortası türünün hanelerin enerji tüketim düzeyleri üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermektedir. Genel Sağlık Sigortası (GSS) kapsamındaki hanelerle karşılaştırıldığında, yeşil kart sahibi hanelerin aylık ortalama 33 TL, özel sağlık sigortasına sahip hanelerin ise yaklaşık 37 TL daha düşük doğal gaz faturası ödedikleri tespit edilmiştir. Bu farklılıklar, istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ($t = -3.943$, $p < 0.01$ ve $t = -2.901$, $p < 0.01$), bu da hanehalkı refah düzeylerinin enerji tüketimine doğrudan yansıdığını göstermektedir. Yeşil kartlı haneler genellikle düşük gelirli grupları temsil ettiğinden, enerji tüketimindeki bu düşüklük, gelir kaynaklı kısıtlarla ilişkilendirilebilir. Öte yandan, özel sağlık sigortası sahibi bireylerin yaşadığı konutların daha iyi yalıtılmış olması, enerji verimliliği açısından avantaj sağlamaktadır. Bu bağlamda, politika yapıcılar hem düşük gelirli kesimlere yönelik enerji sübvansiyonlarını daha hedefli hâle getirmeli hem de orta-üst gelir grubunda yer alan kesimlerin konutlarında enerji verimliliğini destekleyici uygulamaları teşvik etmelidir. Özellikle düşük gelirli haneler için pasif enerji tasarruf yöntemleri (örneğin yalıtım, merkezi ısı sistemleri) desteklenirken, yüksek gelir grubuna yönelik vergi teşvikleriyle karbon azaltımına katkı sunulabilir.

Benzer şekilde, hane reisi'nin medeni durumu ile doğal gaz tüketimi arasında da güçlü bir ilişki gözlemlenmiştir. Evli bireylerin hiç evlenmemişlere göre ortalama 60 TL daha fazla doğal gaz harcaması yaptığı tespit edilmiş ($t = 4.697$, $p < 0.01$), dul bireylerde ise bu fark 32 TL olarak belirlenmiştir ($t = 2.150$, $p < 0.05$). Bu sonuç, evli bireylerin daha büyük yaşam alanlarında daha fazla bireyle birlikte yaşaması nedeniyle artan enerji talebinin bir göstergesidir. Dolayısıyla, geniş aile yapısına sahip haneler enerji tüketiminde öncelikli hedef gruplardan biri olarak değerlendirilmelidir. Bu tür haneler için geliştirilecek enerji verimliliği programlarının, sadece bireysel değil, hane ölçeğinde kurgulanması gerekmektedir. Ayrıca, çocuklu ve geniş aileler için “yeşil konut” destekleri ile karbon salımının azaltılması sağlanabilir.

İstihdam türüne ilişkin analizler de dikkat çekici bulgular sunmaktadır. Aktif çalışan bireylerin, referans grup olan diğer istihdam türlerine sahip bireylerle karşılaştırıldığında aylık ortalama 17 TL daha fazla doğal gaz tükettiği görülmektedir ($t = 2.863$, $p < 0.01$). İş arayan bireylerin ise doğal gaz tüketimleri ortalama 29 TL daha düşüktür ($t = -1.968$, $p < 0.10$). Bu durum, istihdamda aktif olan bireylerin yaşam standartlarındaki artışın enerji tüketimini artırdığını göstermektedir. Aynı zamanda, işsiz bireylerdeki düşük enerji tüketimi, enerji yoksulluğunun bir yansıması olabilir. Bu nedenle, enerji tüketimi politikaları, sadece toplam talebi değil, hane içindeki üretkenlik ve istihdam yapısını da dikkate alarak şekillendirilmelidir. Özellikle işsiz ya da düşük gelirli bireyler için kış aylarında sağlanacak hedefli enerji desteği, hem sosyal adalet hem de karbon salımının yönetimi açısından önemli bir araç olabilir.

Eğitim düzeyi ile doğal gaz harcamaları arasında gözlenen anlamlı ilişkiler, enerji tüketiminin kültürel ve davranışsal yönlerini de açığa çıkarmaktadır. İlköğretim mezunu hane reislerinin, resmi eğitim almamış bireylere kıyasla yaklaşık aylık ortalama 25 TL daha fazla harcama yaptığı; lise mezunları için bu farkın 22 TL, yüksekokul mezunları için 31 TL ve üniversite mezunları için 45 TL olduğu belirlenmiştir. Tüm bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$ ve $p < 0.01$). Bu sonuçlar, eğitim düzeyi arttıkça enerjiye erişim olanaklarının da arttığını, fakat bu durumun enerji verimliliği davranışlarına doğrudan yansımadağını göstermektedir. Bu noktada, yüksek eğitim seviyesine sahip bireylerin enerji verimliliği konusunda bilgilendirilmesine yönelik programlar geliştirilmelidir. Aynı zamanda, eğitim sistemine çevre bilinci ve karbon ayak izi farkındalığını entegre eden ders içerikleri okul müfredatlarına kazandırılmalıdır.

Konut tipi değişkeni de hanelerin enerji tüketim davranışlarında etkili bir rol oynamaktadır. İkiz evlerde yaşayan bireylerin, müstakil evlerde yaşayanlara kıyasla aylık ortalama 26 TL, diğer konut türlerinde yaşayanların ise 18 TL daha fazla doğal gaz tükettiği saptanmıştır ($t = 2.670$ ve $t = 2.995$, $p < 0.01$). Bu farklar, konut yapısının ve mimarisinin ısı yalıtımı üzerinde doğrudan etkisi olduğunu göstermektedir. Özellikle çok katlı ya da birleşik yapıları konutların enerji verimliliği açısından daha az avantajlı olduğu durumlarda, bölgesel yalıtım ve renovasyon politikalarının hızla yaygınlaştırılması gerekmektedir. Kentsel dönüşüm süreçlerinde “yeşil bina” kriterlerinin zorunlu hale getirilmesi, bu bağlamda önemli bir strateji olabilir. Öte yandan mülkiyet durumu açısından ise ev sahiplerinin doğal gaz tüketimi, diğer mülkiyet türlerinde yaşayan bireylere göre 14 TL daha yüksek olmasına karşın bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum, ev sahiplerinin uzun vadeli yatırımlar yapma eğiliminde olmalarına rağmen enerji verimliliği konusunda bilinçli tercihlerde bulunmadıklarını gösterebilir. Dolayısıyla, ev sahiplerine yönelik yalıtım teşviklerinin

artırılması ve kredi destekli enerji dönüşüm programlarının sunulması gerekmektedir.

Cinsiyet değişkeni incelendiğinde, erkek hane reislerinin kadın hane reislerine kıyasla aylık ortalama 23 TL daha fazla doğal gaz tükettiği belirlenmiş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($t = 3.635$, $p < 0.01$). Bu fark, erkek bireylerin yaşam alanı tercihleri, ısıtma alışkanlıkları ve yaşam tarzları ile ilişkili olabilir. Cinsiyet temelli enerji davranışlarının daha detaylı incelenmesi, enerji politikalarının daha kapsayıcı ve etkili biçimde uygulanmasına olanak sağlayabilir.

Çocuk sahibi olmayan hane reislerinin doğal gaz tüketimi ise çocuk sahibi olanlara göre ortalama 32 TL daha düşüktür ($t = -5.613$, $p < 0.01$). Bu durum, hanehalkı büyüklüğünün enerji talebini doğrudan etkilediğini göstermektedir. Çocuklu ailelerin enerji tüketimi yüksek olmasına rağmen, bu durumun karbon salımı açısından olumsuz etkiler doğurabileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle, çocuklu ailelere yönelik karbon dengeleme mekanizmaları ya da sürdürülebilir enerji kullanımına teşvik eden uygulamalar tasarlanmalıdır.

Mekânsal yerleşim özellikleri de enerji tüketiminde belirleyici bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Alışveriş merkezlerine, ulaşım noktalarına, bankalara, sağlık ve eğitim merkezlerine yakın oturan hanelerin doğal gaz harcamalarının istatistiksel olarak daha yüksek olduğu görülmüştür. Örneğin, bankalara yakın yaşayan bireylerin tüketimi yaklaşık 28 TL daha fazla bulunmuştur ($t = 4.925$, $p < 0.01$). Bu sonuçlar, kent içi erişimin yüksek olduğu bölgelerde refah düzeyinin artmasıyla birlikte enerji talebinin de arttığını göstermektedir. Kentsel planlamalarda, merkezi bölgelerde yaşayan bireyler için karbon dengeleme uygulamaları (örneğin yeşil çatılar, güneş paneli destekleri) ile kent ölçeğinde sürdürülebilirlik politikalarının entegrasyonu sağlanmalıdır.

Yaşam tarzı değişkenlerinden sigara kullanımı ve dışarıda yemek yeme alışkanlıkları da enerji tüketimini etkilemektedir. Sigara kullanan bireyler ortalama 12 TL ($t = 2.013$, $p < 0.05$), dışarıda yemek yiyen bireyler ise 19 TL ($t = 3.366$, $p < 0.01$) daha fazla doğal gaz tüketmektedir. Bu bulgular, bireysel davranış biçimlerinin karbon salımı üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Davranışsal enerji politikaları kapsamında, karbon yoğun yaşam alışkanlıklarını dönüştürecek bilinçlendirme kampanyaları ve kişiye özgü karbon bütçeleme uygulamaları geliştirilebilir.

Sonuç olarak, araştırma bulguları enerji tüketimi ve karbon salımı konularının yalnızca teknik değil, aynı zamanda sosyal, kültürel ve mekânsal boyutlarının da bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda geliştirilecek enerji politikalarının çok düzeyli, bütüncül ve kapsayıcı bir yapıda olması gerekmektedir. Karbonsuz bir gelecek hedefi doğrultusunda, farklı sosyo-

ekonomik grupların ihtiyaçlarını gözeten, sosyal adaleti önceleyen ve davranışsal değişimlere alan açan politikalar, sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol üstlenecektir.

Ayrıca bu çalışmada, Türkiye'deki hanehalklarının doğal gaz harcama düzeyleri ile çeşitli sürekli sosyo-demografik ve konut özellikleri arasındaki ikili ilişkiler, korelasyon analizleri yoluyla incelenmiştir (Tablo 7.2). Bulgular, doğal gaz tüketimini etkileyen çok sayıda faktörün, hem bireylerin yaşam tarzı hem de konut yapısına bağlı olarak çeşitlendiğini ortaya koymaktadır. Aşağıda bu ilişkiler, istatistiki bulgularla desteklenerek tartışılmakta ve politika yapıcılar için öneriler geliştirilmektedir.

İlk olarak, haftalık hane harcaması düzeyi ile doğal gaz tüketimi arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir ($r = 0.058$, $p = 0.000$). Bu bulgu, gelir düzeyi arttıkça enerjiye erişimin de arttığını ve dolayısıyla daha yüksek enerji tüketiminin gerçekleştiğini göstermektedir. Gelir düzeyinin enerji tüketimini yönlendiren önemli bir belirleyici olması, enerjiye erişimde eşitsizlikleri de gündeme getirmektedir. Bu bağlamda, düşük gelirli haneler için enerji verimliliği yüksek ekipmanlara erişimi kolaylaştırıcı sübvansiyonlar, verimli kombi alımında doğrudan teşvikler veya düşük faizli kredi programları devreye sokulmalıdır. Öte yandan araba sayısı ile doğal gaz harcaması arasındaki ilişki de anlamlıdır ($r = 0.067$, $p = 0.000$). Bu ilişki, araba sahipliğinin genellikle daha yüksek yaşam standardı ve geniş konutlarla ilişkilendirilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu bulgu, çevresel sürdürülebilirlik açısından ulaşım tercihlerinin konut içi enerji tüketimiyle dolaylı bir bağlantı içerisinde olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, birden fazla araca sahip haneler için karbon telafi mekanizmaları (örneğin, çevre vergileri) uygulanabilir ve elde edilen gelirler enerji verimliliği projelerine yönlendirilmelidir.

Çalışan birey sayısının da doğal gaz harcamasıyla pozitif yönde anlamlı bir ilişki içerisinde olduğu saptanmıştır ($r = 0.039$, $p = 0.001$). Çalışan sayısının fazla olduğu haneler genellikle daha yüksek gelir düzeyine sahiptir ve bu durum doğal olarak enerji harcamalarının artmasına neden olmaktadır. Bu gruplar için akıllı enerji yönetim sistemlerinin teşviki (örneğin, mobil uygulamalarla uzaktan kontrol edilebilen ısıtma sistemleri) enerji verimliliğini artırabilir. Benzer şekilde işsiz birey sayısının doğal gaz harcamasıyla ilişkisi istatistiki olarak anlamlı değildir ($r = 0.004$, $p = 0.716$). Bu durum, işsizlik durumunun doğrudan enerji harcamasını etkilemediğini, ancak dolaylı olarak gelir eksikliği yoluyla enerji tüketimini sınırlayabileceğini göstermektedir. Bu nedenle işsiz bireylerin yaşadığı haneler için yapısal enerji destekleri sağlanmalı, özellikle yalıtım ve enerji verimli cihazlara erişim gibi alanlarda devlet desteği artırılmalıdır.

Ailedeki eğitimli birey sayısı da doğal gaz tüketimi ile pozitif yönde anlamlı bir ilişki göstermektedir ($r = 0.035$, $p = 0.002$). Bu bulgu, eğitim düzeyi yükseldikçe ailenin yaşam konforunu artırma yönündeki tercihlerle birlikte enerji tüketiminin de arttığını göstermektedir. Aynı zamanda hanehalkında eğitimli bireylerin enerji verimliliği konusunda daha bilinçli oldukları varsayımı da göz önüne alındığında, bu kesime yönelik farkındalık artırıcı kampanyaların dijital platformlar üzerinden yürütülmesi ve enerji tüketim alışkanlıklarını dönüştürmeye yönelik etkileşimli uygulamaların geliştirilmesi önerilmektedir. Benzer şekilde ailedeki emekli birey sayısı ile doğal gaz harcaması arasında da pozitif ve anlamlı bir ilişki mevcuttur ($r = 0.040$, $p = 0.000$). Emekli bireyler evde daha fazla zaman geçirdikleri için ısınma ve sıcak su gibi enerji ihtiyaçları daha fazladır. Bu durumda, yaşlı nüfusa yönelik enerji yoksulluğu riskini azaltmak adına yaşlı bireylerin yaşadığı konutlarda yalıtım uygulamaları ve düşük tüketimli ısıtma cihazlarının teminini içeren destek programları geliştirilmelidir.

Hanelerdeki gayrimenkul sayısı da doğal gaz tüketimini artırmaktadır ($r = 0.052$, $p = 0.000$). İkinci konutlar gibi nadiren kullanılan mülklerin bile temel düzeyde enerji harcamasına yol açtığı göz önünde bulundurulduğunda, bu tür gayrimenkuller için yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden yasal düzenlemeler yapılabilir veya enerjiye özel mülk bazlı farklılaştırılmış tarife sistemine geçilebilir. Fakat bina yaşının doğal gaz harcaması ile ilişkisi negatif yönde olmakla birlikte istatistiki olarak anlamlı değildir ($r = -0.005$, $p = 0.685$). Bu sonuç, eski yapıların yalıtım kalitesine bağlı olarak daha fazla enerji harcaması gerektiği varsayımıyla çelişiyor gibi görünse de, örneklem yapısı ve bölgesel farklılıklar bu sonucu etkilemiş olabilir. Ancak genel prensip olarak, enerji kimlik belgesine dayalı performans sınıflandırmalarının uygulamaya alınması, enerji tüketiminin daha doğru ölçülmesini ve düzenlenmesini sağlayacaktır.

Oda sayısı ile doğal gaz harcaması arasındaki ilişki pozitif ve oldukça anlamlıdır ($r = 0.111$, $p = 0.000$). Konut büyüklüğü, doğal olarak daha fazla ısıtma ihtiyacını beraberinde getirdiğinden, büyük konutlara sahip hanelerde bölgesel ısıtma sistemlerinin teşviki önem taşımaktadır. Ayrıca, oda bazlı akıllı ısıtma sistemlerinin yaygınlaştırılması da tüketimi dengeleyebilir. Benzer şekilde, konut alanı da doğal gaz tüketimi ile pozitif yönde anlamlı ilişki göstermektedir ($r = 0.105$, $p = 0.000$). Geniş konutların ısıtılması daha fazla enerji gerektirdiğinden, bu tür konutlarda enerji verimliliği yatırımlarına yönelik vergi teşvikleri, finansal destekler ve danışmanlık hizmetleri sunulmalıdır.

Toplam ev özellikleri değişkeni ile doğal gaz harcaması arasındaki ilişki de istatistiki olarak anlamlıdır ($r = 0.079$, $p = 0.000$). Bu bulgu, konutun fiziksel altyapısının tüketim

davranışını etkilediğini göstermektedir. Bu doğrultuda, konut yapı stoğunun enerji verimliliği açısından güncellenmesi ve enerji performansı düşük konutlara teknik müdahale programlarının oluşturulması önerilmektedir. Son olarak, ev içi araç-gereç sayısı da doğal gaz harcamalarıyla pozitif ve anlamlı biçimde ilişkilidir ($r = 0.057$, $p = 0.000$). Evde kullanılan cihazların ısıtma sistemlerine dolaylı etkileri olabileceği gibi, bireylerin yaşam standardı ile enerji tüketimi arasındaki doğrudan ilişkiyi de yansıtmaktadır. Bu bağlamda, eski ve verimsiz ev aletlerinin enerji sınıfı yüksek olanlarla değiştirilmesini teşvik eden “beyaz eşya dönüşüm programları” hayata geçirilmeli; hurda indirimi, takas kampanyaları ve doğrudan hibe uygulamaları yaygınlaştırılmalıdır. Bu kapsamlı analiz, doğal gaz harcamasının sadece iklimsel veya yapısal faktörlerden değil, aynı zamanda hanelerin sosyoekonomik dinamiklerinden ve yaşam tarzlarından da derinden etkilendiğini göstermektedir. Politika yapıcıların enerji verimliliği stratejilerini oluştururken bu çok boyutlu yapıyı göz önünde bulundurması, hem enerji tasarrufu hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir.

Tablo 7.3’te sunulan bağımsız değişkenlerin, hanehalkı’nın aylık doğal gaz harcama olasılığı ve harcama düzeyi üzerindeki birim (marjinal) etkileri detaylı olarak Tablo 7.4’te gösterilmiştir.

Tablo 7.3. Çift engel sansür regresyon denkleminin tahmincileri ve istatistikleri

Değişken	Karar Denklemi		Sonuç Denklemi	
	Katsayı	Std.hata	Katsayı	Std.hata
Bebek patlaması kuşağı	-0.848	0.544	-233.386***	38.116
X kuşağı	0.029	0.180	-9.025	11.188
y kuşağı	0.292	0.237	-37.120***	13.617
Yeşil kart	0.348**	0.165	-48.975***	14.334
Özel Sigorta	0.094	0.216	-31.544*	17.604
Evli	-0.276	0.376	82.599***	19.042
Boşanmış	-0.280	0.430	19.782	23.809
Dul kalmış	-0.124	0.396	49.409**	23.632
Aktif çalışan	0.014	0.193	-12.523	10.475
İş arayan	0.160	0.311	-32.785	23.926
İlköğretim	0.046	0.168	-2.774	15.046
Lise	0.187	0.237	-21.156	17.488
Yüksekokul	-0.324	0.247	-10.331	17.299
Üniversite	0.052	0.350	-19.858	18.063
İkiz ev	0.036	0.178	35.975***	13.219
Diğer ev	0.553***	0.183	66.268***	11.321
Ev sahipleri	-0.031	0.215	15.505	11.798
Kiracılar	-0.012	0.213	-5.515	12.895

Cinsiyet	0.074	0.186	5.025	11.273
Çocuksuz Aile	0.179	0.206	-23.328**	9.236
Tarımsal destek	-0.526**	0.224	-25.320	15.509
Kira geliri	-0.187	0.293	-13.338	11.465
Alışveriş merkezlerine yakınlık	0.848***	0.316	-43.577***	16.359
Bankalara yakınlık	-0.679***	0.263	41.627***	11.102
Ulaşım merkezlerine yakınlık	-0.133	0.294	6.110	16.802
Sağlık merkezlerine yakınlık	-0.158	0.292	40.360**	16.221
Okula yakınlık	-0.172	0.231	-2.585	15.571
Sigara alışkanlığı	-0.132	0.126	1.144	7.515
Alkol alışkanlığı	-0.453	0.339	-38.739***	13.802
Dışarıda yemek alışkanlığı	-0.662***	0.165	13.863*	8.078
Gazete okuma alışkanlığı	0.089	0.713	-9.816	15.083
Ücretli TV alışkanlığı	-0.306	0.331	-8.505	10.686
Oyun oynama alışkanlığı	-0.363	0.337	1.388	14.063
Kahvehane alışkanlığı	0.172	0.213	-22.131**	8.990
Alışveriş alışkanlığı	0.395***	0.135	-12.774*	7.657
Haftalık harcama	0.003***	0.000	0.003	0.002
Araba sayıları	-0.410***	0.133	-	-
Çalışan kişi sayısı	-0.178**	0.085	-	-
İşsiz kişilerin sayısı	-0.188	0.134	-	-
Eğitimli kişi sayısı	-0.246**	0.125	-	-
Emekli kişilerin sayısı	-0.209***	0.048	-	-
Gayrimenkul sayısı	0.076	0.127	-	-
Bina yaşı	-	-	1.031***	0.243
Konut alanları	-	-	0.212*	0.112
Toplam ev özellikleri	-	-	43.280***	2.711
Toplam ev araçları	-	-	-25.783***	4.023
sigma	-	-	328.140***	2.684
rho (ρ)	-	-	-0.541***	0.078

Not: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$.

Tablo 7.4. Açıklayıcı değişkenlerin Hanehalkı doğal gaz harcama olasılığı ve harcama düzeyleri üzerindeki marjinal etkileri

Değişken	Karar Olasılığı		Şartlı Ortalama		Şartsız Ortalama	
	Katsayı	Std. hata	Katsayı	Std. hata	Katsayı	Std. hata
X kuşağı	-0.797	1.076	-4.154	5.115	-5.516	6.853
Y kuşağı	-2.766**	1.334	-15.700**	6.171	-20.537**	8.292
Yeşil kart	-3.902***	1.354	-20.578***	6.132	-27.178***	8.243
Özel Sigorta	-2.889*	1.685	-14.303*	7.728	-19.097*	10.382
Evli	7.567***	1.950	36.648***	8.105	48.864***	10.903
Boşanmış	0.849	2.353	7.320	11.094	8.975	14.759
Dul kalmış	4.302**	2.158	23.810**	11.426	31.448**	15.086
Aktif çalışan	-1.195	1.051	-6.006	4.885	-8.037	6.574
İş arayan	-2.815	2.287	-14.396	10.436	-19.124	14.048
İlköğretim	-0.116	1.338	-0.987	6.821	-1.218	9.062
Lise	-1.517	1.635	-8.784	7.808	-11.458	10.477
Yüksek okul	-2.252	1.626	-7.755	7.761	-11.171	10.268
Üniversite	-1.815	1.837	-9.175	8.210	-12.232	11.070
İkiz ev	3.631***	1.148	18.220***	6.280	24.521***	8.289
Diğer ev	8.692***	1.110	36.360***	5.103	50.822***	6.876
Ev sahipleri	1.438	1.195	7.288	5.466	9.726	7.368
Kiracılar	-0.590	1.238	-2.774	5.875	-3.756	7.868
Cinsiyet	0.761	1.099	3.033	5.166	4.252	6.925
Çocuksuz Aile	-1.686*	1.011	-9.935**	4.366	-12.914**	5.933
Tarımsal destek	-4.654***	1.495	-16.833**	6.699	-23.776***	8.805
Kira geliri	-2.017	1.368	-7.984	5.368	-11.145	7.329
Alışveriş merkezlerine yakınlık	-0.837	1.711	-13.915*	7.886	-15.608	10.397
Bankalara yakınlık	1.803	1.188	14.737***	5.098	18.459***	6.821
Ulaşım merkezlerine yakınlık	0.152	1.645	1.931	7.700	2.298	10.348
Sağlık merkezlerine yakınlık	3.541**	1.629	18.127**	7.225	24.115**	9.763
Okula yakınlık	-0.844	1.453	-2.597	7.165	-3.879	9.577
Sigara alışkanlığı olanlar	-0.349	0.731	-0.492	3.466	-0.975	4.638
Alkol alışkanlığı	-5.689***	1.756	-22.319***	6.371	-30.812***	8.597
Dışarıda yemek alışkanlığı	-1.243	0.864	0.903	3.827	-0.503	5.000
Gazete okuma alışkanlığı	-0.681	2.439	-4.062	7.874	-5.273	11.338
Ücretli TT alışkanlığı	-2.022	1.538	-6.763	5.371	-9.810	7.476
Oyun oynama alışkanlığı	-1.303	1.744	-2.558	6.762	-4.400	9.251
Kahvehane alışkanlığı	-1.657*	0.965	-9.385**	4.143	-12.298**	5.636
Alışveriş alışkanlığı	0.102	0.732	-3.115	3.524	-3.210	4.695
Haftalık harcama	0.010***	0.002	0.024*	0.015	0.040***	0.010
Araba sayıları	-1.437***	0.450	-3.258***	1.136	-5.357***	1.685
Çalışan kişi sayısı	-0.625**	0.299	-1.417**	0.717	-2.330**	1.125
İşsiz kişilerin sayısı	-0.658	0.467	-1.493	1.087	-2.455	1.746
Eğitimli kişi sayısı	-0.861**	0.438	-1.953*	1.041	-3.212*	1.644
Gayrimenkul sayısı	-0.730***	0.169	-1.655***	0.461	-2.722***	0.641
Cihazlar toplamı	0.265	0.442	0.601	1.009	0.988	1.650
Bina yaşı	0.103***	0.023	0.502***	0.123	0.675***	0.159
Oda sayısı	0.021*	0.012	0.103*	0.054	0.139*	0.076
Konut alanları	4.306***	0.269	21.084***	1.321	28.340***	1.768
Toplam ev araçları	-2.565***	0.402	-12.560***	1.985	-16.883***	2.658

Not: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$.

Modelin geçerliliğini sınamak amacıyla karar modeli ile sonuç modeli arasındaki bağımsızlık ilişkisi Wald testi ile değerlendirilmiş ve bu iki denklemin istatistiksel olarak bağımsız olmadığı tespit edilmiştir (Wald istatistiği = 30.534, serbestlik derecesi (sd) = 1, $p < 0.001$). Bu bulgu, modelde kontrol edilmeyen bir değişkenin karar denklemine etki ettiğinde aynı zamanda sonuç denklemine de etki edebileceğini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, karar ve sonuç süreçleri arasında güçlü bir içsel bağlantı olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, hem karar hem de sonuç denklemlerinde yer alan bağımsız değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı yine Wald testi ile sınanmıştır. Analiz sonuçları, seçim denklemindeki tüm bağımsız değişkenlerin (Wald istatistiği = 110.0, sd = 42, $p < 0.001$) ve sonuç denklemindeki tüm bağımsız değişkenlerin (Wald istatistiği = 2,214.8, sd = 40, $p < 0.001$) anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yüksek Wald istatistik değerleri, modelde kullanılan değişkenlerin yalnızca istatistiksel olarak anlamlı olmadığını, aynı zamanda ekonomik ve teorik açıdan da dikkate değer olduğunu göstermektedir. Ayrıca, modelin uygunluğunu daha iyi değerlendirmek amacıyla kalıntı-bağımlı çift engel sansür regresyon modeli, kalıntı-bağımlı Heckman örneklem seçim modeli ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analiz sonucunda, çift engel sansür regresyon modelinin mevcut veri yapısına daha uygun olduğu belirlenmiştir (z-istatistiği = 37.12, $p < 0.001$). Bu sonuç, modele ilişkin tahmin edilen yapının veri setindeki sistematik desenleri daha iyi yakaladığını ve dolayısıyla tercih edilmesi gereken yöntem olduğunu göstermektedir. Genel olarak elde edilen bulgular, modelin güçlü bir istatistiksel temel üzerine inşa edildiğini ve kullanılan bağımsız değişkenlerin hem seçim sürecini hem de harcama düzeyini açıklamada kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Özellikle karar ve sonuç denklemleri arasındaki bağımlılık ilişkisi, ekonomik modellerde yaygın olarak gözlemlenen örüntülerle tutarlıdır. Bu bağlamda, modelin yalnızca istatistiksel geçerliliği değil, aynı zamanda ekonomik anlamlılığı da dikkat çekicidir.

Ekonomik analizler, bağımsız değişkenlerin doğal gaz harcama olasılığı ve harcama tutarı üzerindeki etkilerini ortaya koyarken, bu etkilerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını da değerlendirmek son derece önemlidir. Tablo 3'te, hanehalkı'nın doğal gaz harcama davranışını belirleyen en yüksek olasılıklar fonksiyonuna dayalı tahminciler ve ilişkili parametre değerleri sunulmuştur. Ancak, parametre değerleri yalnızca istatistiksel anlam taşıyan katsayıları içermekle birlikte, bu katsayıların birim etkileri doğrudan yorumlanabilir değildir. Bu nedenle, doğal gaz harcama olasılığı ve harcama düzeyi üzerindeki birim etkiler, istatistiksel değerleriyle birlikte Tablo 4'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Bu yaklaşım, değişkenlerin doğrudan hanehalkı doğal gaz tüketimi üzerindeki etkilerini somutlaştırarak, politika yapımcılar ve araştırmacılar için daha anlaşılır ve yorumlanabilir bilgiler sunmaktadır. Özellikle, belirli değişkenlerin hanehalkı

doğal gaz harcaması üzerindeki yönünü ve büyüklüğünü ortaya koyan bu analiz, enerji tüketimiyle ilgili gelecekteki çalışmalara da önemli katkılar sağlamaktadır.

Elde edilen bulgulara göre, Y kuşağına mensup hane reislerinin, referans grup olan çocuk patlaması kuşağına (1965 ve öncesinde doğanlar) kıyasla aylık doğal gaz harcama olasılığı %2.76 puan daha düşük bulunmuştur. Ayrıca, bu grubun aylık koşullu ve koşulsuz doğal gaz harcama düzeylerinin daha düşük olduğu belirlenmiş, koşulsuz doğal gaz harcamasının 20.537 TL daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, genç kuşakların daha modern ve enerji verimli ısınma çözümlerini benimsemeleri, konut tercihlerini farklılaştırmaları veya bütçelerini doğal gaz yerine diğer harcama kalemlerine yönlendirmeleri ile açıklanabilir. Bu çalışmanın bulguları, Pais-Magalhães et al. (2020) ile Li et al.'nın (2022) çalışmalarındaki sonuçlarla tutarlılık göstermektedir. Literatürle örtüşen bu bulgular, genç ve orta yaşlı hane reislerinin enerji tasarrufu davranışlarını hayata geçirme konusunda daha istekli olduklarını ortaya koymaktadır. Pais-Magalhães et al. (2020), Avrupa Birliği'ne üye 28 ülkede yaşlı nüfus oranının artmasının, hanehalkı elektrik tüketimini azalttığını, ancak bunun temel nedeninin yaşlı bireylerin evde daha fazla vakit geçirmesiyle birlikte enerji kullanım düzeyinin yükselmesi olduğunu belirtmiştir.

Hane reisi sigorta türüne göre değerlendirildiğinde, yeşil karta sahip hanelerin genel sağlık sigortasına sahip hanelere kıyasla aylık doğal gaz harcama olasılığı %3.902 puan daha düşük bulunmuş, aylık koşulsuz doğal gaz harcamalarının ise 27.178 TL daha az olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde, özel sağlık sigortasına sahip hanelerin aylık doğal gaz harcama olasılığı %2.89 puan düşük olup, aylık koşulsuz doğal gaz harcamalarının 19.097 TL daha az olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, özel sağlık sigortası yaptırabilen bireylerin genellikle daha yüksek gelir düzeyine sahip olmaları, daha iyi yalıtımlı konutlarda yaşamaları veya alternatif ısınma yöntemlerine yatırım yapmalarıyla ilişkilendirilebilir. Ayrıca, sağlık sigortası primlerinin mali yükü, hane bütçesinde aylık doğal gaz harcamalarına ayrılan payı azaltıyor olabilir. Nitekim, hane gelir düzeyi sadece tüketimi artıran bir faktör değil, aynı zamanda enerji verimliliği sağlayan teknolojilere erişimi de kolaylaştırmaktadır (Frederiks et al., 2015).

Hane reisi'nin medeni durumu, doğal gaz harcamaları açısından önemli bir belirleyici unsur olarak öne çıkmaktadır. Evli bireylerin, referans grup olan hiç evlenmemiş bireylere kıyasla aylık doğal gaz harcama olasılığı %7.567 puan daha yüksek olup, aylık koşulsuz doğal gaz harcamalarının 48.864 TL daha fazla olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, dul bireylerin aylık doğal gaz harcama olasılığı %4.302 puan daha yüksek olup, aylık koşulsuz doğal gaz harcamalarının 31.448 TL fazla olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, evli ve dul bireylerin daha büyük ve konforlu konutlarda yaşamaları, aile yapısına bağlı olarak ısınma ihtiyacının artması

ve evde geçirilen sürenin daha uzun olmasıyla açıklanabilir. Kenya’da hanelerin enerji kullanım olasılığı ve miktarı ile ilgili yapılan bir çalışmada evli ve boşanmış aile reisli hanelerde hem enerji kullanım olasılığı hem de enerji önemli düzeyde miktarı düşerken dul aile reisli hanelerde enerji kullanım olasılığının artmasına karşın enerji tüketim düzeyinin önemli düzeyde düştüğü tespit edilmiştir (Mbaka et al., 2019).

Konut türü açısından yapılan değerlendirmelerde, ikiz evlerde yaşayan hanelerin aylık doğal gaz harcama olasılığının, müstakil konutlarda yaşayanlara kıyasla %3,631 puan daha yüksek olduğu ve aylık koşulsuz doğal gaz harcamalarının ortalama 24.521 TL daha fazla olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, kooperatif konutlarda, işveren tarafından sağlanan konutlarda, miras yoluyla edinilmiş evlerde ve benzeri nitelikteki konutlarda yaşayan hanelerin doğal gaz harcama olasılığı müstakil konutlara göre %8,692 puan daha yüksek olup, koşulsuz aylık doğal gaz harcamalarının ortalama 50.822 TL daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, Li et al.’nın (2022) çalışmasıyla tutarlılık göstermektedir. Literatürde yaygın olarak vurgulandığı üzere, yeni inşa edilen konutlar genellikle güneş enerjisi sistemleri, yer kaynaklı ısı pompaları ve düşük emisyonlu (Low-E) yalıtım camları gibi modern enerji tasarrufu teknolojileriyle donatılmaktadır. Bu teknolojiler, iç ve dış ortamlar arasındaki ısı kaybını azaltarak enerji verimliliğini artırmakta ve hane halklarının enerji tasarruflu cihazları kullanma eğilimini güçlendirmektedir. Elde edilen sonuçlar ayrıca, Damette et al. (2018) ve Yagita ve Iwafune’nin (2021) çalışmalarıyla da örtüşmektedir. Yagita ve Iwafune’nin çalışmasında, Japonya’daki eski konutlarda yalıtım eksikliği nedeniyle ısınma talebinin yüksek olduğu ortaya konmuştur. Bu durum, apartman veya toplu konutların izolasyon sistemlerinin genellikle daha iyi olması, merkezi ısıtma sistemlerinin daha etkin çalışması ve enerji verimliliği açısından avantaj sunmalarıyla ilişkilendirilebilir. Öte yandan çocuk sahibi olma durumuna bakıldığında, çocuğu olmayan bireylerin aylık doğal gaz harcama olasılığı %1.686 puan daha düşük bulunmuş ve aylık koşulsuz doğal gaz harcama düzeylerinin 12.914 TL daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, çocuklu ailelerin genellikle daha geniş evlerde yaşaması, ısınma ihtiyacının daha fazla olması ve evde geçirilen sürenin artmasıyla ilişkilendirilebilir. Adusah-Poku ve Takeuchi (2019), hane halkı büyüklüğündeki artışın LPG kullanma olasılığını anlamlı düzeyde azalttığını, buna karşın kömür kullanım olasılığını artırdığını ortaya koymuştur. Ayrıca, hane halkları LPG ve kömür kullanımı yönünde karar verdikten sonra, bu yakıtların kullanım düzeylerinde de belirgin bir artış gözlemlendiği belirtilmiştir.

Tarımsal destek programlarından yararlanan hanelerin, yararlanmayanlara kıyasla aylık doğal gaz harcama olasılığı %4.654 puan daha düşük bulunmuş ve aylık koşulsuz doğal gaz harcamalarının 23.776 TL daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, kırsal bölgelerde

yaşayan hanelerin doğal gaz'a erişimlerinin sınırlı olması, geleneksel ısınma biçimlerine yönelmeleri ya da kömür ve odun gibi alternatif enerji kaynaklarını tercih etmeleriyle açıklanabilir. Elde edilen bulgular, Rahut et al. (2017) çalışmasıyla da örtüşmektedir. Söz konusu çalışmada, kırsal hanelerin kentsel hanelere kıyasla gazyağı kullanımına daha yatkın oldukları; buna karşın odun ve elektrik kullanımını tercih etme olasılıklarının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, Awan et al. (2023) Pakistan'da gerçekleştirdikleri bir çalışmada, kırsal hanehalklarının elektrik ve doğal gaz kullanma olasılıklarının azaldığını, buna karşılık kömür, gazyağı, odun ve tezek gibi alternatif yakıtlara yönelme olasılıklarının arttığını rapor etmişlerdir. Banka ve sağlık merkezlerine yakın konumda bulunan hanelerin aylık doğal gaz harcamalarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bankalara yakın olan hanelerin aylık doğal gaz harcama olasılığı %1.803 puan, sağlık merkezlerine yakın olanların ise aylık %3.541 puan daha yüksek bulunmuş, aylık koşulsuz doğal gaz harcama düzeylerinin sırasıyla 18.459 TL ve 24.115 TL daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kent merkezlerinde yaşayan hanelerin gelir düzeyinin genellikle daha yüksek olması ve modern enerji kaynaklarına yönelimlerinin fazla olması, bu sonucu destekler niteliktedir.

Alkol tüketme ve kahvehaneye gitme alışkanlığı olan hanehalkı'nın aylık doğal gaz harcama olasılığı, bu alışkanlıklara sahip olmayanlara kıyasla daha düşük bulunmuştur. Alkol tüketen hanehalkı'nın aylık doğal gaz harcama olasılığı %5.689 puan, kahvehaneye gidenlerin ise aylık %1.657 puan daha düşük bulunmuş, aylık koşulsuz doğal gaz harcamalarının sırasıyla 30.812 TL ve 12.298 TL daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu davranış kalıpları, bireylerin evde geçirdiği sürenin azalmasına neden olmakta ve doğal gaz tüketim düzeyini düşürmektedir. Enerji tasarrufu politikaları yalnızca teknik çözümlerle değil, sosyo-kültürel dinamiklerle de uyumlu biçimde tasarlanmalıdır. Ayrıca hanehalkı'nın toplam harcama düzeyi ile doğal gaz harcamaları arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Haftalık harcama tutarındaki artış, aylık doğal gaz harcamalarını da artırmaktadır. Gana'da yapılan bir çalışmada aile gelirindeki %1'lik bir artış, LPG pazarına katılma olasılığını %1 ve katılım sonrası LPG harcamasını %4,5 artırdığı gözlemlenmiştir (Adusah-Poku ve Takeuchi, 2019). Bu bağlamda, gelir artışlarına paralel olarak enerji verimliliğini artıran teknolojilerin teşvik edilmesi, sürdürülebilir tüketim alışkanlıklarının yerleşmesi açısından önemli bir politika aracı olabilir (Fan et al., 2011; Wang ve Jiang, 2017). Hanehalkı'nın sahip olduğu araba sayısı ile aylık doğal gaz harcamaları arasında negatif bir ilişki olduğu görülmüştür. Araba sayısının artması, aylık doğal gaz harcama olasılığını %1.43 puan, aylık koşulsuz doğal gaz harcama düzeyini ise 5.357 TL azaltmaktadır. Ayrıca, çalışan kişi sayısı, eğitim düzeyi ve gayrimenkul sahipliği gibi değişkenlerin azalması, doğal gaz harcamalarının düşmesine neden olmaktadır. Son olarak, bina yaşı, oda sayısı ve konut alanı gibi

faktörlerin ailenin aylık doğal gaz harcamaları üzerinde pozitif etkisi olduğu belirlenmiştir. Özellikle konut alanındaki artışın, aylık doğal gaz harcamalarını 28.340 TL artırdığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, konutun fiziksel özelliklerinin enerji tüketimi üzerinde belirleyici olduğunu ve yapılaşma politikalarının enerji stratejileriyle eşgüdümlü biçimde geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgularımız uluslararası literatür sonuçları ile örtüşmektedir (Adusah-Poku ve Takeuchi, 2019).

8.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Türkiye ve benzeri ülkelerde hanehalkı düzeyinde karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik etkin ve hedef odaklı politikaların oluşturulmasına katkı sunmak amacıyla, hanehalkı'nın doğal gaz harcama davranışlarını belirleyen sosyo-demografik ve ekonomik faktörleri kapsamlı bir kesitsel analizle incelemektedir. Analiz yalnızca operasyonel göstergelerle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda kuşaklar arası farklılıkların enerji tüketimi üzerindeki etkilerini de dikkate almakta; böylece enerji politikalarının toplumsal temsiliyeti yüksek, çok katmanlı bir perspektifle ele alınmasını mümkün kılmaktadır. Elde edilen bulgular, doğal gaz tüketiminde belirgin farklılıkların bulunduğunu ve enerji alanında sürdürülebilir bir dönüşümün ancak tabandan tavana doğru gelişen bütüncül bir politika süreciyle gerçekleştirilebileceğini açık biçimde ortaya koymaktadır.

Çalışmada kullanılan kalıntı-bağımlı çift engelli sansürlü modeller, hem doğal gaz harcama kararını etkileyen seçim sürecini hem de bu kararın ardından gerçekleşen harcama düzeyini eş zamanlı olarak analiz edebilme imkânı sunmaktadır. Model sonuçlarına göre, doğal gaz harcama olasılığı ve miktarı; hane reisi'nin kuşak aidiyeti, sigorta türü, çocuk sahibi olup olmama durumu, tarımsal destek alma, alkol ya da kahvehane alışkanlıkları, istihdam ve eğitim düzeyi, taşıt ve mülk sahipliği gibi değişkenlerle negatif ilişki içindedir. Öte yandan, medeni durum (evli veya dul olmak), konut tipi (ikiz ev, kooperatif vb.), konutun kent içindeki konumu (banka veya sağlık merkezlerine yakınlık), haftalık toplam harcama düzeyi, bina yaşı, oda sayısı ve konut alanı gibi değişkenlerin doğal gaz harcamalarıyla pozitif yönde anlamlı ilişkisi bulunmuştur.

Bu bulgular, özellikle kuşaklar arası farklılıkların enerji tüketim alışkanlıklarına etkisi bakımından dikkat çekicidir. Genç kuşakların çevresel sürdürülebilirlik konularına daha duyarlı olduğu, daha küçük metrekareli ve enerji verimliliği yüksek konutları tercih ettikleri, ayrıca alternatif ısınma teknolojilerine (ısı pompası, güneş paneli vb.) daha yatkın oldukları görülmektedir. Buna karşılık, daha yaşlı bireylerin daha büyük ve geleneksel yapılarda ikamet etmeleri, enerji tüketimini artırmakta ve bu grubun çevresel etkilerini azaltmaya yönelik politikaların farklı araçlarla desteklenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, enerji politikalarının kuşaksal özellikleri dikkate alan hedeflemelerle yeniden yapılandırılması önem arz etmektedir. Doğal gaz harcamaları üzerinde negatif etkisi bulunan faktörler, aynı zamanda gelir, erişim ve tüketim tercihlerine ilişkin derin yapısal eşitsizlikleri yansıtmaktadır. Örneğin, yeşil kartlı veya özel sağlık sigortalı bireylerde gözlemlenen daha düşük doğal gaz harcaması, hem gelir düzeyinin tüketim üzerindeki etkisine hem de farklı sosyoekonomik grupların enerji

erişim biçimlerine dair önemli göstergeler sunmaktadır. Benzer şekilde, tarımsal destek alan ve kırsal bölgelerde yaşayan bireylerde daha düşük doğal gaz harcamaları, altyapısal sınırlılıkların ve geleneksel enerji kaynaklarına olan bağımlılığın devam ettiğini göstermektedir. Bu noktada, enerjiye erişimde bölgesel eşitsizliklerin azaltılması amacıyla, kırsal alanlarda doğal gaz altyapısının yaygınlaştırılması, eş zamanlı olarak enerji verimliliği teşviklerinin bu bölgelere öncelikli olarak yönlendirilmesi gerekmektedir.

Politika önerileri bağlamında, enerji verimliliğini ve sürdürülebilir tüketimi destekleyecek çok boyutlu stratejiler geliştirilmelidir. Eğitim düzeyinin artırılması ile birlikte, enerji okuryazarlığını teşvik eden kampanyalarla hanelerde bilinçli tüketim davranışlarının yerleşmesi sağlanmalıdır. Enerji tasarrufu sağlayan cihazların kullanımını yaygınlaştırmak için vergi muafiyetleri, doğrudan sübvansiyonlar ya da düşük faizli finansman seçenekleri sunulmalıdır. Aynı zamanda, küçük ölçekli yenilenebilir enerji sistemlerinin konutlara entegrasyonunu kolaylaştıracak yasal ve teknik düzenlemeler yapılmalı; bu sistemlerin bakım ve kurulum süreçlerinde devlet destekleriyle yerli üretim teşvik edilmelidir. Öte yandan, enerji tüketimi izleme sistemlerinin yaygınlaştırılması, hane düzeyinde tüketim eğilimlerinin sistematik biçimde gözlemlenmesini ve müdahale gerektiren durumların erken teşhisini mümkün kılacaktır. Kent merkezlerinde yoğunlaşan enerji talebini daha sürdürülebilir kılmak adına, bina yalıtımı, merkezi ısıtma sistemlerinin modernizasyonu ve akıllı sayaç uygulamaları gibi altyapı temelli çözümler teşvik edilmelidir. Özellikle alkol ve kahvehane gibi ev dışı sosyal faaliyetlerin daha düşük doğal gaz tüketimi ile ilişkilendirilmesi, yaşam tarzı tercihleri ile enerji harcamaları arasındaki bağın, sosyal politika yapımında da dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir. Sonuç olarak, çalışmanın ortaya koyduğu bulgular, yalnızca doğal gaz harcamalarını belirleyen faktörleri açığa çıkarmakla kalmamakta, aynı zamanda Türkiye'nin sürdürülebilir enerji politikalarına yön verecek nitelikte ampirik ve yapısal çıkarımlar sunmaktadır. Hanehalkı düzeyinde enerji tüketiminin anlaşılması, karbon emisyonlarını azaltmak, enerji ithalat bağımlılığını sınırlamak ve toplumsal refahı artırmak açısından stratejik öneme sahiptir. Bu doğrultuda geliştirilecek bütüncül, veri temelli ve kuşaklar arası farklılıkları gözeten enerji politikaları, hem çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacak hem de adil enerji geçişi sürecini destekleyecektir.

KAYNAKÇA

- Adusah-Poku, F., & Takeuchi, K. (2019). Household energy expenditure in Ghana: A double-hurdle model approach. *World Development*, *117*, 266–277.
- Aksyutin, O. E., Ishkov, A. G., Romanov, K. V., & Grachev, V. A. (2020). The role of natural gas in achieving sustainable development goals. *International Journal of Energy and Policy*, *10*(4), 463–472.
- Aktemur, C. (2017). An overview of natural gas as an energy source for various purposes. *International Journal of Engineering Technologies (IJET)*, *3*(3), 91–104.
- Andersen, K. S., Wiese, C., Petrovic, S., & McKenna, R. (2020). Exploring the role of households' hurdle rates and demand elasticities in meeting danish energy-savings target. *Energy Policy*, *146*, 111785.
- Awan, A., Bilgili, F., & Rahut, D. B. (2023). Household fuel choices and consumption intensity in Pakistan: Evidence from HIES data 2001–2019. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–16.
- Büchs, M., & Schnepf, S. (2013). The role of income in energy consumption behavior: A review. *Energy Economics*, *40*, 533–541.
- Chengzao, J., Yongfeng, Z., & Xia, Z. (2014). Prospects of and challenges to natural gas industry development in China. *Natural Gas Industry B*, *1*(1), 1–13.
- Chesley, M. (1993). Transportation and environmental sustainability: A study of household choices. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *1*(1), 35–45.
- Coruh, E., Bilgic, A., Cengiz, V., & Urak, F. (2024). Uncovering the determinants of bottom-up CO₂ emissions among households in Türkiye: Analysis and policy recommendations. *Journal of Cleaner Production*, *469*, 143197.
- Damette, O., Delacote, P., & Del Lo, G. (2018). Households energy consumption and transition toward cleaner energy sources. *Energy Policy*, *113*, 751–764.
- Derin, B. (2018). Dağıtım sistemlerinin esnekliği ve düşük maliyetli enerji tedariki: Hane halkları için tasarruf fırsatları. *Enerji ve Çevre Dergisi*, *14*(3), 215–230.
- Fan, M., Liang, H., You, S., Zhang, H., Yin, B., & Wu, X. (2011). Performance analysis of a solar heating system with the absorption heat pump and oil/water heat exchanger. *Energy Procedia*, *12*, 769–776.
- Foster, B. (2019). Environmental impact of household energy use: Natural gas vs. other fuels. *Journal of Environmental Studies*, *33*(2), 74–88.
- Frederiks, E. R., Stenner, K., & Hobman, E. V. (2015). Household energy use: Applying behavioural economics to understand consumer decision-making and behaviour. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *41*, 1385–1394.
- Harrison, A. (2020). Natural gas and indoor air quality: A cleaner fuel for households. *Environmental Health Perspectives*, *58*(3), 112–125.
- International Energy Agency (IEA). (2020). *World Energy Outlook 2020*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- International Energy Agency (IEA). (2023). *World Energy Outlook 2023*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Karakatsanis, G., & Mamassis, N. (2023). Energy and the macrodynamics of agrarian societies. *Land*, *12*(8), 1603.
- Karakara, A. A.-W., & Dasmani, I. (2019). An econometric analysis of domestic fuel consumption in Ghana: Implications for poverty reduction. *Cogent Economics & Finance*, *7*(1), 1697499.
- Kaya, K., Şenel, M. C., & Koç, E. (2018). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi. *Technological Applied Sciences*, *13*(3), 219–234.

- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., & Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(692), 86–114.
- Lee, M. (2022). Environmental comparison of natural gas and fossil fuels: A comprehensive analysis. *Environmental Impact Assessment Review*, 50(3), 34-47.
- Li, Z., Lv, L., & Zhang, Z. (2022). Research on the characteristics and influencing factors of Chinese urban households’ electricity consumption efficiency. *Energies*, 15(20), 7748.
- Mann, M., et al. (2019). The role of natural gas in reducing greenhouse gas emissions in residential energy use. *Energy Policy*, 133, 110842.
- Mbaka, C. K., Gikonyo, J., & Kisaka, O. M. (2019). Households’ energy preference and consumption intensity in Kenya. *Energy, Sustainability and Society*, 9(1), 20.
- Miller, R. (2019). The role of natural gas in reducing global carbon emissions: An analysis of its benefits and challenges. *Energy Policy Journal*, 32(5), 55-69.
- Mittakola, R., Ciais, P., Schubert, J., Makowski, D., Zhou, C., Bazzi, H., & diğerleri. (2024). Drivers of natural gas use in U.S. residential buildings. *Journal of Environmental Studies*, 45(2), 113-128.
- Mohammad, N., Mohamad Ishak, W. W., Mustapa, S. I., & Ayodele, B. V. (2021). Natural gas as a key alternative energy source in sustainable renewable energy transition: A mini review. *Frontiers in Energy Research*, 9, 625023.
- Nguyen, P. (2021). Economic impacts of natural gas use: Job creation, energy security, and cost-effectiveness. *Energy Economics*, 46(2), 67-78.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2020). *Education at a glance 2020: OECD indicators*. OECD Publishing.
- Pais-Magalhães, V., Moutinho, V., & Robaina, M. (2020). Households’ electricity consumption efficiency of an ageing population: A DEA analysis for the EU-28. *The Electricity Journal*, 33, 106823.
- Rahut, D. B., Mottaleb, K. A., & Ali, A. (2017). Household energy consumption and its determinants in Timor-Leste. *Asian Development Review*, 34(1), 167–197.
- Rayhan, A. (2023). The future of sustainable energy. *ResearchGate*, 1-58
- Safari, A., Das, N., Langhelle, O., Roy, J., & Assadi, M. (2019). Natural gas: A transition fuel for sustainable energy system transformation? *Energy Science & Engineering*, 7(4), 1075-1094.
- Smil, V. (2010). *Energy transitions: History, requirements, prospects*. Praeger. New York, s. 1-178
- Taneja, S., & Mandys, F. (2022). Drivers of UK household energy expenditure: Promoting efficiency and curbing emissions. *Energy Policy*, 167, 113042.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2020). *Enerji hesapları, 2019* [Erişim: 25.03.2020, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Enerji-Hesaplari-2019-33646>]
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2022). *Enerji hesapları, 2021* [Erişim: 02.05.2023, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Enerji-Hesaplari-2021-49751>]
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2022). *Hanehalkı nihai enerji tüketim istatistikleri, 2022*. [Erişim 19.02.2024, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Nihai-Enerji-Tuketim-Istatistikleri-2022-53805>]
- Umeozor, E., Nduagu, E., Rahmanifard, H., & Millington, D. (2019). *Economic and environmental impacts of methane emissions reduction in the natural gas supply chain*. Canadian Energy Research Institute (CERI)
- WHO (2018). *COP24 özel raporu: Sağlık ve iklim değişikliği*. World Health Organization Regional Office for Europe.
- Xie, J., Zhou, S., Teng, F., & Gu, A. (2023). The characteristics and driving factors of household CO₂ and non-CO₂ emissions in China. *Ecological Economics*, 213, 107952.
- Yagita, Y., & Iwafune, Y. (2021). Residential energy use and energy-saving of older adults: A case from Japan, the fastest-aging country. *Energy Research & Social Science*, 75, 102022.

- Ye, Z., Li, Y., & Yan, Q. (2017). Global natural gas consumption history and energy consumption pattern. *Energy*, 123, 153-161
- Yoro, K. O., & Daramola, M. O. (2020). *CO₂ Emission Sources, Greenhouse Gases, and the Global Warming Effect Part 1, Advances in carbon capture*. In M. R. Rahimpour, M. Farsi, & M. A. Makarem (Eds). Woodhead Publishing, Cambridge, s. 3–28.