



**KONUT SEKTÖRÜNÜN ENERJİ TÜKETİMİNE YÖNELİK ÇOK YÖNLÜ
VERİMLİLİK ANALİZİ VE UZUN DÖNEMLİ POLİTİKA ÖNERİLERİ**

Bilal DÜZGÜN

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2022

ETİK BEYAN

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

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

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

Bilal DÜZGÜN

08/08/2022

KONUT SEKTÖRÜNÜN ENERJİ TÜKETİMİNE YÖNELİK ÇOK YÖNLÜ VERİMLİLİK ANALİZİ VE UZUN DÖNEMLİ POLİTİKA ÖNERİLERİ

(Doktora Tezi)

Bilal DÜZGÜN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2022

ÖZET

İklim değişikliği ile mücadele üretimden nihai tüketime bütün süreçlerde kapsamlı bir dönüşümü gerektirmektedir. İşbu Tez çalışmasında, net sıfır emisyon iklim hedeflerine ulaşılmasında en zorlu sınanmanın görüleceği konut sektörüne odaklanılarak sınırlı veri setiyle enerji verimliliğinin enerji tüketimine olan etkisi ve politika yapıcılara yön gösterecek politika seçeneklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çerçevede, konut sektörünün enerji tüketiminde değişimlere neden olan ana etkenler incelenmiş ve nihai kullanım temelinde enerji tüketim profili nihai kullanım fonksiyonları, stok modellemesi ve makine öğrenmesi yöntemlerinden çoklu doğrusal regresyon ve rastgele orman modelleri ile belirlenmiştir. Bu çalışmada önerilerin yöntemlerin Türkiye gibi nihai kullanım amaçlı enerji tüketim verilerinin sınırlı olduğu diğer ülkeler tarafından da enerji tüketim profillerinin belirlenmesine yol gösterici olması hedeflenmiştir. Ayrıca, Logaritmik Ortalama Divisia Endeks ayrıştırma yöntemi ile konut sektöründe enerji tüketiminin değişiminde belirleyici olan etkenler incelenmiştir. Türkiye için oluşturulan model on bir adet farklı nihai kullanım bazında incelenmesi yönüyle literatürdeki konut sektörüne yönelik en kapsamlı çalışmayı temsil etmektedir. İlâveten, konut sektörü enerji tüketiminin uzun dönemli tahmin edilmesi amacıyla bir analiz çalışması gerçekleştirilmiş ve Türkiye'nin net sıfır emisyona ulaşma yılı olarak belirlediği 2053 yılına ilişkin olağan durumun devamına göre enerji tüketimindeki artışın devam edeceği öngörülmüştür. Sonuç olarak, elde edilen bulgular ışığında Türkiye konut sektöründe enerji verimliliği gelişiminin hızlandırılmasını sağlayacak politika araçlarının belirlenmesine yönelik Türk ve AB enerji verimliliği mevzuatını, AB üye ülkelerinin enerji ve iklim eylem planlarını ve UEA'nın net sıfır yol haritasını göz önünde bulunduran dört ana başlıklı yöntemsel bir çerçeve geliştirilmiş ve Türkiye'nin orta ve uzun dönemde uygulamaya alabileceği politika seçenekleri belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 90542

Anahtar Kelimeler : Enerji verimliliği, makine öğrenmesi, ayrıştırma analizi, konut sektörü enerji tüketimi

Sayfa Adedi : 161

Danışman : Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR

MULTI-DIMENSIONAL EFFICIENCY ANALYSIS OF RESIDENTIAL ENERGY
CONSUMPTION AND LONG-TERM POLICY RECOMMENDATIONS

(Ph. D. Thesis)

Bilal DÜZGÜN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2022

ABSTRACT

Combating climate change requires a radical transformation in all processes from production to end-use sectors. This thesis aims to determine the effect of energy efficiency on energy consumption in a limited data set and policy options that will guide policy makers by focusing on the residential sector, where the biggest challenges will be faced in achieving the net zero emission climate targets. In this framework, the main factors behind the energy consumption change in the residential sector is examined and the energy consumption profile on the basis of end-use consumption is determined by employing end-use functions, stock modeling and machine learning methods with multiple linear regression and random forest models. Proposed approaches in this study also targets to guide the countries where end-use consumption data is limited like Türkiye. In addition, the factors that determine the change in energy consumption in the residential sector are investigated by using the Logarithmic Average Divisia Index decomposition methodology. The model created for Türkiye represents the most comprehensive study on the residential sector in the literature in terms of examining eleven different end-uses. Moreover, the long-term energy consumption of the Turkish residential sector is estimated for 2053, which was declared as the year for being net-zero emissions for Türkiye. As a result, a methodical framework with four main pillars considering Türkiye's and EU's energy efficiency legislation, energy and climate action plans of EU member states and IEA's net zero roadmap is developed in the light of the analyses results for the determination of policy options that will accelerate the energy efficiency improvements in the Turkish residential sector.

Science Code : 90542

Key Words : Energy efficiency, machine learning, decomposition analysis,
residential energy consumption

Page Number : 161

Supervisor : Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca değerli yardım ve katkılarını hiç esirgememiş, bir bilim insanı olarak kendisini daima örnek aldığım kadirşinas ve alçakgönüllü kıymetli hocam Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR'a, bilgi ve tecrübesiyle yoluma ışık tutan ve her ihtiyacım olduğunda yardımını esirgemeyen Prof. Dr. Erdal IRMAK hocama ve tez çalışmam süresince değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, üzerimde emeği bulunan saygı değer hocam Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu yaşlara ve kariyere ulaşmamda maddi manevi büyük emekleri olan annem ve babam Meryem-Adem DÜZGÜN'e, ablam Hülya KARAOĞLANOĞLU'na, doktora eğitim süresinde gösterdiği sevgisi ve hoşgörüsüyle eşim Zeynep'e ve biricik kızım Feyza'ya yürekten teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KONUT SEKTÖRÜNDE ENERJİ TÜKETİMİNDE BELİRLEYİCİ ETKENLER	7
2.1. Türkiye'nin Enerji Görünümü ve Konut Sektörü Nihai Enerji Tüketimi.....	9
2.2. Demografik Etkenler	12
2.3. Ekonomik Etkenler	14
2.4. İklimsel Etkenler.....	15
2.5. Tipolojik ve Yapısal Etkenler	17
3. NİHAİ KULLANIM AMAÇLI ENERJİ TÜKETİMİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN AYRIŞTIRMA ANALİZİ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ	19
3.1. Sıcak Su Üretimi Amaçlı Enerji Tüketimi	20
3.2. Pişirme Amaçlı Enerji Tüketimi.....	22
3.3. Alan Isıtması Amaçlı Enerji Tüketimi	23
3.4. Aydınlatma Amaçlı Enerji Tüketimi.....	27
3.5. Alan Soğutması Amaçlı Enerji Tüketimi.....	28
3.6. Ev Aletleri Kaynaklı Enerji Tüketimi	29

	Sayfa
3.7. Ayırıştırma Analizi Yönetimiyle Enerji Verimliliğinin İncelenmesi.....	30
4. YÖNTEM VE VERİ SETLERİ.....	37
4.1. Nihai Kullanım Fonksiyonları ile Enerji Tüketiminin Tahmin Edilmesi.....	38
4.2. Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Enerji Tüketiminin Tahmin Edilmesi.....	47
4.2.1. Çoklu doğrusal regresyon modeli.....	48
4.2.2. Rastgele orman modeli.....	49
4.3. Logaritmik Ortalama Divisia Endeks Ayırıştırma Analizi Yöntemi ile Konut Sektörü Enerji Verimliliğinin Analizi	53
4.4. Konut Sektörünün Enerji Talebinin Uzun Dönemli Tahmini	61
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	65
5.1. Konut Sektörünün Toplam Yapı Sayısı ve Kullanım Alanı Tahmini	65
5.2. Nihai Kullanım Fonksiyonları ile Yapılan Analizlerin Sonuçları.....	70
5.3. Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Yapılan Analizlerin Sonuçları	75
5.4. Ayırıştırma Analizi Sonuçları.....	79
5.5. Enerji Talebinin Uzun Dönemli Tahmini Sonuçları.....	88
6. KONUT SEKTÖRÜNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ POLİTİKA VE MEVZUATININ İNCELENMESİ VE UZUN DÖNEMLİ POLİTİKA ARAÇLARININ BELİRLENMESİ.....	91
6.1. Türkiye'nin Enerji Verimliliği Politikaları ve Mevzuatında Konut Sektörüne Yönelik Hedefleri ve Düzenlemeleri.....	92
6.1.1. Türkiye'nin enerji verimliliği politikalarında konut sektörüne yönelik hedefler.....	92
6.1.2. Türkiye'nin enerji verimliliği mevzuatında konut sektörüne yönelik düzenlemeler	99
6.2. AB'nin Enerji Verimliliği Mevzuatında Yer Alan Konut Sektörüne Yönelik Düzenlemeleri ve Üye Ülkelerin Enerji ve İklim Eylem Planlarının İncelenmesi .	105
6.2.1. AB enerji verimliliği mevzuatında konut sektörüne yönelik düzenlemeler...	105

	Sayfa
6.2.2. Üye ülkelerin enerji ve iklim eylem planlarının incelenmesi.....	112
6.3. Küresel İklim Hedefleri Kapsamında Konut Sektöründe Enerji Verimliliği Politikaları	116
6.4. Türkiye Konut Sektörünün Enerji Verimliliğinin Artırılmasına Yönelik Uzun Dönemli Politika Önerileri	122
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	131
KAYNAKLAR	143
ÖZGEÇMİŞ	159

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. 2015-2019 dönemi Türkiye konut sektörü enerji kaynaklarına göre enerji tüketim verileri	11
Çizelge 2.2. 1955-2019 dönemi mevcut nüfus ve hanehalkı verileri	12
Çizelge 3.1. Konutlarda alan ısıtması amacıyla kullanılan enerji kaynaklarının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların karşılaştırılması.....	25
Çizelge 3.2. Konut sektöründe gerçekleştirilen seçili ayrıştırma analizi çalışmaları	34
Çizelge 4.1. Ürün gruplarında satış rakamlarının eksik olduğu dönem ve satış rakamlarına ilişkin yapılan varsayımlar	44
Çizelge 4.2. Ortalama enerji verimliliği endekslerine yönelik yapılan varsayımlar	44
Çizelge 4.3. Nihai kullanımlar ve makine öğrenmesi modellerinde kullanılan girdiler.....	51
Çizelge 4.4. Konut sektörüne yönelik ayrıştırma analizinde kullanılabilecek metrikler	55
Çizelge 4.5. Uzun dönemli tahmin çalışmasında yapılan varsayımlar.....	62
Çizelge 5.1. Nihai kullanım amaçlı enerji tüketimine ilişkin nihai kullanım fonksiyonları ile yapılan tahmin sonuçları	70
Çizelge 5.2. Stok modellemesi yöntemi ile hesaplanan tahmini stok miktarları	72
Çizelge 5.3. 2005-2019 dönemi toplam stok miktarı, birim ürün enerji verimliliği ve toplam stok tüketimi gelişimi	75
Çizelge 5.4. Korelasyon analizi sonuçları.....	75
Çizelge 5.5. Çoklu doğrusal regresyon ve rastgele orman modeli sonuçları	78
Çizelge 5.6. Nihai kullanım fonksiyonları ve makine öğrenmesi model sonuçlarının karşılaştırılması [PJ cinsinden].....	79
Çizelge 5.7. Alan ısıtması amaçlı enerji tüketimine etki eden faktörlerin analiz dönemindeki değişimleri.....	79
Çizelge 5.8. Büyük ev aletleri enerji tüketimine yönelik gerçekleştirilen ayrıştırma analizi sonuçları (2000-2018 dönemi, PJ cinsinden).....	84
Çizelge 5.9. Nihai kullanım bazında enerji tüketim tahminleri	89
Çizelge 5.10. Nihai kullanım bazında dönemsel artış oranları	90

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.1. İklim Değişikliği Eylem Planında binalarda enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik belirlenen hedefler ve güncel gelişme durumları.....	94
Çizelge 6.2. Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde konut sektörüne yönelik belirlenen hedef ve eylemler ile eylemlerin gerçekleşme durumları	95
Çizelge 6.3. UEVEP bina ve hizmet sektörü eylemleri ve eylemlere ilişkin güncel gelişmeler	96
Çizelge 6.4. Türk mevzuatında yer alan eko-tasarım tebliğleri	104
Çizelge 6.5. Türk mevzuatında yer alan enerji etiketlemesi tebliğleri	105
Çizelge 6.6. AB üye ülkelerinin UEİEP'lerinde konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik öngördüğü eylemler	113
Çizelge 6.7. Konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uzun dönemli politika önerileri	127

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. 2000-2019 dönemi Türkiye birincil enerji arzının enerji kaynaklarına göre dağılımı	10
Şekil 2.2. Seçili UEA üye ülkelerinin konut sektörü nihai enerji tüketimleri	11
Şekil 2.3. 2000-2019 dönemi Türkiye'nin nüfus ve ortalama hanehalkı verileri	13
Şekil 2.4. Türkiye ve seçili AB ülkelerinin nüfus ve konut sektörü nihai enerji tüketimleri (2019).....	14
Şekil 2.5. Türkiye ve seçili AB ülkelerinde kişi başına GSYH ve kişi başına enerji tüketim ilişkisi (2019)	15
Şekil 2.6. 2000-2019 dönemi Türkiye'nin ısıtma ve soğutma gün dereceleri	16
Şekil 2.7. Türkiye ve seçili AB ülkelerinde kişi başına GSYH ve ısıtma gün dereceleri ilişkisi (2019).....	17
Şekil 3.1. AB ülkelerinde kişi başına ortalama su tüketimi	21
Şekil 3.2. AB ülkelerinde sıcak su üretimi amaçlı kişi başına ortalama enerji tüketimi (2019).....	21
Şekil 3.3. AB ülkelerinde pişirme amaçlı kişi başına ortalama enerji tüketimi (2019).....	23
Şekil 3.4. İklim bölgelerinin dağılımı	24
Şekil 3.5. AB ülkelerinde alan ısıtması amaçlı metrekare başına enerji tüketimi (2019).....	26
Şekil 3.6. AB ülkelerinde aydınlatma amaçlı metrekare başına enerji tüketimi (2019).....	28
Şekil 3.7. AB ülkelerinde ev aletleri sahiplik oranları a) Buzdolabı, b) Derin dondurucu, c) Çamaşır makinesi, d) Bulaşık makinesi	30
Şekil 3.8. Endeks teorilerine göre ayrıştırma analizi yöntemleri	32
Şekil 4.1. Araştırmanın akış şeması	37
Şekil 4.2. Nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerinin tahmin edilmesinde oluşturulan model.....	39

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. AB ülkelerinde kişi başına sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketimi ile ısıtma gün dereceleri arasındaki ilişki	39
Şekil 4.4. a) Mahlia, Masjuki ve Choudhury [147] çalışmalarında önerdiği lineer sağkalım eğrisi b) Diawou'nun [150] çalışmasında kullandığı lineer olmayan sağkalım eğrileri	42
Şekil 4.5. Ev aletleri ve klimalar (alan soğutması) için oluşturulan sağkalım eğrileri ...	43
Şekil 4.6. Büyük ev aletleri ve klimaların yıllık satış rakamları.....	43
Şekil 4.7. Analiz kapsamında yer alan ülkelerin enerji tüketimleri (2019)	51
Şekil 4.8. Analiz kapsamında yer alan ülkelerin kişi başına düşen gelirler (2019)	52
Şekil 4.9. Analiz kapsamında yer alan ülkelerin toplam konut sayıları ve ortalama kullanım alanları (2019).....	52
Şekil 4.10. Analiz kapsamında yer alan ülkelerin ısıtma ve soğutma gün dereceleri (2019)	52
Şekil 4.11. Analiz kapsamında yer alan ülkelerin nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerinin toplam enerji tüketimleri içerisindeki payları (2019).....	53
Şekil 4.12. Çoklu doğrusal regresyon modeli ile gerçekleştirilen 2053 yılına yönelik konut tipi bina stoku tahmini.....	63
Şekil 5.1. Seçili ülkelerde yıllar itibariyle kişi başına kullanım alanı gelişimi.....	66
Şekil 5.2. Kişi başı kullanım alanı ve nüfus indekslerinin yıllar itibariyle gelişimi.....	67
Şekil 5.3. Türkiye ve seçili AB ülkelerinde kişi başına kullanım alanları (2019).....	67
Şekil 5.4. Müstakil ev ve apartman tipi yapıların toplam yapı sayılarının gelişimi	68
Şekil 5.5. Müstakil ev ve apartman tipi yapıların toplam kullanım alanlarının gelişimi	68
Şekil 5.6. Müstakil ev ve apartman tipi yapıların (a) Yapı sayılarının (b) Kullanım alanlarının dönemlere göre gelişimi.....	69
Şekil 5.7. Müstakil ev ve apartman tipi yapıların ortalama kullanım alanlarının dönemlere göre gelişimi.....	70
Şekil 5.8. Ürün grupları stoklarının yıllara göre gelişimi	72
Şekil 5.9. Ürün grupları stoklarının 2005-2019 dönemi toplam elektrik tüketimi tahmini	74

Şekil	Sayfa
Şekil 5.10. Alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi histogram ve kutu grafiği, AB ülkeleri 2000-2019	76
Şekil 5.11. Sıcak su amaçlı enerji tüketimi histogram ve kutu grafiği, AB ülkeleri 2000-2019.....	77
Şekil 5.12. Pişirme amaçlı enerji tüketimi histogram ve kutu grafiği, AB ülkeleri 2000-2019.....	77
Şekil 5.13. Alan ısıtması amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu.....	80
Şekil 5.14. Sıcak su amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu	81
Şekil 5.15. Pişirme amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu.....	82
Şekil 5.16. Soğutma amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu.....	82
Şekil 5.17. Aydınlatma amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu	83
Şekil 5.18. a) Buzdolabı b) Derin dondurucu enerji tüketimlerinin ayrıştırma analizi sonuçları.....	84
Şekil 5.19. a) Çamaşır makinesi b) Çamaşır kurutma makinesi enerji tüketimlerinin ayrıştırma analizi sonuçları	85
Şekil 5.20. Bulaşık makinesi enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu.....	85
Şekil 5.21. Diğer kullanımlar amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu	86
Şekil 5.22. Konut sektörü nihai enerji tüketiminin enerji verimliliğinin olmaması durumundaki kurgusal gelişimi	87
Şekil 5.23. Faaliyet, yapısal ve enerji yoğunluğunun nihai enerji tüketimine etkisi	88
Şekil 5.24. Türkiye konut sektörü enerji tüketimi projeksiyonu 2019-2053	89
Şekil 6.1. Uluslararası Enerji Ajansı'nın Net Sıfır Yol Haritasına Göre politika, altyapı ve teknoloji gelişimine yönelik dönüm noktaları.....	121
Şekil 6.2. Türkiye konut sektöründe enerji verimliliğinin geliştirilmesine yönelik uzun dönemli politika araçlarının belirlenmesinde kullanılan yaklaşım yöntemi.....	122

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

H_u	Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)
J	Joule
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
tep	Ton eşdeğer petrol
\$	Amerikan Doları simgesi
η	Sistem verimi
γ	Ev aleti sahiplik oranı
φ	Ev aletinin sağkalım olasılığı

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB	Avrupa Birliği
ACT	Faaliyet Etkisi
AE _C	Ev Aletlerinin Yıllık Enerji Tüketimi
AR	Emekliye Ayrılan Ev Aletlerinin Toplamı
AYM	Avrupa Yeşil Mutabakatı
BEP	Binalarda Enerji Performansı
BEPD	AB Binalarda Enerji Performansı Direktifi
BET	Birincil Enerji Tüketimi
CDD	Soğutma Gün Derecesi
CESD	Kadir Has Üniversitesi Enerji ve Sürdürülebilir Kalkınma Merkezi
CLI	İklim Etkisi
COM	Refah Etkisi
ÇŞİDB	T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

DWE	Hanehalkı Sayısı
EED	AB Enerji Verimliliği Direktifi
EER	Enerji Verimlilik Oranı
EKB	Enerji Kimlik Belgesi
ETKB	T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EUROSTAT	Avrupa İstatistik Ofisi
GHG	Sera Gazı Emisyonu
GSYH	Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
HDD	Isıtma Gün Derecesi
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı
INT	Enerji Yoğunluğu Etkisi
LODE	Logaritmik Ortalama Divisia Endeks
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MAE	Ortalama Mutlak Hata
MAPE	Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi
MLR	Çoklu Doğrusal Regresyon
MSE	Ortalama Kare Hata
NSEB	Neredeyse Sıfır Enerji Bina
NET	Nihai Enerji Tüketimi
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
POP	Nüfus
PS	Sofra Seti Sayısı
R²	Determinasyon Katsayısı
RMSE	Kök Ortalama Kare Hata
SAE_C	Ev Aletlerinin Standart Yıllık Enerji Tüketimi
SKA	Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
SOC	Sosyal Etki
TFA	Toplam Kullanım Alanı
TL	Türk Lirası
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UEİEP	Ulusal Enerji ve İklim Eylem Planı Kurumu
V	Hacim

1. GİRİŞ

Kıt kaynakların toplumların sınırsız ihtiyaçlarını verimsiz bir tüketim modeliyle karşılamayacağı gerçeği enerji sektöründe 1973'teki Yom Kippur Savaşında Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütünün (OPEC) petrol arzını düşürerek başlattığı Petrol Krizi ile açığa vurmuştur. 1850 yılından beri tutulan küresel sıcaklık kayıtlarına göre en sıcak yıl olarak tarihe geçen 1988 yılına gelindiğinde dikkatler kaynakların verimli kullanımı ile birlikte çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına da çekilmiştir¹.

2000 yılında uluslararası kalkınmaya destek sağlamak amacıyla 2015 yılına kadar yapılacak çalışmalar Birleşmiş Milletler tarafından Binyıl Kalkınma Hedefleri olarak duyurulmuş, söz konusu hedeflerin üzerine 2016-2030 dönemini kapsayan ve 2015 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulunda kabul edilerek duyurulan Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri inşa edilmiştir. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri yoksulluğun kaldırılması, gezegenimizin korunması ve eşitsizlik ve adaletsizlik ile mücadele etmek amacıyla 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı (SKA) tanımlamaktadır. SKA'lardan Erişilebilir ve Temiz Enerji başlığı ile 2030 yılına kadar enerji verimliliğinde ilerleme oranının iki katına çıkartılması, Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar başlığı ile sürdürülebilir kentleşmenin geliştirilmesi, hava kalitesinin iyileştirilmesi, kişi başına düşen olumsuz çevresel etkilerin azaltılması ve İklim Eylemi ile iklim değişikliğiyle ilgili önlemlerin ulusal politika ve stratejilere entegre edilmesi amaçlanmıştır.

Türkiye de küresel gelişmeleri yakından takip ederek sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde yeşil ve teknoloji dönüşümünün sağlanmasına yönelik çalışmalarını hızlandırmıştır. Türkiye iklim değişikliği ile mücadelede küresel çabalara katkının bir parçası olarak 2015 yılında imzaya açılan Paris İklim Anlaşması'nı Niyet Edilen Ulusal katkı Beyanı ile sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar referans senaryoya göre %21 oranına kadar artıştan azaltım sağlanması hedefini duyurmuştur. Paris İklim Anlaşması'nda yer alan ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreceli kabiliyetler ilkesi çerçevesinde benzer ekonomik koşullara sahip ülkelerle aynı derecede sorumluluk alma talebiyle, Türkiye gelişmiş ülkelerin yer aldığı EK-1 ülkeleri olarak kabul edilmemesine yönelik

¹ Dünya Meteoroloji Örgütünün (World Meteorological Organization, WMO) kayıtlarına göre 2011-2021 dönemi dünyanın en sıcak 10 yılı olmuştur.

müzakerelerini sürdürmüş ve böylelikle teknoloji transferi ve uyum başlıklarında yürütülen çalışmalardan faydalanmayı ve mutlak emisyon azaltım taahhüdü ile karşıya kalmanın ekonomik faaliyetlerde oluşturabileceği negatif etkiyle minimize etmeyi amaçlamıştır. 21 Eylül 2021 tarihinde Cumhurbaşkanımızın Birleşmiş Milletler 76. Genel Kurulu’ndaki hitaplarında 2053 yılında net sıfır hedefi vizyonu ile Paris İklim Anlaşması’nı Türkiye’nin onaylanacağını duyurmuş, akabinde Paris İklim Anlaşması, Türkiye Büyük Millet Meclisi’nde kabul edilmesi müteakip Milletlerarası Andlaşma olarak 7 Ekim 2021 tarih ve 31621 (Mükerrer) sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Ülkemizin 2053 net sıfır hedeflerinin gerçekleştirilmesi için uygulamaya alınacak politika araçlarından biri de üretimden nihai tüketime bütün süreçlerde enerjinin verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar olacaktır. Enerji verimliliği, iklim değişikliğinin olumsuz etkileri ile mücadele edilmesinin yanı sıra israfın önlenmesi, maliyetlerin düşürülerek rekabetçiliğin artırılması, enerjide dışa olan bağımlılığın azaltılması, enerji yoksulluğu ile mücadele ve yerli istihdama katkı sağlanması gibi birçok faydayı da beraberinde getirmektedir.

Küresel nihai enerji tüketiminin üçte birinden fazlasının ve CO₂ salımlarının yaklaşık %40’ından sorumlu olan bina ve inşaat sektörleri henüz hayata geçirilmemiş muazzam bir enerji tasarruf potansiyeline sahiptir [1]. Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği’nde bina; “kendi başına kullanılabilen, üstü örtülü olan insanların içine girebilecekleri ve insanların oturma, çalışma, eğlenme veya dinlenmelerine veya ibadet etmelerine yarayan ve hayvanların ve eşyaların korunmasına uygun yapı” olarak tanımlanmaktadır [2]. Türkiye’de bina sektörü, 2019 yılında 4,64 EJ olarak gerçekleşen toplam nihai enerji tüketimi içerisinde %32,53 pay ile sanayi sektöründen sonra en yüksek enerji tüketimine sahiptir.

Bina sektörü enerji tüketimi, 0,97 EJ olan konut sektörü ile 0,51 EJ olan ticaret ve hizmetler sektörünün toplamından oluşmaktadır¹. Konut (mesken) sektörü, diğer bir adıyla hanehalkı sektörü, ülkenin bütün hanelerinin toplamını tarif etmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı’na (International Energy Agency, UEA) göre konut sektörünün enerji tüketimi, çölün ortasındaki göçebe çadırından anakentlerdeki çok katlı binalara kadar geniş bir aralığı temsil eden ve içerisinde en az bir kişinin yaşadığı özel ikametler ile ilişkilendirilmektedir [3].

¹ Enerji tüketim verileri T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın 15.11.2021 yayımlanma tarihli Enerji Denge Tablosundan alınmıştır.

Türkiye konut sektörü nihai enerji tüketimi son beş yılda %35,68 oranında artış göstermiştir. Önümüzdeki yıllarda artan nüfus ve refah ile birlikte konut sektörünün enerji talebinin de artacağı öngörüldüğünde 2053 net sıfır dönüşümünde odak sektörlerden biri olacağı değerlendirilmektedir.

Problem tanımı

Konut sektörünün net sıfır dönüşümünde enerji verimliliği potansiyelinin değerlendirilmesi ve geleceğe yönelik doğru strateji ve politika seçeneklerinin belirlenmesinde politika yapıcılara yön gösterecek veri setlerinin oluşturulması gerekmektedir. Bununla birlikte, toplumun bütün sosyoekonomik sınıflarını gözetken ve farklı iklim bölgelerinin durumunu yansıtan güvenilirliği yüksek veri setlerinin elde edilmesine yönelik alınacak örneklemin boyutu anket ve etüt çalışmalarının yüksek maliyetli ve zaman alıcı bir sürece sahip olmasına neden olmaktadır. Konut sektörü enerji tüketiminin modellenmesine yönelik maliyet ve zaman kısıtının aşılması amacıyla literatürde ekonometrik modellemelerden istatistiksel modellere çeşitli modelleme teknikleri ve algoritmalar önerilmiştir.

Swan ve Ugursal [4] çalışmalarında, modelleme yöntemlerini yukarıdan aşağı (top-down) ve aşağıdan yukarıya (bottom-up) olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırmıştır. Yukarıdan aşağıya yaklaşım, bir sektörün enerji tüketimini hesaplamak için makro ölçekli toplulaştırılmış verileri hesaba katarken, aşağıdan yukarıya yaklaşım mikro ölçekte bir dizi temsili parametreyi inceleyerek sonuca varmaya çalışmaktadır [5]. Daioglou, van Ruijven ve van Vuuren [6] yaptıkları çalışma ile nihai kullanım fonksiyonlarını kullanarak konutlarda enerji tüketimini incelemiş ve oluşturulan modeli Hindistan, Çin, Güney Doğu Asya, Güney Afrika ve Brezilya'ya uygulamıştır. Bianco vd. [7] Almanya, İtalya, İspanya ve Litvanya'nın konut sektörü enerji talebinin tahmin edilmesinde ekonometrik yöntemleri kullanmıştır. Sepehr vd. [8] İran'daki son kullanıcıların enerji tüketim profilini bir dakikalık çözünürlükle aşağıdan yukarı yaklaşım yöntemiyle belirlemiştir. Yang vd. [9] iklim ve enerji tüketim verilerini kullanarak Çin'in Chongqing şehri için konut enerji tüketimini benzetim yoluyla incelemiştir. Hu, Yan ve Qian [10] konutlarda soğutma amaçlı enerji tüketimini belirlemek için mühendislik tabanlı bir aşağıdan yukarı yaklaşım modelini kullanmış ve Çin'in kentsel soğutma tüketiminin 85 TWh (2015) olduğunu hesaplamıştır. Ghedamsi vd. [11] Cezayir'deki farklı iklim bölgelerini dikkate alarak 2040 yılına yönelik konut enerji tüketimini modellemiş ve talep tahmininde bulunmuştur. Diao vd. [12] tüketicilerin enerji

tüketim davranışlarının analiz edilmesi amacıyla kümeleme ve yapay sinir ağları algoritmaları üzerinde çalışmış ve oluşturulan modelin ASHRAE standartlarında belirtilenlere kıyasla daha doğru tahmin sunduğunu belirtmiştir. Gago, García ve Estrella [13] İspanya'nın Endülüs kentinde aydınlatma amaçlı konut elektrik tüketimini aşağıdan yukarıya bir model uygulayarak tahmin etmiş ve aydınlatma ekipmanlarının toplam elektrik talebinin yaklaşık %3,8'ini tükettiği hesaplamıştır. Fumo ve Biswas [14] konutlardaki iklimlendirme sistemlerine odaklanarak enerji tüketiminin tahmin edilmesinde regresyon analizini kullanmıştır. Alajmi ve Phelan [15] Kuveyt konut sektöründe nihai kullanım amaçlı enerji tüketimini modellemek amacıyla stok modelini kullanmış ve 2040 yılına yönelik tüketim tahminleri gerçekleştirilmiştir. Anılan çalışmada, konut enerji tüketiminin yaklaşık üçte ikisinin soğutma amaçlı olduğu tespit edilmiş ve 2040 yılına kadar enerji tüketiminin yıllık %2,9 oranında artacağı öngörülmüştür. Stok modellemesi kullanılarak Diawuo vd. [16] çalışmasında Gana'daki konut elektrik tüketimini ve Heidari vd. [17] İsviçre'deki konut aydınlatma amaçlı elektrik tüketimini analiz etmiştir.

Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat), konutlarda nihai kullanım amaçlı enerji tüketimini alan (mahal) ısıtması, sıcak su, pişirme, soğutma (iklimlendirme), ev aletleri ve aydınlatma olmak üzere 6 ana başlık altında sınıflandırılmaktadır [18]. Bu sınıflandırmayı yansıtacak biçimde Türkiye konut sektörünün nihai kullanım temelinde enerji tüketimine yönelik araştırmalar literatürde sınırlı kalmıştır. [19-21]'de yer alan çalışmalarda sırasıyla yapay sinir ağı modelleri, öğrenme-öğretme tabanlı optimizasyon ve regresyon analizi kullanarak Türkiye'nin enerji tüketimi tahmin edilmiştir. [22-24]'te sunulan çalışmalarda sektörel bazda elektrik tüketiminin tahminini sırasıyla regresyon analizi, yapay sinir ağı ve zaman serisi modeli kullanılarak yapılmıştır. Ancak söz konusu araştırmalar, nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerine ilişkin bir bilgi sağlamamaktadır. Diğer taraftan, literatürde aynı nihai kullanıma odaklanan araştırmalar arasında da bir görüş birliğinin bulunmadığı görülmektedir. Örneğin, aydınlatmanın toplam nihai tüketim içerisindeki payına ilişkin %8,8 [25], %12 [26], %20 [27] ve %28,6 [28] gibi geniş bir aralıkta oranlar literatürde yer almaktadır.

Literatürde Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin veri mevcudiyetinin sınırlı veya çelişkili olması uygulamada olan enerji verimliliği programlarının etkinliğinin ölçülmesine ve geleceğe yönelik atılabilecek adımların belirlenmesine olanak vermemektedir.

Araştırmanın amacı, önemi ve kapsamı

Bu tez çalışmasında sınırlı veriyle enerji verimliliğinin enerji tüketimine olan etkisinin belirlenmesi ve politika yapıcılara yön gösterecek veri setlerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar, bütün hanehalklarını ilgilendiren ve bu yönüyle de net sıfır hedeflerine ulaşılmasında en zorlu sınanmaların görüleceği konut sektörü üzerine odaklanmaktadır. [18]'de sunulan Eurostat (Avrupa İstatistik Ofisi)'nin konutlarda nihai kullanım amaçlı enerji tüketimi sınıflandırması dikkate alınmış ve hanehalkının ulaşım gibi diğer türdeki aktiviteleri kaynaklı enerji tüketimleri kapsam dışında bırakılmıştır.

Bu çerçevede, konut sektörünün enerji tüketiminde değişimlere neden olan ana etkenlerin araştırılması, nihai kullanım temelinde enerji tüketim profilinin belirlenmesi, nihai kullanımlardaki enerji verimliliği gelişiminin tespit edilmesi ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik karar alıcılara yön gösterecek politika seçeneklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Böylelikle, işbu Tez kapsamında önerilen yöntemlerin Türkiye gibi nihai kullanım amaçlı enerji tüketim verilerinin sınırlı olduğu diğer ülkeler tarafından da enerji tüketim profillerinin belirlenmesine yol gösterici olması hedeflenmiştir. Ayrıca, konut sektöründe enerji tüketiminin değişiminde belirleyici olan etkenlerin on bir adet farklı nihai kullanım bazında incelenmesi yönüyle de literatürdeki en kapsamlı çalışmayı temsil etmektedir. Türkiye özelinde ise konut sektörünün nihai kullanım amaçlı enerji tüketiminin gelişimi ile enerji verimliliği politikalarının etkinliğine yönelik veriye dayalı bir değerlendirme çalışması literatüre kazandırılacak ve 2053 net sıfır dönüşümünde konut sektörünün enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uygulamaya alınabilecek politika seçenekleri belirlenecektir.

Tezin içeriği

Bu tez çalışması, Giriş bölümü sonrası “Konut Sektöründe Enerji Tüketiminde Belirleyici Etkenler”, “Nihai Kullanım Amaçlı Enerji Tüketimi ve Enerji Verimliliğinin Ayırıştırma Analizi Yöntemi ile İncelenmesi”, “Yöntem ve Veri Setleri”, “Bulgular ve Tartışma”, “Konut Sektöründe Enerji Verimliliği Politika ve Mevzuatının İncelenmesi ve Uzun

Dönemli Politika Araçlarının Belirlenmesi” ve “Sonuç ve Öneriler” olmak üzere altı ana bölümden oluşturmaktadır.

İkinci bölümünde Türkiye’nin enerji görünümü ve konut sektörü nihai enerji tüketimi ele alınmakta, konut sektörünün enerji tüketiminde belirleyici olan demografik etkenler, ekonomik etkenler, iklim koşulları ve bina karakteristik özellikleri açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde nihai kullanım amaçlı enerji tüketimleri sıcak su, pişirme, alan ısıtması, aydınlatma, alan soğutması ve ev aletleri olmak üzere altı başlık altında incelenmekte ve Türkiye konut sektörünün enerji verimliliği gelişiminin değerlendirilmesi amacıyla kullanılacak ayrıştırma analizi yöntemi açıklanmaktadır.

Dördüncü bölümde enerji verimliliğinin enerji tüketimine olan etkisinin belirlenmesi ve politika yapıcılara yön gösterecek veri setlerinin oluşturulması amacıyla nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerinin tahminine yönelik yöntemler ve kullanılacak veri setleri sunulmaktadır. Bu amaçla, nihai kullanım fonksiyonları, stok modellemesi yöntemi, çoklu doğrusal regresyon ve rastgele orman modellerini kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri ve toplamsal tipteki Logaritmik Ortalama Divisia Endeks (LODE-I) ayrıştırma yöntemi ile Türkiye için oluşturulacak model detaylı olarak açıklanmaktadır. Ayrıca, konut sektörü enerji tüketiminin uzun dönemli tahmin edilmesine yönelik kullanılan yöntemle ilişkin açıklamalar da yer verilmektedir. Analizler sonucunda elde edilen bulgular ve sonuçlara ilişkin tartışmalar beşinci bölümde sunulmaktadır.

Altıncı bölümde konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uzun dönemli politika araçlarının belirlenmesi amacıyla Türkiye’deki mevzuat yapısı ile Türk politika ve strateji dokümanları incelenmekte, AB müktesebatında enerji verimliliği mevzuatını oluşturan düzenlemeler irdelenerek Türkiye’nin uyum durumu ve mevzuat açıklığı enerji verimliliği perspektifiyle aktarılmaktadır. Ayrıca, 27 AB üye ülkesinin enerji ve iklim eylem planları ile küresel iklim politikalarındaki eğilimler incelenerek net sıfır dönüşümünde konut sektöründe enerji verimliliğinin geliştirilmesine yönelik politika tavsiyeleri getirilmektedir.

Çalışmanın yedinci ve son bölümünde ise analizlerden elde edilen sonuçlara ilişkin değerlendirmelerde bulunularak işbu Tez çalışmasının bilime katkısı sunulmaktadır.

2. KONUT SEKTÖRÜNDE ENERJİ TÜKETİMİNDE BELİRLEYİCİ ETKENLER

Konut sektörü enerji tüketiminde belirleyici olan etkenler literatürde birçok araştırmaya konu olmuştur. [29]'da yer alan çalışma ile konutlarda enerji tüketiminde belirleyici olan ana etkenlerin mühendislik, ekonomik, psikolojik, sosyolojik ve antropolojik olduğu ifade edilerek her bir etkenin kendine özgü karakteristiği bulunduğunu belirtilmektedir.

York ve Fonseca [30] 1960-2000 dönemi için 14 AB üye ülkesini inceledikleri çalışmalarında nüfus ve yaş dağılımının enerji tüketimine doğrudan etkisi bulunduğu, ekonomik gelişmişliğin ve şehirleşmenin de enerji tüketimindeki değişimlere katkıda bulunduğu sonucuna varmıştır. Serrano vd. [31] hanehalkı sayısı, ortalama hanehalkı büyüklüğü, kişi başına kullanım alanı gibi etkenlerin elektrik tüketimine küresel, bölgesel ve ülke seviyesinde benzer şekilde etki ettiğini, ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketiminin ise benzer eğilimleri izlemediğini belirtmektedir.

Lévy ve Belaid [32] demografik etkilerin enerji tüketiminde belirleyici olduğunu aktararak çalışmalarında metrekare başına enerji tüketimi, kişi başına gelir ve toplam nihai enerji tüketimlerini incelemiştir. Nair, Gustavsson ve Mahapatra [33] İsveç'te 3000 adet müstakil evde anket yaparak hanehalkı gelirinin, eğitim durumunun, yaşının ve binanın karakteristik özelliklerinin (bina yaşı, geçmiş yatırımlar, enerji maliyetlerine yönelik algı vb.) enerji verimliliği yatırımlarında karar alma süreçlerine etki ettiğini saptamıştır. Hollanda'da 300 bin adet konutta yapılan diğer bir anket çalışmasında [33]'te yer alan çalışmaya paralel olarak konutlardaki gaz tüketiminde binaların karakteristik yapısının, elektrik tüketiminde ise ekonomik ve demografik etkenlerin belirleyici olduğu belirlenmiştir [34]. Ayrıca, fiyat artışı olmasa bile nüfusun yaşlanması ve refah düzeyinin artması nedeniyle enerji verimliliğindeki iyileşmelerin kaybedilmekte olduğu sonucuna da varılmıştır. Osaka Japonya'da 2009 ve 2013 yıllarında konutlarda gerçekleştirilen anket çalışmasında logit modeli ile enerji tüketimindeki eğilimler tespit edilmeye çalışılmış ve elektrik ve gaz tüketimini etkileyen ana unsurların hanehalkı geliri, ortalama hanehalkı büyüklüğü, ekipman sahiplik sayısı (oranı) ve enerji tasarrufu algısı olduğu saptanmıştır [35]. Söz konusu etkenlere yönelik detaylı sınıflandırma ve literatür araştırması Kowsari ve Zerriffi [36] ve Frederiks ve Hobman'ın [37] çalışmalarında detaylı olarak sunulmaktadır.

Bununla birlikte, birtakım parametrelerin konut enerji tüketimindeki etkisine yönelik

literatürde mutabık kalınan bir görüş birliğinin bulunmadığı da görülmektedir. İspanya'nın farklı bölgelerindeki 1998-2009 dönemi için elektrik tüketimi verilerinin incelendiği Romero-Jordán, Peñasco ve Del Rio'nun [38] çalışmalarında gelir, ısıtma gün dereceleri ve elektrik su ısıtıcısı sahiplik oranlarının konut elektrik tüketimini pozitif yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, anılan araştırmada elektrik ve gaz fiyatları, elektrikli ısıtıcılara sahiplik oranları ve yaşlı hanehalkı varlığının tüketimde negatif yönde belirleyici olduğu belirtilmektedir. Román-Collado ve Colinet [39] yaşam standartlarının, başka bir deyişle kişi başına düşen gelirin konutlardaki enerji tüketiminde belirleyici olduğunu aktarmıştır. Benzer biçimde, Boroza [40] bölgelerin gelişmişlik seviyesinin konutlarda enerji tüketiminde belirleyici bir etken olduğu sonucuna varmıştır. Diğer taraftan, Nair, Gustavsson ve Mahapatra'nın [33] çalışmasında enerji verimliliği yatırımları ile hanehalkı geliri arasında doğrusal bir ilişki kurulamadığı belirtilmektedir. Ayrıca, 1628 adet konutun elektrik tüketimlerinin 10 dakikalık aralıklarla izlendiği Kavousian, Rajagopal ve Fischer'in [41] çalışmasında konut elektrik tüketiminde en önemli belirleyici etkenlerin hava, konum ve kullanım alanı olduğu tespit edilmiş, literatürdeki çalışmaların aksine hanehalkı geliri ile elektrik tüketiminde önemli bir korelasyonun bulunmadığını gözlemledikleri belirtilmiştir. Bununla birlikte, işgücü kaybının hanehalkının enerji verimliliği yatırımları yapma kararını ertelenmesine neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Dahası, uzun süreli işsizlik durumunda enerji maliyetlerinin karşılanamaması nedeniyle hanehalkları enerji yoksulluğuna sürüklenebilmektedir.

Benzer şekilde literatürdeki fikir ayrılığı enerji fiyatları ve eğitim üzerine olan araştırmalarda da görülmektedir. Elektrik tüketimindeki büyüme oranı Silk ve Joutz'un [42] çalışmasında reel harcanabilir gelir, ağırlıklarındırılmış ısıtma ve soğutma gün dereceleri, reel faiz oranı ve enerji fiyatlarının bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Bouznit, Pablo-Romero ve Sánchez-Braza [43] 1970-2013 dönemi için Cezayir'deki konutlarda elektrik tüketimi ve gelir arasındaki ilişkiyi incelemiş ve ele ettikleri analiz bulgularına göre elektrik fiyatlarındaki artışın kısa dönemde elektrik tüketimini düşürücü etkisi bulunduğu sonucuna varmıştır. Fakat Jacobsen'in [44] araştırmasına göre elektrik fiyatları ile tüketicilerin verimli ev aleti seçmeleri arasında bir kanıt bulunmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 1973 ve 1979 petrol krizlerinde olduğu gibi ekonomiyi ağır şekilde etkileyen durumlarda enerji fiyatlarındaki artışa bağlı olarak enerji tüketiminde azalmaların yaşandığı da görülmektedir.

Hollanda'da 2000 adet hanehalkında yapılan anket çalışması sonuçlarına göre eğitim

seviyesi konut enerji tüketimini etkilemektedir [45]. Diğer taraftan, yine Hollanda’da 2167 ve 1250 adet hanenin katıldığı iki ayrı anket çalışmasında hanehalkı davranışı kaynaklı çevresel etkilere (ve dolayısıyla enerji tüketimine) etki eden gelir, yaş, hanehalkı büyüklüğü ve eğitim seviyesi gibi parametreleri incelenmiştir [46]. Anılan araştırma sonuçlarına göre, gelir ve konut büyüklüğünün konut enerji tüketimine doğrudan etki ettiği, bununla birlikte eğitim seviyesi ve yaşın tüketime önemli oranda bir etkisinin bulunmadığını belirtilmiştir.

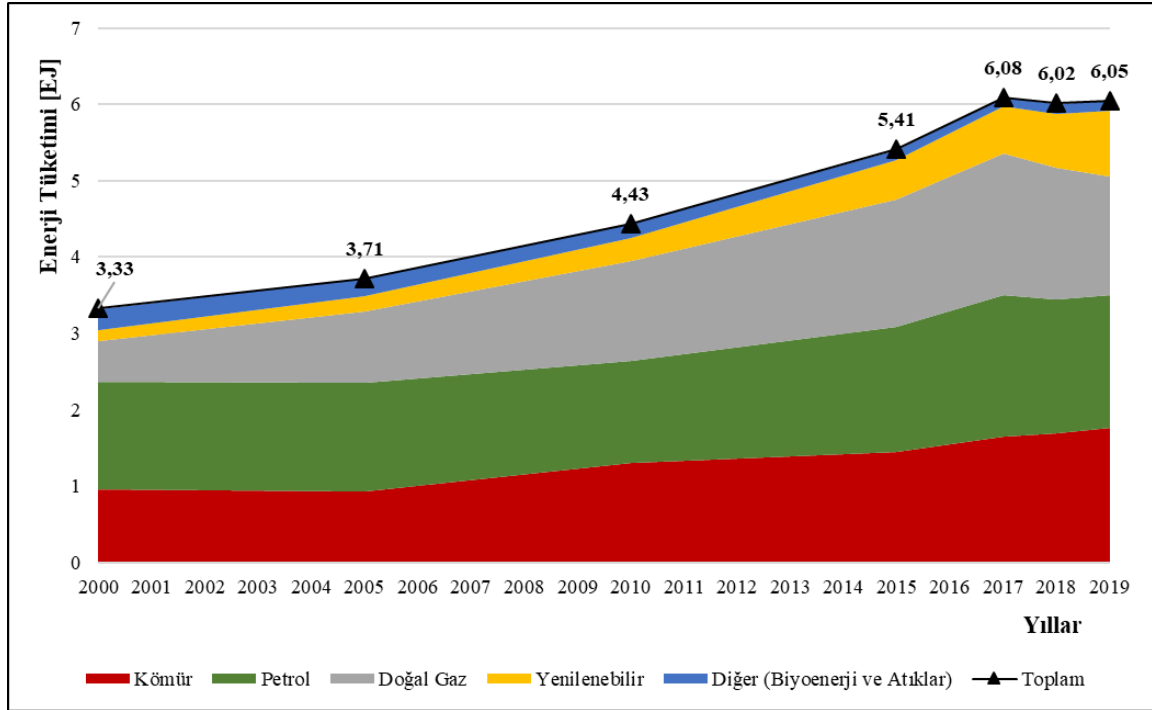
Bu bölümde, Türkiye konut sektörünün nihai enerji tüketimine ilişkin bilgiler aktarılmakta ve literatüre konu olan araştırmalar ve veri mevcudiyeti göz önünde bulundurularak konut sektörünün enerji tüketiminde belirleyici olan demografik etkenler, ekonomik etkenler, iklim koşulları ve bina karakteristik özellikleri ele alınmaktadır. Literatürde karşıt görüşlerin sıklıkla yoğunlaştığı etkenler (örneğin, eğitim seviyesi ve enerji fiyatlarının tüketime etkisi vb.) kapsam dışında tutulmuştur.

2.1. Türkiye’nin Enerji Görünümü ve Konut Sektörü Nihai Enerji Tüketimi

Birincil enerji tüketimi bir ülkenin enerji dışı kullanımlar haricindeki (örneğin doğal gazın yanma dışında kimyasal üretiminde kullanılması gibi) brüt enerji tüketimini ifade etmektedir [47]. Bununla birlikte, Birleşmiş Milletler ve UEA tarafından enerji istatistiklerinde daha yaygın olarak birincil enerji arzı ifadesi kullanılmaktadır [48]. Şekil 2.1.’de sunulmakta olduğu üzere ülkemizin birincil enerji arzı 2000-2019 döneminde %81,8 oranında artarak 3,33 Exajoule’dan (EJ)¹ 6,01 Exajoule’e yükselmiştir. 2019 yılı birincil enerji arzının %76,8’i nihai enerji tüketimine dönüşürken, geri kalan kısmında çevrim ve enerji sektörü %16,9, iç tüketim ve kayıplar %6,3’lük paya sahip olmuştur.

Bir birim katma değer üretmek için harcanan enerji miktarını ifade eden enerji yoğunluğu enerji sektörüne yönelik analizlerde sıklıkla kullanılan göstergelerden biridir. Birincil enerji arzının gayri safi yurtiçi hasılaya bölünmesi ile hesaplanan birincil enerji yoğunluğu 2000-2019 döneminde %24,5 oranında iyileşme göstermiş ve 2019 yılında 6,07 GJ/bin 2015\$ olarak gerçekleşmiştir. Bu değer, dünya ortalaması olan 7,20 GJ/bin 2015\$’ten iyi olmasına rağmen, 4,40 GJ/bin 2015\$ olan OECD ve 3,68 GJ/bin 2015\$ olan AB ortalamasının gerisindedir [49].

¹ Tez çalışması boyunca enerji birimi olarak Joule kullanılması tercih edilmiştir. 41 868 000 000 Joule, 1 ton eşdeğer petrole (tep) karşılık gelmektedir.

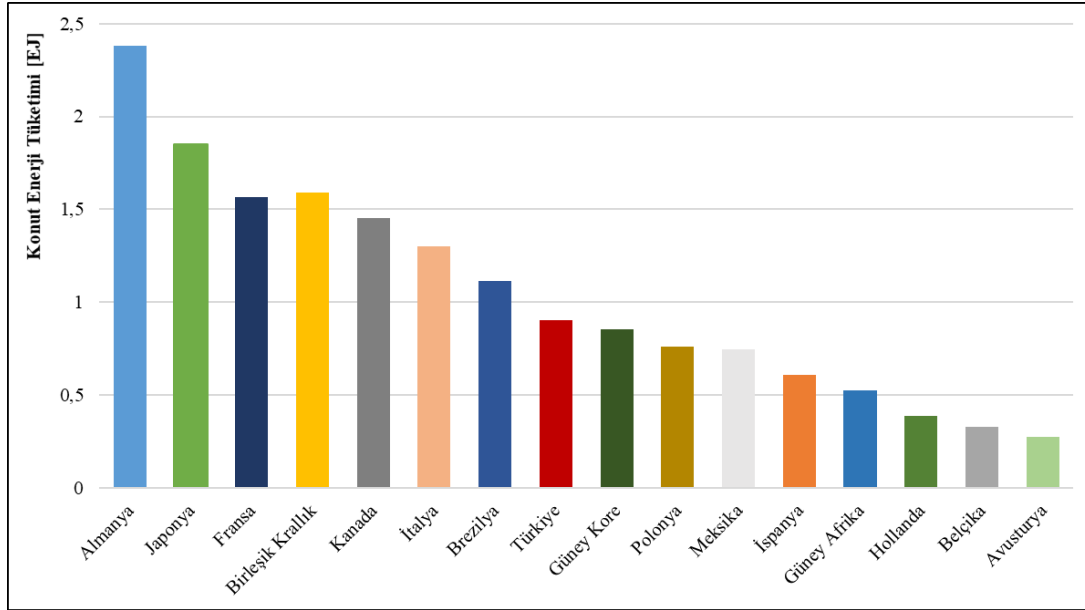


Not: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan Enerji Denge Tabloları kullanılarak hazırlanmıştır.

Şekil 2.1. 2000-2019 dönemi Türkiye birincil enerji arzının enerji kaynaklarına göre dağılımı

Türkiye'nin nihai enerji tüketimi 2000 yılındaki 2,58 EJ'den %80 oranında artarak 2019 yılında 4,64 EJ'ye yükselmiştir [50]. 2019 yılı için nihai enerji tüketiminin sektörel dağılımında sanayi %31,5, ulaştırma %25,2, konut %21,2, ticari ve hizmetler %11,4, tarım ve hayvancılık %4,3 ve enerji dışı %6,5 paya sahiptir. 2018 yılına kıyasla 2019 yılı için sanayi ve ulaştırma sektörlerinin nihai enerji tüketimleri sırasıyla %4,67 ve %2,77 oranlarında azalırken konut ve ticaret ve hizmetler sektörleri sırasıyla %8,86 ve %4,22 oranlarında artmıştır.

Türkiye'de konut sektörünün 2019 yılı nihai enerji tüketimi bir önceki yıla göre %8,9 oranında artarak 0,97 EJ olarak gerçekleşmiştir. UEA verilerine göre 2019 yılında konut sektörü nihai enerji tüketimi ABD'de 11,66 EJ, Almanya'da 2,38 EJ, Japonya'da 1,85 EJ, Birleşik Krallık'ta 1,59 EJ, Fransa'da 1,56 EJ, Kanada'da 1,45 EJ, İtalya'da 1,30 EJ ve Brezilya'da 1,12 EJ olarak gerçekleşmiştir [51]. Seçili UEA üye ülkeleri ile Türkiye'nin konut sektörü nihai enerji tüketimi Şekil 2.2.'de sunulmaktadır.



Şekil 2.2. Seçili UEA üye ülkelerinin konut sektörü nihai enerji tüketimleri (2019) [51]

2015 yılından itibaren Enerji Denge Tablolarında, “Diğer Sektörler” bölümü altında ticari ve hizmet ile konut sektörlerinin enerji kaynaklarına göre tüketim bilgileri ayrıştırılarak verilmektedir. Çizelge 2.1.’de yer aldığı üzere, 2019 yılında konutlarda tüketilen enerjinin %15,30’u kömür, %0,93’ü petrol, %51,19’u doğal gaz, %6,48’i biyokütle ve atık, %20,11’i elektrik, %3,68’i jeotermal ve diğer ısı ile %2,31’i güneşten sağlanmıştır.

Çizelge 2.1. 2015-2019 dönemi Türkiye konut sektörü enerji kaynaklarına göre enerji tüketim verileri [50]

[PJ]	2015	2016	2017	2018	2019
Taş Kömürü	42,75	42,62	102,33	75,91	117,06
Linyit	37,10	45,05	39,98	49,66	26,71
Asfaltit	4,90	2,34	0,46	0,21	4,90
Petrol Ürünleri	14,11	10,55	10,26	9,21	9,00
Doğal Gaz	379,95	401,39	466,83	436,10	497,27
Biyoenjerji ve Atıklar*	108,40	98,93	85,45	65,10	62,93
Elektrik	172,45	184,39	195,36	196,57	195,40
Jeotermal Isı ve Diğer Isı	11,72	14,74	32,53	35,71	35,71
Güneş	22,11	22,32	22,94	23,86	22,48
Toplam**	793,48	822,33	956,14	892,33	971,46

*Biyoenjerji ve Atıklar; yakacak odun, atıklar ve biyoyakıt verilerini kapsamaktadır.

** Yuvarlama hataları nedeniyle enerji kaynaklarının toplamı, Enerji Denge Tablolarında yer alan Toplam sütunu ile farklılıklar gösterebilir.

2.2. Demografik Etkenler

Türkiye'nin 2000 yılında 64 729 501 olan nüfusu 2020 yılına kadar %29,2 oranında artarak 83 614 362'ye ulaşmıştır [52]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tahminlerine göre Türkiye nüfusunun 2050 yılına kadar %25,3 oranında daha artması ve 104 74 423'e ulaşması beklenmektedir¹ [53].

Türkiye'de hanehalkı verileri TÜİK tarafından yıllık olarak yayımlanmaktadır. 2014 yılı öncesine ait hanehalkı sayısı 1955-2000 yılları arasında 5 yıllık dönemler olarak ve 2011 yılı için "Nüfus ve Konut Araştırması" kapsamında paylaşılmıştır. Çizelge 2.2.'de 1955-2019 dönemine ilişkin nüfus ve hanehalkı verileri sunulmaktadır.

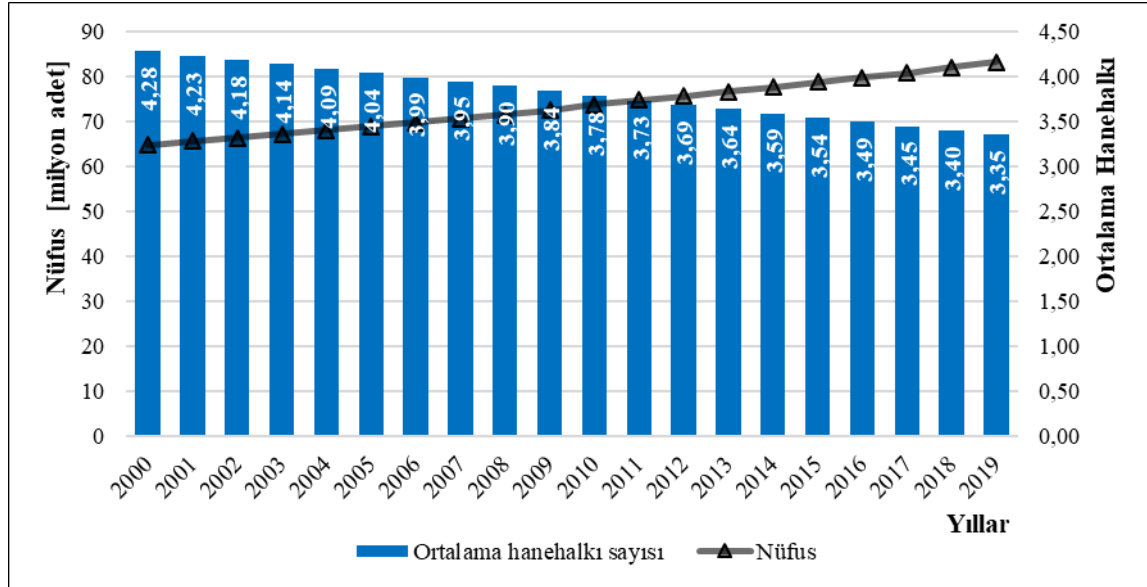
Çizelge 2.2. 1955-2019 dönemi mevcut nüfus ve hanehalkı verileri [54-56]

Yıl	Nüfus	Hanehalkı Sayısı	Kaynak
1955	24,064,763	4,237,176	Genel Nüfus Sayımları
1960	27,754,820	4,885,325	Genel Nüfus Sayımları
1965	31,391,421	5,536,116	Genel Nüfus Sayımları
1970	35,605,176	6,261,949	Genel Nüfus Sayımları
1975	40,347,719	6,982,505	Genel Nüfus Sayımları
1980	44,736,957	8,522,499	Genel Nüfus Sayımları
1985	50,664,458	9,730,018	Genel Nüfus Sayımları
1990	56,473,035	11,188,636	Genel Nüfus Sayımları
2000	64,729,501	15,070,093	Genel Nüfus Sayımları Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
2011	74,724,269	19,454,000	Nüfus ve Konut Araştırması
2014	77,695,904	21,091,075	Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
2015	78,741,053	21,662,260	Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
2016	79,814,871	22,206,776	Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
2017	80,810,525	22,676,186	Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
2018	82,003,882	23,221,218	Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
2019	83,154,997	24,001,940	Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi

Ortalama hanehalkı büyüklüğü ise 2008 yılındaki 4,0 değerinden 2019 yılına gelindiğinde 3,35'e gerilemiştir [57, 58]. Bu verinin yayımlanmadığı ülkelerde hanehalkı sayısı, nüfus ve

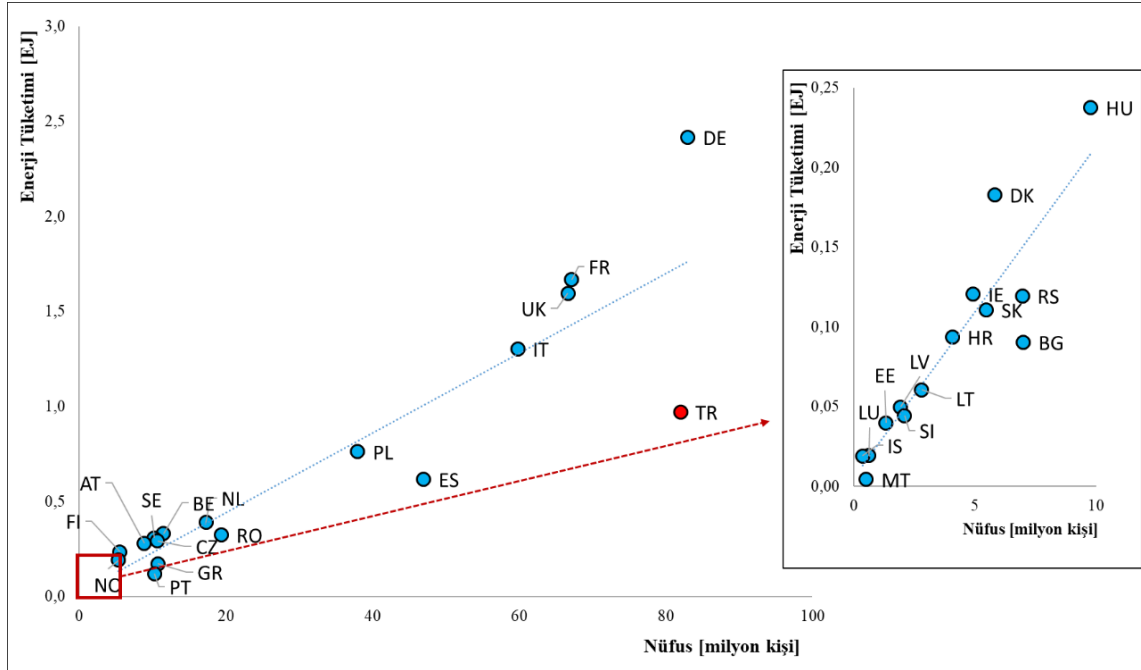
¹ Veriler TÜİK'in ana senaryosundan alınmıştır. TÜİK, 2050 yılına kadar Türkiye'nin nüfusunun düşük ve yüksek senaryolara göre sırasıyla 99 517 154 ve 110 103 525'e ulaşacağını tahmin etmektedir.

ortalama hane büyüklüğü verilerinden tahmin edilebilmektedir. Şekil 2.3.'te 2000-2019 dönemine yönelik nüfus ve ortalama hanehalkı verileri sunulmaktadır. 2008 öncesine ait ortalama hanehalkı verisi eksikliği nedeniyle, nüfus verisi hanehalkına bölünerek seri tamamlanmıştır.



Şekil 2.3. 2000-2019 dönemi Türkiye'nin nüfus ve ortalama hanehalkı verileri

Nüfus ve konut sektörü enerji tüketimi arasında yapılan korelasyon analizinde $r=0,93$ gibi yüksek bir ilişki bulunmuştur. Türkiye ve AB üye ülkelerinin konut sektörü enerji tüketimi ile nüfus arasındaki ilişki Şekil 2.4.'te sunulmaktadır. Beklenildiği üzere, nüfusu 40 milyondan fazla olan Almanya, Fransa, Birleşik Krallık, İtalya ve Türkiye gibi ülkelerin konut sektörü toplam enerji tüketimi nüfusu 5-15 milyon arasında kümelenen Çekya, Finlandiya, İsveç, Norveç ve Yunanistan gibi ülkelerin oldukça ilerisindedir. Bununla birlikte, nüfus enerji tüketimdeki farklılıkları açıklamaya tek başına yeterli değildir. Örneğin, Almanya ve Türkiye'nin nüfusları birbirlerine yakın olmasına rağmen Almanya konut sektörü enerji tüketimi Türkiye'ye kıyasla iki kattan daha fazladır.



Not: Şekilde verileri yer alanlar ülkeler kodlanarak sunulmaktadır. TR: Türkiye, DE: Almanya, FR: Fransa, UK: Birleşik Krallık, IT: İtalya, PL: Polonya, ES: İspanya, NL: Hollanda, BE: Belçika, RO: Romanya, SE: Slovenya, CZ: Çekya, AT: Avusturya, FI: Finlandiya, NO: Norveç, GR: Yunanistan ve PT: Portekiz'i ifade etmektedir. [50, 59]'dan yararlanılarak hazırlanmıştır.

Şekil 2.4. Türkiye ve seçili AB ülkelerinin nüfus ve konut sektörü nihai enerji tüketimleri (2019)

Bir enerji göstergesi olarak toplumların refahı ile sıklıkla ilişkilendirilen kişi başına enerji tüketimi değeri 2000-2019 döneminde %41,5 oranında artarak 51,4 GJ/kişiden 72,7 GJ/kişiye yükselmiştir. Buna rağmen, Türkiye'nin kişi başına enerji tüketimi AB-27 ortalaması olan 125,6 GJ/kişi değerinin gerisinde kalmıştır.

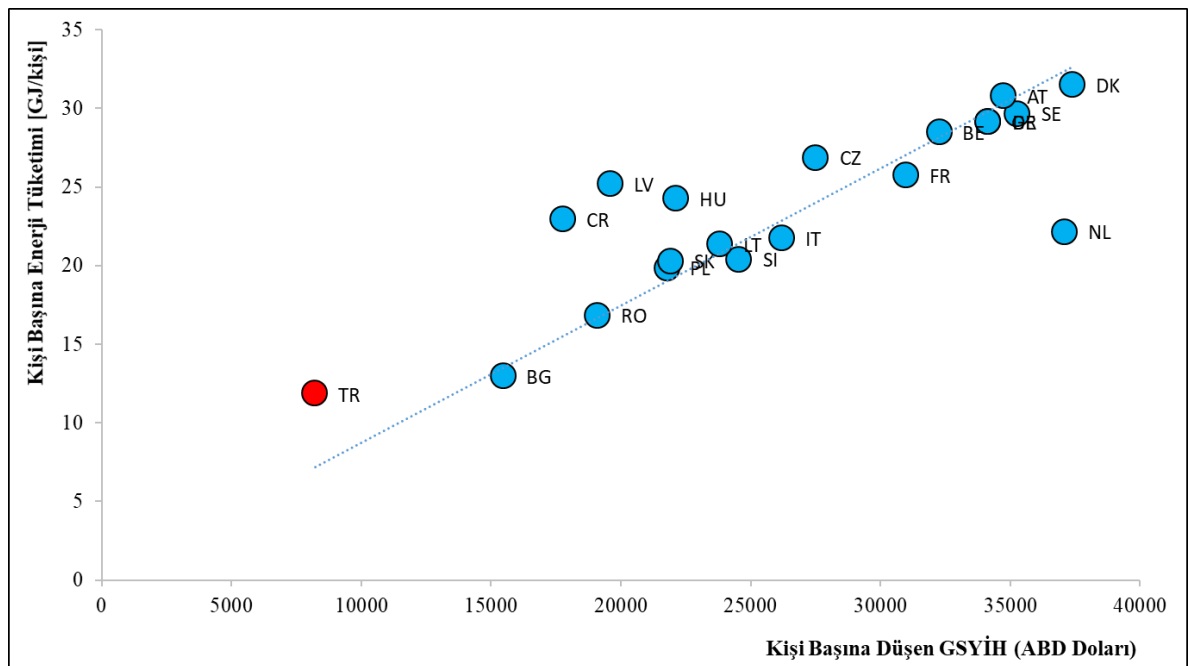
2.3. Ekonomik Etkenler

Enerji tüketimi üzerinde etkisi olabilecek bir diğer faktör de ekonomik büyümedir. Hanehalkı gelirinin artması ile birlikte yükselen yaşam standartlarının enerji tüketimine bir etkisinin bulunması beklenir. Türkiye'nin gayrisafi yurt içi hasılası (GSYH) 2000-2019 döneminde 2001 ve 2009 yılları haricinde sürekli bir artış eğilimi görülmektedir. 2001 yılı ekonomik krizi ve 2009 yılındaki küresel ekonomik kriz nedeniyle Türkiye ekonomisi sırasıyla %5,8 ve %4,8 oranlarında küçülmüştür. Buna rağmen, GSYH analiz döneminde %141 artarak 735,2 milyar TL'den 1772,2 milyar TL'ye yükselmiştir¹. Cari fiyatlarda bakıldığında ise Türkiye'nin GSYH'sı 2000 yılındaki 171,5 milyar TL'den 2019 yılındaki

¹ Zincirlenmiş hacim serileri cinsinden sunulmaktadır.

4320,2 milyar TL'ye yükseldiği görülmektedir [60].

Enerji sektörüne ilişkin analizlerde refah etkisini incelemek amacıyla kişi başına düşen GSYH'nın sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Türkiye ve AB ülkelerinin kişi başına düşen GSYH ve enerji tüketim ilişkileri Şekil 2.5.'te sunulmaktadır. Gerçekleştirilen korelasyon analizinde kişi başına GSYH ile enerji tüketimi arasında $r=0,52$ gibi anlamlı bir ilişkinin bulunmuş olması ekonomik gelişmişlik düzeyinin enerji tüketimi üzerinde bir etkisinin bulunduğunu göstermektedir.

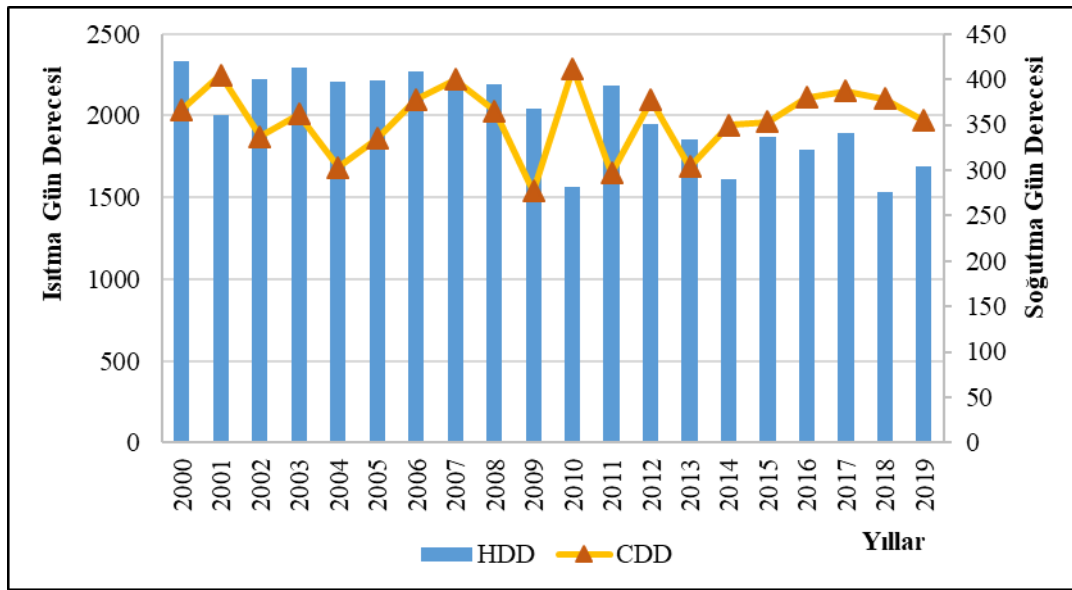


Şekil 2.5. Türkiye ve seçili AB ülkelerinde kişi başına GSYH ve kişi başına enerji tüketim ilişkisi (2019) [50, 59-60]

2.4. İklimsel Etkenler

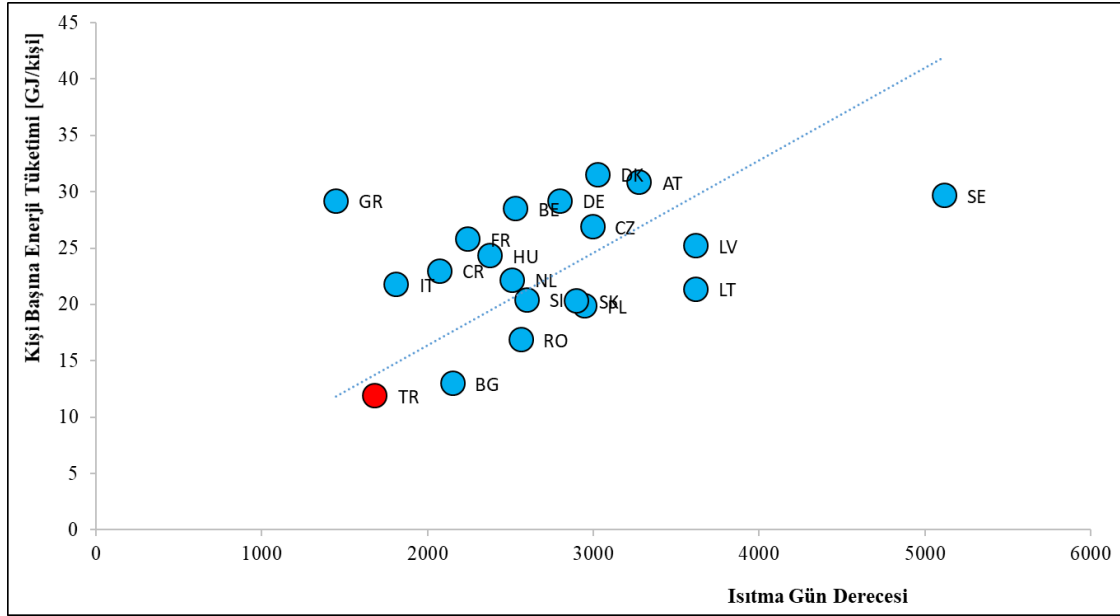
Konutlarda enerji tüketimi iklim ve hava koşullarıyla yakından ilgilidir. Dış ortam sıcaklığı konut ısıtma ve soğutma talebini etkilemektedir. Bir bölgenin soğukluk şiddetini ifade etmek için “ısıtma gün derecesi (Heating Degree Day, HDD)” göstergesi kullanılmaktadır [61]. Günlük ortalama sıcaklığının 18°C 'nin altına düşmesi durumunda konutlarda ısıtma yapıldığı kabul edilerek günlük ortalama sıcaklıklar 15°C 'den çıkartılır ve bir yıl boyunca her gün için hesaplama yapılır. Elde edilen toplam ele alınan bölgeye ilişkin analizi yapılan yılın ısıtma gün derecesini vermektedir. Benzer biçimde, sıcaklığın şiddetini ifade etmek

için de “soğutma gün derecesi (Cooling Degree Day, CDD)” göstergesi kullanılmaktadır. Burada ortalama sıcaklık eşik değeri olarak 22°C alınır ve günlük ortalama sıcaklık değeri 22°C’den çıkartılarak soğutma gün derecesi hesaplanır. Türkiye için ısıtma ve soğutma gün dereceleri verisi ölçüm merkezleri bazında Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından paylaşılmaktadır. Türkiye için yıllara sâri ısıtma ve soğutma gün dereceleri verisinin oluşturulmasında ölçüm merkezlerinin nüfusları göz önünde bulundurulmuş ve nüfusa göre ağırlıklandırma yapılarak yıllık değerler elde edilmiştir. Hesaplanan değerler Şekil 2.6.’da sunulmaktadır.



Şekil 2.6. 2000-2019 dönemi Türkiye’nin ısıtma ve soğutma gün dereceleri

Şekil 2.7.’de Türkiye ve seçili AB ülkelerinin kişi başına enerji tüketimi ile ısıtma gün dereceleri arasındaki ilişki sunulmaktadır. Isıtma gün derecesi yüksek olan İsveç, Letonya ve Litvanya gibi ülkelerin kişi başına enerji tüketim değerleri ısıtma gün derecesi düşük olan Türkiye, İtalya ve Yunanistan gibi ülkelerin enerji tüketim değerlerinden daha yüksektir. Yapılan korelasyon analizinde de $r=0,57$ gibi anlamlı bir ilişki bulunduğu görülmüştür. Bununla birlikte, ekonomik faktörler hanehalkının konforu ve dolayısıyla enerji tüketimi üzerinde belirleyici olabilmektedir. Örneğin, 2019 yılı için ısıtma gün derecesi yakın ülkelerden olan 2952 değerine sahip Polonya ile 3027 değerine sahip Danimarka ele alındığında, Danimarka’da kişi başına enerji tüketim değerinin Polonya’ya kıyasla yaklaşık %60 oranında fazla gerçekleştiği görülmektedir. Buradaki farklılığın başta ekonomik olmak üzere diğer faktörlerden kaynaklandığını düşünmek yanlış olmayacaktır.



Şekil 2.7. Türkiye ve seçili AB ülkelerinde kişi başına GSYH ve ısıtma gün dereceleri ilişkisi (2019) [50, 61-62]

2.5. Tipolojik ve Yapısal Etkenler

Türkiye’de son konut sayımı TÜİK tarafından 2011 yılında gerçekleştirilmiş ve 19 481 678 adet konut olduğu tespit edilmiştir [63]. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayımlanan Bina Sektörü Enerji Verimliliği Teknoloji Atlası adlı raporda 2018 yılına ilişkin veriler yer almaktadır. Anılan rapora göre konut tipi bina sayısı 6 624 017 ve toplam kullanım alanı 2,62 milyar m²’dir [64]. 2020 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programında Eylül 2019 sonu itibariyle Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sisteminde kayıtlı konut, yazlık/mevsimlik konut ve inşaat halindeki konutlar dâhil olmak üzere toplam 38,4 milyon konut bulunduğu belirtilmektedir [65]. Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programında yer alan toplam konut sayısına sürekli ikamet edilen konutlar dışındaki farklı yapı türlerinin de dahil olması ve kullanım alanına yönelik bilgi bulunmaması nedeniyle işbu Tez çalışması kapsamındaki analizlerde referans değer olarak kullanılamamaktadır. Bu nedenle konut sayısı ve toplam kullanım alanının tahmin edilmesi gerekmektedir.

3. NİHAİ KULLANIM AMAÇLI ENERJİ TÜKETİMİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN AYRIŞTIRMA ANALİZİ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Bu bölümde, Avrupa İstatistik Ofisi'nin Hanehalklarında Enerji Tüketim Üzerine İstatistik Elkitabı'nda [18] tavsiye edilen tasniflemeğe göre sıcak su, pişirme, alan (mahal) ısıtması, aydınlatma, soğutma/iklimlendirme ve ev aletleri amaçlı enerji tüketimi olmak üzere altı başlık altında nihai kullanım amaçlı enerji tüketimleri incelenmektedir.

Alan ısıtması, ısıl konforun sağlanmasına yönelik merkezi veya bireysel ısıtma sistemleri ile kömür, doğal gaz, biyokütle, güneş gibi farklı yakıt ve kazan, ısı pompası, bölgesel ısıtma gibi farklı teknoloji türleri kullanılarak yapılmaktadır. Alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi verisi diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de resmi bir istatistik olarak yayımlanmamaktadır. Alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi modelleme ve anketler kullanılarak tahmin edilebilmektedir.

Banyo, yıkama vb. amaçlarla üretilen sıcak su, termosifon ve şofben gibi ekipmanlarla ya da alan ısıtma sistemleriyle birlikte olarak üretilmektedir. Sıcak su kullanımı amaçlı enerji tüketimine yönelik resmi bir istatistik olarak yayımlanmamakta, analizlerle tahmin edilebilmektedir. Sıcak su üretilmesinde genellikle kömür, petrol ürünleri, doğal gaz, biyokütle, elektrik ve güneş enerji kaynakları kullanılmaktadır.

Ocak, fırın, mikrodalga fırın, tost makinesi, su ısıtıcı vb. ev ekipmanları pişirme amacıyla kullanılmakla birlikte ocak ve fırın dışındaki ekipmanlar küçük ev aletleri kapsamında ele alınmaktadır. Pişirme işlemi amaçlı enerji tüketimi, ısıtma ve sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketimlerinde olduğu resmi bir istatistik olarak yayımlanmamakta, analizlerle tahmin edilebilmektedir. Pişirme işlemi için genellikle elektrik, doğal gaz ve petrol ürünleri kullanılmaktadır.

Ev aletleri; buzdolabı, derin dondurucu, çamaşır makinesi, çamaşır kurutma makinesi ve bulaşık makinesini içeren büyük ev aletleri (diğer bir adıyla, beyaz eşya ürünleri) ve süpürge, mikrodalga fırın, ütü, televizyon, bilgisayar, ses ve görüntü sistemlerini içeren küçük ev aletleri olarak iki ana grup altına sınıflandırılmaktadır. Ev aletleri ve aydınlatma sistemleri elektrikle kullanılmakta birlikte, az gelişmiş ülkelerde aydınlatma amaçlı gazyağı

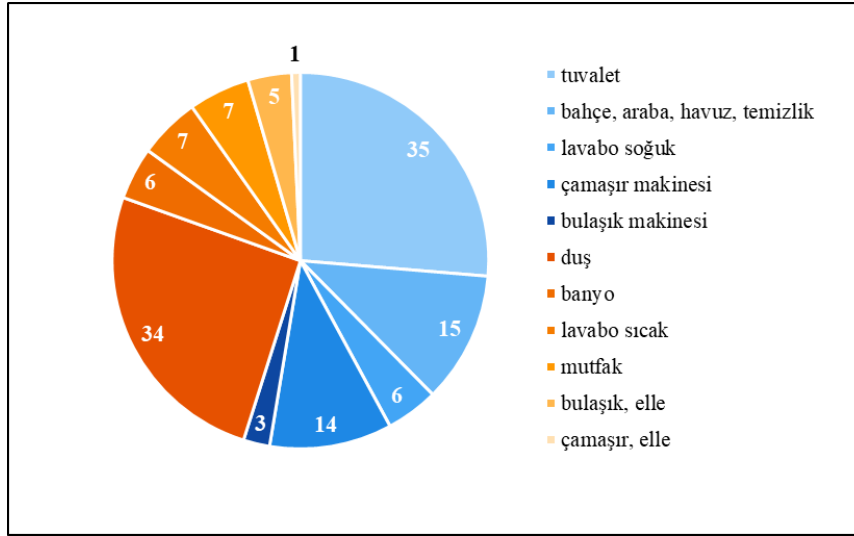
ve LPG gibi petrol ürünlerinin kullanımıyla da karşılaşılmaktadır. Elektrikli ev aletleri ve aydınlatma amaçlı enerji tüketimi ise elektrikli ev aletlerinin ve aydınlatma ekipmanlarının konutlarda kullanım oranları, yıllık çalışma süresi ve ortalama güç değerlerinden tahmin edilebileceği gibi konutlarda kullanılan toplam elektrik tüketiminden sıcak su üretimi, pişirme ve soğutma amaçlı elektrik tüketiminin çıkarılmasıyla da belirlenebilmektedir.

Nihai kullanım amaçlı enerji tüketimleri bulunulan iklim bölgesine ve sosyoekonomik yapıya göre farklılıklar gösterebilir. Soğuk iklim bölgelerinde konutlarda tüketilen enerjinin önemli bir bölümü alan ısıtması amaçlı kullanılırken, elektrifikasyon oranının düşük olduğu az gelişmiş ülkelerde ise pişirme nihai enerji tüketiminde en büyük paya sahip olabilir.

UEA, elektrikli araçların şarj edilmesi amacıyla konutlarda kullanılan elektriğin konut enerji istatistikleri yerine ulaşım istatistiklerinde yer verilmesini tavsiye etmektedir [66].

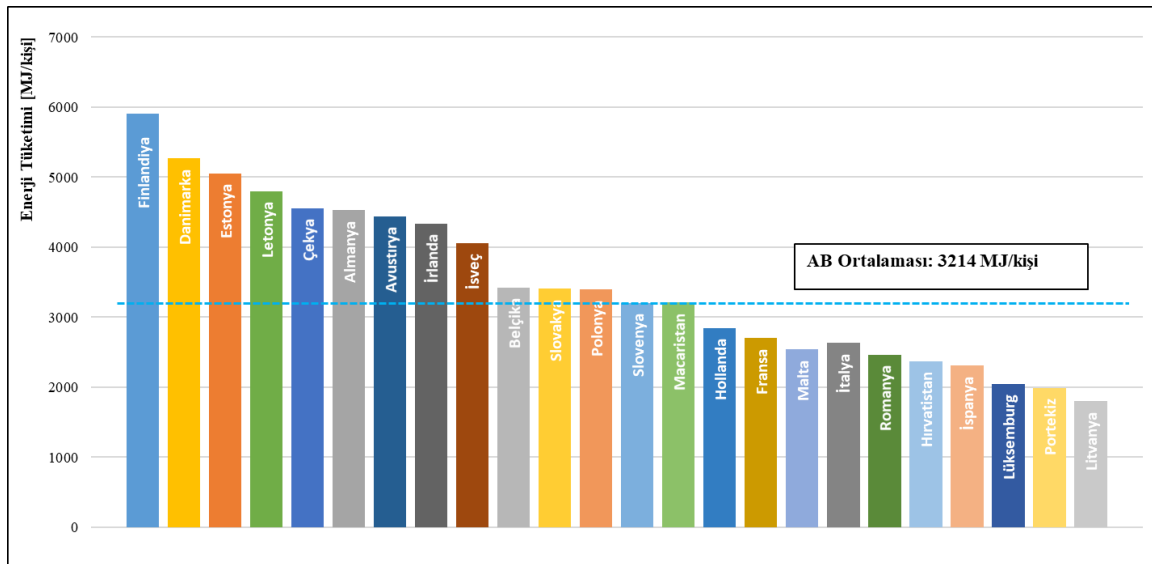
3.1. Sıcak Su Üretimi Amaçlı Enerji Tüketimi

Verimli ev aletleri ve tüketicilerin bilinç düzeyindeki artış ile konutlardaki kişi başına su tüketimi yılda yıla düşüş göstermektedir. Son 20 yıl içerisinde kişi başına su tüketiminde Baltık ülkelerinde %50'yi aşan, batı Avrupa ülkelerinde ise %10-20 oranlarında düşüşler yaşanmıştır. Diğer bir deyişle 10 yıl öncesine ait veriler günümüz verilerine göre %10-30 oranında sapma göstermektedir [67]. AB ülkelerinde su tüketimi en fazla tuvalet, duş ve bahçe için kullanılmakta olup kullanım amaçlarına göre detaylı dağılımı Şekil 3.1.'de sunulmaktadır.



Şekil 3.1. AB ülkelerinde kişi başına ortalama su tüketimi (133 litre/kişi/gün, sıcak su tüketimi 60 litre, 40°C) [67]

2019 yılı verilerine göre AB ülkelerinde sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketimi konutlarda tüketilen nihai enerji tüketiminin %14,1'ine sahiptir. Sıcak su üretiminin %40,9'u doğal gaz, %20,2'si elektrik, %12,8'i ısı, %11,4'ü petrol ve ürünleri, %13,1'i yenilebilir ve atık kaynaklıdır [68]. Şekil 3.2'de de yer verildiği üzere, AB ülkelerinde sıcak su üretim amaçlı kişi başına ortalama enerji tüketimi 0,9-5,9 GJ/kişi.yıl arasında değişmektedir.



Not: Bu bölümde yer verilen AB ülkelerine ait göstergeler Odyssee-Mure ve Eurostat verilerinden derlenerek oluşturulmuştur. Veritabanları için Bkz. [62], [68]

Şekil 3.2. AB ülkelerinde sıcak su üretimi amaçlı kişi başına ortalama enerji tüketimi (2019)

van Ruijven [69] çalışmasında kişi başına düşen gelirin artmasıyla sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketiminin de arttığı tespit etmiş ve hanehalkı tüketim harcamasına bağlı olarak sıcak su kullanım amaçlı enerji talebini Eş. 3.1. ile formüle etmiştir:

$$Enerji\ Tüketimi_{sıcak\ su} = 8.5 \times (1 - \exp(-(\frac{0.1}{1000}) \times HH_{exp} \text{ (MJ/kişi/gün)})) \quad (3.1.)$$

Eş. 3.1.'de yer alan HH_{exp} hanehalkı tüketim harcamasını (PPP(\$2005/kişi/yıl)) ifade etmektedir.

Bununla birlikte, sıcak su talebinin belirli bir doyuma ulaşarak son yıllarda değişim göstermeyen bölgelerin incelendiği Daioglou'nun [70] çalışmasında azami enerji talebinin iklim koşullarına bağlı olduğu sonucunu ulaşılmıştır. van Ruijven'in [69] çalışmasını geliştiren Daioglou [70], Eş. 3.2.'yi önermiştir:

$$Enerji\ Tüketimi_{sıcak\ su} = (m \times HDD + c) \times \exp\left(\varphi_2 \times \exp\left(-\left(\frac{\varphi_2}{1000}\right) \times HH_{exp}\right)\right) \quad (3.2.)$$

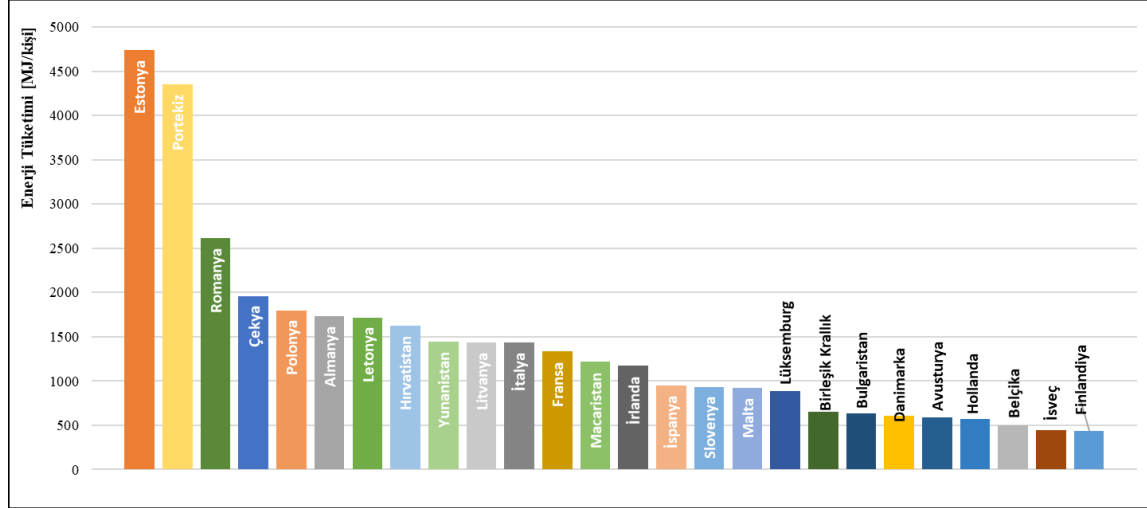
Eş. 3.2.'de yer alan m : 0,003, c : 2,756 ve φ_2 : 3,356 katsayılarını ifade etmektedir.

3.2. Pişirme Amaçlı Enerji Tüketimi

Konutlarda diğer önemli bir enerji tüketimi de pişirme amaçlı gerçekleştirilmektedir. Avrupa İstatistik Ofisi'ne göre pişirme kaynaklı enerji tüketimi ocak, fırın gibi farklı ekipmanlarla öğünlerin hazırlanmasını kapsamakta ve mikrodalga fırın, su ısıtıcısı, kahve pişirme makinesi vb. ev aletlerinin enerji tüketiminin ayrıştırılmasının zorluğu nedeniyle ev aletleri altında sınıflandırılması tavsiye edilmektedir [18].

Pişirmede en büyük paya sahip olan elektrik ve doğal gazlı ocaklar sırasıyla yıllık ortalama 684-900 MJ ve 1200-3586 MJ enerji tüketmektedir [71]. Pişirmede kullanılan doğal gaz ocaklarının verimi %40-55, elektrikli ocakların ise %72-84 aralığındadır [71]. Daioglou'nun [70] çalışmasında, küresel ölçekte pişirme amaçlı enerji tüketiminin 1,5-3,5 MJ/kişi.gün aralığında toplandığı ve pişirme amaçlı enerji tüketiminin gelir ve coğrafi bölge ile kayda değer bir ilişkisinin bulunmadığı belirtilmekte ve pişirme amaçlı ortalama enerji tüketimi 3 MJ/kişi.gün alınarak analizler gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.3.'te sunulmakta

olduğu üzere, AB ülkelerinde pişirme amaçlı kişi başına ortalama enerji tüketimi 0,44-4,74 GJ/kişi.yıl olarak geniş bir aralık içerisinde değişmektedir.



Şekil 3.3. AB ülkelerinde pişirme amaçlı kişi başına ortalama enerji tüketimi (2019)

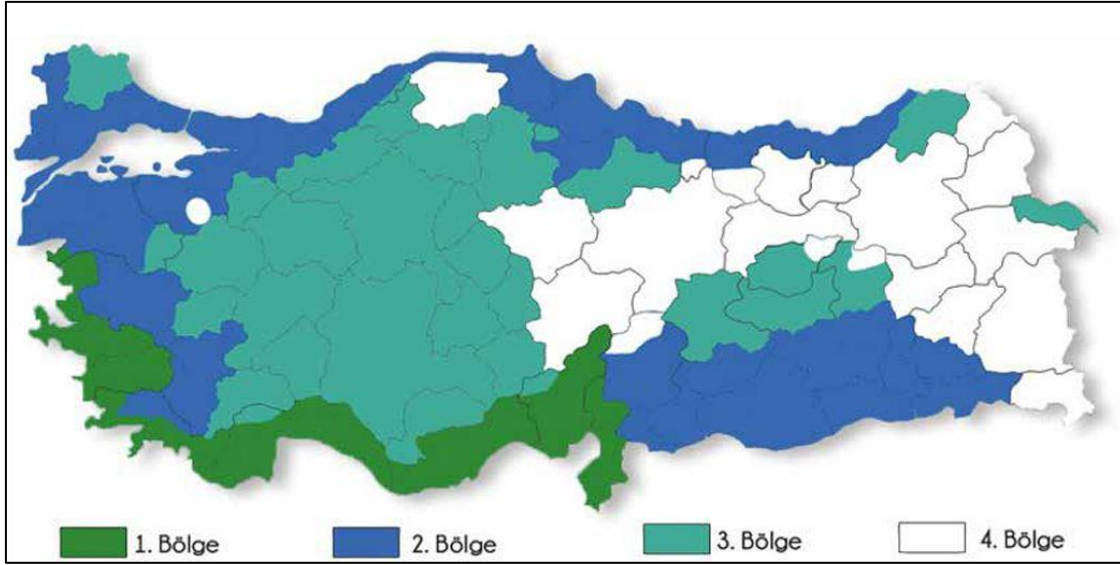
Ertay ve İleri'nin [72] çalışmasında 4 kişilik bir ailenin yıllık pişirme ihtiyacı 2178 MJ/yıl varsayılarak bir dairenin pişirme amaçlı yıllık yakıt tüketim miktarı için Eş. 3.3. önerilmiştir:

$$Enerji\ Tüketimi_{pişirme} = 2178 \times 10^3 \times \left(\frac{\ln(n)}{\ln(4)} \right) / \eta \times H_u \text{ (kg/yıl veya m}^3\text{/yıl)} \quad (3.3.)$$

Eş. 3.3.'de yer alan η sistem verimini ve H_u yakıtın alt ısı değerini (kJ/kg) ifade etmektedir.

3.3. Alan Isıtması Amaçlı Enerji Tüketimi

Türkiye sahip olduğu coğrafi konumu itibariyle Akdeniz'den karasal iklime kadar farklı türde iklimler etkisini göstermektedir. Ilıman nemli ve nemli soğuk iklim bölgelerinde konutlarda tüketilen enerjinin önemli bir bölümü alan ısıtması için kullanılmaktadır. Şekil 3.4.'te sunulmakta olduğu üzere TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları ile gün derecelerine göre Türkiye dört iklim bölgesine ayrılmakta ve her bir iklim bölgesi için tavsiye edilen ısıl geçirgenlik değerlerini belirlenmektedir [64].



Şekil 3.4. İklim bölgelerinin dağılımı [64]

Konutlarda ısıtma ve sıcak su üretimi amaçlı soba, kombi, kazan, bölgesel ısıtma vb. farklı ısıtma teknolojileri kullanılmaktadır. Artan yakıt maliyetleri ile birlikte iklim değişikliği ile mücadele kapsamında ısı pompası gibi düşük karbonlu teknolojilere geçişe yönelik küresel ölçekte bir eğilim de bulunmaktadır.

Sarak ve Satman'ın [73] çalışmasında Türkiye'de bütün konutların alan ısıtması amaçlı doğal gaz tüketmesi durumunda 2023 yılına kadar doğal gaz tüketiminin ısıtma gün dereceleri yöntemiyle 14,92 milyar m³ olacağı tahmin edilmiştir¹. Mangan ve Oral'ın [74] çalışmasında TOKİ'nin farklı iklim bölgelerinde inşa ettiği konutlar incelenerek çeşitli verimlilik senaryoları oluşturulmuş ve alan ısıtması amaçlı enerji tüketiminde %4-13, soğutma amaçlı enerji tüketiminde %25-57 arasında enerji tasarrufu sağlanabileceğini öngörülmüştür.

Benzer biçimde, literatürde yer alan anket çalışmaları ve analizlerle konutlarda kullanılan ısıtma sistemleri ve enerji tüketimleri belirlenmeye çalışılmıştır. ETKB tarafından 2016 yılı verilerine dayanarak yapılan çalışmaya göre Türkiye'de konutların %47,7'si kömür yakıtlı bireysel ısıtma sistemlerini kullanmaktadır. Bunu sırasıyla doğal gaz yakıtlı bireysel ısıtma sistemi (%35,4), doğal gaz yakıtlı merkezi ısıtma sistemi (%9,6), elektrik (%5,8) ve kömür yakıtlı bireysel ısıtma sistemi (%1,5) izlemektedir [75]. Konutlarda kullanılan ısıtma

¹ 2020 yılı sonu itibariyle 17,5 milyonu aşan doğal gaz aktif abone sayısının toplam tüketimi 15,4 milyar m³ olarak gerçekleşmiştir. Detaylı bilgi için bkz. [81].

sistemlerinin ve enerji kaynaklarının belirlenmesine yönelik ETKB tarafından yapılan çalışmaya ek olarak yürütülen güncel diğer çalışmalar Türkiye İstatistik Kurumu [76] ve Kadir Has Üniversitesi Enerji ve Sürdürülebilir Kalkınma Merkezi (CESD) [77] tarafından gerçekleştirmiştir. Çizelge 3.1.'de anılan çalışmaların karşılaştırılması sunulmaktadır.

Çizelge 3.1. Konutlarda alan ısıtması amacıyla kullanılan enerji kaynaklarının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların karşılaştırılması

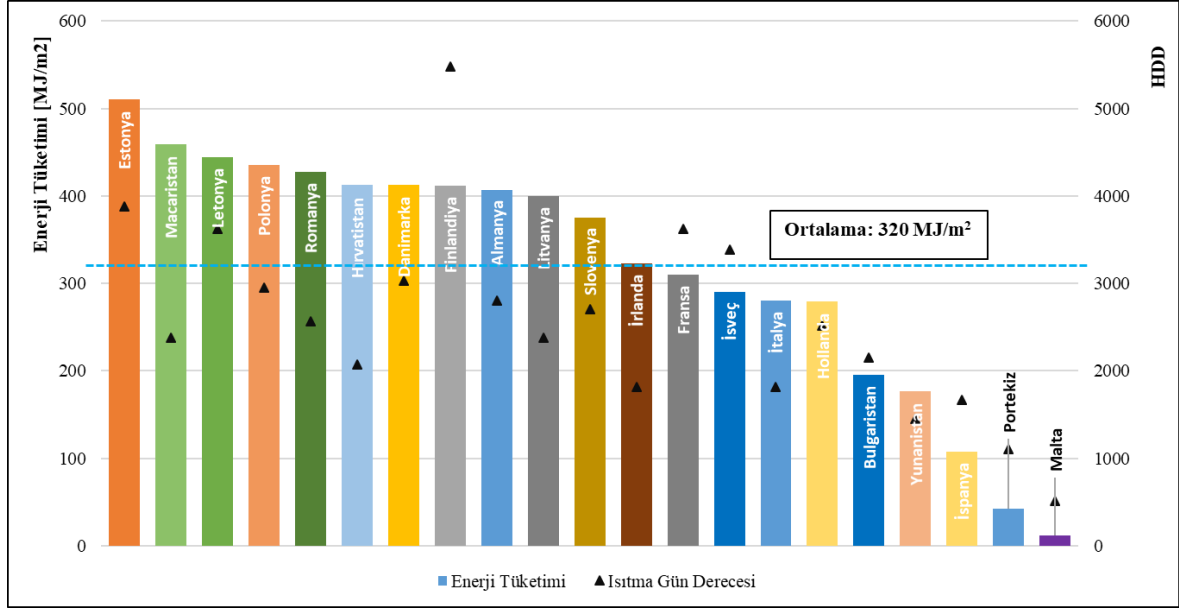
Enerji Kaynakları	ETKB Raporu	TÜİK Konut Araştırması	CESD Enerji Tercihleri
Petrol	-	-	-
Doğal Gaz	%45,0	%45,7	%54
Kömür	%49,2	%29,2	%25
Biyokütle	-	%15,2	%12
Elektrik	%5,8	%7,2	%9
Diğer	-	%2,6	-

Not: [75-77]'den yararlanılarak hazırlanmıştır. Üç çalışmada da 2016 yılı verileri kullanılmıştır.

ETKB ve TÜİK çalışmaları ısıtma amaçlı doğal gaz kullanan konutların oranı sırasıyla %45 ve %45,7 olarak tespit etmiştir. Bununla birlikte, CESD çalışması bu çalışmalara kıyasla yaklaşık %9 oranında daha fazla konutun doğal gaz ile beslendiğini göstermektedir. Kömür yakıt kullanım oranlarına bakıldığında ise araştırmalarda tespit edilen oranlar arasındaki farkların daha belirgin olduğu görülmektedir. Örneğin, ETKB çalışması CESD çalışmasına kıyasla %24,2 oranında (neredeyse iki katı kadar) daha fazla konutun kömür yakıtla alan ısıtması yapıldığını belirtmektedir. ETKB çalışmasında ele alınan konut sayıları, enerji kaynaklarına göre toplam enerji tüketimine bölündüğünde kömür ve doğal gaz için sırasıyla 7,2 GJ/konut ve 32,1 GJ/konut elde edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, doğal gaz tüketen konutlar kömür tüketenlere göre 4,43 kat daha fazla enerji harcamaktadır.

Biyokütle kullanımına ilişkin olarak, 2016 yılı Enerji Denge Tablosuna göre konutlarda tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %12'si biyokütle kaynaklarından elde edilmektedir. Dolayısıyla, TÜİK ve CESD araştırmasında biyokütle kullanımına yönelik daha tutarlı tahminlerin yapıldığı düşünülmektedir. Elektrik kullanımına yönelik ise araştırmalarda önemli farklılıkların bulunmadığı görülmektedir.

Alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi, ele alınan bölgenin HDD değeri ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle, Şekil 3.5.'te de sunulmakta olduğu üzere AB ülkelerinde konutlarda metrekare başına enerji tüketimi 12-510 MJ/m² gibi geniş bir aralıkta değişmektedir.



Şekil 3.5. AB ülkelerinde alan ısıtması amaçlı metrekare başına enerji tüketimi (2019)

Alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi dış sıcaklık değerlerine büyük ölçüde bağlıdır. Örneğin, kış mevsimi ılıman geçen bir ülke enerji tüketimini düşürmüş görünürken, kış mevsiminin geçmiş yıllara kıyasla sert geçtiği diğer bir ülkede enerji verimliliğine önemli yatırımlar yapılmasına rağmen enerji tüketiminde bir artış gözlemlenebilir. Bu nedenle, alan ısıtmasının doğru bir biçimde izlenmesi ve enerji verimliliğinde doğru bir kıyaslama yapılabilmesi için alan ısıtması amaçlı enerji tüketim değerlerinin iklim etkisinden arındırılması gerekmektedir. İklim düzeltmesinde kullanılan en yaygın yöntem ısıtma gün dereceleri yöntemidir. Isıtma gün derecesinin günlük bazda hesaplama yöntemi Eş. 3.4. ile verilmektedir:

$$HDD = (18^{\circ}\text{C} - T_m) \times \text{değer } T_m \leq 15^{\circ}\text{C} \text{ (ısıtma eşiği)} \quad (3.4.)$$

$$HDD = 0 \text{ eğer } T_m > 15^{\circ}\text{C}$$

Belirli bir dönem için ısıtma gün derece hesabı ise Eş. 3.5. ile sunulmaktadır.

$$HDD = \sum_{k=1, 18^{\circ}\text{C} > T_m}^n (18^{\circ}\text{C} - T_m) \quad (3.5.)$$

Eş. 3.4.'de yer alan T_m günlük ortalama sıcaklık değerini ve Eş. 3.5.'te yer alan n belirli bir dönemdeki toplam gün sayısını ifade etmektedir.

İklim etkisinden arındırılmış alan ısıtması kaynaklı enerji tüketimi Odyssee-Mure'da [78] belirtilen yöntem kullanılarak Eş. 3.6. ile hesaplanmaktadır.

$$Enerji\ Tüketimi_{düzeltmiş,i} = \frac{Enerji\ Tüketimi}{\left(1 - (a_{kettetp} \times 0.9) \times \left(\frac{HDD}{HDD_{ref}} - 1\right)\right)} \quad (3.6.)$$

Eş. 3.6.'da yer alan $Enerji\ Tüketimi_{düzeltmiş,i}$ i. yıldaki iklim düzeltmeli enerji tüketimini, HDD_{ref} referans veya ortalama ısıtma gün derecesini ve $a_{kettetp}$ alan ısıtması kaynaklı enerji tüketiminin toplam enerji tüketimindeki payını ifade etmektedir.

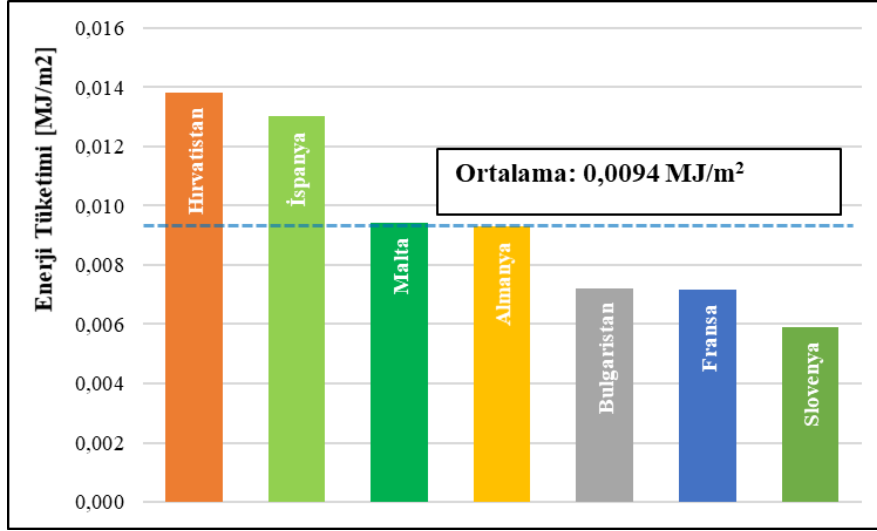
3.4. Aydınlatma Amaçlı Enerji Tüketimi

Enerji etüt ve anket çalışmalarının yokluğunda aydınlatma amaçlı enerji tüketiminin belirlenmesine yönelik literatürde farklı yöntemler önerilmiştir. Heidari vd. [79] stok modellemesi yöntemi ile İsviçre'de konutlarda aydınlatma amaçlı enerji tüketimini ve tasarruf potansiyelini hesaplamıştır. Bununla birlikte, Türkiye için yıllık satış rakamları verisi bulunmadığından önerilen yöntem Türkiye'ye uyarlanamamaktadır. van Ruijven [69], aydınlatma talebinin gelir artışına bağlı olarak sonsuza kadar artmasının beklenemeyeceğini, kişi başına kullanım alanının talebi belirleyen itici güç olduğunu belirtmektedir. van Ruijven'in [69] çalışmasından hareketle Daioglou vd. [6] ve Daioglou'nun [70] çalışmalarında aydınlatma amaçlı enerji tüketiminin hesaplanması için Eş. 3.7. önerilmiştir:

$$Enerji\ Tüketimi_{aydınlatma} = 0,68 \times Kullanım\ Alanı \times Gücü \times Çalışma\ Süresi \quad (3.7.)$$

(Wh/gün)

Aydınlatma amaçlı enerji tüketiminin Türkiye'nin konut sektörü toplam elektrik tüketimi içerisindeki payına ilişkin literatürde %8,8-28,6 oranlarında geniş bir aralık verilmektedir [25-28]. Şekil 3.6.'da yer aldığı üzere literatürde aydınlatma amaçlı enerji tüketimine yönelik veri seti oldukça sınırlıdır ve veriler verimliliğe yönelik bir değerlendirme imkânı sunmamaktadır.



Şekil 3.6. AB ülkelerinde aydınlatma amaçlı metrekare başına enerji tüketimi (2019)

3.5. Alan Soğutması Amaçlı Enerji Tüketimi

Sıcak iklim bölgelerinde soğutma amaçlı enerji tüketimi konutlarda tüketilen nihai enerjide önemli bir paya sahiptir. Uluslararası Enerji Ajansı, küresel ölçekte alan soğutması kaynaklı enerji tüketiminin 2050 yılına kadar 3 kat artacağını öngörmektedir [80].

Bir ülkeye ait konut sektörünün soğutma amaçlı enerji tüketimi, iklimlendirme ekipmanlarına ait yıllık satış rakamlarının mevcut olması durumunda stok modellemesi yöntemiyle hesaplanabilir. Türkiye’de olduğu gibi sınırlı verilerin bulunması durumunda, Daioglou’nun [70] çalışmasındaki soğutma amaçlı enerji tüketimi hesabı için önerilen Eş. 3.8. ve Eş. 3.9’dan kullanılabilir. Eş. 3.9. ile hesaplanan ekipman birim enerji tüketimi (UEC) değerinin soğutma gün derecesi (CDD) ile arasında lineer, bazı hanelerdeki birden fazla iklimlendirme ekipmanı kullanımını dikkate almak için gelir ile arasında da logaritmik olarak bir ilişki tanımlanmıştır.

$$Enerji\ Tüketimi_{soğutma} = Hanehalkı\ Sayısı \times Sahiplik\ Oranı \times \left(\frac{UEC}{EER} \right) / \eta \times H_u \quad (3.8.)$$

$$UEC = CDD \times (0.6053 \times \ln(HH_{exp}) - 3.1897) \quad (3.9.)$$

Eş. 3.8.’de yer alan EER enerji verimlilik oranını ifade etmektedir.

3.6. Ev Aletleri Kaynaklı Enerji Tüketimi

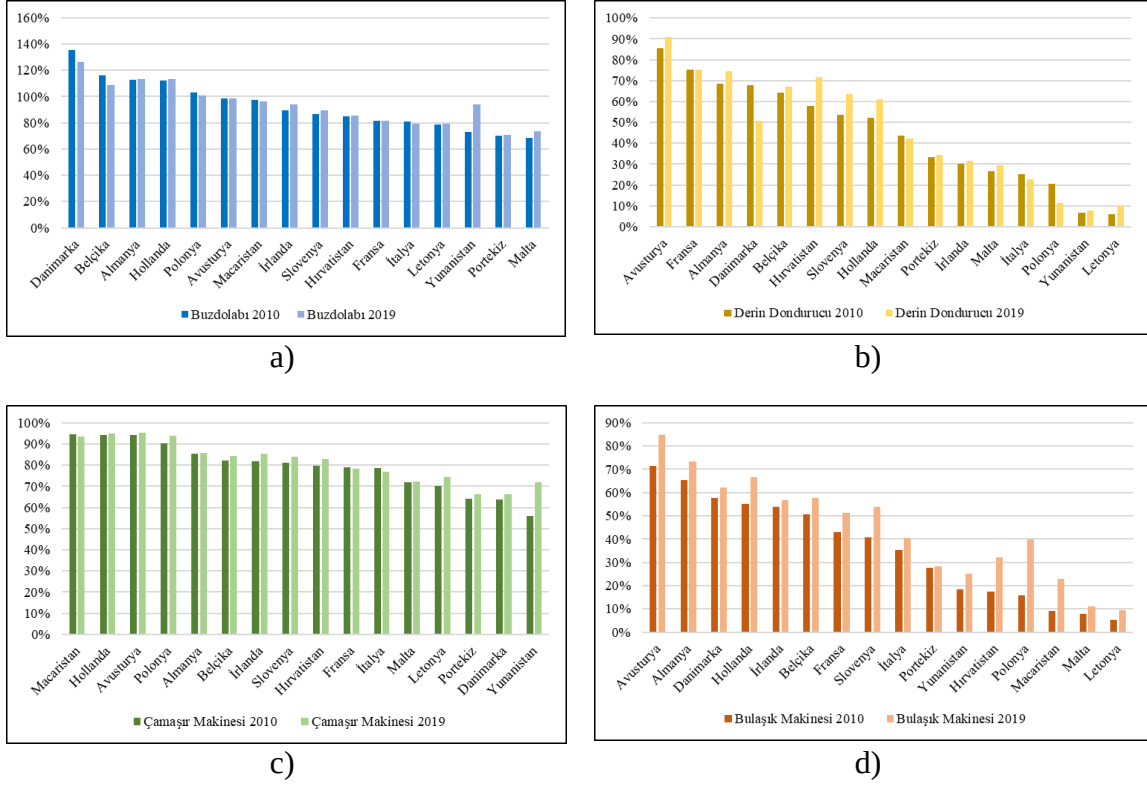
Türkiye’de ev aletleri kaynaklı enerji tüketimine ilişkin resmi kaynaklı bir istatistik bulunmamaktadır. Bununla birlikte, hanehalkının ev aletleri sahiplik oranları, hanelerde kullanımda olan ev aletlerinin stoku (ve dolayısıyla enerji tüketimi) hakkında bir fikir sunabilmektedir. Geçmiş yıllara yönelik yeterli verinin bulunmadığı gelişmekte olan ülkelerde, anketler sonucu elde edilecek ev aleti sahiplik oranlarının toplam hanehalkı sayısına çarpılmasıyla toplam kullanımda olan stok ve yıllık satış oranları kabaca tahmin edilebilir. Belirli bir yılda kullanımdaki stok miktarı Eş. 3.10. ile verilmektedir.

$$Stok_i^a = HH_i \times \gamma_i^a \quad (3.10.)$$

Eş. 3.10.’da yer alan $Stok_i^a$ i. yılda kullanımda olan a tipindeki ev aletinin toplamını, HH_i i. yıldaki toplam hanehalkı sayısını ve γ_i^a i. yılda kullanımda olan a tipindeki ev aletine ilişkin sahiplik oranını ifade etmektedir.

Diğer taraftan, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı koordinatörlüğünde yürütülen UNDP/GEF Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi kapsamında 55 adet hanehalkında yapılan anket çalışması ile bazı hanelerde aynı türde birden fazla ürünün olduğu belirlenmiştir. Örneğin, buzdolabı için sahiplik oranı %110,3 olduğu görülmüştür [81]. Yapılan anket çalışmasında her ne kadar baz alınan hane sayısı düşük olsa da bu durum gerçek hayatta hanehalklarında aynı türde birden fazla sayıda ev aletinin mevcut olabileceğini ve istatistiksel verinin bulunması durumunda kapsamlı bir stok modellemesinin yapılması gerektiğini göstermektedir.

Şekil 3.7.’de seçili AB ülkelerinde 2010 ve 2019 yılına ilişkin buzdolabı, derin dondurucu, çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi sahiplik oranları sunulmaktadır. 2019 yılı için buzdolabı sahiplik oranı %71-126, derin dondurucu sahiplik oranı %8-%91, çamaşır makinesi sahiplik oranı %66-94 ve bulaşık makinesi sahiplik oranı %9-85 arasında değişmektedir.



Şekil 3.7. AB ülkelerinde ev aletleri sahiplik oranları a) Buzdolabı, b) Derin dondurucu, c) Çamaşır makinesi, d) Bulaşık makinesi

3.7. Ayrıştırma Analizi Yöntemiyle Enerji Verimliliğinin İncelenmesi

Farklı verilerin bir araya getirilerek betimlendiği endeksler iktisadi araştırmalarda geniş bir yer bulmuş ve 1980’ler sonrasında enerji sektörüne uyarlanarak birçok çalışmaya konu olmuştur. Enerji ve ekonomik sektörlerin çıktıları arasındaki ilişkiyi tanımlamaya çalışan, böylelikle enerji verimliliğinin sağladığı katkıyı belirlemeyi hedefleyen analizler günümüzde yaygın olarak kurumsal ve akademik çalışmalarda yerini almaktadır. Bu çalışmaların teorisi genellikle Laspeyres ve Divisia endeks ayrıştırma yöntemlerine dayanmaktadır.

Laspeyres endeks ayrıştırma yöntemi Alman ekonomist Etienne Laspeyres’in 1871 yılındaki fiyat ve miktar endeksleri üzerine olan çalışmasından türetilmiştir. Geleneksel Laspeyres (TL), Paasche, Marshall-Edgeworth (M-E), Shapley ve Sun (S/S), Fisher ve düzenlenmiş Fisher yöntemleri Laspeyres ailesi altında sınıflandırılmaktadır. Divisia endeksi ise Fransız ekonomist François Divisia’nın 1925’teki fiyat ve miktar değerlerinin ölçümüne yönelik çalışmasına dayanmaktadır [82]. Diğer bir yöntem olan Divisia endeks

ayrıştırması Boyd vd. [83] tarafından Amerikan imalat sektörünün enerji verimliliğinin ölçülmesinde kullanılmasının ardından enerji ve çevresel göstergelerin ayrıştırılmasında sıklıkla kullanılan bir yöntem olmuştur.

Üretim artışı, yapısal değişim ve enerji yoğunluğundaki değişimlerin enerji tüketimine olan etkilerinin incelenmesine yönelik Ang, Liu ve Ong [84], Ang ve Skea [85] ile Ang ve Lee [86] farklı ayrıştırma yöntemlerini kullanarak alanlarındaki öncül çalışmaları gerçekleştirmiştir. Söz konusu çalışmalarda sanayi sektörüne odaklanılarak analizler yapılmıştır. Ang ve Lee [86] çalışmasında beş farklı yöntem önererek ayrıştırma yöntemlerinde tek bir doğru yolun bulunmadığını, yöntemlerin çıktı performansının karşılaştırılmasına yönelik henüz mutabık kalınan bir görüş birliği bulunmadığı, ayrıştırma analizinde sonuçların kullanılan yöntemle bağlı olduğunu ve varsayımlara dayalı olarak elde edilen sonuçların yeterli bir istinat olmadan doğrudan enerji tüketiminin gelişimine yönelik bir yorum getirilmemesi gerektiğini belirtmiştir.

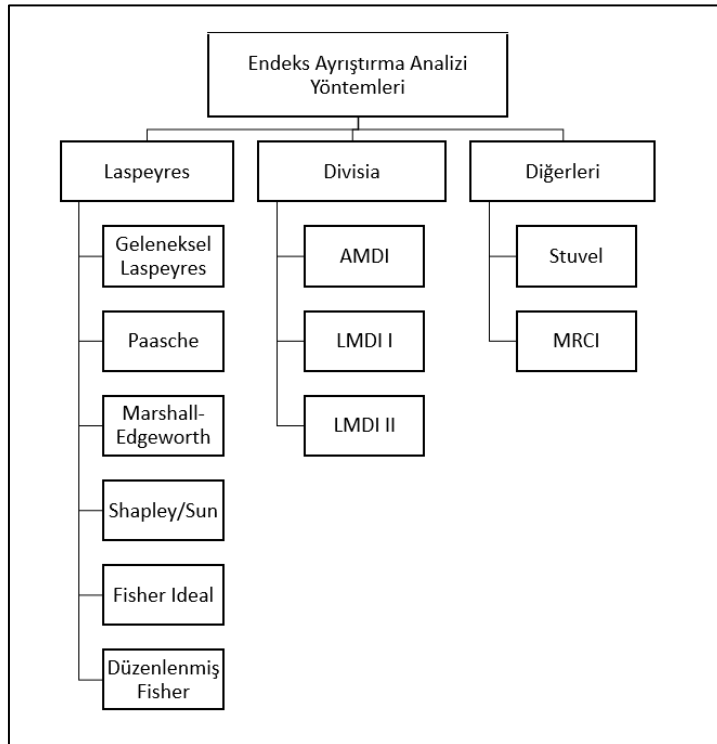
Literatürde Divisia endeks ayrıştırma yönteminde aritmetik ortalamalı ağırlık fonksiyonunun artık (residual) barındırması nedeniyle ve veri setindeki sıfır değerlerinin oluşturduğu problemleri aşmak için Ang ve Choi [87] tarafından logaritmik ağırlıklı fonksiyon kullanılmıştır. Ang ve Choi [87] kendilerinden önceki çalışmalara geleneksel Divisia endeks ayrıştırma yöntemleri olarak adlandırmış, kendi çalışmalarını Düzenlenmiş Divisia Yöntemi adını vererek günümüzde ayrıştırma analizlerinde kullanılan Logaritmik Ortalama Divisia Endeks (Logarithmic Mean Divisia Index - LMDI) yönteminin temelini atmıştır.

Sonraki yıllarda enerji tüketim eğilimlerinin incelenmesinde farklı ayrıştırma yöntemlerinin ele alındığı çalışmaların hızla yaygınlaştığı görülmektedir. Greening, Davis, Schipper ve Khrushch [88] çalışmalarında altı farklı ayrıştırma yöntemiyle OECD ülkelerinin 1972-1992 dönemindeki üretim sektörünün analizini gerçekleştirmiştir. Farla ve Blok [89] Hollanda'nın yapısal değişiminin ve enerji yoğunluğunun 1980-1995 dönemi için ekonomideki etkisini basit ortalamalı parametrik Divisa yöntemi (AVE-PDM2) ile incelemiştir. Albrecht, François ve Schoors [90] Shapley ayrıştırma yöntemiyle Belçika, Fransa, Almanya ve İngiltere'nin 1960-1996 dönemi emisyonlarını incelemiştir.

Ayrıştırma analizlerinin kullanımı 1990'lı yıllarda farklı enerji ajansları ve enstitüler

tarafından da kullanılmaya başlamıştır. AB ülkelerinin enerji verimliliğinin izlenmesi amacıyla başlatılan Odyssee Projesi kapsamında yürütülen ayrıştırma analizlerinde Divisia yaklaşımı kullanılmıştır. Sonrasında alt sektörlerin enerji tüketimlerine göre ağırlıklandırıldığı ve üç yıllık hareketli ortalama yöntemi kullanılan ODEX hesaplama yöntemi tercih edilmiştir [91]. Asya-Pasifik ülkelerinin demir-çelik, çimento ve kâğıt sektörlerinin enerji verimliliğinin incelenmesinde Laspeyres endeksleri yaklaşımı kullanılmıştır [92]. Uluslararası Enerji Ajansı ve Kanada Doğal Kaynaklar Bakanlığı önceki çalışmalarında da ayrıştırma yöntemi olarak Laspeyres endeks yaklaşımını kullanırken analizlerde artık terimin getirdiği problemleri yok etmek adına logaritmik ortalama Divisia endeks yöntemine geçmiştir [93, 94].

Ang [95] çoğu yazarın çalışmalarında kullandığı yöntemleri neden kullandıklarına dair bir bilgi vermediğini, muhtemelen de diğer yöntemleri göz ardı ettiklerini veya farkında olmadıklarını belirterek Ang'ın [96] ayrıştırma yöntemleri üzerine yaptığı sınıflandırma çalışmasını revize etmiştir. Şekil 3.8'de sunulmakta olduğu üzere Na [82] çalışmasında Ang'ın [95] sınıflandırmasını endeks teorilerine göre yapmıştır.



Şekil 3.8. Endeks teorilerine göre ayrıştırma analizi yöntemleri [82]

Choi ve Ang [97] alt sektörlerin yapısal değişimlerinin ve enerji yoğunluğunun etkilerini görebilmek için Divisia endeks ayrıştırma yöntemini geliştirerek Amerikan imalat sanayisi üzerinde analizlerini gerçekleştirmiştir. Sonrasında, kullanılan ağırlık fonksiyonuna bağlı olarak LODE ayrıştırma yönteminin Montgomery-Vartia (LODE-I) ve Sato-Vartia (LODE-II) olmak üzere iki yorumu getirilmiştir [98]. Örneğin, Economidou [99] çalışmasında Avrupa Komisyonu'nun AB üye ülkelerinin enerji verimliliğini LODE-I yöntemini kullanarak incelerken Selçuk [98] Türkiye sanayi sektörünün enerji verimliliğinin gelişimini incelediği çalışmasında LODE-II yöntemi ile analizlerini gerçekleştirmiştir.

Literatürdeki güncel çalışmalara bakıldığında sektörlerin enerji verimliliğinin incelenmesinde ayrıştırma analizlerine olan ilginin devam ettiği görülmektedir. Setyawan [100] LMDI-II yöntemi ile Endonezya imalat sektörünün 1980-2015 dönemi için enerji yoğunluğu gelişimini incelemiş ve sektörün 35 yılda enerji yoğunluğunu %68 düşürdüğünü tespit etmiştir. De Oliveira-De Jesus, Galvis, Rojas-Lozano ve Yusta [101] çalışmalarında Latin Amerika ve Karayipler'in güç sektörü karbon yoğunluğunu analiz etmiş ve 1990-2017 dönemi için sadece %0,8 azaltım sağlandığını aktarmıştır. Trotta [102] çalışmasında LODE-I yöntemi ile Finlandiya enerji tüketimini 2005-2015 dönemi için analiz ederek belirtilen dönemde enerji verimliliği sayesinde 0,58 mtep nihai enerji tasarrufu sağlandığını belirtmiştir. Wang vd. [103] bölgesel bazlı yapısal ayrıştırma analizi yöntemi ile batı, doğu ve orta Çin'in enerji tüketimini incelemiş ve 2007-2012 döneminde yapısal değişimlerin ve enerji yoğunluğunun nihai enerji tüketimini belirleyen ana etkenler olduğunu, enerji talebinin en fazla doğu bölgesinde, ardından batı ve orta bölgelerde arttığını belirtmiştir. Chontanawat vd. [104] çalışmalarında Tayland imalat sanayisinin ortalama karbon salımları ve yoğunluğunu LODE yöntemini kullanarak araştırmış ve yapısal değişimlerin sektörün karbon salım ve yoğunluğunun azalmasında olumlu katkı sağladığını belirtmiştir. Talaei vd. [105] çalışmalarında Kanada sanayi sektörünün 1990-2014 dönemi için sera gazı salımlarının gelişimini analiz etmiş ve salımlardaki artışa en büyük etkenin üretim artışı olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bianco [106] LODE yöntemini İtalya turizm sektörüne uygulayarak 1995-2017 dönemi için elektrik tüketimindeki artışa neden olan etkenleri incelemiştir. Hossain vd. [107] çalışmalarında LODE yöntemini Bangladeş ulaştırma sektörünün 1990-2017 döneminde enerji kaynaklı sera gazı salımlarına neden olan faktörleri belirlemek için kullanmıştır. Bhadbhade vd. [108] ODEX ayrıştırma yöntemini kullanarak İsviçre'nin 2000-2016 dönemi için sektörlerin enerji verimliliği gelişimi analiz etmiştir.

Literatürde geniş biçimde yer bulan ayrıştırma analizlerine yönelik çalışmalar bir derleme çalışmasına konu olacak şekilde genişletilebilir. Bu noktada konut sektörü özelinde yapılan çalışmalar Çizelge 3.2. ile özetlenmektedir.

Çizelge 3.2. Konut sektöründe gerçekleştirilen seçili ayrıştırma analizi çalışmaları

Literatür	Ülke/ Ekonomi	Kapsanan Sektör	Analiz Dönemi	Çıktı Metriği	Aktivite	İtici Etkenler (Aktivite Hariç)	Düşürücü Etkenler
Berril vd. [109]	ABD	Konut	1990-2015	BET, NET, GHG*	Nüfus	Hanehalkı sayısı, konut başına kullanım alanı, iklim	Enerji yoğunluğu, bina yaşı, yakıt türü, bina tipolojisi, bölge
Reuter vd. [110]	Almanya ve İsviçre	Konut (Isıtma)	2000-2016	NET	Nüfus	Hanehalkı sayısı, konut başına kullanım alanı	Enerji yoğunluğu
Balezantis [111]	Litvanya	Konut	2004-2016	NET, GHG	Nüfus	Hanehalkı sayısı, konut başına kullanım alanı	Enerji yoğunluğu
Trotta [102]	Finlandiya	Çok Sektörlü	2005-2015	NET, GHG	Hanehalkı	Enerji yoğunluğu	Hanehalkı başına kullanım alanı, hanehalkı sayısı
Trotta [112]	İtalya	Çok Sektörlü	1995-2015	NET	Hanehalkı	Enerji yoğunluğu	Hanehalkı başına kullanım alanı, hanehalkı sayısı, ev aleti sahiplik oranı
Economidou ve Roman Collado [113]	AB-28	Çok Sektörlü	2005-2016	NET	Nüfus	Konut başına kullanım alanı	Enerji yoğunluğu, hava
Reuter vd. [114]	AB-28	Çok Sektörlü	2000-2015	NET	Nüfus	Hanehalkı sayısı, hava	Enerji yoğunluğu
Tzeiranaki vd. [115]	AB-28	Konut	2000-2016	NET	Nüfus	Konut başına kullanım alanı	Enerji yoğunluğu, hava
Kurniawan vd. [116]	Endonezya	Konut	2000-2015	GHG	Nüfus	Hanehalkı geliri,	Enerji yoğunluğu, karbon yoğunluğu, yakıt türü
Nie vd. [117]	Çin	Konut	2001-2012	NET	Nüfus	Hava, hanehalkı gelirinde enerji maliyetlerinin oranı (kırsal), gelir	Enerji fiyatı, hanehalkı gelirinde enerji maliyetlerinin oranı (kent), enerji yoğunluğu
Shigetomi vd. [118]	Japonya	Konut	1990-2015	GHG	Hanehalkı	Kişi başına konut enerji tüketimi, yakıt türü, karbon yoğunluğu	Hanehalkı sayısı, bina tipolojisi
Economidou [99]	AB-28	Çok Sektörlü	2005-2015	NET	Nüfus	Konut başına kullanım alanı	Enerji yoğunluğu, hava
Fan vd. [119]	Çin	Konut	1996-2012	NET	Nüfus	Bölge, gelir	Enerji yoğunluğu
Yan vd. [120]	Çin	Konut	2001-2015	NET	Nüfus	Konut başına kullanım alanı	Enerji yoğunluğu
Liu ve Zhao [121]	Çin	Konut	1993-2011	FEC	Nüfus	Yakıt türü, bölge, gelir	Enerji yoğunluğu
Nie ve Kemp [122]	Çin	Konut	2002-2010	NET	Nüfus	Kişi başına kullanım alanı, yakıt türü, enerji yoğunluğu	-

Çizelge 3.2. (devam) Konut sektöründe gerçekleştirilen seçili ayrıştırma analizi çalışmaları

Literatür	Ülke/ Ekonomi	Kapsanan Sektör	Analiz Dönemi	Çıktı Metriği	Faaliyet	İtici Etkenler (Faaliyet Hariç)	Düşürücü Etkenler
Weiguang vd. [123]	Çin	Konut	2005-2009	NET	Nüfus	Kişi başına kullanım alanı, yakıt türü, davranışsal faktörler	Enerji yoğunluğu
Fan vd. [124]	Çin	Konut	1996-2008	GHG	Nüfus	Konut başına kullanım alanı, hanehalkı sayısı, ev aleti sahiplik oranı	Enerji yoğunluğu
Rogan vd. [125]	İrlanda	Konut	1990-2008	NET (Gaz)	Müşteri Sayısı	Enerji yoğunluğu, hava, konut başına kullanım alanı	Bina tipolojisi
Chung vd. [126]	Hong Kong	Konut	1990-2007	NET	Hanehalkı	Bina tipolojisi, hava, enerji yoğunluğu	-

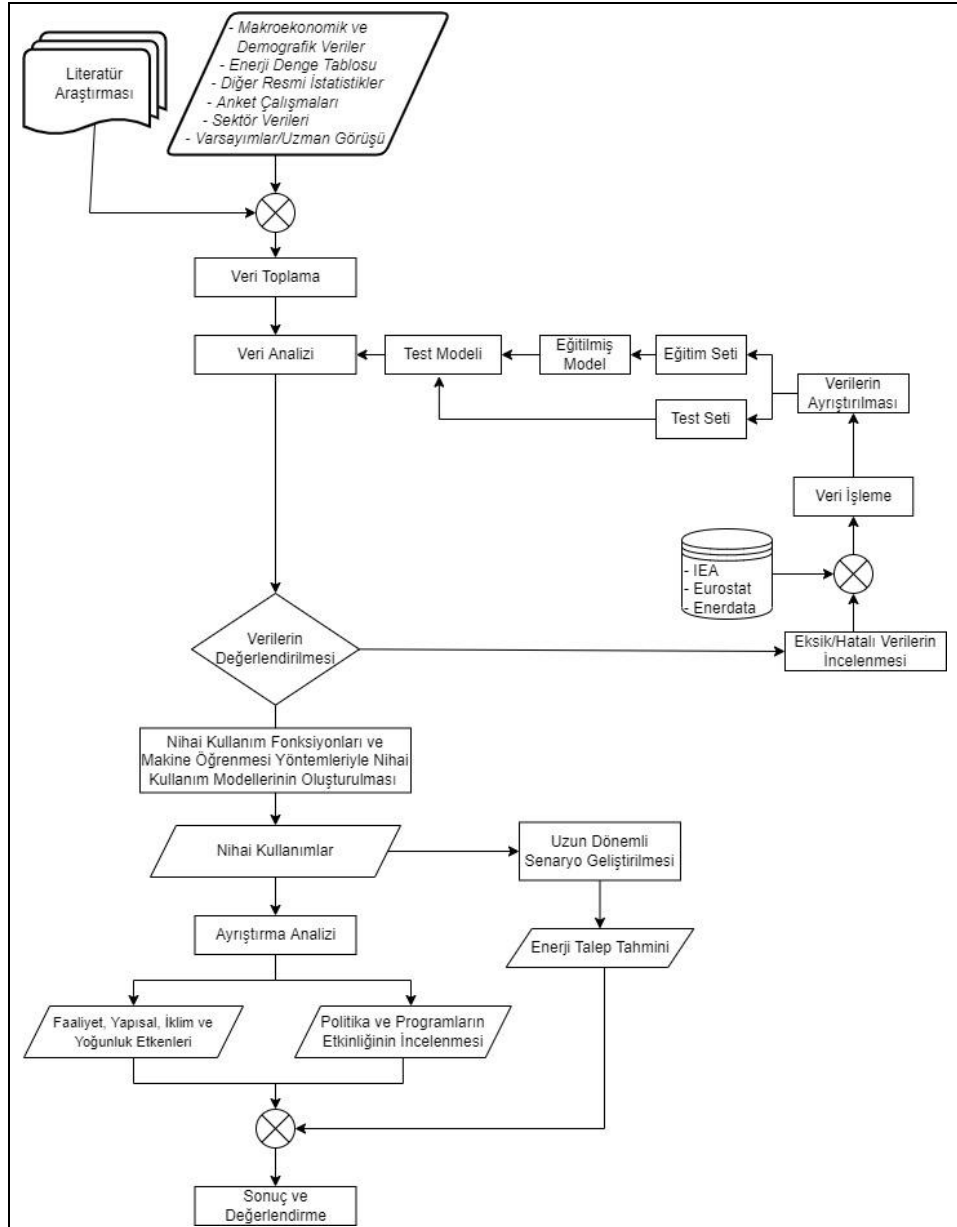
Not: BET birincil enerji tüketimini, NET nihai enerji tüketimini ve GHG emisyon salımlarını ifade etmektedir.

Türkiye'ye yönelik gerçekleştirilen analizler ise daha çok veri mevcudiyeti bulunan sanayi sektörüne odaklanmıştır. Lise [127] çalışmasında Kaya özdeşliği ile 1980-2003 döneminde sanayi, hizmet, ulaştırma ve tarım sektörleri kaynaklı salımlarına etkileyen nedenleri incelemiştir. Ediger ve Huvaz [128] LODE yöntemini sanayi, hizmet ve tarım sektörlerine uygulayarak sektörel enerji kullanımının gelişimini analiz etmiştir. Tunç, Türüt-Aşık ve Akbostancı [129] 1970-2006 dönemi için sanayi, hizmet ve tarım sektörlerinde sera gazı salımlarını artıran etkenleri incelemiştir. Ertuğrul [130] çalışmasında 1975-2007 dönemi için yine sanayi, hizmet ve tarım sektörlerinde ayrıştırma analizi ile enerji verimliliği gelişimini incelemiştir. Yılmaz ve Atak [131] 1980-2005 dönemi için sanayi, hizmet, tarım ve ulaştırma sektörlerini beşer yıllık dönemler için değerlendirmelerde bulunarak enerji tüketimindeki gelişimi analiz etmiştir. Akbostancı, Tunç ve Türüt-Aşık [132] Laspeyres ayrıştırma analizi yöntemi ile 1995-2001 yılları arasında imalat sektörünün karbon salımları gelişimi değerlendirilmiştir. Kumbaroğlu [133] çalışmasında Laspeyres ayrıştırma analizi yöntemini kullanmış ve 1990-2007 dönemi için elektrik, imalat sanayi, ulaştırma, konut ve tarım sektörleri kaynaklı karbon salımlarını incelemiştir. Yılmaz, Kelleci ve Bostan [134] toplamsal tipteki LODE ayrıştırma yöntemi ile 1970-2013 dönemi için sanayi, hizmet ve tarım sektörlerinde enerji tüketimine etkiyen faktörleri analiz etmiştir. Akbostancı, Tunç ve Türüt-Aşık [135] çalışmalarında önceki çalışmaları olan Akbostancı, Tunç ve Türüt-Aşık [136] tarım, orman ve balıkçılık, ulaştırma ve bina sektörlerini ekleyerek karbon salımlarını 1990-2013 dönemi için incelemiştir. Selçuk [98] LODE-II yöntemiyle analizini

gerçekleştirdiği sanayi sektöründe 2003-2011 yılları arasında enerji verimliliğinin %11 geliştiğini tespit etmiştir. Özşahin [136] sanayi, hizmet ve tarım sektörlerinin enerji verimliliğini 2003-2017 dönemi için incelemiştir. Akyürek [137] ise imalat sanayisinin alt sektörler bazında enerji verimliliği gelişimini 2005-2014 dönemini analiz etmiştir. Bununla birlikte, Türkiye konut sektörünün enerji verimliliğinin değerlendirilmesine yönelik ayrıştırma analizinin konu edindiği bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.

4. YÖNTEM VE VERİ SETLERİ

Bu bölümde enerji verimliliğinin enerji tüketimine olan etkisinin belirlenmesi ve politika yapıcılara yön gösterecek veri setlerinin oluşturulması amacıyla izlenen yöntem açıklanmaktadır. Şekil 4.1.'de sunulan yöntem doğrultusunda, Avrupa İstatistik Ofisi'nin [18] nihai kullanım bazında enerji tüketimi sınıflandırılması dikkate alınarak literatürde yer alan nihai kullanım fonksiyonları ve makine öğrenmesi yöntemlerinden çoklu doğrusal regresyon ve rastgele orman algoritmaları kullanılmakta ve nihai kullanım temelinde enerji tüketim profili oluşturulmaktadır.



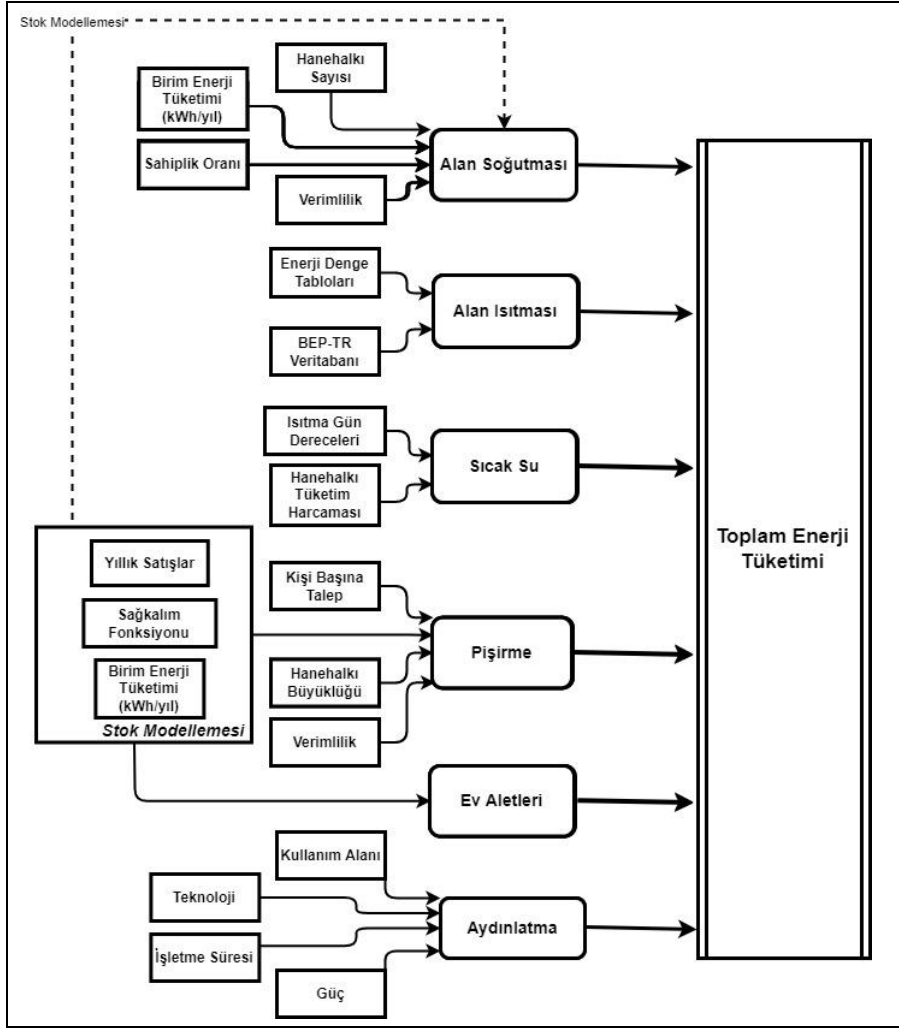
Şekil 4.1. Araştırmanın akış şeması

Sonrasında, nihai kullanımlardaki enerji verimliliği gelişiminin tespit edilmesi amacıyla Logaritmik Ortalama Divisia Endeks Ayrıştırma Yöntemi kullanılarak 2000-2018 dönemi için faaliyet, yapısal ve enerji yoğunluğundaki değişimlerin etkileri incelenecektir. Böylelikle, konut sektöründe enerji tüketimindeki değişimlere neden olan etkenler ölçülecek ve uygulamada olan enerji politika ve programların etkinliğine ilişkin bir yorum getirilebilecektir. Ardından, konut sektörüne yönelik uzun dönemli senaryo geliştirilecek ve enerji talep tahmini yapılacaktır.

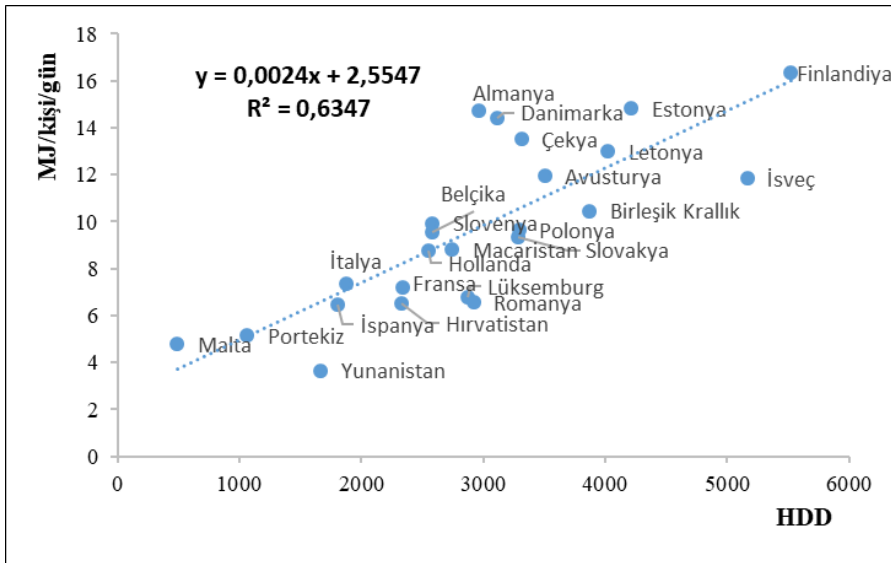
4.1. Nihai Kullanım Fonksiyonları ile Enerji Tüketiminin Tahmin Edilmesi

Nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerinin tahmin edilmesinde uygulanan yöntem Diawou vd. [16] ve van Ruijven'in [69] öncül çalışmalarına dayandırılmıştır. Nüfus, gelir, hanehalkı büyüklüğü ve iklime ilişkin parametrelerin konut sektörü enerji tüketimindeki değişimlerin ana nedeni olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, hesaplamalarda enerji tüketen ekipmanların yıllık satış rakamları, sahiplik oranları, birim enerji tüketimleri, teknoloji seçeneklerinin kullanım oranları ve verimlilikleri dikkate alınmıştır. Nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerinin tahmin edilmesinde oluşturulan model Şekil 4.2.'de sunulmaktadır.

Sıcak su amaçlı enerji tüketiminin tahmin edilmesinde Eş. 3.2. kullanılmıştır. Bununla birlikte, Eş. 3.2.'de Daioglou [70] tarafından belirtilen katsayıların kullanılması durumunda Avrupa Komisyonu'nun [67] çalışmasında vurgulanan son yıllardaki kişi başına düşen su tüketimindeki düşüş miktarı göz ardı edilmiş olunacak ve sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketimi gerçekte olandan daha yüksek bulunacaktır. Bu sebeple, AB ülkelerinin kişi başına sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketimi ile ısıtma gün dereceleri arasındaki ilişki incelenerek Şekil 4.3.'te yer alan regresyon eğrisi elde edilmiş ve katsayılar yeniden belirlenmiştir. Buna göre; m : 0,0024 ve c : 2,5547 olarak revize edilmiştir. Isıtma gün dereceleri verileri AB ülkeleri için Enerdata veri tabanından [62], Türkiye içinse Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden [61] alınmıştır. Bölüm 2.4.'te detaylı olarak sunulmakta olduğu üzere ölçüm merkezleri bazında yayımlanan veriler ölçüm merkezlerinin nüfusları göz önünde bulundurularak nüfusa göre ağırlıklandırma yapılmış ve yıllık değerler elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerinin tahmin edilmesinde oluşturulan model



Şekil 4.3. AB ülkelerinde kişi başına sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketimi ile ısıtma gün dereceleri arasındaki ilişki

Piştirme amaçlı (ocak) enerji tüketiminin tahmin edilmesinde Eş. 3.3. kullanılmıştır. Hanehalkı sayısına ilişkin bilgiler TÜİK [55] verilerinden alınmış, elektrikli fırınların enerji tüketimleri ise stok modellemesi yapılarak tahmin edilmiştir.

Alan ısıtması amaçlı nihai enerji tüketimi değerleri sıcak su üretimi ve piştirme amaçlı enerji tüketim değerlerinin toplamının Enerji Denge Tablosundan çıkartılmasıyla bulunmuştur. Enerji kaynaklarına göre dağılımları ise BEP-TR veri tabanı [138], TÜİK [76] ve Ediger vd. [77] çalışmaları ile uzman görüşleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Alan ısıtması amaçlı enerji tüketiminin iklim düzeltmesi yapılmasında Eş. 3.6. kullanılmıştır.

Aydınlatma amaçlı enerji tüketiminin tahmin edilmesinde Eş. 3.7.'den yararlanılabilir. Bununla birlikte, Türkiye'yi daha doğru temsil ettiği değerlendirilerek Yükselen'in [139] Ankara için hesapladığı aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi tahmini kullanılmıştır.

Ev aletleri ve alan soğutması amaçlı enerji tüketiminin tahmin edilmesinde stok modellemesi yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, alan soğutması amaçlı enerji tüketimi Eş. 3.8. ve Eş. 3.9. kullanılarak da hesap edilebilir. Stok modellemesi ve Daioglou'nun [70] önerdiği eşitlik benzer sonuçları veriyor olsa da Türkiye'ye özgü yıllık satış rakamları üzerinden bir stok muhasebesinin yapıldığı stok modellemesi yöntemi tercih edilmiştir.

Analize konu edinen ürünün toplam stoku, geçmiş yıllar satış verisi ve ortalama yaşam oranlarının en az iki katı zaman süreci için belirlenecek sağkalım oranı ile modellenebilir [17]. Buna göre stok, Eş. 4.1. ile hesaplanabilir:

$$Stok_i^a = Stok_{i-1}^a + S_i^a - AR_i^a \quad (4.1.)$$

Eş. 4.1.'de yer alan $Stok_{i-1}^a$ (i-1). yılda kullanımda olan a tipindeki ev aletinin toplamını, S_i^a i. yıldaki a tipindeki ürünün toplam satış miktarını ve AR_i^a i. yıldaki a tipindeki üründen emekli olanların toplamını ifade etmektedir.

Emekli olan toplam ürün stoku her bir yılda emekli olan ürünlerin toplamı olarak hesaplanmaktadır. Her bir yılda emekli olan ürünler ise başlangıç koşulu belirli bir yıl belirlenerek ürünün yaş dağılımına bağlı sağkalım oranlarıyla Eş. 4.2. kullanılarak tespit edilebilir [16]:

$$AR_i^a = S_i^a \times (1 - \varphi_a(0)) + \sum_{j=i-k}^{i-1} S_j^a \times (\varphi_a(i-j+1) - \varphi_a(i-j)) \quad (4.2.)$$

Eş. 4.2.'de yer alan S_j^a j. yıldaki a tipindeki ürünün satış miktarını veya sayısını ve $\varphi_a(i-j+1), \varphi_a(i-j)$ a tipindeki ürünün sırasıyla $(i-j+1)$ ve $(i-j)$ yıllarına ait sağkalım oranlarını ifade etmektedir.

Martinez-Montejo ve Sheinbaum-Pardo'nun [140] çalışmalarında yaşam ömrü sonuna kadar bütün ürünlerin işletmede olacağı ve 16 yıl olarak kabul edilen yaşam süreleri sonunda doğrudan emekliye ayrılacakları varsayımı ile modellemelerini yapmıştır. Bununla birlikte, sağkalım eğrileri olarak da adlandırılan sağkalım oranlarının belirlenmesine yönelik literatürde lineer ve lineer olmayan sağkalım fonksiyonları tanımlanmıştır. Mahlia, Masjuki ve Choudhury [141] çalışmalarında lineer sağkalım fonksiyonu ile ürünlerin ortalama yaşam ömürlerinin 2/3'ü dolmadan emekliye ayrılmayacaklarını, 4/3'ü dolanların hepsinin tamamen emekli olacağını, aradakilerin ise yaşam ömrünün artmasıyla doğru orantılı olarak daha fazla ürünün emekli olacağını varsaymıştır.

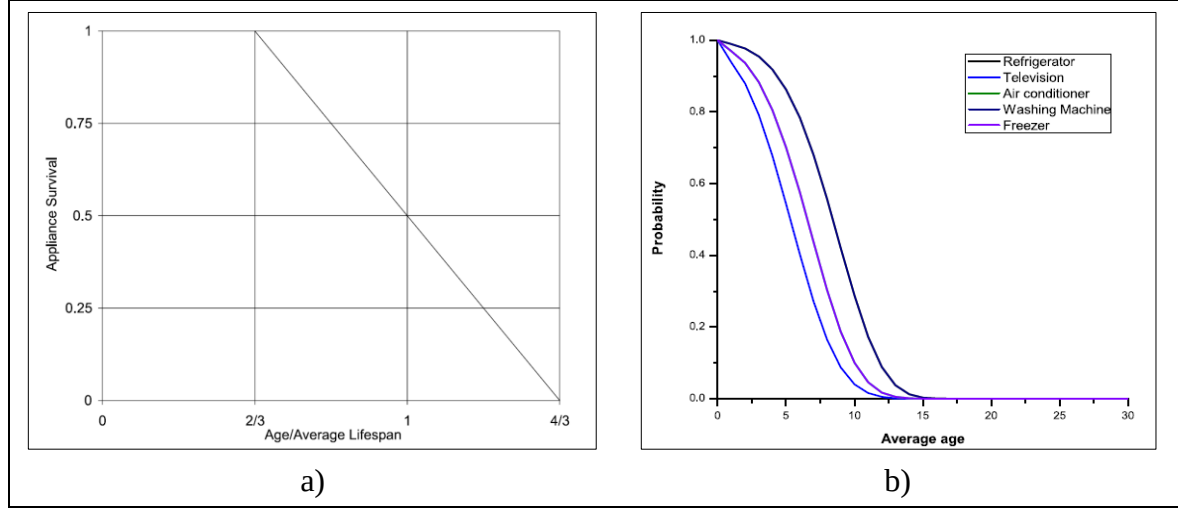
Diğer taraftan, Welch ve Rogers [142] ev aletlerinin emekliye ayrılma ömürlerinin Zachariadis, Samaras, and Zierock'un [143] çalışmalarında önerdiği "Uyarlanmış Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunu" izleyeceği sonucuna varmıştır. Diawou [16, 144] çalışmalarında emekliye ayrılan ev aleti sayısının hesaplarırken Zachariadis, Samaras, and Zierock'un [143] önerdiği sağkalım eğrisini kullanmıştır. Zachariadis, Samaras, and Zierock [143] tarafından önerilen sağkalım olasılığı için "Uyarlanmış Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu" Eş. 4.3.'te sunulmaktadır.

$$\varphi^a(k) = \exp - \left[\left(\frac{k + b^a}{T^a} \right)^{b^a} \right]; \varphi^a(0) \cong 1 \quad (4.3.)$$

Eş. 4.3.'te yer alan $\varphi^a(k)$ k yaşındaki a tipindeki ürünün sağkalım olasılığını, k yıl cinsinden ürünün yaşını, b^a a tipindeki ürünün hata yüksekliğini ($b^a > 1$, sağkalım oranı yaş ilerledikçe düşmektedir) ve T^a a tipindeki ürün için karakteristik yaşam ömrünü ifade etmektedir.

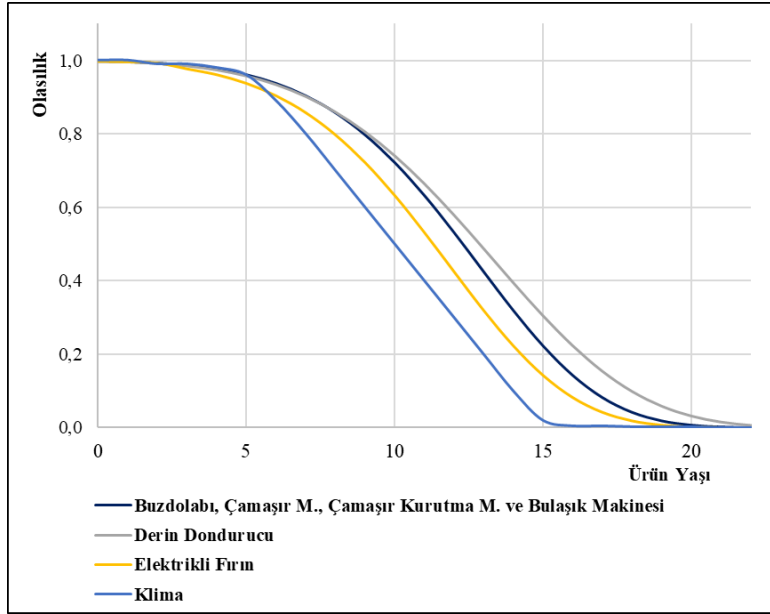
Mahlia, Masjuki ve Choudhury [141] çalışmalarında önerdiği lineer sağkalım eğrisi ve

Diawou'nun [144] çalışmasında kullandığı lineer olmayan sağkalım eğrileri Şekil 4.4.'te sunulmaktadır.



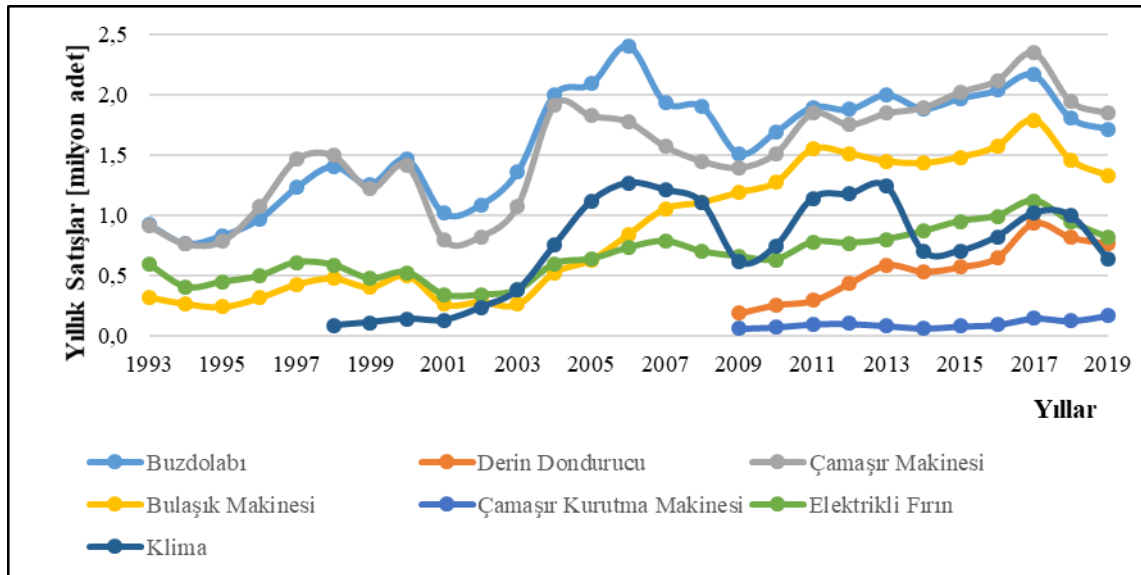
Şekil 4.4. a) Mahlia, Masjuki ve Choudhury [141] çalışmalarında önerdiği lineer sağkalım eğrisi b) Diawou'nun [144] çalışmasında kullandığı lineer olmayan sağkalım eğrileri

Türkiye için mevcut ev aleti stokunun yaş durumu veya emeklilik bilgisine yönelik yazarın bilgisi dahilinde bir veri bulunmadığından, T^a değerinin tahmin edilmesinde ETKB'nin Kantitatif Araştırma Raporu [145] çalışmasından yararlanılmıştır. Türkiye için stok hesaplamaları yapılan buzdolabı, derin dondurucu, çamaşır makinesi, çamaşır kurutma makinesi, bulaşık makinesi ve elektrikli fırın için yaş dağılımlarına göre stok kullanımı benzerlik gösterdiğinden T^a değeri altı ürün grubu için de 22 yıl olarak kabul edilmiştir. Alan soğutmasının klimalar vasıtasıyla yapıldığı kabul edilerek klimalar için T^a değeri 16 yıl kabul edilmiştir. Zachariadis, Samaras, and Zierock [143] çalışmalarında b^a değerinin ortalama yaşam ömrünün %50'lik bölümüne yakınsadığını belirtmektedir. Bu bilgiler eşliğinde altı ürün grubu için oluşturulan sağkalım eğrileri Şekil 4.5.'te sunulmaktadır.



Şekil 4.5. Ev aletleri ve klimalar (alan soğutması) için oluşturulan sağkalım eğrileri

Türkiye’de ev aletleri ve klima stoklarına ilişkin resmî bir veri kaynağının olmaması nedeniyle, söz konusu ürün gruplarının yıllık satış verilerinin elde edilmesinde ETKB [146], TÜRKBEŞD [147], İSKİD [148] ve Türkiye İşbankası A.Ş. [149] çalışmalarından yararlanılmıştır. 1993-2019 dönemi için yıllık satış verileri Şekil 4.6.’da sunulmaktadır.



Şekil 4.6. Büyük ev aletleri ve klimaların yıllık satış rakamları [146-149]

Küçük ev aletlerinin yıllık satış verilerine ilişkin veri mevcudiyeti eksikliği nedeniyle stok modellemesi büyük ev aletleri ve klimalar ile sınırlı bırakılmıştır. Stok modeli kurulurken

bazı yıllara ait satış rakamlarının eksik olması nedeniyle, verilerin mevcut bulunduğu yıllara ait satışların ortalama artış oranları dikkate alınarak verisi olmayan yıllara ait satış rakamları geriye doğru tahmin edilmiştir. Yapılan varsayımlar Çizelge 4.1.'de özetlenmektedir.

Çizelge 4.1. Ürün gruplarında satış rakamlarının eksik olduğu dönem ve satış rakamlarına ilişkin yapılan varsayımlar

Ürün Grubu	Verilerin Eksik Olduğu Dönem	Varsayılan Yıllık Satış Artış Oranı [%]
Buzdolabı	1993 öncesi	2
Derin Dondurucu	2009 öncesi	15
Çamaşır Makinesi	1993 öncesi	4
Çamaşır Kuruma Makinesi	2009 öncesi	15
Bulaşık Makinesi	1993 öncesi	10
Elektrikli Fırın	1993 öncesi	2
Klima	1998 öncesi	4

Ele alınan ürün gruplarının elektrik tüketim değerleri ilgili eko-tasarım ve etiketleme tebliğleri ile belirlenebilmektedir. Bunun için, öncelikle etiketleme tebliğlerinden ortalama enerji verimliliği endeksleri tahmin edilmiştir. Sonrasında, eko-tasarım tebliğlerinden standart bir ürün için ortalama enerji tüketimleri hesaplanarak öncesinde tahmini yapılan stokların toplam elektrik tüketimi belirlenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan ortalama enerji verimliliği endeksleri Çizelge 4.2.'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.2. Ortalama enerji verimliliği endekslerine yönelik yapılan varsayımlar

Ortalama Endeksler	Buzdolabı	Derin Dondurucu	Çamaşır Makinesi	Çamaşır Kurutma Makinesi	Bulaşık Makinesi	Elektrikli Fırın	Klima
A+++	21	21	45	23	49	44	8,6
A++	32	32	51	31	55	60	6,1
A+	43	43	58	41	62	80	5,6
A	54	54	67	64	70	105	5,1
B	74	74	76	75	79	130	4,6
C	94	94	86	84	89	157	4,1
D	109	109	88	86	91	160	3,6
E	124	124					3,1

Not: Klimalar için verilen değerler Mevsimsel Enerji Verimliliği Oranını (SEER) ifade etmektedir. Varsayımlar [150-155] yararlanılarak yapılmıştır.

Buzdolabı ve derin dondurucuların elektrik tüketimleri aynı yöntem ile hesaplanmaktadır. Ev Tipi Soğutma Cihazları İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ'de

ev tipi soğutma cihazının Enerji Verimlilik Endeksi (EEI) ve Standart Yıllık Enerji Tüketimi (SAEC) Eş. 4.4. ve Eş. 4.5. ile sunulmaktadır [156]:

$$EEI = \left(\frac{AE_C}{SAE_C} \right) \times 100 \quad (4.4.)$$

$$SAE_C = VE_{eq} \times M + N + CH \quad (4.5.)$$

Eş. 4.4.-4.5.'te yer alan AE_C Ev tipi soğutma cihazının yıllık enerji tüketimini, SAE_C ev tipi soğutma cihazının standart yıllık enerji tüketimini (kWh/yıl), VE_{eq} ev tipi soğutma cihazının eşdeğer hacmini, CH en az 15 litre depolama hacmine sahip, soğutma bölmeli ev tipi soğutma cihazları için 50 kWh/yıl kabul edilen değeri ve M ve N soğutma cihazı kategorilerine göre belirlenen katsayıları (Tebliğ Eki, Tablo 7) ifade etmektedir.

Ev Tipi Çamaşır Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine Dair Tebliğ (SGM-2011/18)'de ev tipi çamaşır makinesinin Enerji Verimlilik Endeksi (EEI) ve Standart Yıllık Enerji Tüketimi (SAEC) Eş. 4.6. ve Eş. 4.7. ile sunulmaktadır [157]:

$$EEI = \left(\frac{AE_C}{SAE_C} \right) \times 100 \quad (4.6.)$$

$$SAE_C = 47 \times c + 51,7 \quad (4.7.)$$

Eş. 4.6.- 4.7.'de yer alan AE_C ev tipi çamaşır makinesinin ağırlıklı yıllık enerji tüketimini, SAE_C ev tipi çamaşır makinesinin standart yıllık enerji tüketimini (kWh/yıl) ve c ev tipi çamaşır makinesinin, standart 60°C pamuklu program için tam yükte anma kapasitesinden veya standart 40°C pamuklu program için tam yükte anma kapasitesinden en düşük olanını ifade etmektedir.

Ev Tipi Çamaşır Kurutma Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine Dair Tebliğ (SGM-2013/2)'de ev tipi çamaşır kurutma makinesinin Enerji Verimlilik Endeksi (EEI) ve Standart Yıllık Enerji Tüketimi (SAEC) Eş. 4.8. ve Eş. 4.9. ile sunulmaktadır [158]:

$$EEI = \left(\frac{AE_C}{SAE_C} \right) \times 100 \quad (4.8.)$$

$$SAE_C = 140 \times c^{0.8} \quad (4.9.)$$

Eş. 4.8.- 4.9.'da yer alan AE_C ev tipi çamaşır kurutma makinesinin ağırlıklı yıllık enerji tüketimini, SAE_C ev tipi çamaşır kurutma makinesinin standart yıllık enerji tüketimini (kWh/yıl) ve c Ev tipi çamaşır kurutma makinesinin standart pamuklu programdaki anma kapasitesini ifade etmektedir.

Ev Tipi Bulaşık Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine Dair Tebliğ (SGM-2011/19)'de ev tipi bulaşık makinesinin Enerji Verimlilik Endeksi (EEI) ve Standart Yıllık Enerji Tüketimi (SAE_C) Eş. 4.10. ve Eş. 4.11. ile sunulmaktadır [159]:

$$EEI = \left(\frac{AE_C}{SAE_C} \right) \times 100 \quad (4.10.)$$

$$SAE_C = 7 \times ps + 378 \quad (4.11.)$$

Eş. 4.10-4.11.'de yer alan AE_C ev tipi bulaşık makinesinin yıllık enerji tüketimini, SAE_C ev tipi bulaşık makinesinin standart yıllık enerji tüketimini (kWh/yıl) ve ps sofrası seti sayısını ifade etmektedir.

Ev Tipi Fırınlar, Ocaklar ve Aspiratörler İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine Dair Tebliğ (SGM-2015/7)'de elektrikli fırınların Enerji Verimlilik Endeksi (EEI_{cavity}) ve Standart Enerji Tüketimi ($SEC_{electric\ cavity}$) Eş. 4.12. ve Eş. 4.13. ile sunulmaktadır [160]:

$$EEI_{cavity} = \left(\frac{EC_{electric\ cavity}}{SEC_{electric\ cavity}} \right) \times 100 \quad (4.12.)$$

$$SEC_{electric\ cavity} = 0.0042 \times V + 0,55 \quad (4.13.)$$

Eş. 4.12.-4.13.'te yer alan $EC_{electric\ cavity}$ bir döngü esnasında ev tipi elektrikli fırının bölmesindeki standart yükü ısıtmak için gereken enerji tüketimini, $SEC_{electric\ cavity}$ bir döngü esnasında ev tipi elektrikli fırının bölmesindeki standart yükü ısıtmak için gereken standart enerji tüketimini (kWh/yıl) ve V ev tipi fırının bölmesinin litre (L) cinsinden ifade edilen hacmini ifade etmektedir.

Buzdolapları ve derin dondurucular için ortalama hacimler sırasıyla 450 ve 200 litre, çamaşır makineleri için ortalama kapasite 7 kg ve yıkama çevrimi 220, çamaşır kurutma makineleri için ortalama kapasite 7 kg, bulaşık makineleri için ortalama sofra seti sayısı 12, elektrikli fırınlar için ortalama hacmin 65 L ve klimalar için ortalama soğutma kapasitesi 3,60 kW ve yıllık çalışma süresi 350 saat kabul edilerek her bir ürün grubunun enerji sınıflarına göre elektrik tüketim değerleri hesaplanmıştır. Ardından, stok modellemesi yöntemiyle toplam stokun elektrik tüketim değerleri belirlenmiştir.

4.2. Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Enerji Tüketiminin Tahmin Edilmesi

Makine öğrenmesi, farklı istatistiksel yöntemleri kullanarak sınıflandırmalar veya tahminler yapan bir veri analizi yöntemidir. Yapay zekanın bir dalı olan makine öğrenmesinde mevcut veriler kullanılarak yeni veriler için en uygun model bulmaya çalışılır [161]. Makine öğrenmesi algoritmaları çıkış modeli ile birlikte eğitim veri setlerinin verildiği denetimli öğrenme ve daha önce tespit edilmemiş örüntüleri etiketlenmemiş verilerle modelin kendi başına çalıştığı denetimsiz öğrenme olmak üzere genellikle iki sınıfta gruplandırılmaktadır.

Denetimli öğrenme, girdi değişkenlerinin bazı sürekli fonksiyonlarla eşleştirilmeye çalışıldığı regresyon problemleri ve girdi değişkenlerinin kategorize edildiği sınıflandırma problemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [162]. Doğrusal regresyon, lojistik regresyon, karar ağaçları, K-en yakın komşular, rastgele orman, destek vektör makineleri, nöral ağaçlar ve Naive Bayes sınıflandırıcısı makine öğreniminde denetimli öğrenme algoritmalarındandır.

Tahminleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan denetimli makine öğrenmesi algoritmalarından biri lineer regresyondur. Lineer regresyon modelinde değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu varsayılarak bağımlı bir değişken ile bir veya birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişki incelenmektedir [163]. Modelde birden fazla değişken bulunması durumunda Çoklu Doğrusal Regresyon adını almaktadır. Ağaç tabanlı algoritmalar içerisinde yaygınlıkla kullanılan bir diğer makine öğrenmesi yöntemi de rastgele orman modelidir. Çok sayıda tahminci ağaçtan oluşan rastgele orman modelinde her bir ağaç için bir tahmin yapılmakta ve her bir karar ağacının yaprak düğümlerinin ortalaması alınarak sonuçlar üretilmektedir [164]. Rastgele ağaç algoritmasının, kullanılan verilerin lineer olmayan bir eğilime sahip olduğu ve zaman serisi formunda bulunmadığı

modellerde kullanılması önerilmektedir [165]. Bu kapsamda, işbu Tez çalışmasında çoklu doğrusal regresyon ve rastgele ağaç algoritmaları kullanılarak 2019 yılı için nihai kullanım amaçlı enerji tüketimleri tahmin edilmektedir.

4.2.1. Çoklu doğrusal regresyon modeli

Eş. 4.14. ile ifade edilen çoklu doğrusal regresyon modelinde, y tahmin edilecek bağımlı değişkeni, β_k k nci bağımsız değişkeni, k bağımsız değişken sayısını ve ε hata miktarını temsil etmektedir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (4.14.)$$

Eş. 4.14. matris formunda Eş. 4.15. ile ifade edilebilir:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (4.15.)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,1} & \dots & x_{1,k} \\ 1 & x_{2,1} & \dots & x_{2,k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n,1} & \dots & x_{n,k} \end{bmatrix}_{n \times (k+1)} \quad (4.16.)$$

Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişki regresyon modeli ile tespit edilmeye çalışılarak katsayılar tahmin edilmektedir. Katsayıların tahmin edilmesinde en küçük kareler ve ridge regresyonu gibi farklı tahmin teknikleri kullanılmaktadır [166]. Bu çalışmada da kullanılan en küçük kareler yöntemi ile hatalar Eş. 4.17. ile minimize edilmekte ve katsayılar vektörü Eş. 4.18. ile hesaplanmaktadır:

$$\text{en küçük} \sum_{k=1}^n \varepsilon_k^2 = \text{en küçük} \sum_{k=1}^n (Y_k - \hat{Y}_k)^2 \quad (4.17.)$$

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (4.18.)$$

Katsayılar vektörünün bilinmesi durumunda çoklu doğrusal regresyon modeli ile yeni girdi vektörünü oluşturacak olası bağımlı değişkenin tahmini yapılmaktadır [167].

4.2.2. Rastgele orman modeli

Rastgele orman modeli, birden fazla karar ağacı oluşturarak tahminin doğruluğunu artıran bir yöntemdir. İç karar düğümleri, dallar ve uç yapraklardan oluşan karar ağaçlarında her düğümden bir denetim işlevi gerçekleştirilir ve sonuca göre dallardan biri seçilir. Yaprakta yer alan değer ise çıktıyı vermektedir [168].

Rastgele orman modelinde gerekli parametreler ağaç sayısı ve seçilecek değişkenlerdir. Test için ayrı bir veri setinin bulunmaması durumunda eğitim veri seti, öğrenme ve test verisi olarak ayrıştırılır. Her bir ağaç için bootstrap tekniği¹ kullanılarak örneklem oluşturulur ve her bir örneklem için tüm değişkenlerden belirlenen sayıda rastgele değişkenler seçilir. Sınıflandırma ve regresyon ağaçları (Classification and Regression Tree, CART) algoritması ile seçilen değişkenlere göre karar ağacı oluşturularak en iyi dallanma belirlenir [169]. T veri seti m adet sınıf içeriyorsa ve p_l 'de L sınıfına ait olma olasılığı olarak ifade edilirse en iyi dallanma ölçütü Eş. 4.19.'de sunulan gini indeksi ile hesaplanır:

$$Gini(T) = 1 - \sum_{l=1}^m p_l^2 \quad (4.19.)$$

İndeks 0-1 arasında değer almakta olup 0, mükemmel eşitliği ve 1 mükemmel eşitsizliği temsil etmektedir [170]. Oluşturulan karar ağaçlarının her biri için kendisine ait test veri seti ile hata oranı bulunur, hata oranı düşük olanlara yüksek ağırlık oranı verilir ve ağaçların ağırlığına göre yaptığı sınıf tahmini için oy verme işlemi gerçekleştirilir. Sınıflama ağaçları için en çok oyu alan seçilerek, regresyon ağaçları içinse oylamaların ortalaması alınarak tahmin işlemi gerçekleştirilir [169].

İşbu Tez çalışması kapsamında oluşturulan çoklu doğrusal regresyon ve rastgele orman modelleri Python ile sklearn, numpy ve pandas kütüphaneleri kullanılarak yapılmıştır. Yapılan tahminlerin başarısını ölçmek için determinasyon katsayısı (R^2), ortalama kare hata (mean squared error, MSE), kök ortalama kare hata (root mean squared error, RMSE), ortalama mutlak hata (mean absolute error, MAE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (mean absolute percentage error, MAPE) göstergeleri kullanılmıştır. $0 < R^2 < 1$ aralığında yer alan

¹ Veri setinden farklı örnekler seçerek yeni bir veri seti oluşturan ve her örnek seçimini de verileri tekrardan yerine koyarak gerçekleştiren istatistiksel teknik.

determinasyon katsayısının yüksek olması, korelasyonun da güçlü olduğunu göstermektedir. R^2 değerinin 0,01-0,09 aralığında olması çok zayıf, 0,10-0,29 aralığında zayıf, 0,30-0,49 aralığında orta, 0,50-0,69 aralığında güçlü, 0,70-1,00 aralığında çok güçlü korelasyon olduğunu göstermektedir. Bir regresyon eğrisinin bir diziye yakınlığını ölçen ortalama kare hata değeri daima pozitifdir ve sıfıra yakın olması modelin performansının iyi olduğunu göstermektedir. MSE değerinin karekökü alınarak diğer bir performans göstergesi olan kök ortalama kare hata elde edilmektedir. Ortalama mutlak hata ise tahmindeki hataların ortalama büyüklüğünü ölçmektedir. MAE, MSE ve RMSE değerleri $0-\infty$ aralığında değişmektedir [171]. Tahminlerin mutlak yüzdelik hatalarının ortalaması olan ortalama mutlaka hata yüzdesi için $MAPE < \%10$ yüksek doğru, $\%10 < MAPE < \%20$ iyi, $\%20 < MAPE < \%50$ kabul edilebilir dereceye sahip tahmin modeli olarak sınıflandırılmaktadır [172]. Y_i gözlem değeri, Y_i^* tahmin edilen değer ve Y_{ort} gözlem değerlerinin ortalaması olmak üzere performans göstergeleri Eş. 4.20.-24. ile hesaplanmaktadır:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_i - Y_i^*)^2}{\sum (Y_i - Y_{ort})^2} \quad (4.20.)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_i^*)^2 \quad (4.21.)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - Y_i^*}{Y_i} \right|^2} \quad (4.22.)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - Y_i^*|}{n} \quad (4.23.)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - Y_i^*}{Y_i} \right|}{n} \times 100 \quad (4.24.)$$

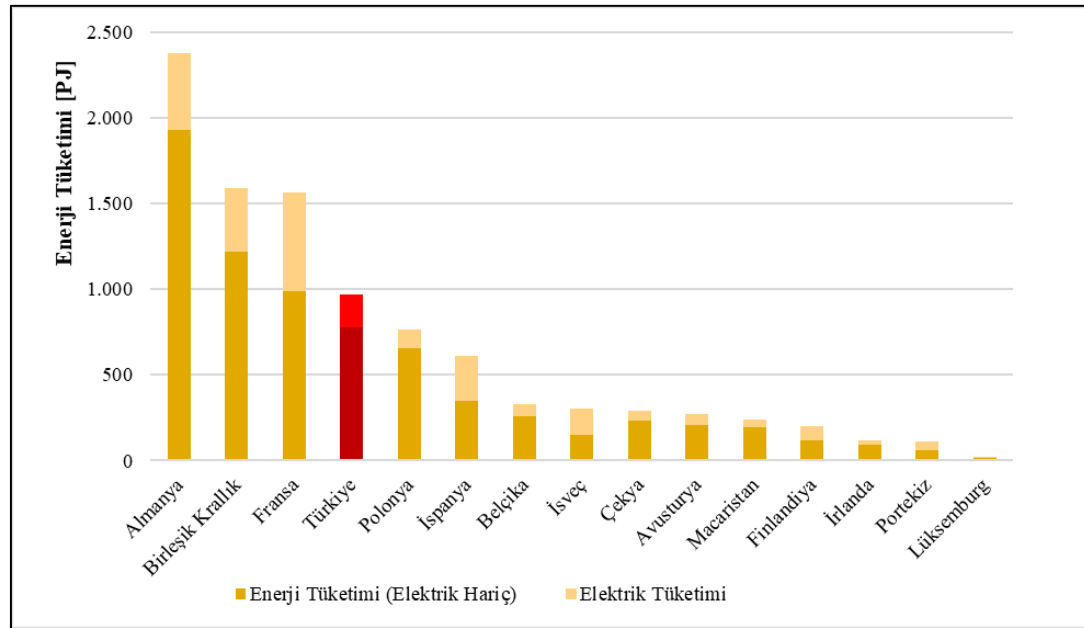
Yapılan analiz çalışmasında öncelikle veriler %80 eğitim seti ve %20 test seti olacak biçimde ikiye bölünerek eğitim seti üzerinde çoklu doğrusal regresyon modeli eğitilmiş ve test seti üzerinde tahminler yapılmıştır. Eğitim seti büyüdükçe model daha iyi öğrenmekte,

test seti büyüdükçe ise daha sıkı güven aralıkları oluşmaktadır. Test seti genellikle %20-30 oranında kullanılmaktadır [173]. Aynı veri setleri ile rastgele orman modeli kurularak tahminler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Nihai kullanım amaçlı enerji tüketimleri, Çizelge 4.3. ile sunulmakta olduğu üzere toplam enerji tüketimi, elektrik tüketimi, hanehalkı sayısı, ortalama kullanım alanı, kişi başına düşen gelir ve ısıtma/soğutma gün dereceleri gibi bağımsız değişkenlerle ilişkili olduğu varsayılmıştır.

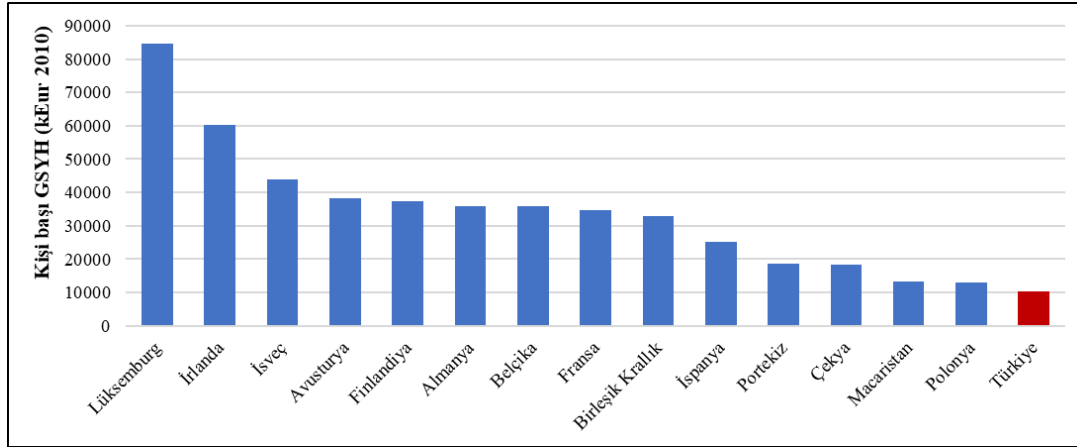
Çizelge 4.3. Nihai kullanımlar ve makine öğrenmesi modellerinde kullanılan girdiler

Nihai Kullanım Alanı (Bağımlı Değişkenler)	Girdiler (Bağımsız Değişkenler)
Konut Başına Alan Isıtması Amaçlı Enerji Tüketimi	Isıtma Gün Derecesi Hane Başına GSYH
Konut Başına Sıcak Su Amaçlı Enerji Tüketimi	Isıtma Gün Derecesi
Piştirme Amaçlı Enerji Tüketimi	Konut Enerji Tüketimi Hanehalkı Sayısı

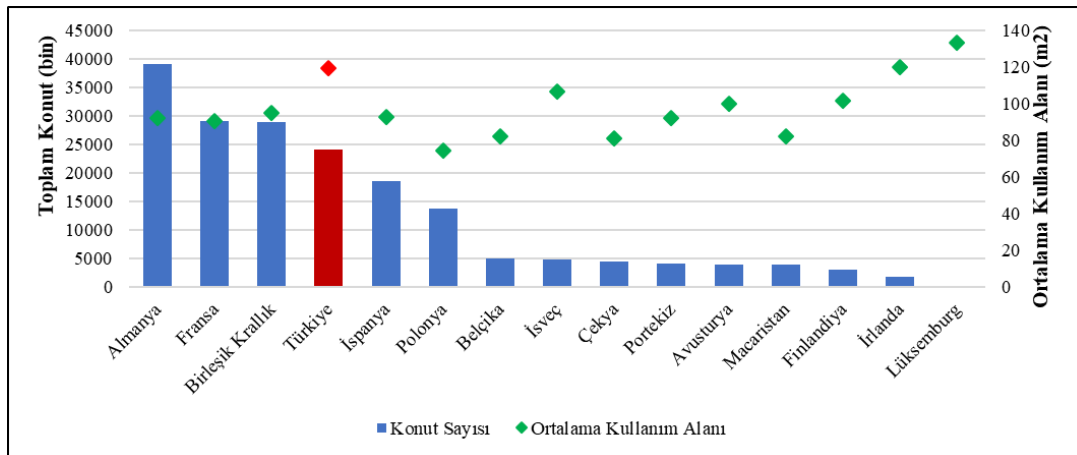
Analizler yer verilen ülkelerin 2019 yılı için konut sektörü enerji tüketimleri Şekil 4.7.'de, kişi başına düşen gelirleri Şekil 4.8.'de, toplam konut sayısı ve ortalama kullanım alanları Şekil 4.9.'da, ısıtma ve soğutma gün derece sayıları ise Şekil 4.10'da sunulmaktadır.



Şekil 4.7. Analiz kapsamında yer alan ülkelerin enerji tüketimleri (2019) [51, 62]

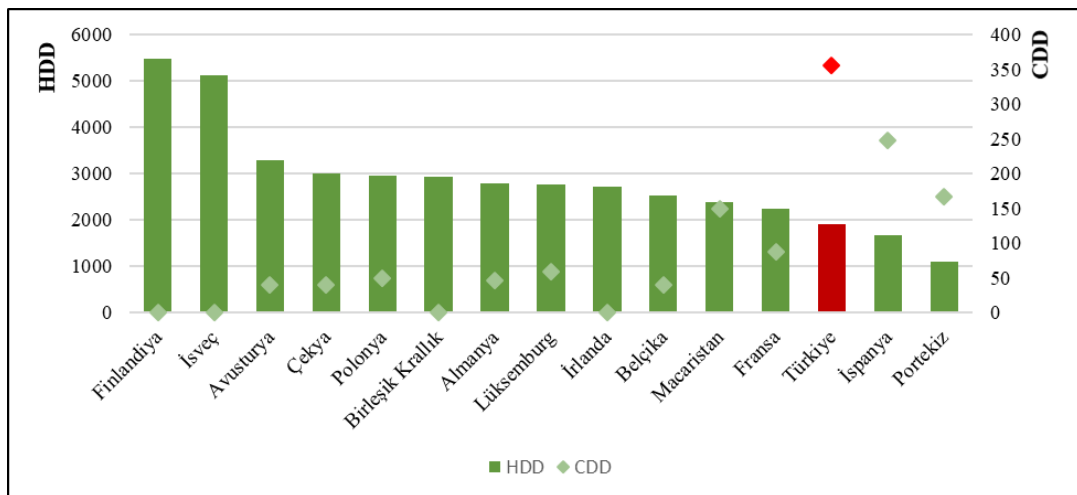


Şekil 4.8. Analiz kapsamında yer alan ülkelerin kişi başına düşen gelirler (2019) [62, 174]



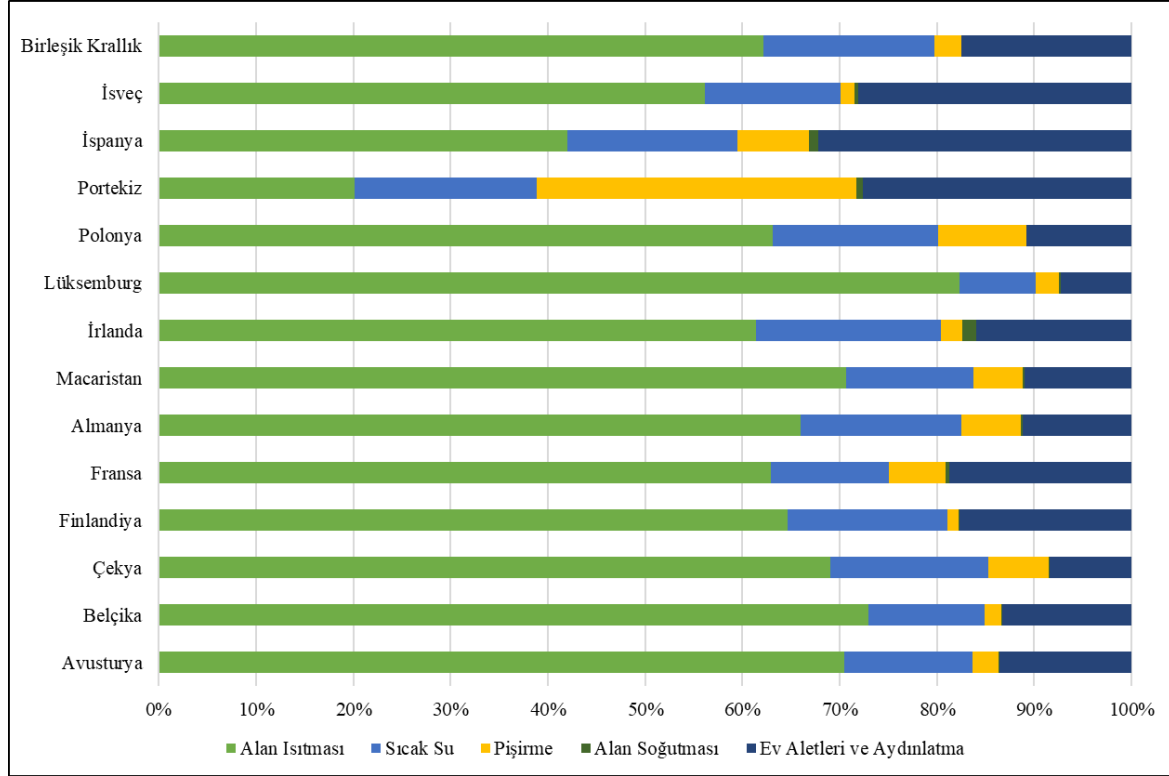
Not: Odyssee-Mure [62] verilerinden ve yazarın kendi hesaplamalarından derlenerek oluşturulmuştur.

Şekil 4.9. Analiz kapsamında yer alan ülkelerin toplam konut sayıları ve ortalama kullanım alanları (2019)



Şekil 4.10. Analiz kapsamında yer alan ülkelerin ısıtma ve soğutma gün dereceleri (2019) [61, 62]

Analizde yer alan ülkelerin enerji tüketimleri içerisinde nihai kullanımların dağılımları Şekil 4.11.'de sunulmaktadır. AB ortalamasına bakıldığında 2019 yılında harcanan toplam nihai enerjinin %62,5'i alan ısıtması, %16,1'i aydınlatma ve ev aletleri, %15,6'sı sıcak su ve %5,5'i pişirme amaçlı kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 4.11. Analiz kapsamında yer alan ülkelerin nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerinin toplam enerji tüketimleri içerisindeki payları (2019) [62, 68]

4.3. Logaritmik Ortalama Divisia Endeks Ayırıştırma Analizi Yöntemi ile Konut Sektörü Enerji Verimliliğinin Analizi

Logaritmik Ortalama Divisia Endeks (LODE) Ayırıştırma Yöntemi ile enerji tüketimindeki değişimlere neden olan etkenler ölçülebilmekte, enerji tüketimindeki değişimlerin sebepleri takip edilebilmekte ve enerji politikalarının ve teknolojilerin etkinliği belirlenebilmektedir. İşbu Tez çalışması kapsamında toplamsal tipteki LODE ayırıştırma yöntemi kullanılarak enerji tüketimi; faaliyet değişimi, yapısal değişim ve enerji yoğunluğundaki değişim cinsinden Eş. 4.25. ile ifade edilmektedir.

$$E = \sum_i E_i = \sum_i q \frac{Q_i E_i}{Q Q_i} = \sum_i Q S_i I_i \quad (4.25.)$$

Burada; E sektörünün enerji tüketimini, E_i i . alt sektörün enerji tüketimini, Q sektörün faaliyet seviyesini (bina sektörü için kWh/m² gibi), Q_i i . alt sektörün faaliyet seviyesini, S_i i . alt sektörün toplam sektörel faaliyet seviyesine oranını ve I_i i . alt sektörün enerji yoğunluğunu, başka bir ifadeyle de i . alt sektörün enerji tüketiminin i . alt sektörün faaliyetine oranını ifade etmektedir. Buna göre t yılı ile 0 referans yılı arasında enerji tüketimindeki toplam değişimi gösteren ΔE_{top} Eş. 4.26. ile verilmektedir. Bu değişim faaliyet etkisi, yapısal etki ve enerji yoğunluğunun etkilerinden kaynaklanmaktadır [105].

$$\Delta E_{top} = E_t - E_0 = \Delta E_{faaliyet} + \Delta E_{yapısal} + \Delta E_{en.yoğunluğu} \quad (4.26.)$$

Faaliyet, yapısal ve enerji yoğunluğunun etkileri Eş. 4.27-4.29 ile sunulmaktadır.

$$\Delta E_{faaliyet} = \sum_i \frac{E_{i,t} - E_{i,0}}{\ln E_{i,t} - \ln E_{i,0}} \ln \left(\frac{Q_t}{Q_0} \right) \quad (4.27.)$$

$$\Delta E_{yapısal} = \sum_i \frac{E_{i,t} - E_{i,0}}{\ln E_{i,t} - \ln E_{i,0}} \ln \left(\frac{S_{i,t}}{S_{i,0}} \right) \quad (4.28.)$$

$$\Delta E_{en.yoğunluğu} = \sum_i \frac{E_{i,t} - E_{i,0}}{\ln E_{i,t} - \ln E_{i,0}} \ln \left(\frac{I_{i,t}}{I_{i,0}} \right) \quad (4.29.)$$

Ayrıca, Eş. 4.30. ile verilen logaritmik ağırlık fonksiyonu;

$$L(E_{i,t}, E_{i,0}) = \frac{E_{i,t} - E_{i,0}}{\ln \left(\frac{E_{i,t}}{E_{i,0}} \right)} \quad (4.30.)$$

olmak üzere Eş. 4.27.-4.29., Eş. 4.31-4.33. ile ifade edilebilir:

$$\Delta E_{faaliyet} = \sum_i L(E_{i,t}, E_{i,0}) \ln \left(\frac{Q_t}{Q_0} \right) \quad (4.31.)$$

$$\Delta E_{yapısal} = \sum_i L(E_{i,t}, E_{i,0}) \ln \left(\frac{S_{i,t}}{S_{i,0}} \right) \quad (4.32.)$$

$$\Delta E_{en.yoğunluğu} = \sum_i L(E_{i,t}, E_{i,0}) \ln \left(\frac{I_{i,t}}{I_{i,0}} \right) \quad (4.33.)$$

Konut sektörüne yönelik ayrıştırma analizi çalışmalarında kullanılabilecek metrikler üzerine Uluslararası Enerji Ajansı'nın [175] önerileri Çizelge 4.4.'te özetlenmektedir.

Çizelge 4.4. Konut sektörüne yönelik ayrıştırma analizinde kullanılabilecek metrikler [175]

Nihai Kullanım	Faaliyet	Yapısal	Yoğunluk
Alan ısıtması	Nüfus	Kullanım alanı/Kişi	Alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi*/Kullanım alanı
Alan soğutması	Nüfus	Kullanım alanı/Kişi	Alan soğutması amaçlı enerji tüketimi*/Kullanım alanı
Sıcak su	Nüfus	Konut/Kişi	Sıcak su amaçlı enerji tüketimi/Konut
Piştirme	Nüfus	Konut/Kişi	Piştirme amaçlı enerji tüketimi/Konut
Aydınlatma	Nüfus	Kullanım alanı/Kişi	Aydınlatma amaçlı enerji tüketimi*/Kullanım alanı
Ev aletleri	Nüfus	Stok/Kişi	Ev aletleri enerji tüketimi/Stok

Not: * işareti ile gösterilen verilerin ısıtma ve soğutma gün derecelerine göre iklim etkisinden arındırılması gerekmektedir.

Konut sektörü nihai enerji tüketimi Eş. 4.34.'te sunulmakta olduğu üzere nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerinin toplamı olarak ifade edilmektedir.

$$NET_{konut} = NET_{AlanIsitması} + NET_{SıcakSu} + NET_{Piştirme} + NET_{Soğutma} + NET_{Aydınlatma} + NET_{BeyazEşya} + NET_{DiğerKullanım} \quad (4.34.)$$

Nihai kullanım amaçlı enerji tüketimleri Eş. 4.35.-4.50. ile ifade edilmektedir.

Alan ısıtması:

$$NET_{AlanIsitması} = ACT \times SOC \times COM \times INT \times CLI \quad (4.35.)$$

$$NET_{AlanIsitması} = POP \times \frac{DWE}{POP} \times \frac{TFA}{DWE} \times \frac{NET'_{AlanIsitması}}{TFA} \times \frac{HDD}{HDD_{ref}} \quad (4.36.)$$

$$NET'_{AlanIsitması} = \frac{NET_{AlanIsitması}}{\frac{HDD}{HDD_{ref}}} \quad (4.37.)$$

Sıcak su:

$$NET_{SıcakSu} = ACT \times INT \quad (4.38.)$$

$$NET_{SıcakSu} = POP \times \frac{NET_{SıcakSu}}{POP} \quad (4.39.)$$

Piştirme:

$$NET_{Piştirme} = ACT \times SOC \times INT \quad (4.40.)$$

$$NET_{Piştirme} = POP \times \frac{DWE}{POP} \times \frac{NET_{Piştirme}}{DWE} \quad (4.41.)$$

Alan soğutması:

$$NET_{Soğutma} = ACT \times SOC \times COM \times INT \times CLI \quad (4.42.)$$

$$NET_{Soğutma} = POP \times \frac{DWE}{POP} \times \frac{TFA}{DWE} \times \frac{NET'_{Soğutma}}{TFA} \times \frac{CDD}{CDD_{ref}} \quad (4.43.)$$

$$NET'_{Soğutma} = \frac{NET_{Soğutma}}{\frac{CDD}{CDD_{ref}}} \quad (4.44.)$$

Aydınlatma:

$$NET_{Aydınlatma} = ACT \times SOC \times INT \quad (4.45.)$$

$$NET_{Aydınlatma} = POP \times \frac{DWE}{POP} \times \frac{NET_{Aydınlatma}}{DWE} \quad (4.46.)$$

Beyaz eşya:

$$NET_{BeyazEşya} = ACT \times SOC \times COM \times INT \quad (4.47.)$$

$$NET_{BeyazEşya_i} = POP \times \frac{DWE}{POP} \times \frac{Stock_i}{DWE} \times \frac{NET_{BeyazEşya_i}}{Stock_i} \quad (4.48.)$$

Diğer kullanımlar:

$$NET_{DiğerKullanım} = POP \times COM \times INT \quad (4.49.)$$

$$NET_{DiğerKullanım} = POP \frac{GSMH}{POP} \frac{NET_{diğerleri}}{GSMH} \quad (4.50.)$$

Eş. 4.35.-4.50.'de yer alan *ACT* faaliyet etkisini, *SOC* sosyal etkiyi, *COM* refah etkisini (*SOC* ve *COM* birlikte yapısal etkiyi temsil etmektedir), *INT* enerji yoğunluğu etkisini, *CLI* iklim etkisini, *POP* nüfusu, *DWE* hanehalkı sayısını, *TFA* toplam kullanım alanını, $NET'_{AlanIsıtması}$ iklim etkisinden arındırılmış alan ısıtması için harcanan nihai enerji tüketimini, $NET'_{Soğutma}$ iklim etkisinden arındırılmış soğutma için harcanan nihai enerji tüketimini, *HDD* ısıtma gün derecesini, *CDD* soğutma gün derecesini, *HDD_{ref}* uzun dönem ortalama ısıtma gün derecesini, *CDD_{ref}* uzun dönem ortalama soğutma gün derecesini, *GSMH* gayri safi milli hâsılayı, *NET_{DiğerKullanım}* alan ısıtması, sıcak su üretimi, pişirme, soğutma, aydınlatma ve beyaz eşya hariç konutlardaki diğer nihai enerji tüketimlerinin toplamını, *i* buzdolabı, derin dondurucu, çamaşır makinesi, çamaşır kurutma makinesi veya bulaşık makinesi türünden beyaz eşya tipini, $NET_{BeyazEşya_i}$ *i* tipindeki beyaz eşya stokunun nihai enerji tüketimini ve *Stock_i* *i* tipindeki beyaz eşyanın toplam stoku miktarını ifade etmektedir.

t yılı ile 0 referans yılı arasında toplam enerji tüketimindeki değişimi Eş. 4.51. ile ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned}
\Delta NET_{konut} = & (\Delta E_{faaliyet} + \Delta E_{yapısal} + \Delta E_{iklimetkisi} + \Delta E_{yoğunluk})_{AlanIsıtması} \\
& + (\Delta E_{faaliyet} + \Delta E_{yoğunluk})_{SıcakSu} \\
& + (\Delta E_{faaliyet} + \Delta E_{yapısal} + \Delta E_{yoğunluk})_{Pişirme} \\
& + (\Delta E_{faaliyet} + \Delta E_{yapısal} + \Delta E_{iklimetkisi} + \Delta E_{yoğunluk})_{Soğutma} \\
& + (\Delta E_{faaliyet} + \Delta E_{yapısal} + \Delta E_{yoğunluk})_{Aydınlatma} \\
& + \left(\sum_i (\Delta E_{faaliyet} + \Delta E_{yapısal} + \Delta E_{yoğunluk})_{BeyazEşya_i} \right) \\
& + (\Delta E_{faaliyet} + \Delta E_{yapısal} + \Delta E_{yoğunluk})_{DiğerKullanım}
\end{aligned} \tag{4.51.}$$

Eş. 4.51.'de yer etkenler Eş. 4.52-4.73. ile ifade edilmektedir.

Alan ısıtması:

$$\Delta E_{faaliyet, AlanIsıtması} = L(NE_{AlanIsıtması,t}, NE_{AlanIsıtması,0}) \ln \left(POP_t / POP_0 \right) \tag{4.52.}$$

$$\begin{aligned}
\Delta E_{yapısal, AlanIsıtması} = & L(NE_{AlanIsıtması,t}, NE_{AlanIsıtması,0}) \ln \left(A_t / A_0 \right) + \\
& L(NE_{AlanIsıtması,t}, NE_{AlanIsıtması,0}) \ln \left(B_t / B_0 \right)
\end{aligned} \tag{4.53.}$$

$$\begin{aligned}
\Delta E_{iklimetkisi, AlanIsıtması} \\
= & L(NE_{AlanIsıtması,t}, NE_{AlanIsıtması,0}) \ln \left(HDD_t / HDD_{ref} \right)
\end{aligned} \tag{4.54.}$$

$$\Delta E_{yoğunluk, AlanIsıtması} = L(NE_{AlanIsıtması,t}, NE_{AlanIsıtması,0}) \ln \left(C_t / C_0 \right) \tag{4.55.}$$

Sıcak su:

$$\Delta E_{faaliyet, SıcakSu} = L(NE_{SıcakSu,t}, NE_{SıcakSu,0}) \ln \left(POP_t / POP_0 \right) \tag{4.56.}$$

$$\Delta E_{yoğunluk, SıcakSu} = L(NE_{SıcakSu,t}, NE_{SıcakSu,0}) \ln \left(D_t / D_0 \right) \tag{4.57.}$$

Piştirme:

$$\Delta E_{faaliyet, Piştirme} = L(NE_{T_{Piştirme,t}}, NE_{T_{Piştirme,0}}) \ln \left(POP_t / POP_0 \right) \quad (4.58.)$$

$$\Delta E_{yapısal, Piştirme} = L(NE_{T_{Piştirme,t}}, NE_{T_{Piştirme,0}}) \ln \left(A_t / A_0 \right) \quad (4.59.)$$

$$\Delta E_{yoğunluk, Piştirme} = L(NE_{T_{Piştirme,t}}, NE_{T_{Piştirme,0}}) \ln \left(E_t / E_0 \right) \quad (4.60.)$$

Alan soğutması:

$$\Delta E_{faaliyet, Soğutma} = L(NE_{T_{Soğutma,t}}, NE_{T_{Soğutma,0}}) \ln \left(POP_t / POP_0 \right) \quad (4.61.)$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{yapısal, Soğutma} = & L(NE_{T_{Soğutma,t}}, NE_{T_{Soğutma,0}}) \ln \left(A_t / A_0 \right) + \\ & L(NE_{T_{Soğutma,t}}, NE_{T_{Soğutma,0}}) \ln \left(B_t / B_0 \right) \end{aligned} \quad (4.62.)$$

$$\Delta E_{iklimetkisi, Soğutma} = L(NE_{T_{Soğutma,t}}, NE_{T_{Soğutma,0}}) \ln \left(CDD_t / CDD_{ref} \right) \quad (4.63.)$$

$$\Delta E_{yoğunluk, Soğutma} = L(NE_{T_{Soğutma,t}}, NE_{T_{Soğutma,0}}) \ln \left(F_t / F_0 \right) \quad (4.64.)$$

Aydınlatma:

$$\Delta E_{faaliyet, Aydınlatma} = L(NE_{T_{Aydınlatma,t}}, NE_{T_{Aydınlatma,0}}) \ln \left(POP_t / POP_0 \right) \quad (4.65.)$$

$$\Delta E_{yapısal, Aydınlatma} = L(NE_{T_{Aydınlatma,t}}, NE_{T_{Aydınlatma,0}}) \ln \left(A_t / A_0 \right) \quad (4.66.)$$

$$\Delta E_{yoğunluk, Aydınlatma} = L(NE_{T_{Aydınlatma,t}}, NE_{T_{Aydınlatma,0}}) \ln \left(G_t / G_0 \right) \quad (4.67.)$$

Beyaz eşya:

$$\Delta E_{faaliyet, BeyazEşya} = \sum_i L(NE_{T_{BeyazEşya_i,t}}, NE_{T_{BeyazEşya_i,0}}) \ln \left(POP_t / POP_0 \right) \quad (4.68.)$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{yapısal, BeyazEşya} &= \sum_i L(NE_{T_{BeyazEşya_i,t}}, NE_{T_{BeyazEşya_i,0}}) \ln \left(A_t / A_0 \right) \\ &+ L(NE_{T_{BeyazEşya_i,t}}, NE_{T_{BeyazEşya_i,0}}) \ln \left(H_t / H_0 \right) \end{aligned} \quad (4.69.)$$

$$\Delta E_{yoğunluk, BeyazEşya} = \sum_i L(NE_{T_{BeyazEşya_i,t}}, NE_{T_{BeyazEşya_i,0}}) \ln \left(I_t / I_0 \right) \quad (4.70.)$$

Diğer kullanım:

$$\begin{aligned} \Delta E_{faaliyet, DiğerKullanım} &= L(NE_{T_{DiğerKullanım,t}}, NE_{T_{DiğerKullanım,0}}) \ln \left(POP_t / POP_0 \right) \end{aligned} \quad (4.71.)$$

$$\Delta E_{yapısal, DiğerKullanım} = L(NE_{T_{DiğerKullanım,t}}, NE_{T_{DiğerKullanım,0}}) \ln \left(J_t / J_0 \right) \quad (4.72.)$$

$$\Delta E_{yoğunluk, DiğerKullanım} = L(NE_{T_{DiğerKullanım,t}}, NE_{T_{DiğerKullanım,0}}) \ln \left(K_t / K_0 \right) \quad (4.73.)$$

Burada;

$$A_t = \frac{DWE_t}{POP_t} \quad (4.74.)$$

$$B_t = \frac{TFA_t}{DWE_t} \quad (4.75.)$$

$$C_t = \frac{NET'_{AlanIsitmasi,t}}{TFA_t} \quad (4.76.)$$

$$D_t = \frac{NET_{SıcakSu,t}}{POP_t} \quad (4.77.)$$

$$E_t = \frac{NET_{Pişirme,t}}{DWE_t} \quad (4.78.)$$

$$F_t = \frac{NET'_{Soğutma,t}}{TFA_t} \quad (4.79.)$$

$$G_t = \frac{NET_{Aydınlatma,t}}{DWE_t} \quad (4.80.)$$

$$H_t = \frac{Stock_{i,t}}{DWE_t} \quad (4.81.)$$

$$I_t = \frac{NET_{BeyazEşya_{i,t}}}{Stock_{i,t}} \quad (4.82.)$$

$$J_t = \frac{GSMH_t}{POP_t} \quad (4.83.)$$

$$K_t = \frac{NET_{DiğerKullanım,t}}{GSMH_t} \quad (4.84.)$$

2000-2018 dönemi için Türkiye konut sektörü enerji tüketimine etki eden faaliyet ve yapısal etkenler ile enerji verimliliğinin etkisinin incelenmesinde Uluslararası Enerji Ajansı'nın veri tabanından [51] yararlanılmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı veri tabanında, nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerinin belirlenmesinde izlenen hesaplama yöntemine ilişkin bir bilgi bulunmamakta olup alan soğutması için eksik olan yıllara ait veriler stok modellemesi yöntemi ile tahmin edilmiştir.

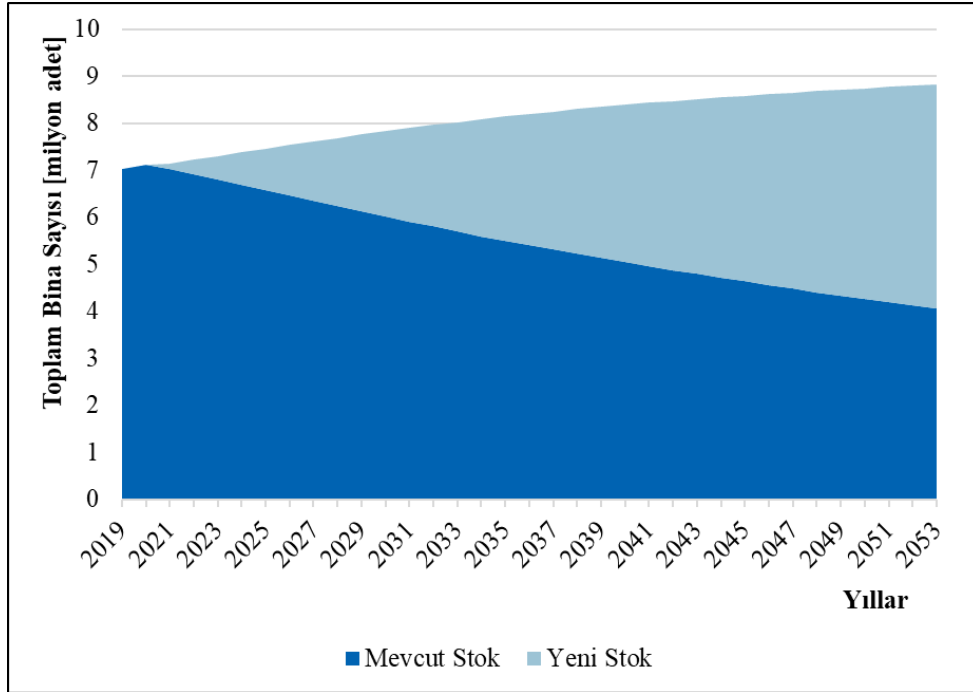
4.4. Konut Sektörünün Enerji Talebinin Uzun Dönemli Tahmini

Konut sektörü enerji tüketiminin uzun dönemli tahmin edilebilmesi için öncelikle bina sayısının yıllara itibarıyla gelişiminin bilinmesi gerekmektedir. Bina sayısının gelişimine

yönelik resmi bir veri bulunmaması nedeniyle Bölüm 5.1.'de sunulan 1964-2020 dönemi bina verileri kullanılmış ve bina sayısının nüfus ($r=0,996$), ortalama hanehalkı ($r=-0,991$) ve GSYH ($r=0,951$) ile ilişkili olduğu varsayılarak çoklu doğrusal regresyon modeli kurulmuştur. Sonrasında, Çizelge 4.5'te sunulan varsayımlar eşliğinde 2053 yılına yönelik bina stoku tahmin edilmiştir. Çoklu doğrusal regresyon modelinin R^2 değeri 0,994 ve bağımsız değişken katsayıları $\beta_1=6.514e-1$, $\beta_2=4.188e-4$ ve $\beta_3=-8.985e-6$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.12.'de de sunulmakta olduğu üzere göre, bina stokunun 2019 yılındaki 7,03 milyondan 2053 yılında 8,82 milyona çıkacağı tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.5. Uzun dönemli tahmin çalışmasında yapılan varsayımlar

	Varsayımlar
Bina Stoku	- Nüfus projeksiyonu: TÜİK Yıllara Göre Nüfus Tahmini, Ana Senaryo [53] - Ortalama hanehalkı büyüklüğü projeksiyonu: 2020-2035 dönemi için geçmiş 20 yılın ortalaması (%1,5), 2035 yılı sonrası için %1,25 kabul edilmiştir. - GSYH projeksiyonu: OECD projeksiyonları [176] kullanılmıştır. - Yıllık yıkım oranı: %0,5 kabul edilmiştir.
Alan Isıtması	- Mevcut binaların enerji yoğunluğunun sabit olduğu kabul edilmiştir. 2020-2030, 2030-2040 ve 2040 sonrası dönemleri için sırasıyla yıllık 75 bin, 100 bin ve 125 bin mevcut binada yalıtım yapılması nedeniyle ısı talebi %30 azalmaktadır ve yalıtım uygulamalarının yaşam ömrü 20 yıldır. - Yeni yapılacak binalar mevcut binalara göre 2030'a kadar %30, 2030-2040 arası %40 ve 2040 sonrası %50 daha verimli inşa edilmektedir.
Sıcak Su	- Teknolojik gelişmelere bağlı olarak 2035 yılına kadar yıllık %0,5 oranında [4], 2035 sonrası yıllık %0,25 oranında enerji yoğunluğunda iyileşme gerçekleşmektedir. - Bina başına sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketen ekipman sayısı 2053 yılına kadar kademeli olarak %25 oranında artmaktadır.
Alan Soğutması	UEA'nın geliştirmekte olan ülkelerde soğutma talebinin üç kat artacağını öngören projeksiyonlarına [80] uyumlu olacak şekilde soğutma talebi GSYH büyüme projeksiyonlarına bağlı olarak artmaktadır.
Pişirme	- Konut başına pişirme talebinin sabit olduğu kabul edilmiştir. - Yeni yapılan binalarda pişirme ekipmanı sayısı 2053 yılına kadar kademeli olarak %40 oranında artmaktadır.
Ev Aletleri	Talep artışı GSYH büyüme projeksiyonlarına bağlı olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 4.12. Çoklu doğrusal regresyon modeli ile gerçekleştirilen 2053 yılına yönelik konut tipi bina stoku tahmini

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bölüm 4.'te sunulan yöntem ve veri setleri kullanılarak nihai kullanım amaçlı enerji tüketim tahminlerine bu bölümde yer verilmektedir. İşbu Tez çalışmasındaki analizlerde referans değer olarak kullanılması nedeniyle öncelikle konut sektöründeki toplam yapı sayısı ve toplam kullanım alanı hesaplanmaktadır. Ardından, nihai kullanım fonksiyonları ve makine öğrenmesi yöntemleri ile nihai kullanım amaçlı enerji tüketimi tahminleri sunulmaktadır. Ayrıca, konut sektörünün enerji verimliliğinin değerlendirilmesine yönelik ayrıştırma analizi sonuçlarına ve 2053 yılına yönelik projeksiyon çalışmasına yer verilmektedir.

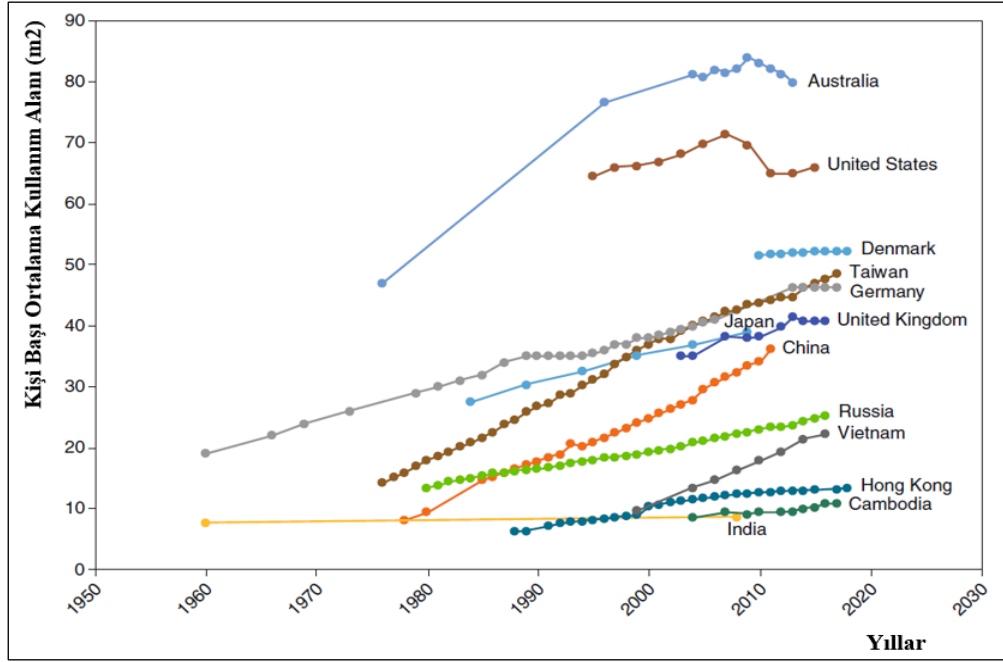
5.1. Konut Sektörünün Toplam Yapı Sayısı ve Kullanım Alanı Tahmini

Konut sayısı ve kullanım alanının tahmin edilmesinde TÜİK tarafından yayımlanan yapı kullanım izin belgeleri üzerinden bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, yapı kullanım izin belgelerinin 1964 yılı ve sonrası için yayımlanmış olması nedeniyle 1964 yılı öncesi bina stokuna ait hesaplamalar için birtakım varsayımların geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, TÜİK 1964 yılı sonrası yapı kullanma izin belgelerinin yayımlanma formatını üç defa değiştirerek 2002 öncesi, 2002-2009 dönemi ve 2009 yılı sonrasında farklı formatlarda veri toplamıştır.

Yapı kullanma izin belgesi istatistiklerinde yapı sayısı, yüzölçümü (kullanım alanı), değer (TL) ve daire sayısı bilgileri bulunmaktadır [177-179]. 1964 yılı öncesine ait bina verilerin bulunmaması nedeniyle 1963 yılına kadar olan bina stoku kullanım alanı Eş. 5.1. ile hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} &1963 \text{ yılına kadar bina stokunun kümülatif kullanım alanı} \\ &= 1963 \text{ yılı nüfusu} \times 1963 \text{ yılı kişi başına kullanım alanı} \end{aligned} \quad (5.1.)$$

Diğer taraftan, Türkiye için 1963 yılına ilişkin kişi başına kullanım alanı verisi de bulunmamaktadır. Bu nedenle, [180]'de yer alan ve Şekil 5.1. ile sunulan ülkelere göre yıllar itibarıyla kişi başına kullanım alanı gelişimini gösteren çalışma referans alınmış ve Türkiye için söz konusu verinin Almanya benzeri bir gelişimin sergilemeye daha yakın olacağı düşünülerek 1963 yılı için 20 m²/kişi kabulü yapılmıştır.

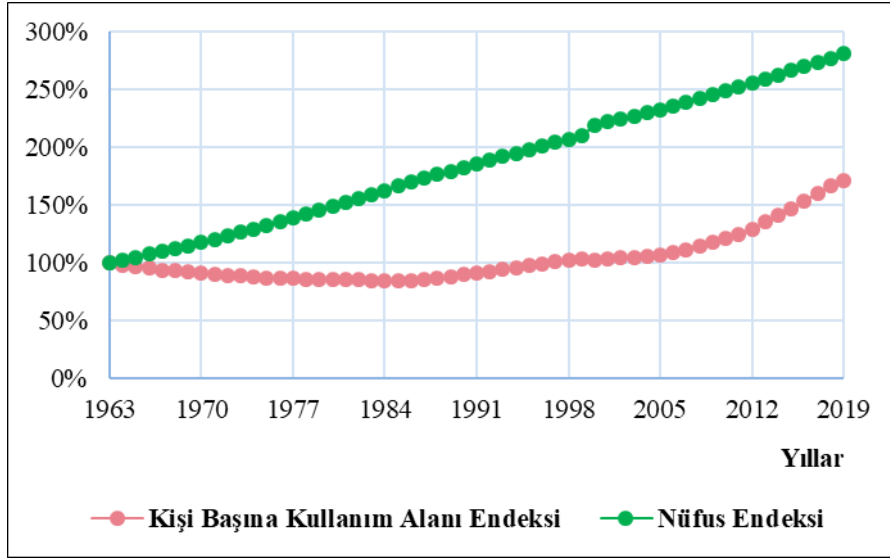


Şekil 5.1. Seçili ülkelerde yıllar itibariyle kişi başına kullanım alanı gelişimi [180]

1963 yılına kadar olan bina stoku ise Eş. 5.2. ile tahmin edilmiştir. Müstakil ev ve apartman yapı dağılımları 1964 yılındaki toplam stok içerisindeki payları nispetince aynı oranda olacağı kabul edilerek hesaplanmıştır.

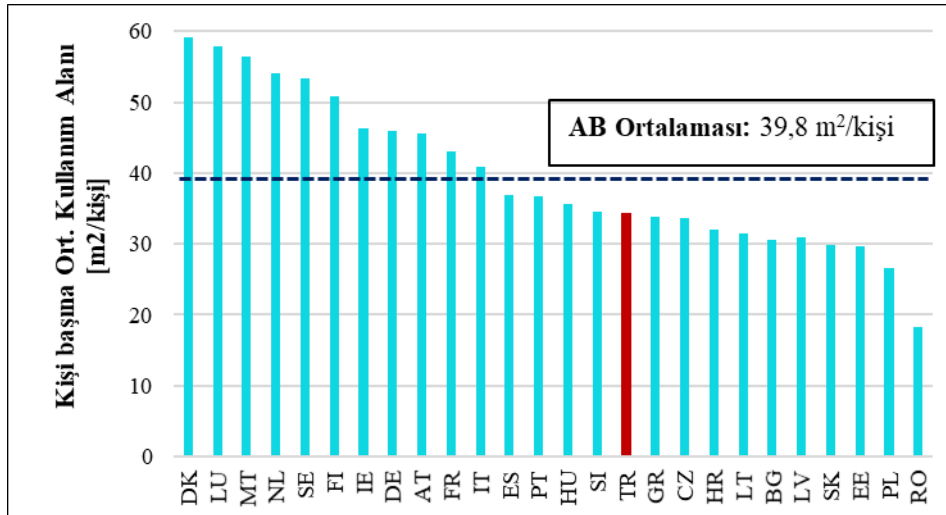
$$\begin{aligned}
 & \text{1963 yılına kadar kümülatif bina stoku} \\
 & = \frac{\text{1963 yılı kümülatif bina kullanım alanı}}{(\text{1964 yılı bina kullanım alanı} / \text{1964 yılı bina stoku})} \quad (5.2.)
 \end{aligned}$$

Eş. 5.1. ve Eş. 5.2. ile hesaplanan 1963 yılı bina stoku ve kullanım alanı verileri üzerine yıllar itibariyle yapı kullanım izin belgelerindeki veriler eklenmiştir. Elde edilen sonuçların hanehalkı verileri ile olan tutarlılığı da kontrol edilmiş ve sonuç olarak 2019 yılı bina stoku ve kullanım alanı verilerinin elde edilmesinde herhangi bir yıkım oranının kullanılmamasına karar verilmiştir. Çünkü Türkiye'nin yıllar itibariyle kişi başına kullanım alanı [180]'in çalışmada yer alan ülkelerin aksine, Şekil 5.2.'de de endeks olarak sunulmakta olduğu üzere 1996 yılına kadar hafif bir azalış eğilimi gösterdiği görülmüştür. Bu durumun sebebinin bina yapımının nüfus artış hızının gerisinde kalmış olabileceği gibi belirtilen dönem aralığında kırsaldan kente yoğun göç sonucu ruhsatsız yapılaşmanın belirgin varlığı da olabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 5.2. Kişi başı kullanım alanı ve nüfus indekslerinin yıllar itibarıyla gelişimi

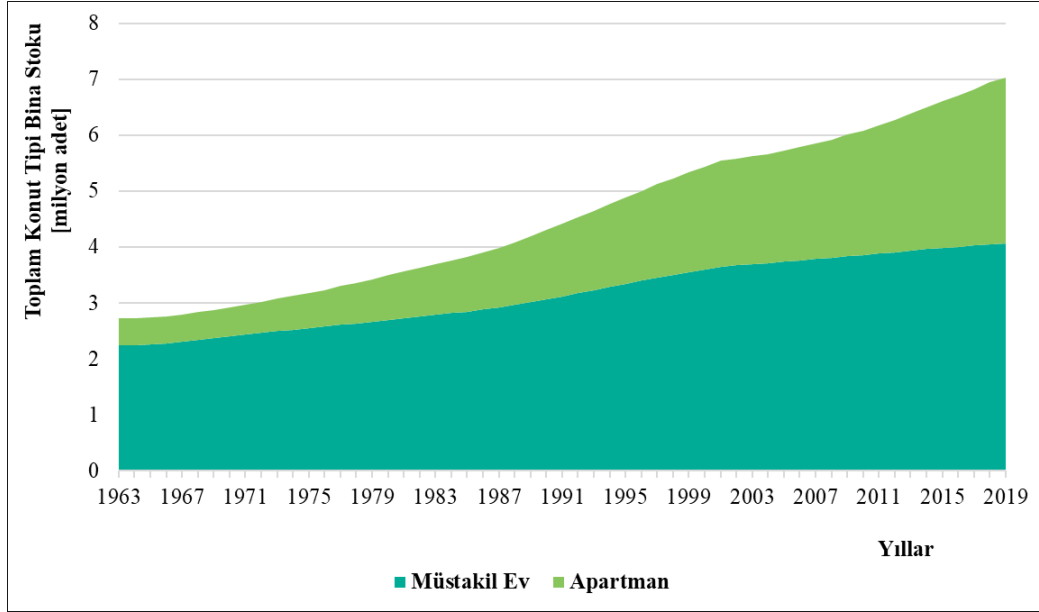
1964 yılında $20 \text{ m}^2/\text{kişi}$ olan kişi başına kullanım alanının 2019 yılına kadar %72 oranında artarak $34,3 \text{ m}^2$ 'e eriştiği hesaplanmıştır. Şekil 5.3.'te sunulmakta olduğu üzere Türkiye'de kişi başına kullanım alanı AB ortalaması olan $39,8 \text{ m}^2$ değerinin bir miktar altında kalmıştır.



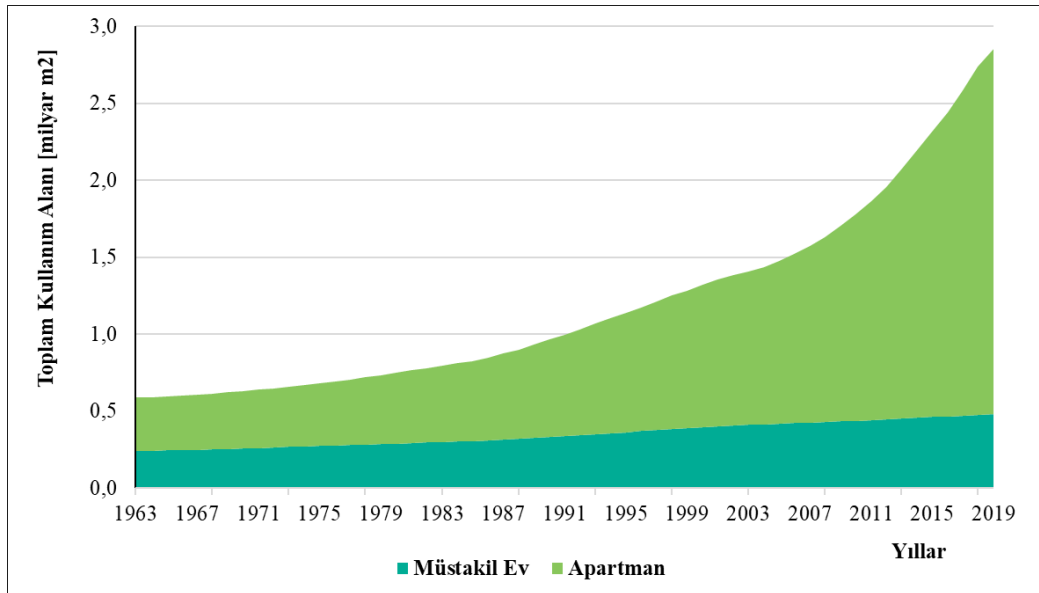
Şekil 5.3. Türkiye ve seçili AB ülkelerinde kişi başına kullanım alanları (2019) [62, 181]

2019 yılı için Türkiye'nin konut tipi toplam bina sayısı ise 7 025 054, toplam kullanım alanı 2,85 milyar m^2 olarak hesaplanmıştır. 2018 yılına ilişkin veri mevcudiyeti bulunan T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın [64]'da yer alan çalışmasındaki veriler ile hesaplanan değerler karşılaştırıldığında, toplam konut tipi bina sayısında %4,84 ve toplam kullanım alanında %4,84 fark olduğu görülmüştür. Elde edilen farklar, hesaplanan değerlerin işbu

Tez çalışması kapsamında yer alan analizlere girdi oluşturabilecek kalitede yeterli bir doğruluğa sahip olduğunu işaret etmektedir. Toplam konut tipi bina sayısı ve kullanım alanının yıllar itibariyle gelişimi sırasıyla Şekil 5.4. ve Şekil 5.5.'te sunulmaktadır.



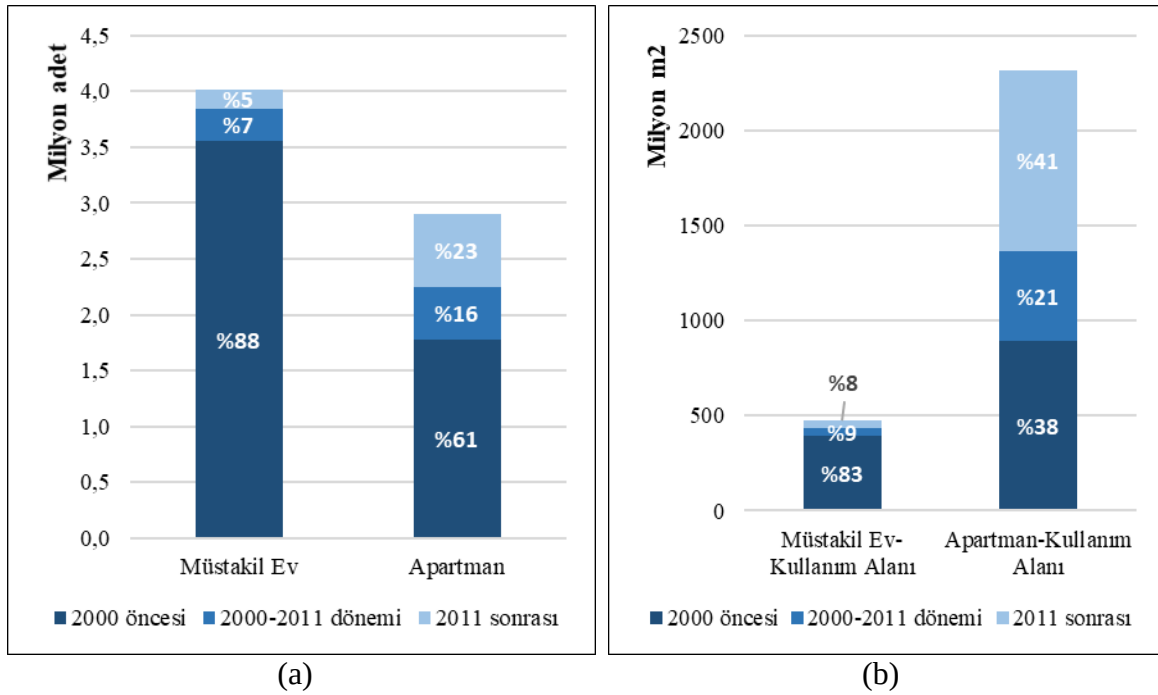
Şekil 5.4. Müstakil ev ve apartman tipi yapıların toplam yapı sayılarının gelişimi



Şekil 5.5. Müstakil ev ve apartman tipi yapıların toplam kullanım alanlarının gelişimi

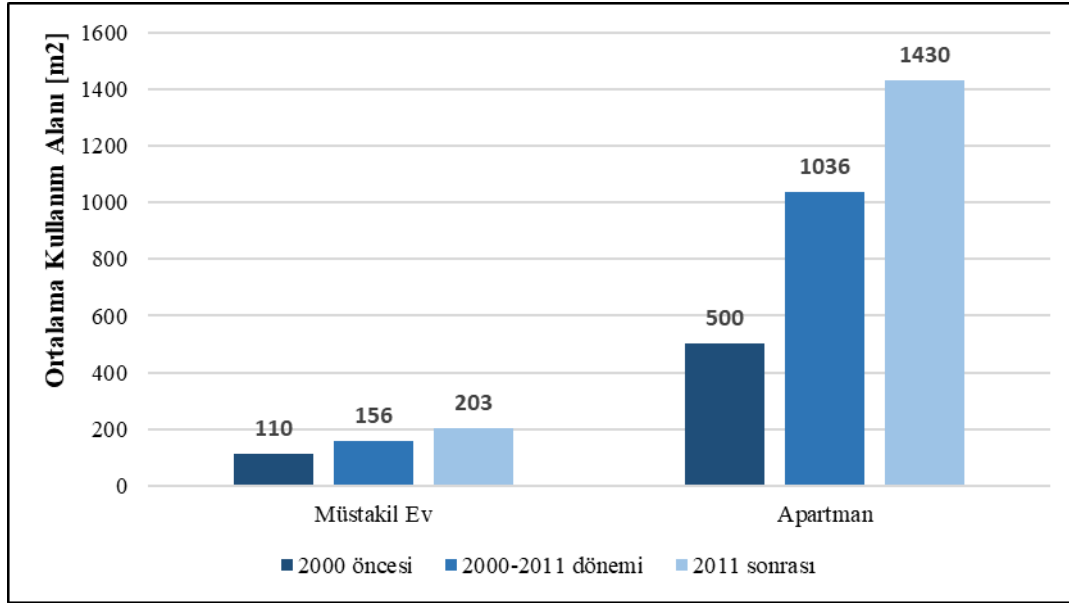
Elde edilen bulgular 2019 yılı için Türkiye’de metrekare başına ortalama enerji tüketiminin 340 MJ/m^2 ($\approx 94,4 \text{ kWh/m}^2$) olduğunu göstermektedir. Yapı stokunun üç farklı dönem için gelişimi ise Şekil 5.6.’da sunulmaktadır. Dönem ayrımı yapılırken 2000 yılında yayımlanan

mülga Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği [182] ve 2011 yılı itibariyle devreye alınan enerji kimlik belgesi uygulaması göz önünde bulundurulmuştur. Apartman stokunun 2011 sonrası döneminde önemli oranda arttığı, müstakil evlerin ise 2000 sonrası dönemde zayıf bir gelişim gösterdiği görülmektedir. Bununla birlikte, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği öncesinde inşa edilen enerji performansı düşük binaların toplam bina stoku içerisinde %87’lik bir paya sahip olduğu da tespit edilmiştir.



Şekil 5.6. Müstakil ev ve apartman tipi yapıların (a) Yapı sayılarının (b) Kullanım alanlarının dönemlere göre gelişimi

Bina başına ortalama kullanım alanları günümüzde 2000 yılı öncesi döneme kıyasla müstakil ev ve apartmanlar için sırasıyla %84 ve %186 oranlarında artış gösterdiği tespit edilmiştir. Toplam yapı stokuna bakıldığında müstakil ev ve apartman tipi yapıların ortalama kullanım alanları sırasıyla 118 m² ve 802 m² olarak bulunmuştur. Ele alınan dönemlere göre konut tipi binalarda ortalama kullanım alanları Şekil 5.7.’de sunulmaktadır.



Şekil 5.7. Müstakil ev ve apartman tipi yapıların ortalama kullanım alanlarının dönemlere göre gelişimi

5.2. Nihai Kullanım Fonksiyonları ile Yapılan Analizlerin Sonuçları

İklimsel etkenlerin de enerji tüketimine olan etkisini görebilmek amacıyla nihai kullanım fonksiyonları 2017, 2018 ve 2019 yılları için uygulanmış ve böylelikle son üç yıla ait gelişim gözlemlenmiştir. Bölüm 4.1.'de sunulan yöntem doğrultusunda nihai tüketimlere ilişkin tahmin sonuçları Çizelge 5.1.'de özetlenmektedir.

Çizelge 5.1. Nihai kullanım amaçlı enerji tüketimine ilişkin nihai kullanım fonksiyonları ile yapılan tahmin sonuçları

Nihai Kullanım Amaçlı Enerji Tüketimi [PJ]	2017	2018	2019
Sıcak Su	190,5	188,3	192,0
Piştirme	49,4	50,2	50,8
Alan Isıtması	572,9	525,6	579,1
Aydınlatma	15,0	16,3	17,0
Diğer Tüketimler	128,3	111,9	132,5
TOPLAM	956,1	892,3	971,5

Alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi 2017, 2018 ve 2019 yılları için sırasıyla 25,3 GJ/konut ($HDD_{2017}=1894$), 22,6 GJ/konut ($HDD_{2018}=1536$) ve 24,1 GJ/konut ($HDD_{2019}=1687$) olarak gerçekleşmiştir. 2018 ve 2019 yılına kıyasla daha soğuk geçen, diğer bir ifadeyle ısıtma gün derecesi daha yüksek olan, 2017 yılında konut başına alan ısıtması amaçlı enerji tüketiminin

daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, son 20 yılın ısıtma gün derecesi ortalamasıyla kıyaslandığında 2017-2019 döneminin sıcak geçtiği gözlemlenmektedir. İklim etkisinden arındırılmış alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi Eş. 3.6. kullanılarak 2017, 2018 ve 2019 yılları için sırasıyla 590 PJ, 606 PJ ve 641 PJ olarak hesaplanmıştır.

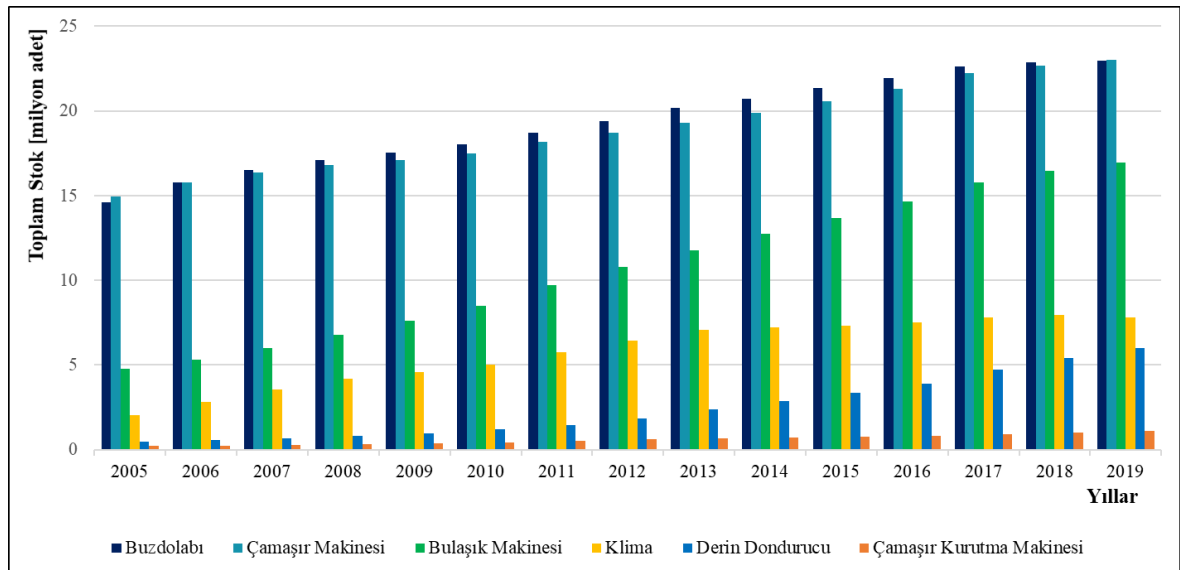
Buzdolabı, derin dondurucu, çamaşır makinesi, çamaşır kurutma makinesi ve bulaşık makinesini kapsayan büyük ev aletleri ile klimalar için Bölüm 4.1.'de sunulan veri setleri ve Eş. 4.2.-3. kullanılarak stok modellemesi analizi gerçekleştirilmiştir. Buna göre, 2019 yılı için tahmin edilen stok miktarları; buzdolabı 22 953 045 adet, derin dondurucu 6 018 092 adet, çamaşır makinesi 22 997 003 adet, çamaşır kurutma makinesi 1 128 863 adet, bulaşık makinesi 16 954 196 adet ve klima 7 787 715 adet hesaplanmıştır. Buzdolabı, derin dondurucu, çamaşır makinesi, çamaşır kurutma makinesi, bulaşık makinesi ve klimalar için hesaplanan sahiplik oranları ise sırasıyla %98, %25, %98, %5, %71 ve %32'dir.

Stok modellemesi analizi ile belirlenen sahiplik oranları T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [145] ve Selçuk [183] tarafından gerçekleştirilen çalışmalarla önemli ölçüde örtüşmektedir. Anılan çalışmalarda stok bilgilerine ilişkin bir veri yer almamakta, sahiplik oranlarına ilişkin bilgiler sunulmaktadır. Selçuk [183], 2003 ve 2016 yıllarında TÜİK tarafından yapılan "Hanehalkı Bütçe Anketi" verilerinden yararlanarak hanehalkı elektrikli ev aleti sahiplik oranlarını hesaplamıştır. Yapılan çalışmada 2016 yılına ilişkin olarak hanehalkının %98'inin buzdolabına, %97'sinin çamaşır makinesine, %18'inin klimaya ve %44'ünün bilgisayara sahip olduğu belirlenmiştir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 2020 yılında 3000 kişi baz alınarak yaptırılan anket çalışmasında hanehalkının %99'unun televizyona, %98'inin çamaşır makinesine, %97'sinin buzdolabına, %91'inin bulaşık makinesine, %87'sinin elektrikli fırına, %46'sının derin dondurucuya, %43'sünün klimaya ve %27'sinin çamaşır kurutma makinesine sahip olduğu görülmüştür [145]. Bununla birlikte, çamaşır kurutma makinesi için stok modeli ile hesaplanan sahiplik oranının T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı çalışmasına kıyasla düşük olduğu görülmektedir. [145]'deki sahiplik oranı Eş. 4.1. ile hesaplandığında 6 480 524 adet çamaşır kurutma makinesinin kullanımda olması gerekmektedir. Çamaşır kurutma makineleri için karakteristik yaşam ömrü 20 yıl kabul edilir ve son on yıldaki ortalama yüz bin adet olan satış rakamları göz önünde bulundurulursa söz konusu rakama erişilmesi mümkün görülmemektedir. Bu durumun sebebinin, [145]'de gerçekleştirilen anket çalışmasının ekonomik geliri yüksek katılımcı kitlesine odaklanmış olabileceği değerlendirilmektedir.

Son on beş yıllık gelişime ışık tutmak amacıyla stok modellemesi yöntemiyle hesaplanan kullanımda olan toplam stok miktarları Çizelge 5.2.'de ve stokların yıllara göre gelişimleri Şekil 5.8.'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.2. Stok modellemesi yöntemi ile hesaplanan tahmini stok miktarları

Yıllar	Buzdolabı		Derin Dondurucu		Çamaşır Makinesi		Çamaşır Kurutma Makinesi		Bulaşık Makinesi		Klima	
	Toplam Stok (adet)	Büyüme Oranı (%)	Toplam Stok (adet)	Büyüme Oranı (%)	Toplam Stok (adet)	Büyüme Oranı (%)	Toplam Stok (adet)	Büyüme Oranı (%)	Toplam Stok (adet)	Büyüme Oranı (%)	Toplam Stok (adet)	Büyüme Oranı (%)
2005	14609327		453909		14934354		218985		4777356		2034465	
2006	15798571	8,1	547612	20,6	15782229	5,7	251759	15,0	5292656	10,8	2805457	37,9
2007	16498885	4,4	660659	20,6	16377680	3,8	289437	15,0	6014829	13,6	3533776	26,0
2008	17094189	3,6	797042	20,6	16800495	2,6	332754	15,0	6779525	12,7	4182763	18,4
2009	17515230	2,5	961579	20,6	17117852	1,9	382554	15,0	7614264	12,3	4580744	9,5
2010	18049794	3,1	1189369	23,7	17500848	2,2	442276	15,6	8513320	11,8	5039587	10,0
2011	18722810	3,7	1447050	21,7	18172704	3,8	524084	18,5	9697883	13,9	5751161	14,1
2012	19410169	3,7	1842172	27,3	18706136	2,9	606202	15,7	10791632	11,3	6415062	11,5
2013	20160095	3,9	2377456	29,1	19293839	3,1	668491	10,3	11790633	9,3	7056674	10,0
2014	20734653	2,8	2849691	19,9	19888935	3,1	707942	5,9	12737222	8,0	7199581	2,0
2015	21333471	2,9	3345828	17,4	20574073	3,4	760174	7,4	13683596	7,4	7337776	1,9
2016	21935090	2,8	3903176	16,7	21310199	3,6	819945	7,9	14658080	7,1	7521500	2,5
2017	22603676	3,0	4726521	21,1	22229044	4,3	927506	13,1	15787405	7,7	7796149	3,7
2018	22851661	1,1	5411146	14,5	22687596	2,1	1010586	9,0	16484847	4,4	7975043	2,3
2019	22953045	0,4	6018092	11,2	22997003	1,4	1128863	11,7	16954196	2,8	7787715	-2,3
Ortalama		3,3		20,4		3,1		12,5		9,5		10,5



Şekil 5.8. Ürün grupları stoklarının yıllara göre gelişimi (2005-2019)

Modelleme sonuçlarına göre Eş. 4.13. kullanılarak büyük ev aletleri ve klimalar için stok elektrik tüketimleri hesaplanmıştır. Buna göre, büyük ev aletleri stoku elektrik tüketiminin 2005 yılındaki 16 782 GWh'ten 2019 yılında 21 697 GWh'e yükseldiği görülmüştür¹. Kullanımda olan büyük ev aletleri stoku, 2019 yılında konutlarda tüketilen elektrik enerjisinin %40'ını temsil etmektedir. Klimaların elektrik tüketimi ise 2005 yılındaki 771 GWh'ten 2019 yılında 1 979 GWh'e eriştiği tespit edilmiştir. Alan soğutması amaçlı enerji tüketiminin konutlarda tüketilen elektrik enerjisinin %3,6'sını, toplam enerji tüketiminin ise yalnızca %0,73'ünü temsil etmektedir.

Stok modellemesi sonuçlarına göre en çarpıcı olan bulgulardan biri de buzdolabı elektrik tüketiminde sağlanan gelişmedir. 2005 yılında satışı gerçekleştirilen buzdolaplarının ortalama yıllık elektrik tüketimi 604 kWh olarak hesaplanırken, 2019 yılına gelindiğinde söz konusu ortalama tüketim %47 azalarak 323 kWh'e gerilemiştir. Enerji verimliliğinde sağlanan ilerlemeler sayesinde 2005-2019 döneminde buzdolabı stoku elektrik tüketimi önce platoya ulaşmış, ardından hafif bir azalma eğilimi göstermiştir.

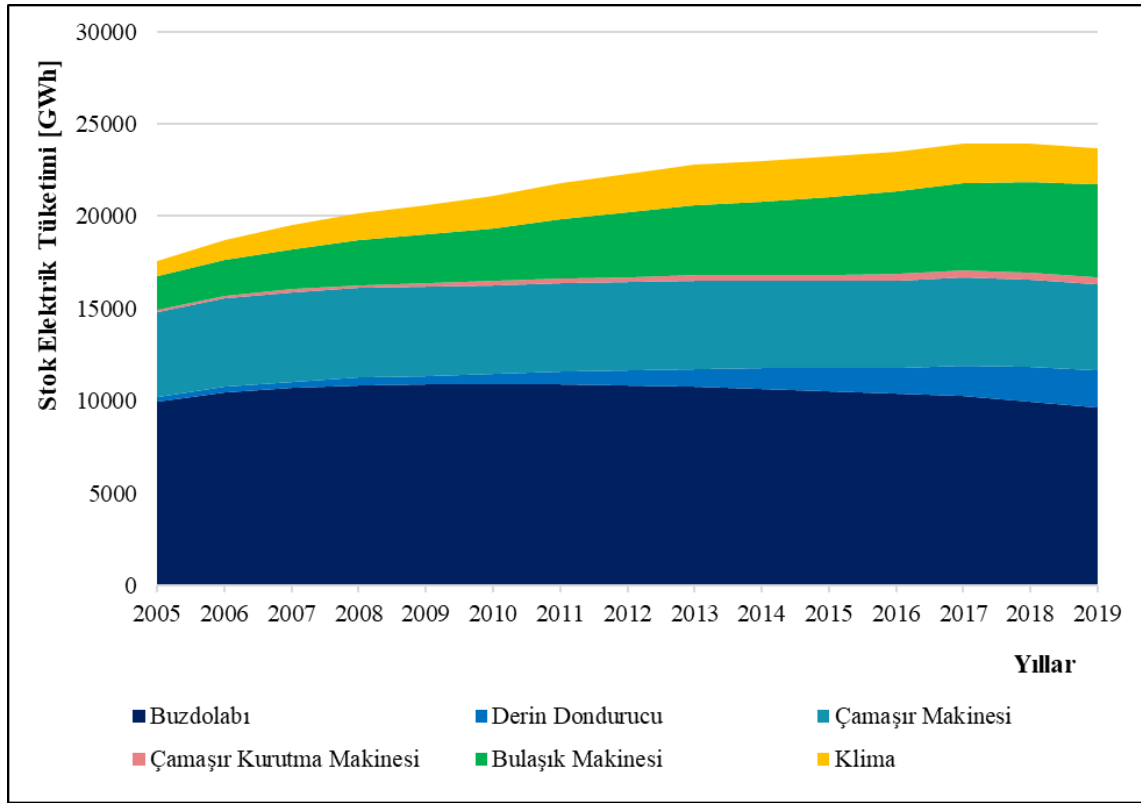
Derin dondurucuların enerji verimliliği buzdolaplarına benzer biçimde gelişim göstermiş ve satışı gerçekleştirilen ürünlerin ortalama yıllık elektrik tüketimi 2005 yılındaki 504 kWh'ten %39 azalarak 2019 yılına gelindiğinde 310 kWh'a düşmüştür. Bu gelişime rağmen, 2005-2019 döneminde derin dondurucu stokunun %1 226 oranında artması nedeniyle toplam stok elektrik tüketimi de 7 kattan fazla yükselmiştir.

Analiz sonuçlarına göre çamaşır makinesi stoku elektrik tüketiminin analiz döneminde gösterdiği eğilimler buzdolabı ile benzerlik göstermektedir. 2005 yılında satışa sunulan çamaşır makinelerinin ortalama elektrik tüketimi 276 kWh olarak hesaplanmıştır. Analiz döneminde satılan ürünlerin ortalama elektrik tüketiminde %38 oranında iyileşme sağlanmış ve 2019 yılında 172 kWh olarak gerçekleşmiştir. Ürün stokunda %54 oranında artış olmasına rağmen toplam elektrik tüketimi analiz dönemi boyunca neredeyse sabit seyretmiştir. Çamaşır kurutma makinelerinin verimliliğinde de önemli gelişmeler olmuş ve satışa sunulan ürünlerin ortalama elektrik tüketimi 2005 yılındaki 491 kWh'den %44 azalarak 2019 yılında 274 kWh olarak gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, hanehalkı sahiplik oranlarının hızla artmasının bir sonucu olarak çamaşır kurutma makinesi stok miktarı da

¹ Büyük ev aletleri ve klima amaçlı enerji tüketimi ifade edilirken uygulamada daha yaygın olarak kullanılan enerji birimi "GWh" tercih edilmiştir. 1 GWh'lik enerji 0,0036 PJ enerjiye tekabül etmektedir.

%262 oranında artmış olması nedeniyle stokun toplam elektrik tüketimi 2,6 kat artmıştır.

Büyük ev aletleri içerisinde enerji verimliliğinde sağlanan iyileşmenin en mütevazı kaldığı ürün grubunun bulaşık makineleri olduğu görülmüştür. 2005 yılında satışa sunulan bulaşık makinelerinin ortalama elektrik tüketimi 340 kWh olarak hesaplanırken, 2019 yılına gelindiğinde yaklaşık %20 oranında bir iyileşme sağlanmış ve 274 kWh'e gerilediği tespit edilmiştir. Analiz döneminde bulaşık makinesi stokunun %255 oranında artmasına paralel olarak stok elektrik tüketimi de %170 oranında artış göstermiştir. Şekil 5.9.'da stok elektrik tüketiminin yıllara sari tahmini, Çizelge 5.3.'te de toplam stok miktarının ve stok elektrik tüketimindeki değişimlerin özeti sunulmaktadır.



Şekil 5.9. Ürün grupları stoklarının 2005-2019 dönemi toplam elektrik tüketimi tahmini

Çizelge 5.3. 2005-2019 dönemi toplam stok miktarı, birim ürün enerji verimliliği ve toplam stok tüketimi gelişimi

Ürün Grupları	Stok Değişimi [%]	Satılan Ürünlerin Enerji Verimliliği Gelişimi [%]	Toplam Stok Tüketimi Gelişimi [%]
Buzdolabı	57	47	-3
Derin Dondurucu	1 226	39	716
Çamaşır Makinesi	54	38	1
Çamaşır Kurutma Makinesi	415	44	262
Bulaşık Makinesi	255	19	170
Klima	283	43	157

5.3. Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Yapılan Analizlerin Sonuçları

2000-2019 dönemi AB ülkelerinin¹ verileri kullanılarak sıcak su, pişirme ve alan ısıtması amaçlı enerji tüketimleri çoklu doğrusal regresyon ve rastgele orman modelleri ile tahmin edilmiştir. Çizelge 5.4.'te de sunulmakta olduğu üzere yapılan Pearson korelasyon analizi sonucuna göre konut başına alan ısıtması ve sıcak su amaçlı enerji tüketimi ile ısıtma gün derecesi ve hane başına GSYH arasında; pişirme amaçlı enerji tüketim ile konut toplam enerji tüketimi ve ortalama hanehalkı büyüklüğü arasında anlamlı bir ilişki olduğu bulunmuştur.

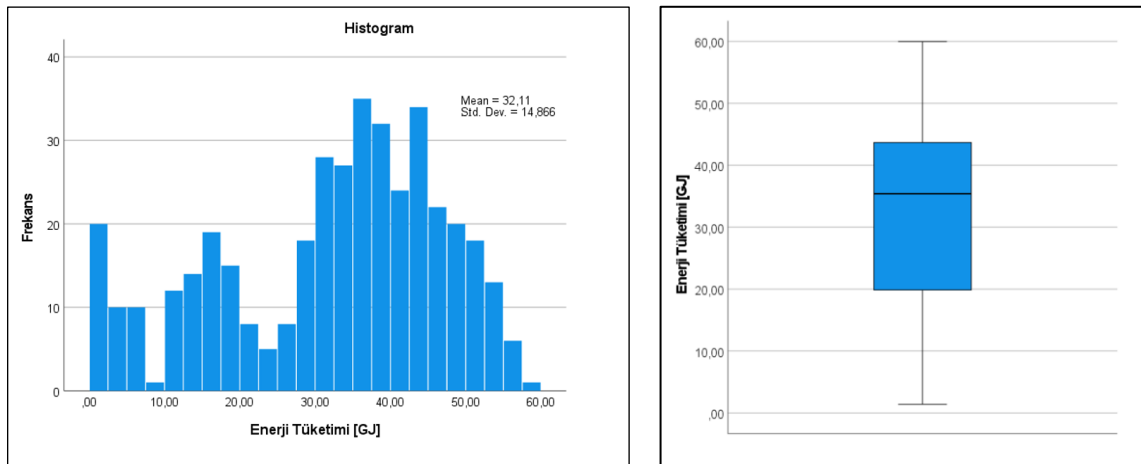
Çizelge 5.4. Korelasyon analizi sonuçları

Nihai Kullanımlar	Değişken	Örneklem (N)	Ortanca (M)	Standart Sapma (SD)	1	2	3
Alan Isıtması	1. Konut başına alan ısıtması	400	0,767	0,355	-	0,399*	0,647*
	2. Hane Başına GSYH	400	45 639	13 800	0,399	-	0,126**
	3. Isıtma Gün Derecesi	400	2 876	1 233	0,647	0,126	-
Sıcak Su	1. Konut başına sıcak su tüketimi	320	7,388	2,357	-	0,651*	
	2. HDD	320	3 064	1250	0,651	-	
Pişirme	1. Konut başına pişirme tüketimi	320	2,647	1,200	-	0,275*	0,659*
	2. Konut enerji tüketimi	320	49,46	16,65	0,275	-	0,452*
	3. Ortalama hanehalkı büyüklüğü	320	2,14	0,324	0,659	0,452	-

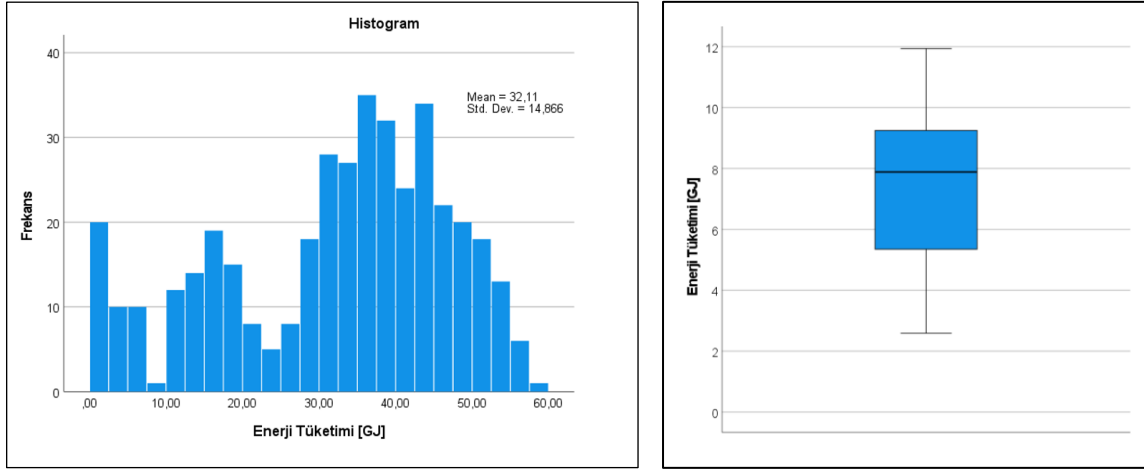
* p<0,001, **p<0,005.

¹ Veri mevcudiyeti göz önünde bulundurularak alan ısıtması amaçlı enerji tüketiminin tahmin edilmesinde Almanya, Bulgaristan, Danimarka, Estonya, Fransa, Hollanda, Hırvatistan, İspanya, İsveç, İtalya, Letonya, Litvanya, Macaristan, Malta, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovenya ve Yunanistan'ın verileri kullanılmıştır. Veri mevcudiyeti bulunmaması veya uç değer analizinde aykırı değerler olarak tespit edilmesi nedeniyle sıcak su amaçlı enerji tüketimin tahmin edilmesinde Bulgaristan, Danimarka, Yunanistan, Portekiz; pişirme amaçlı enerji tüketiminin tahmin edilmesinde ise Danimarka, Estonya, Portekiz ve Romanya kapsam dışında bırakılmıştır.

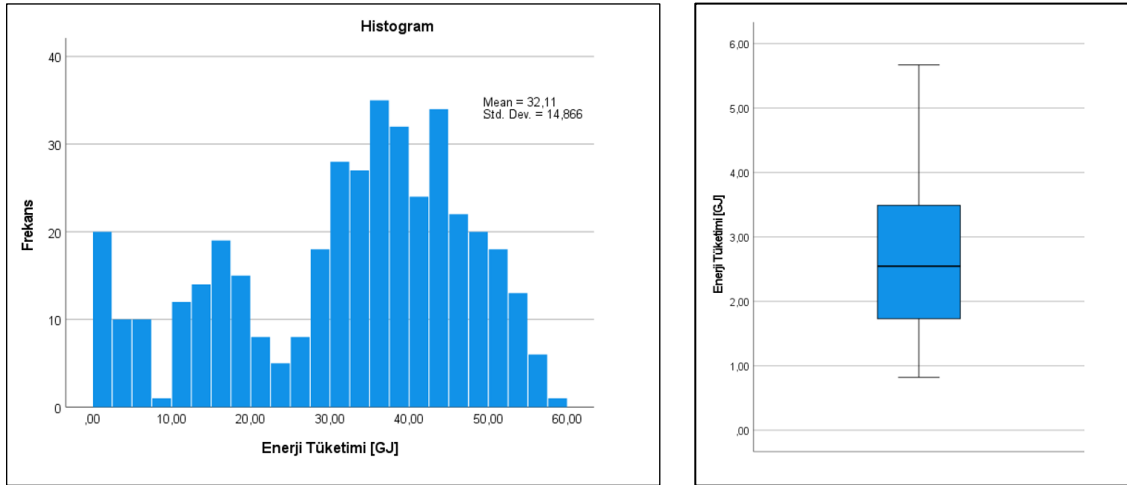
Modelde yer alan ülkelerin alan ısıtması, sıcak su ve pişirme amaçlı enerji tüketimlerine ilişkin histogram ve kutu diyagramları Şekil 5.10.-5.12.'de sunulmaktadır. Konut başına alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi 19,80 GJ ile 43,68 GJ arasında yoğunlaşmaktadır. Alan ısıtması amaçlı ortalama enerji tüketiminin 32,11 GJ, en düşük tüketimin 1,41 GJ ve en yüksek tüketimin 59,99 GJ olduğu görülmüştür. Sıcak su amaçlı enerji tüketimi 5,34 GJ ile 9,26 GJ arasında yoğunlaşmakta olup ortalama tüketimin 7,39 GJ, en düşük tüketimin 2,59 GJ ve en yüksek tüketimin 11,94 GJ olduğu gözlemlenmiştir. Pişirme amaçlı enerji tüketimi ise 1,73 ile 3,49 GJ arasında yoğunlaşmaktadır. Pişirme amaçlı ortalama enerji tüketiminin 2,67 GJ, en düşük tüketimin 0,82 GJ ve en yüksek tüketimin 5,67 GJ olduğu görülmüştür. Çarpıklık ve basıklık değerlerinin alan ısıtması için -0,549 ve -0,689, sıcak su için -0,102 ve -0,957 ve pişirme için 0,491 ve -0,610 olduğu gözlemlenmiş olup Tabachnick ve Fidell'e [184] göre çarpıklık ve basıklık değerleri -1,50 ile +1,50 arasında olduğu görülmesi nedeniyle tüketimlerin normal dağılıma sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.10. Alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi histogram ve kutu grafiği, AB ülkeleri 2000-2019



Şekil 5.11. Sıcak su amaçlı enerji tüketimi histogram ve kutu grafiği, AB ülkeleri 2000-2019



Şekil 5.12. Pişirme amaçlı enerji tüketimi histogram ve kutu grafiği, AB ülkeleri 2000-2019

Çizelge 5.5.'te makine öğrenmesi modellerinin determinasyon katsayıları (R^2), ortalama kare hataları (MSE), kök ortalama kare hataları (RMSE), ortalama mutlak hataları (MAE), ortalama mutlak yüzde hataları (MAPE) ve hesaplanan katsayılar (β) sunulmaktadır. Sıfıra yakın olması istenen MSE, RMSE ve MAE değerlerinin sırasıyla 0,032-0,219, 0,180-0,468 ve 0,028-0,222 aralığında olduğu görülmüştür. Benzer biçimde en küçük değere sahip olması istenen MAPE değerleri de 0,199 ile 0,721 aralığında bulunmuştur. Dolayısıyla, nihai kullanımlar için yapılan tahminlerin kabul edilebilir aralıkta olduğu değerlendirilmektedir.

Çizelge 5.5. Çoklu doğrusal regresyon ve rastgele orman modeli sonuçları

Nihai Kullanımlar	Model	Bağımsız Değişkenler	R ²	RMSE	MSE	MAE	MAPE	Katsayılar
Alan Isıtması	MLR	Hane Başına GSYH HDD	0,447	0,468	0,219	0,172	0,249	$\beta_1 = 8,01e-6$ $\beta_2 = 1,14e-4$
	Rastgele Orman	Hane Başına GSYH HDD	0,480	0,180	0,032	0,140	0,221	-
Sıcak Su	MLR	HDD	0,420	0,212	0,045	0,034	0,245	$\beta_1 = 2,98e-5$
	Rastgele Orman	HDD	0,426	0,167	0,028	0,028	0,199	-
Pişirme	MLR	Ortalama hanehalkı sayısı Konut enerji tüketimi	0,902	0,326	0,106	0,222	0,721	$\beta_1 = 1,70e-1$ $\beta_2 = 5,26e-2$
	Rastgele Orman	Ortalama hanehalkı sayısı Konut enerji tüketimi	0,884	0,279	0,078	0,059	0,394	-

Veri mevcudiyeti nedeniyle kısıtlı ülke verisi ile gerçekleştirilen modelleme çalışması, Türkiye ile kıyaslanabilir diğer ülke verilerinin de temin edilmesiyle ve nüfus, iklim ve ekonomik gelişmişliğin yanı sıra sosyolojik, kültürel, psikolojik gibi birçok farklı etkenlerin modele dahil edilmesiyle ileriki çalışmalarda daha yüksek doğrulukla tahminleme yapabilecektir.

Çoklu doğrusal regresyon ve rastgele orman modeli sonuçlarına göre Türkiye konut sektörünün 2019 yılı nihai kullanım amaçlı enerji tüketim değerleri alan ısıtması için 546,7 PJ ve 547,8 PJ, sıcak su amaçlı için 147 PJ ve 163,3 PJ ve pişirme için 60,8 PJ ve 66,6 PJ olduğu hesaplanmıştır. Model sonuçlarının nihai kullanım fonksiyonları ile yapılan tüketim tahmini çalışmasının ve Uluslararası Enerji Ajansı verilerinin karşılaştırılması Çizelge 5.6.'da sunulmaktadır. Sonuç olarak, konut enerji tüketiminin yaklaşık dörtte üçü alan ısıtması ve sıcak su üretimi, %5-6'sı pişirme ve geri kalan yaklaşık %20'si ev aletleri, haberleşme şebekesine bağlı cihazlar, aydınlatma ve alan soğutması amaçlı enerji tüketimini içeren diğer kullanımlarda harcandığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.6. Nihai kullanım fonksiyonları ve makine öğrenmesi model sonuçlarının karşılaştırılması [2019 yılı, PJ cinsinden]

Nihai Kullanımlar	Alan Isıtması	Sıcak Su	Piştirme	Diğer Kullanımlar
Nihai Tüketim Fonksiyonları	579,1	192,0	50,8	149,5
Çoklu Doğrusal Regresyon	546,7	147,0	60,8	216,9
Rastgele Orman	547,8	163,3	66,6	193,7
UEA verisi [51]	505,9	193,0	53,1	150,7

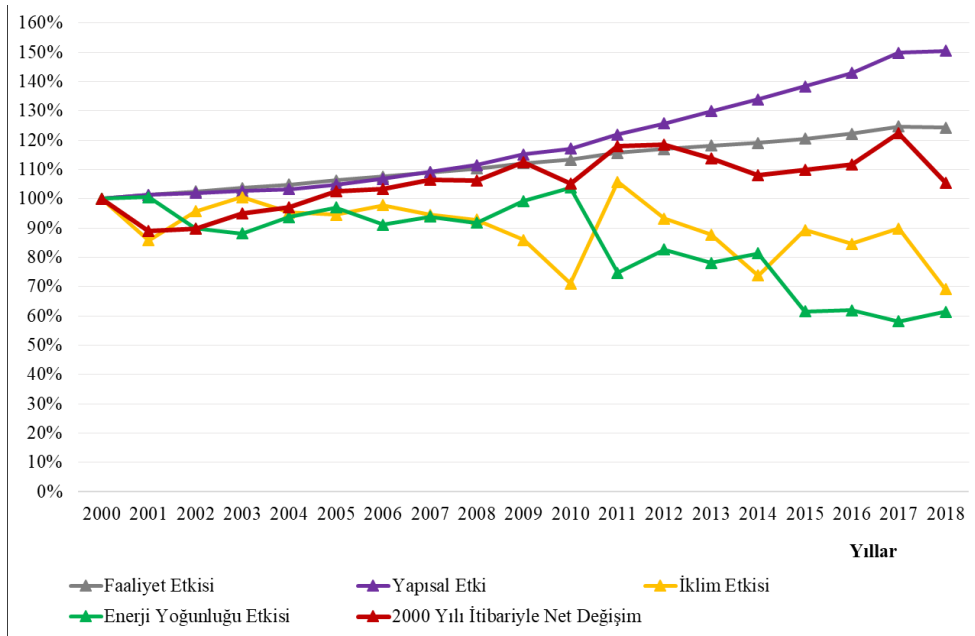
5.4. Ayrıştırma Analizi Sonuçları

Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre Türkiye konut sektörü enerji tüketimi 2000 yılındaki 742 PJ'den %21 artarak 2018 yılında 900 PJ'ye yükselmiştir. Toplam tüketim içerisinde en büyük paya sahip olan alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi 2000 yılında 407 PJ olarak gerçekleşmiştir [51]. Toplamsal tipteki LODE ayrıştırma analizi sonuçlarına göre analiz döneminde gerçekleşen nüfus artışı ve ortalama hanehalkı büyüklüğündeki düşüş alan ısıtması tüketimini sırasıyla %24 ve %50 oranlarında artırmasına neden olmuştur. Diğer taraftan, özellikle 2012 yılı sonrasında ısıtma derece gün sayısının dönem ortalamasının altında gerçekleşmesine, diğer bir ifadeyle iklimin daha sıcak olmasına, bağlı olarak alan ısıtması enerji tüketiminin %31 düşmesine neden olmuştur. Bu dönemde enerji yoğunluğunun %39 oranında geliştiği ve enerji tüketimindeki artışı önemli bir şekilde baskıladığı görülmektedir. Sonuç olarak 2018 yılında alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi 2000 yılına göre %21 artarak 428 PJ olarak gerçekleşmiştir. Alan ısıtması amaçlı enerji tüketimine yönelik yapılan ayrıştırma analizinde faaliyet, yapısal, iklim ve enerji yoğunluğu faktörlerinin analiz dönemindeki değişimleri Çizelge 5.7.'de, yıllar itibariyle enerji tüketimine olan etkileri ise Şekil 5.13.'te sunulmaktadır.

Çizelge 5.7. Alan ısıtması amaçlı enerji tüketimine etki eden faktörlerin analiz dönemindeki değişimleri

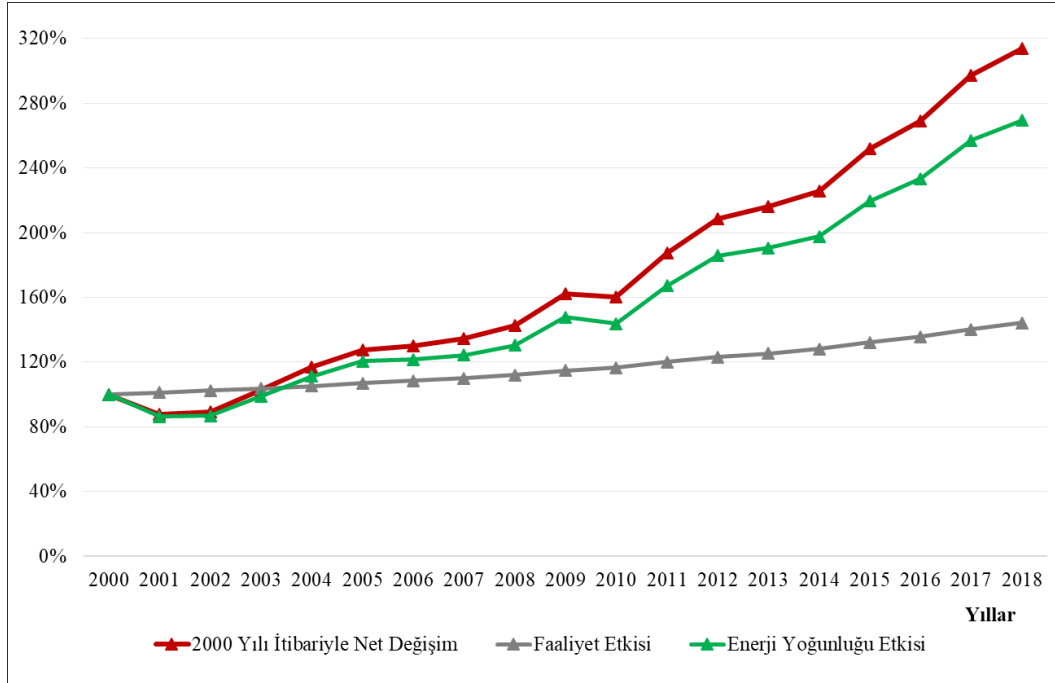
Dönemler	Faaliyet	Yapısal (Sosyal)	Yapısal (Refah)	Enerji Yoğunluğu	İklim	Tüketimdeki Değişim
2000-2006	7,7%	7,2%	1,6%	-8,4%	5,7%	3,3%
2006-2012	8,5%	8,3%	6,1%	-6,9%	1,3%	14,8%
2012-2018	8,4%	8,5%	24,6%	-19,5%	-6,3%	-11,2%

Çizelge 5.7. ile alan ısıtması amaçlı nihai enerji tüketimine etki eden faktörler üç alt dönem bazında incelenmiş ve faaliyet faktörünün %7,7-8,5 aralığında artış gösterdiği görülmüştür. Ortalama hanehalkı sayısının azalması bağlı olarak sosyal faktörler %7,2-8,5 aralığında artarken ortalama kullanım alanının artması nedeniyle refah faktörü 2000-2006 döneminde yalnızca %1,6 oranında, 2012-2018 döneminde ise %24,6 oranında önemli bir yükseliş göstermiştir. Enerji yoğunluğunda 2012-2018 döneminde diğer dönemlere göre iki kattan fazla iyileşme gerçekleşmiştir. İklim faktörünün gelişimi ısıtma gün derecelerinin uzun yıllar ortalaması dikkate alınarak hesaplanmış ve 2012-2018 dönemi ortalamasının uzun yıllar ortalamasına göre daha ılıman, diğer iki alt dönemin ise daha sert geçtiği görülmüştür.



Şekil 5.13. Alan ısıtması amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu

Sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketimi 2000 yılında 62 PJ olarak gerçekleşmiştir [51]. Analiz döneminde gerçekleşen nüfus artışı sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketiminin %44 oranında artırmasına neden olmuştur. Enerji yoğunluğu değerinin %169 artması enerji tüketiminin %214 oranında yükselmesine neden olarak sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketiminin 2018 yılında 195 PJ'e erişmesine neden olmuştur. Analiz döneminde hanehalkının çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi sahiplik oranlarının önemli oranlarda artmış olması nedeniyle kişi başına sıcak su talebinin de artması bu duruma neden olabileceği düşünülmektedir. Sıcak su üretimi amaçlı enerji tüketimine yönelik yapılan ayrıştırma analizinde faaliyet ve enerji yoğunluğu faktörlerinin yıllar itibariyle enerji tüketimine olan etkileri Şekil 5.14.'te sunulmaktadır.

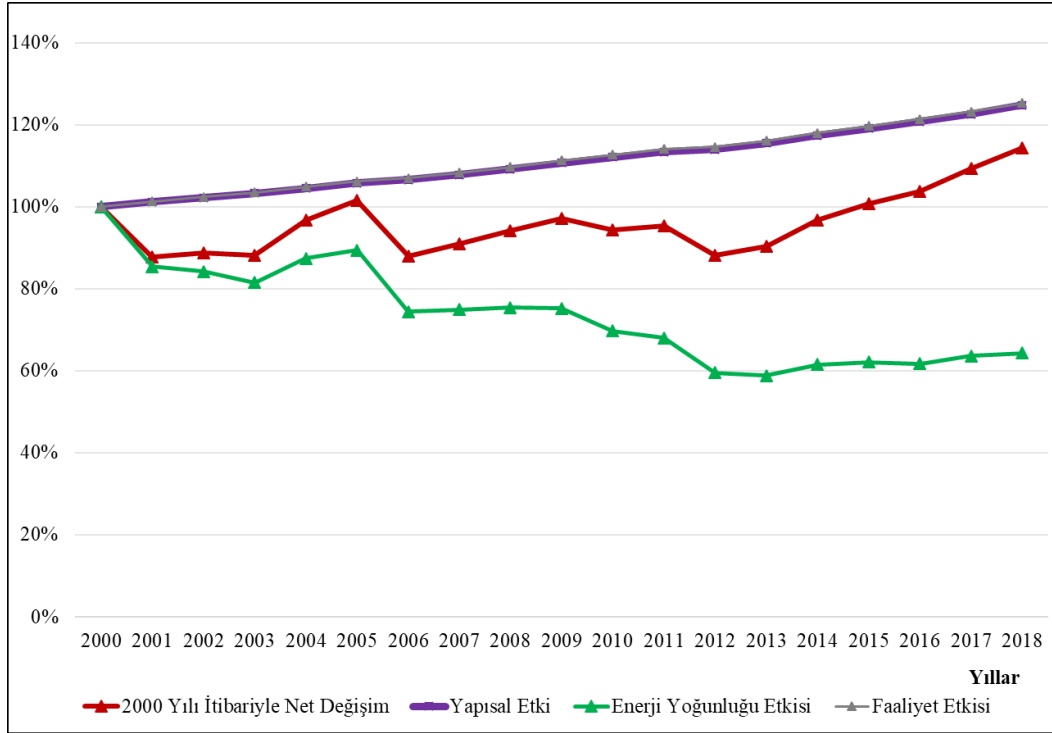


Şekil 5.14. Sıcak su amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu

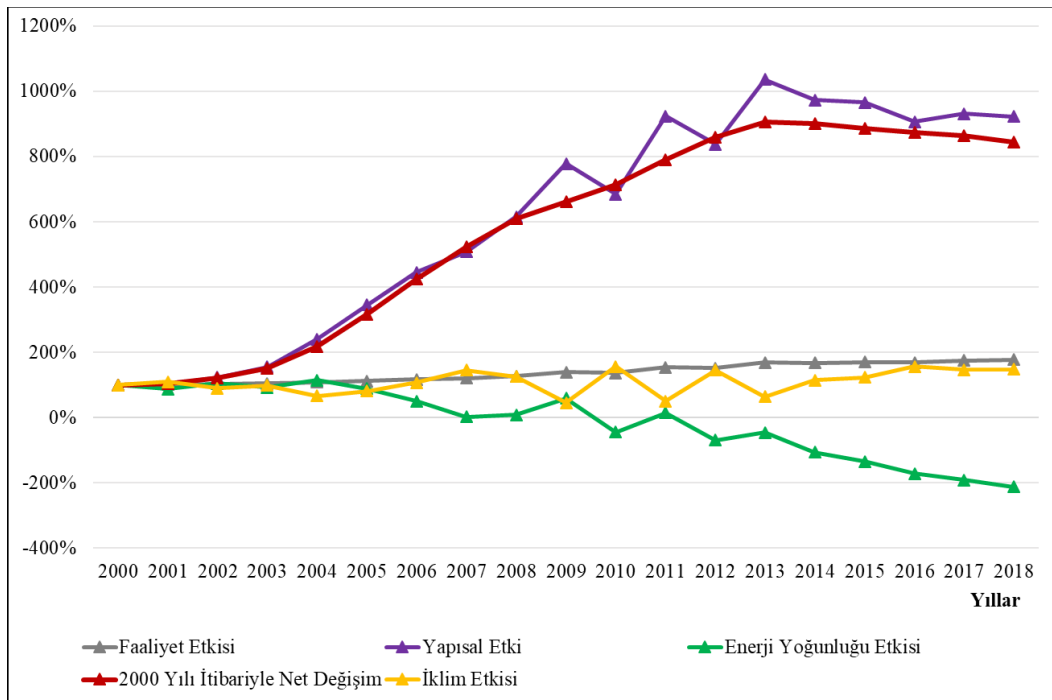
Pişirme amaçlı enerji tüketimi 2000 yılında 64 PJ olarak gerçekleşmiştir [51]. Analiz döneminde gerçekleşen nüfus artışı ve ortalama hanehalkı büyüklüğündeki düşüş pişirme amaçlı enerji tüketimini toplamda %50 oranında artmasına neden olmuştur. Bu dönemde enerji yoğunluğunun %36 oranında gelişmesi enerji tüketimindeki artışın önemli bir şekilde baskılanmasını sağlamıştır. Sonuç olarak, 2018 yılında pişirme amaçlı enerji tüketimi 2000 yılına göre %14 artarak 73 PJ olarak gerçekleşmiştir. Pişirme amaçlı enerji tüketimine yönelik yapılan ayrıştırma analizinde faaliyet, yapısal ve enerji yoğunluğu faktörlerinin yıllar itibariyle enerji tüketimine olan etkileri Şekil 5.15.'te sunulmaktadır.

Soğutma amaçlı enerji tüketimi 2000 yılında 0,9 PJ olarak gerçekleşmiştir [51]. Analiz döneminde gerçekleşen nüfus artışı, soğutulan kullanım alanındaki artış ve ortalama hanehalkı büyüklüğündeki düşüş soğutma amaçlı enerji tüketimini sırasıyla %78, %823 ve %76 oranlarında artırmasına neden olmuştur. Diğer taraftan, soğutma derece gün sayısının dönem ortalamasının üstünde gerçekleşmesine, diğer bir ifadeyle iklimin daha sıcak olmasına, bağlı olarak soğutma enerji tüketiminin %48 artmasına neden olmuştur. Bu dönemde enerji yoğunluğunun %312 oranında azaltma etkisi sonucunda enerji tüketimindeki artış bir miktar baskılanmıştır. Sonuç olarak, 2018 yılında soğutma amaçlı enerji tüketimi 2000 yılına göre %743 artarak 6,8 PJ olarak gerçekleşmiştir. İklim etkisinden arındırılmış tüketim ise 7,4 PJ olarak hesaplanmıştır. Soğutma amaçlı enerji tüketimine

yönelik yapılan ayrıştırma analizinde faaliyet, yapısal, iklim ve enerji yoğunluğu faktörlerinin yıllar itibariyle enerji tüketimine olan etkileri Şekil 5.16.'da sunulmaktadır.

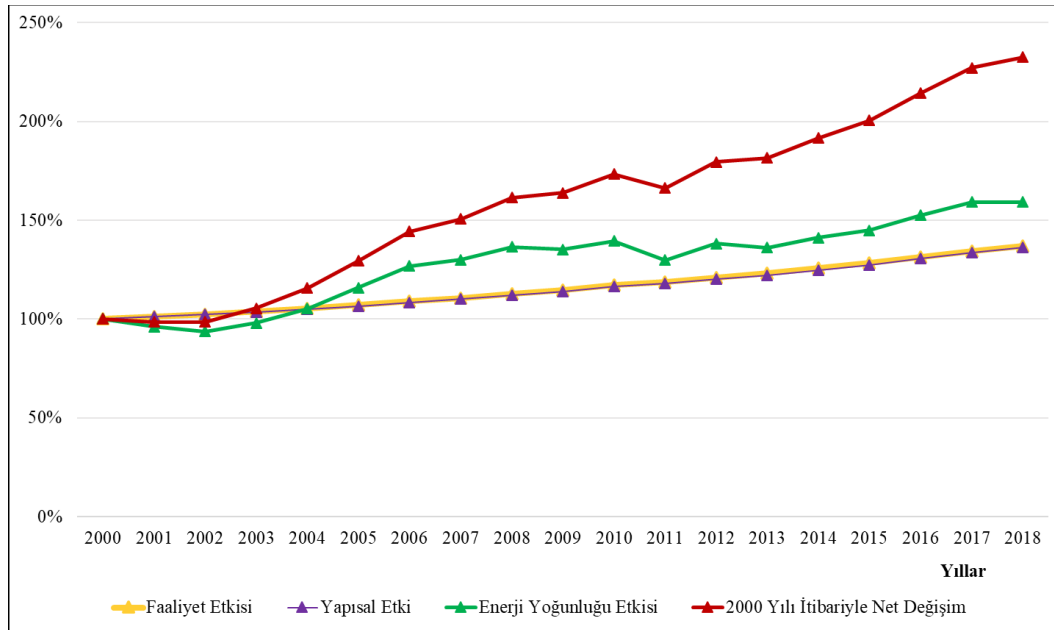


Şekil 5.15. Pişirme amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu



Şekil 5.16. Soğutma amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu

Aydınlatma amaçlı enerji tüketimi 2000 yılında 17 PJ olarak gerçekleşmiştir [51]. Analiz döneminde gerçekleşen nüfus artışı ve ortalama hanehalkı büyüklüğündeki düşüş aydınlatma amaçlı enerji tüketimini sırasıyla %37 ve %36 oranlarında artırmaya neden olmuştur. Bu dönemde kişi başına düşen toplam kullanım alanının artmasına bağlı olarak enerji yoğunluğu da %59 oranında artırmıştır. Sonuç olarak 2018 yılında aydınlatma amaçlı enerji tüketimi 2000 yılına göre %133 oranında artarak 40 PJ olarak gerçekleşmiştir. Aydınlatma amaçlı enerji tüketimine yönelik yapılan ayrıştırma analizinde faaliyet, yapısal ve enerji yoğunluğu faktörlerinin yıllar itibariyle enerji tüketimine olan etkileri Şekil 5.17.'de sunulmaktadır.



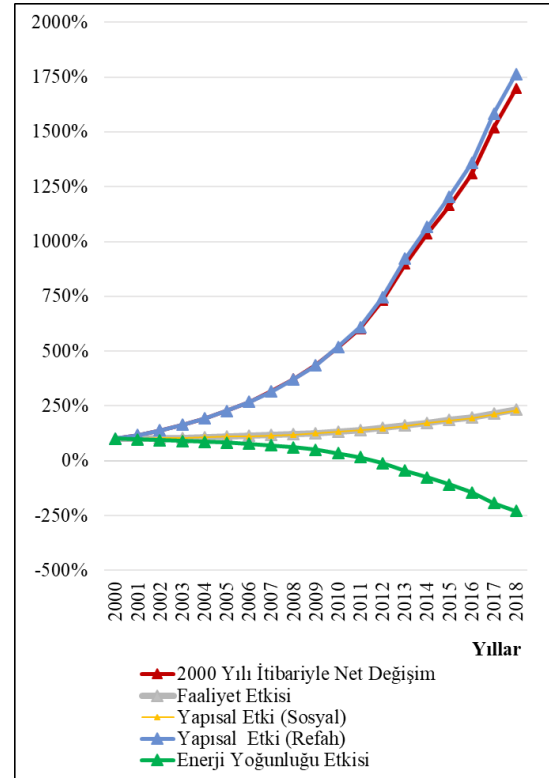
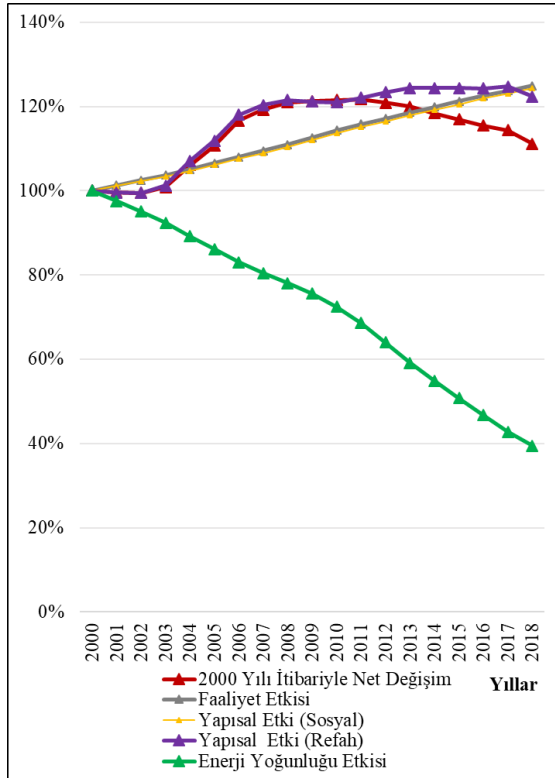
Şekil 5.17. Aydınlatma amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu

Buzdolabı, derin dondurucu, çamaşır makinesi, çamaşır kurutma makinesi ve bulaşık makinesini kapsayan büyük ev aletleri enerji tüketimi 2000 yılındaki 52 PJ'den 2018 yılında 106 PJ'ye yükselmiştir. Büyük ev aletleri için yapılan ayrıştırma analizinde her bir ürün grubu için faaliyet, yapısal ve enerji yoğunluğu faktörlerinin nihai enerji tüketimi üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Buna göre enerji tüketiminde oransal en yüksek artış %1598 ile derin dondurucularda gerçekleşmiştir. Çamaşır kurutma makineleri ve bulaşık makinelerindeki artışlar %521 ve %155 oranlarında gerçekleşmiştir. Buzdolabı ve çamaşır makineleri enerji tüketimindeki artışlar mütevazı ölçekte kalarak sırasıyla %11 ve %8 oranlarında artışlar gözlemlenmiştir. 2000-2018 döneminde ayrıştırma analizi sonucunda elde edilen büyük ev aletlerinin toplam enerji tüketiminde belirleyici olan faaliyet (nüfus), yapısal (sosyal ve

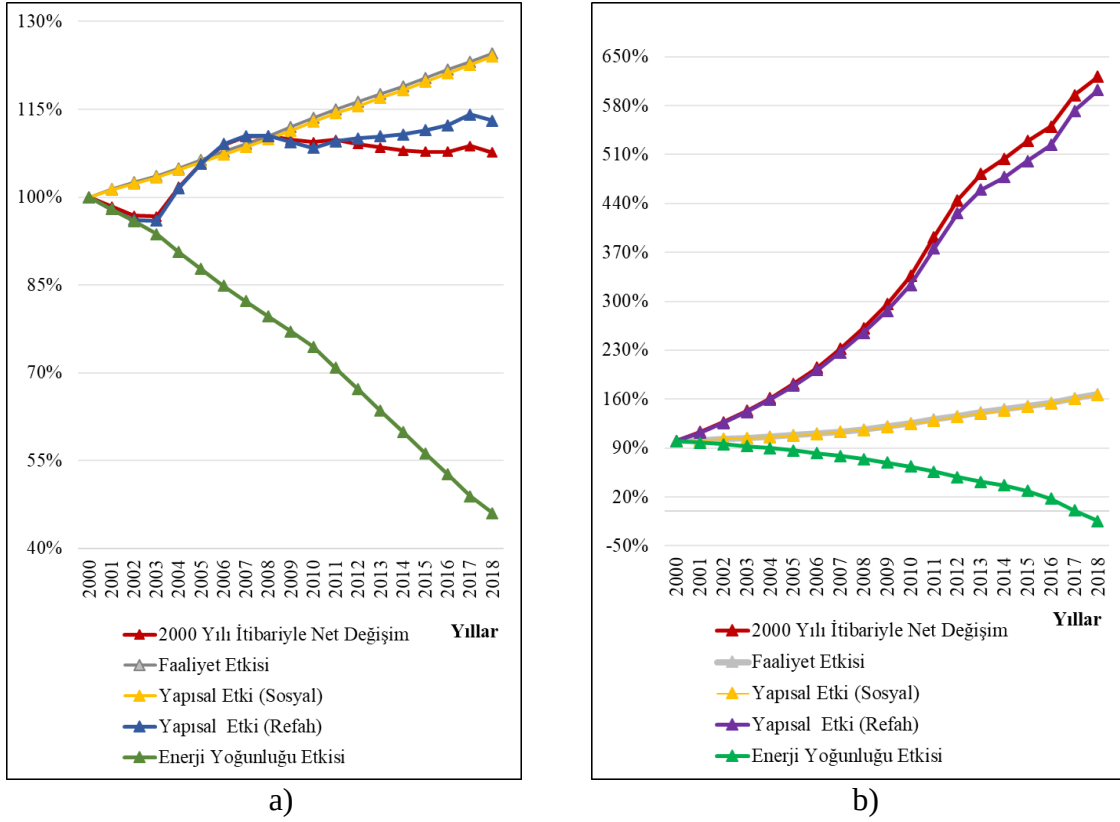
refah) ve enerji yoğunluğu (verimlilik) etkileri Çizelge 5.8.'de özetlenmektedir. Çamaşır kurutma makineleri, derin dondurucu ve bulaşık makineleri enerji tüketimindeki artışın ana kaynağı hanehalkı sahiplik oranlarının artmasıdır. Buzdolabı ve çamaşır makinelerinde belirli bir doygunluk oranına ulaşılması ve verimlilikteki iyileşmeler nedeniyle enerji tüketimindeki artışların baskılandığı görülmektedir. Büyük ev aletleri enerji tüketimine yönelik yapılan ayrıştırma analizinde faaliyet, yapısal ve enerji yoğunluğu faktörlerinin yıllar itibariyle enerji tüketimine olan etkileri Şekil 5.18-5.20.'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.8. Büyük ev aletleri enerji tüketimine yönelik gerçekleştirilen ayrıştırma analizi sonuçları (2000-2018 dönemi, PJ cinsinden)

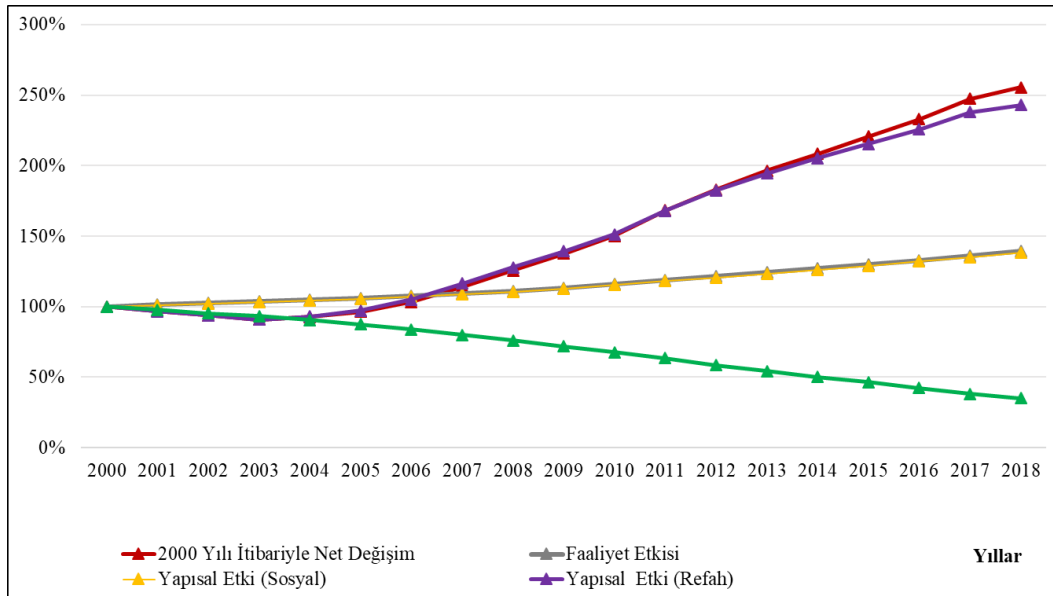
Ürün Grupları	Faaliyet	Sosyal	Refah	Yoğunluk	Net Etki
Buzdolabı	8,06	7,87	7,24	-19,57	3,60
Derin Dondurucu	0,52	0,51	6,49	-1,29	6,24
Çamaşır Makinesi	3,88	3,79	2,07	-8,53	1,21
Çamaşır Kurutma Makinesi	0,16	0,15	1,16	-0,26	1,21
Bulaşık Makinesi	2,70	2,64	9,84	-4,47	10,71
Toplam	15,32	14,96	26,8	-34,12	22,97



Şekil 5.18. a) Buzdolabı b) Derin dondurucu enerji tüketimlerinin ayrıştırma analizi sonuçları



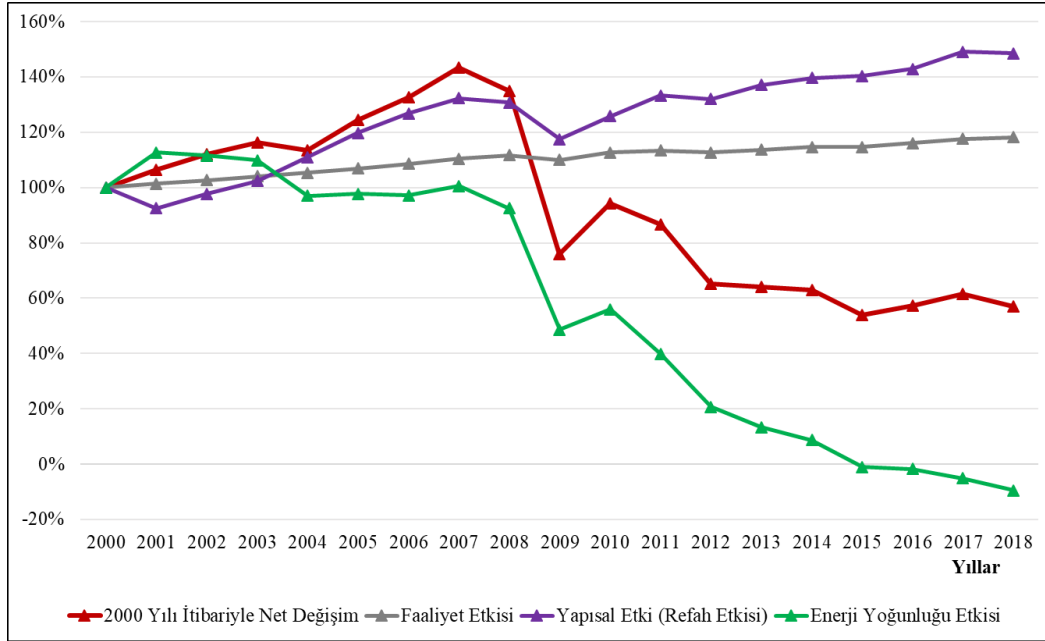
Şekil 5.19. a) Çamaşır makinesi b) Çamaşır kurutma makinesi enerji tüketimlerinin ayrıştırma analizi sonuçları



Şekil 5.20. Bulaşık makinesi enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu

Son olarak, konutlardaki küçük ev aletleri ve haberleşme şebekesine bağlı cihazlar gibi diğer kullanım amaçlı enerji tüketimi de faaliyet, yapısal (refah) ve enerji yoğunluğu etkenleri

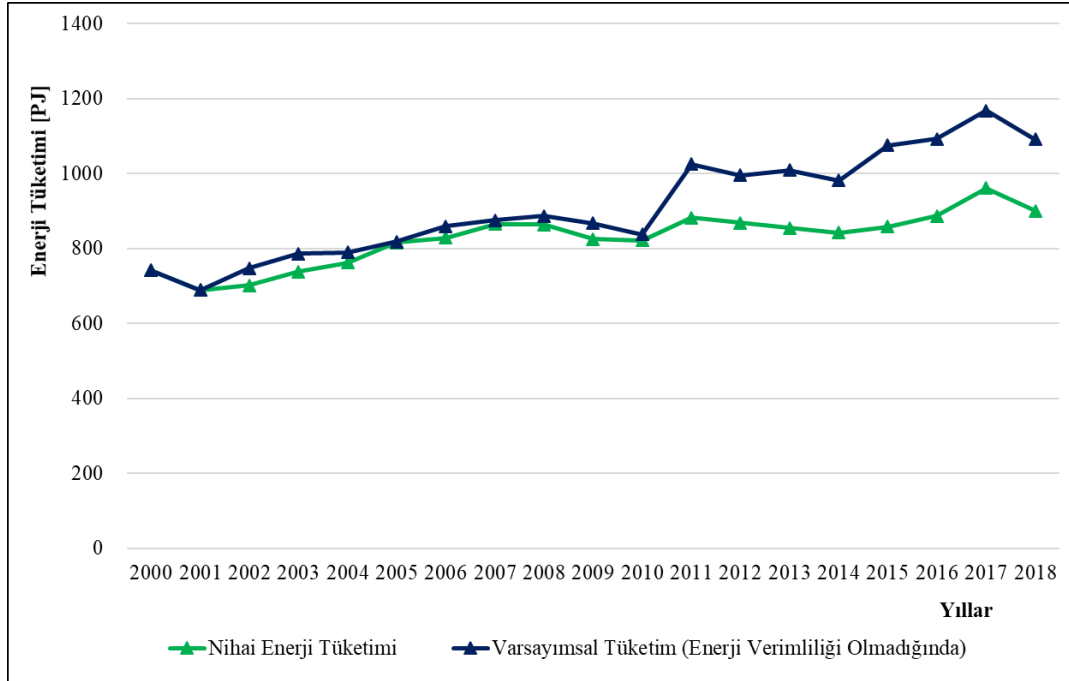
dikkate alınarak hesaplanmıştır. Şekil 5.21.'de sunulmakta olduğu üzere enerji yoğunluğunun enerji tüketiminin azalmasında belirleyici etken olduğu görülmektedir.



Şekil 5.21. Diğer kullanımlar amaçlı enerji tüketiminin ayrıştırma analizi sonucu

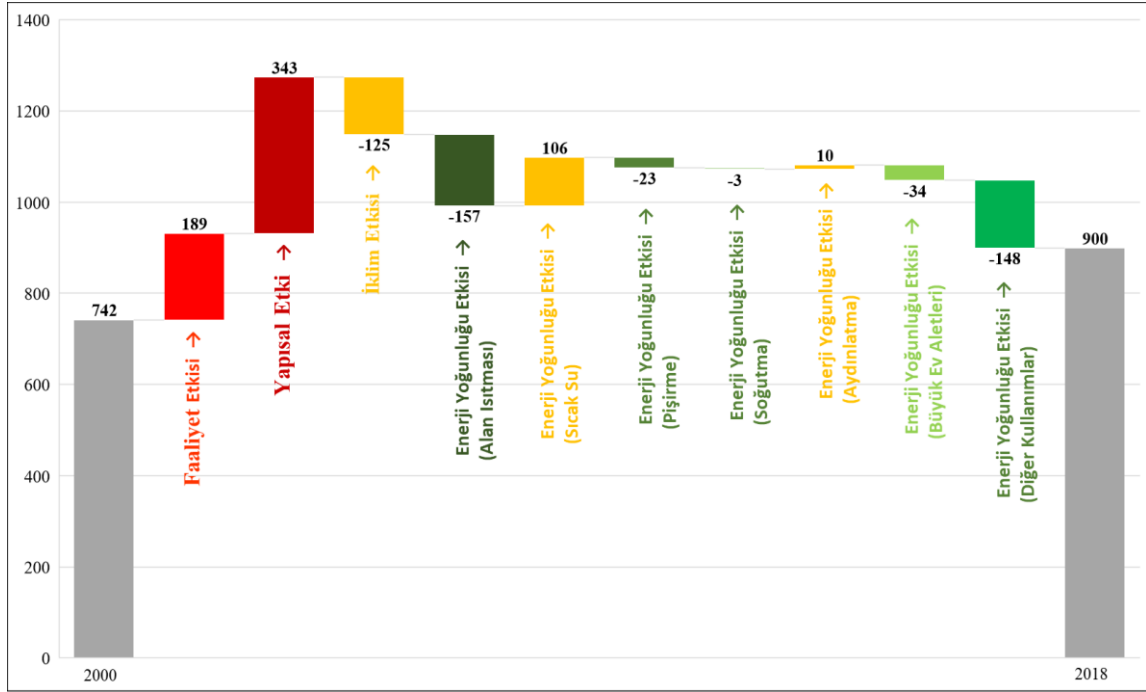
Nihayetinde enerji verimliliğinin etkisi olmasıydı konut sektörünün nihai enerji tüketimi 2018 yılında gerçekleşen değerinden %21 daha fazla olacağı ve 1 092 PJ değerine ulaşacağı öngörülmüştür. Konut sektöründe verimliliğin 2009 yılı itibariyle enerji tüketimine olan etkisi Şekil 5.22. ile sunulmaktadır. 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunun ve 2008-2009 döneminde ikincil mevzuatının yayımlanması konut sektörünün enerji tüketimi gelişiminde önemli bir dönüm noktası olmuştur.

Sonuçta 2000-2018 döneminde nüfus artışına bağlı olarak konut sektörü nihai enerji tüketimi 189 PJ artmıştır. Hanehalkı gelirinin yükselmesi ile birlikte artan refah enerji tüketen ekipmanların daha fazla kullanılmasına neden olması nedeniyle enerji tüketimini ilave olarak 343 PJ artmıştır. Diğer taraftan, özellikle 2012 yılı sonrası iklimin daha sıcak olması alan ısıtması için harcanan enerji tüketimini baskılayarak nihai enerji tüketiminde 125 PJ'lük bir azalışa sebebiyet vermiştir.



Şekil 5.22. Konut sektörü nihai enerji tüketiminin enerji verimliliğinin olmaması durumundaki kurgusal gelişimi

Nihai kullanımda verimliliğe bakıldığında sıcak su ve aydınlatma haricinde bütün kullanım alanlarında verimlilikte sağlanan iyileşmelerin nihai enerji tüketimde düşüşe neden olduğu görülmüştür. Alan ısıtması sağlanan enerji yoğunluğundaki iyileşme sayesinde nihai enerji tüketiminde 157 PJ azaltım gerçekleştirilmiştir. Benzer biçimde pişirme, soğutma, büyük ev aletleri ve diğer kullanımlarda enerji yoğunluğundaki sağlanan iyileşmeler sayesinde nihai enerji tüketiminin sırasıyla 23 PJ, 3 PJ, 36 PJ ve 148 PJ düşmesi sağlanmıştır. Sıcak su kullanımında enerji yoğunluğunun enerji tüketimini artırıcı etki göstermesinin nedeni olarak çamaşır ve bulaşık makinelerinin yaygınlaşması sonucunda tüketici konfor şartlarının iyileşmesi olduğu, aydınlatmada ise analiz döneminde konutlarda kullanılan aydınlatma noktası sayısının artmasına bağlı olarak enerji yoğunluğunun da arttığı ve enerji tüketimine yukarı yönlü bir etkide bulunduğu düşünülmektedir. Ayırıştırma analizi sonucu Şekil 5.23. ile özetlenmektedir.

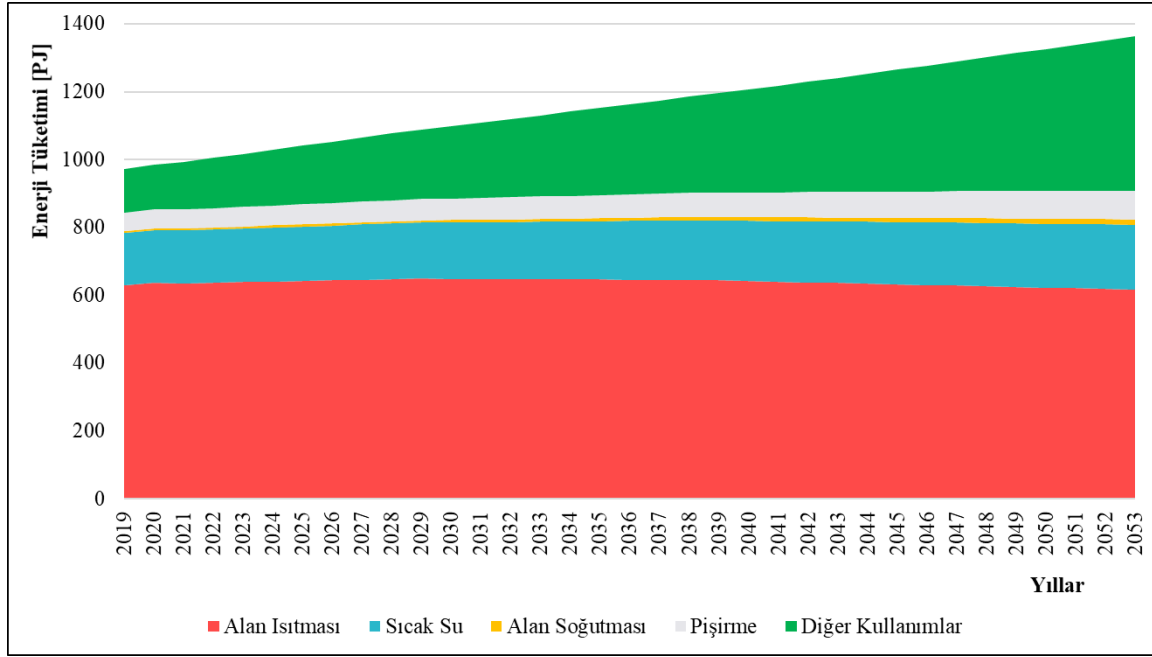


Şekil 5.23. Faaliyet, yapısal ve enerji yoğunluğunun nihai enerji tüketimine etkisi

5.5. Enerji Talebinin Uzun Dönemli Tahmini Sonuçları

Bölüm 4.4.'te yer verilen varsayımlar eşliğinde gerçekleştirilen analizlere göre 2019 yılında 971 PJ olarak gerçekleşen konut sektörü enerji tüketiminin 2053 yılına gelindiğinde %40,4 oranında artacağı ve 1363 PJ'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir. Nihai kullanımlara göre yapılan enerji tüketim projeksiyonu Şekil 5.24.'te sunulmaktadır.

Projeksiyon döneminde yeni yapılan binaların verimliliğinde sağlanacak iyileşmeler sayesinde alan ısıtmasının toplam tüketimdeki payı %64,8'den %45,2'ye gerilemektedir. Sıcak su ve pişirme tüketimlerinin toplam tüketim içerisindeki oranlarında ise belirgin bir sapma gözlemlenmemiştir. Ev aletleri, şebekeye bağlı cihazlar ve aydınlatmayı da kapsayan diğer kullanımların payı GSYH büyüme oranına bağlı olarak yıllara sari olarak büyümektedir. Diğer kullanımların 2019 yılında sahip olduğu %13,1'lik pay 2053 yılına gelindiğinde %33,3 oranına yükselmektedir. Beşer yıllık dönemler için nihai kullanım bazında enerji tüketim tahminleri Çizelge 5.9.'da sunulmaktadır.



Şekil 5.24. Türkiye konut sektörü enerji tüketimi projeksiyonu 2019-2053

Çizelge 5.9. Nihai kullanım bazında enerji tüketim tahminleri

Nihai Kullanımlar	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2053
Alan Isıtması	629	642	648	647	642	632	623	617
Sıcak Su	155	161	166	171	178	183	188	191
Alan Soğutması	5	6	8	9	11	13	15	16
Piştirme	56	60	64	68	73	78	82	85
Diğer Kullanımlar	127	172	213	257	304	359	418	455
TOPLAM	971	1041	1098	1152	1207	1264	1326	1363

Çizelge 5.10. ile sunulmakta olduğu üzere projeksiyon döneminde enerji tüketim artış oranlarında beş yıllık dönemlerde bir azalış eğiliminin bulunduğu gözlemlenmektedir. Günümüzde gözlemlenen ekonomik büyüme oranlarının gelecek yıllarda daha mütevazî ölçekte kalacak olması varsayımı bu duruma etki eden ana nedenlerden biridir. Ayrıca, daha verimli binaların inşa edilmesi, sıcak su üretiminde ve ev aletlerinin enerji verimliliğinde sağlanacağı varsayılan ilerlemeler de bu durumu desteklemektedir.

Çizelge 5.10. Nihai kullanım bazında dönemsel artış oranları

Nihai Kullanımlar	2019- 2025	2025- 2030	2030- 2035	2035- 2040	2040- 2045	2045- 2050	2050- 2053
Alan Isıtması	2,1%	0,9%	-0,2%	-0,8%	-1,5%	-1,5%	-0,9%
Sıcak Su	3,5%	3,3%	3,3%	3,6%	3,2%	2,8%	1,5%
Alan Soğutması	35,7%	23,7%	20,4%	18,5%	18,0%	16,6%	8,6%
Piştirme	7,0%	7,0%	7,2%	6,6%	6,4%	6,0%	3,4%
Diğer Tüketimler	35,7%	23,7%	20,4%	18,5%	18,0%	16,6%	8,6%

6. KONUT SEKTÖRÜNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ POLİTİKA VE MEVZUATININ İNCELENMESİ VE UZUN DÖNEMLİ POLİTİKA ARAÇLARININ BELİRLENMESİ

2020 yılı verilerine göre Türkiye'nin enerji yoğunluğu OECD ve AB ortalamasına kıyasla üçte bir oranından daha yüksektir. Bu durum, hem enerji verimliliğinde alınacak önemli bir ilerleme potansiyelinin bulunduğunu hem de enerji yoğun sektörlerden yüksek katma değerli sektörlerle iktisadi bir dönüşüm sürecinin devam ettiğini göstermektedir. Türkiye söz konusu enerji verimliliği potansiyelini hayata geçirerek üretimden nihai tüketime kadar bütün süreçlerde enerji verimliliğinin artırılması amacıyla bugüne kadar duyurmuş olduğu üst politika ve strateji belgeleri ile 2023 yılına yönelik hedeflerini belirlemiştir. Bu hedefler doğrultusunda, 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve ikincil mevzuatı ile konut sektörü dâhil olmak üzere nihai kullanım sektörlerine yönelik birçok düzenlemeyi bugüne kadar uygulamaya alınmıştır.

2021 yılına gelindiğinde Türkiye 2053 yılına kadar karbon nötr olma hedefini ilan etmiştir. Bununla birlikte, iklim hedeflerine ulaşılmasında 2023 sonrası atılacak adımlar, uzun dönemli politika ve stratejiler ile gerekli mevzuat çalışmalarına yönelik bir yol haritası henüz kamuya paylaşılmamıştır. Diğer taraftan, AB müktesebatını Türkiye kendi iç hukukuna aktarmaya yönelik çalışmalarını sürdürmektedir. Türkiye'nin orta ve uzun vadede enerji verimliliğine yönelik atacağı adımların belirlenmesinde, 2050 yılına kadar ilk karbon nötr kıta olma hedefiyle mevzuatını güncelleyen AB'nin yapmış olduğu enerji verimliliği düzenlemeleri ve 27 AB üye ülkesinin 2021-2030 yılına yönelik duyurdukları ulusal enerji ve iklim eylem planlarından istifade edilebilir. Ayrıca, küresel enerji sisteminin geçirmesi gereken dönüşümüne ve ülkelerin takip edebilecekleri yol haritasına ilişkin Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2021 yılında duyurduğu Net Sıfır Yol Haritası çalışması Türkiye'nin enerji verimliliği politika araçlarını belirlemesinde katkı sağlayabilir.

Bu bölümde, Türkiye konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uzun dönemli politika araçlarının belirlenmesi amacıyla öncelikle mevcut enerji verimliliği politika ve strateji dokümanları incelenerek mer'î mevzuat yapısı ele alınmaktadır. AB müktesebatında enerji verimliliği mevzuatını oluşturan Enerji Verimliliği Direktifi ve Binalarda Enerji Performansı Direktifi ile eko-tasarım ve etiketleme düzenlemelerine ilişkin Türkiye'nin uyum durumu ve mevzuat açıklığı konut sektöründe enerji verimliliği

perspektifiyle incelenmektedir. Ayrıca, AB'nin enerji verimliliği müktesebatı, 27 AB üye ülkesinin enerji ve iklim eylem planları ile küresel iklim politikalarındaki eğilimler irdelenerek Türkiye'nin uzun dönemli strateji ve politikalarının oluşturulmasına katkıda bulunma amacıyla konut sektöründe enerji verimliliğinin geliştirilmesine yönelik politika tavsiyeleri geliştirilmektedir.

6.1. Türkiye'nin Enerji Verimliliği Politikaları ve Mevzuatında Konut Sektörüne Yönelik Hedefleri ve Düzenlemeleri

6.1.1. Türkiye'nin enerji verimliliği politikalarında konut sektörüne yönelik hedefler

Türkiye'nin beş yıl dönemlerle iktisadi kalkınma hedeflerini belirlediği üst politika dokümanı kalkınma planlarıdır. 2019-2023 dönemini kapsayan 11. Kalkınma Planı 23.07.2019 tarih ve 20840 Mükerrer sayılı Resmî Gazete'de yayımlanmış ve uzun vadeli bakış açısıyla Türkiye'nin ana yol haritası olarak duyurulmuştur. 11. Kalkınma Planı'nda istikrarlı ve güçlü ekonomi, rekabetçi üretim ve verimlilik, nitelikli insan ve güçlü toplum, yaşanabilir şehirler ve sürdürülebilir çevre ve hukuk devleti, demokratikleşme ve iyi yönetim olmak üzere beş ana eksenle politikalar belirlenmiştir [185].

Rekabetçi üretim ve verimlilik başlığı altındaki enerji bölümünde konut sektörünün enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik "492. Daha verimli ve kendi enerjisini üreten binalar yaygınlaştırılacaktır." hedefi belirlenmiş bu amaçla mevcut binalara yönelik teşviklerin getirileceği ve Ulusal Yeşil Bina Sertifika Sistemi'nin kurulacağı ifade edilmiştir. Bu kapsamda mevcut binaların enerji verimliliği yatırımlarının teşvik edilmesine yönelik kamu destekli bir teşvik programı henüz ilan edilmemiştir. Bununla birlikte, Ulusal Yeşil Bina Sertifika Sistemi'nin uygulanması ve bu alanda çalışacak uzmanların yetiştirilmesine yönelik Binalar ile Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Uygulama Tebliği [186] 2021 yılında yayımlanarak ikincil mevzuat çalışmaları tamamlanmıştır.

Yaşanabilir şehirler, sürdürülebilir çevre başlığı altında konut sektörünün enerji verimliliğine ilişkin doğrudan bir atıf bulunmamakla birlikte şehirleşme, konut, kentsel dönüşüm, kentsel altyapı ve çevrenin korunması bölümlerinde belirlenen hedeflerle kentlerin sürdürülebilir gelişiminin sağlanması, insan odaklı, yaşam kalitesi yüksek ve sağlıklı ve güvenli yaşamayı esas alan politikalar belirlenmiştir.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) tarafından Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023 ile iklim değişikliği politikalarının kalkınma politikalarıyla bütünleştirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması, yenilebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması ve düşük karbon yoğunluğuna sahip olma vizyonu duyurulmuştur. Türkiye İklim Değişikliği Strateji Belgesinde konut sektörüne yönelik kısa vadeli hedefler iki ana strateji ile belirlenmiştir [187]:

- Binalarda enerji verimliliği potansiyelinin tespit edilmesi, potansiyelden azami biçimde faydalanılması ve enerji verimli yapı malzemeleri ve teknolojilere yönelik öncelikli projelerin belirlenmesi,
- Mevcut binalarda “Enerji Kimlik Belgesi (EKB)” uygulanması ve ısı yalıtımı ve diğer verimlilik artırıcı uygulamalar teşvik edilmesi.

Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi Belgesinin kapsadığı dönemin tamamlanmasına kısa bir süre kalmış olmasına rağmen ulusal bina stoku gözetilerek detaylı bir potansiyel analizi henüz yayımlanmamıştır. Çalışmalar güncelliğini yitirmiş olmakla birlikte, Dünya Bankası [188] ve Doğan ve Yılkıran [189] çalışmalarında bina sektöründe %30 enerji tasarrufu bulunduğunu belirtmektedir. Konut sektörünün enerji verimliliği potansiyelinden yararlanılmasına yönelik çalışmalar ise mevzuatın ve standartların geliştirilmesi ile sınırlı kalmış ve kamu tarafından finansal bir teşvik mekanizması henüz uygulamaya alınmamıştır. Mevcut binalarda ise EKB uygulaması zorunluluğu 2020 yılı itibarıyla uygulamaya girmiştir.

ÇŞİDB tarafından 2011 yılında duyurulan İklim Değişikliği Eylem Planı 2011-2023 ile Türkiye İklim Değişikliği Stratejisinin hedeflerine ulaşmak için atılacak adımlar duyurulmuştur. İklim Değişikliği Eylem Planı 2011-2023 binalarda enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik beş ana hedef belirlemiştir [190]. Belirlenen hedefler ve güncel gelişme durumları Çizelge 6.1.’de özetlenmektedir.

Çizelge 6.1. İklim Değişikliği Eylem Planında binalarda enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik belirlenen hedefler ve güncel gelişme durumları

Hedefler	Güncel Durum
HEDEF B1.1. 2023 yılında en az 1 milyon konut ile toplam kullanım alanı 10 bin metrekaresinin üzerindeki ticari ve kamu binalarında standartları sağlayan ısı yalıtımı ve enerji verimli sistemlerin oluşturulması	Hedefin gerçekleşme durumuna ilişkin kamuya açıklanan veri bulunmamaktadır. Enerji tüketim bilgilerini içeren veri tabanı BEP-TR yazılımı 2011 yılında uygulamaya alınmıştır. Ayrıca, yapılan mevzuat değişikliği ile C sınıfı EKB alma yükümlülüğü getirilmiştir. 2017 yılı itibarıyla yeni yapılan binaların asgari C sınıfını sağlayabilmeleri için yalıtım uygulaması yapmaktadır.
HEDEF B1.2. 2017 yılına kadar bütün binalarda, Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği ve diğer enerji verimliliği yönetmeliklerinin etkin olarak uygulanması	Enerji Verimliliği Kanunu ve ikincil mevzuatının etkin uygulanmasına yönelik Enerji Verimliliği Denetimi Yönetmeliği çerçevesinde ETKB tarafından, EKB'lere yönelik denetimler ise ÇŞİDB İl Müdürlükleri tarafından yürütülmektedir.
HEDEF B1.3. Binalarda 2013 yılı sonuna kadar enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve BEP ile ilgili olarak gerekli finansal desteği sağlayacak araçların geliştirilmesi	25.12.2021 tarihli ve 31700 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Enerji Verimliliği Kanunu’nda yapılan değişiklik ile verimlilik artırıcı proje desteklerine sanayi sektörünün yanı sıra bina, hizmet ve tarım sektörleri de dahil edilmiştir. Bununla birlikte, bina sektörüne yönelik finansal teşvikler henüz uygulamaya alınmamıştır.
HEDEF B1.4. 2017 yılına kadar tüm binalara “Enerji Kimlik Belgesi” verilmesi	Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ile mevcut binaların EKB’ye sahip olması 1.1.2020 tarihi itibarıyla zorunlu tutulmuştur. BEP-TR’ye kayıtlı bina sayısı göz önünde bulundurulduğunda hedef henüz gerçekleştirilememiştir.
HEDEF B1.5 Kamu kuruluşlarının bina ve tesislerinde, yıllık enerji tüketiminin 2015 yılına kadar %10 ve 2023 yılına kadar %20 azaltılması	Kamu binalarında 2020-2023 döneminde %15 enerji tasarruf sağlanması yükümlülüğü 2019/18 sayılı Kamu Binalarında Enerji Tasarrufu konulu Cumhurbaşkanlığı Genelgesi ile getirilmiştir. ETKB tarafından izlemesi yapılmaktadır.

20.02.2012 tarih ve 2012/1 karar No’lu Yüksek Planlama Kurulu Kararı ile 25.02.2012 tarih ve 28215 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023, Türkiye’nin enerji yoğunluğunun 2023 yılına kadar 2011 yılı değerine göre en az %20 oranında azaltılmasını hedeflemiş bu amaçla 7 stratejik amaç tanımlamıştır [191]. SA-02 kodlu ikinci stratejik amaç “Binaların enerji taleplerini ve karbon emisyonlarını azaltmak; yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaları yaygınlaştırmak” ve SA-03 kodlu üçüncü stratejik amaç “Enerji verimli ürünlerin piyasa dönüşümünü sağlamak” olarak belirlemiştir. Bu stratejik amaçlara ulaşılması için belirlenen hedef ve eylemler ile eylemlerin gerçekleşme durumları Çizelge 6.2.’de sunulmaktadır.

Çizelge 6.2. Enerji Verimliliği Strateji Belgesi’nde konut sektörüne yönelik belirlenen hedef ve eylemler ile eylemlerin gerçekleşme durumları

SA-02/SH-01: “....konutlar ile birlikte, toplam kullanım alanı onbin metrekarenin üzerindeki ticari ve hizmet binalarının tamamında, yürürlükteki standartları sağlayan ısı yalıtımı ve enerji verimli ısıtma sistemleri bulunacaktır.”	
Eylem	Gerçekleşme Durumu
SA-02/SH-01/E-01: Binalara azami enerji ihtiyacı ve azami emisyon sınırlaması getirilmesi	Yeni binaların azami C sınıfı enerji tüketimine sahip EKB alma yükümlüğü Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ ile getirilmiştir. Fakat emisyon miktarına sınırlama getiren bir düzenleme henüz uygulamaya alınmamıştır.
SA-02/SH-01/E-02: 2017 yılından itibaren, karbondioksit salım miktarları ilgili mevzuatta tanımlanan asgari değerlerin üzerinde olanlara idarî yaptırım uygulanacaktır	Karbondioksit salım miktarları ilgili mevzuatta bir düzenleme yapılmadığından eylem uygulamaya alınamamıştır.
SA-02/SH-02: “2010 yılındaki yapı stoğunun en az dörtte biri (1/4) 2023 yılına kadar, sürdürülebilir yapı haline getirilecektir.”	
Eylem	Gerçekleşme Durumu
SA-02/SH-02/E-01: Kullanım alanı onbin metrekare (10.000 m ²) üzerindeki ticari binaların ve müstakil lüks konutların ve entegre konutların (Residence) ruhsatlandırılmasında belgenin yayım tarihini takip eden onsekizinci (18) aydan itibaren sürdürülebilir nitelik aranması, 2017 yılından itibaren bu uygulamanın SA-02/SH-01’de belirtilen binaları kapsayacak şekilde yaygınlaştırılması	Enerji kaynaklarını verimli kullanarak çevreye olan etkilerinin azaltıldığı bina ve yerleşmelerin değerlendirilmesi ve belgelendirilmesine ilişkin usul ve esaslar 2017 yılında Binalar İle Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği ile belirlenmiştir. Yönetmeliğin uygulama tebliği 2021 yılında yayımlanmış, henüz sertifikalandırma sürecine başlanılmamıştır. Bununla birlikte, BREEAM, LEED, DGNB gibi uluslararası yeşil bina sertifikasına sahip binalar bulunmakla birlikte sürdürülebilir yapı olarak kabul edilen toplam bina sayısına ilişkin kamuya duyurulan veri bulunmamaktadır.
SA-02/ SH-02/E-02: Toplu konutlarda yerinden üretim uygulamalarının yaygınlaştırılması	Toplu konutlarda Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği kapsamında merkezi ısıtma sistemi uygulamaları yapılmakla birlikte eylem açıklamasında öngörülen kojenerasyon, mikrokojenerasyon ve ısı pompası teknolojilerinin yaygınlaştırılmasına yönelik kayda değer ilerleme sağlanamamıştır. Bu eylemin gerçekleşmesi için SA-02/SH-02/E-01 eylemi yürürlüğe girene kadar söz konusu teknolojilerin özendirilmesi temenni edilmiş olsa da bu alanda finansal bir teşvik uygulanmamış olması nedeniyle ilerleme sağlanmadığı değerlendirilmektedir.
SA-03/SH-01 : “Asgari enerji verimlilik sınıfının üzerindeki lambaların, buzdolaplarının ve elektrik motorlarının piyasa dönüşümü 2012 yılı sonuna kadar, ısıtma/soğutma sistemlerinin ve diğer enerji verimli ürünlerin piyasa dönüşümü ise AB uygulamalarına paralel olarak tamamlanacaktır.”	
Eylem	Gerçekleşme Durumu
SA-03/SH-03/E-01: Enerjiyi verimsiz kullanan ürünlerin satışının sınırlandırılması ve piyasa denetiminin etkinleştirilmesi	Eylem kapsamında öngörülen mevzuat değişiklikleri AB müktesebatına uyumlu olarak gerçekleştirilmekte ve AB’deki yeni düzenlemelere paralel olarak ilgili tebliğlerde de yansıtılmaktadır. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından ilgili mevzuat düzenlemelerinin yanı sıra enerji tüketen ürünlerin piyasa gözetimi ve denetimi faaliyeti de yürütülmektedir.

29.12.2017 tarihli (mülga) Yüksek Planlama Kurulu onayı ile 02.01.2018 tarihli ve 30289 mükerrer sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP) 2017-2023 ile bütün sektörlerde uygulanacak enerji verimliliği çalışmalarının yol haritası çizilmiştir. UEVEP ile yatay konular, bina ve hizmetler, sanayi ve teknoloji, enerji, ulaştırma ve tarım olmak üzere 6 kategoride tanımlanan 55 eylem kapsamında 2023 yılına kadar kümülatif 23,9 milyon tep enerji tasarrufu sağlanması, bunun için kamu ve özel sektör birlikte 10,9 milyar Dolar yatırım yapılması öngörülmektedir [192]. UEVEP, sayısallaştırılmış hedeflerinin bulunması ve altı aylık dönemlerle izlemesi yapılarak etki analizlerinin kamu ile paylaşılması yönüyle diğer politika ve strateji dokümanlarından ayrılmakta ve ETKB tarafından yayımlanan gelişim raporlarıyla öngörülebilir piyasa şartlarının sağlanmasına önemli katkılar sunmaktadır.

Bina ve hizmetler sektörü 12 eylem ile UEVEP'te en fazla eyleme sahip sektördür. Bina ve hizmetler sektörü eylemleri, eylemlerin tamamlanma oranları ve güncel gelişmeleri Çizelge 6.3.'te sunulmaktadır.

Çizelge 6.3. UEVEP bina ve hizmet sektörü eylemleri ve eylemlere ilişkin güncel gelişmeler [193] [194]

Eylem Adı	Tamamlanma Oranı	Güncel Gelişmeler
<i>Konut Tipi Binalara Yönelik Eylemler</i>		
B1-İnşaat Sektöründe Kullanılan Malzeme ve Teknolojiye İlişkin En İyi Uygulamaların Tespiti ve Paylaşılması	%100	- Bina Sektörü Enerji Verimliliği Teknolojisi Atlası yayımlanmıştır. - İnşaat ve Tesisat Birim Fiyat kitabına enerji verimli teknolojiler eklenmiştir. - Binalarda enerji verimliliğine yönelik teknik dokümanlar hazırlanarak ÇŞİDB tarafından yayımlanmıştır.
B2-Binalar İçin Enerji Tüketim Verilerini de İçeren Bir Veri Tabanı Oluşturulması	%80	- Bina envanteri veri tabanı Mekansal Adres Kayıt Sistemine entegre edilmesi çalışmaları sürdürülmektedir. - BEP-TR 2 yazılımına kayıtlı bina sayısı yaklaşık 1,4 milyona ulaşmıştır.
B5-Mevcut Binaların Rehabilitasyonu ve Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi	%100	- Enerji verimliliği uygulamaları tadilat ruhsatından muaf tutulmuştur. - A ve B sınıfı EKB'ye sahip binalar için kullanılacak kredi miktarlarında artış sağlanmıştır. - Enerji verimliliğini teşvik amacıyla Gelir Vergisi Kanunu, Damga Vergisi Kanunu ve Harçlar Kanununda değişiklik yapılmıştır.

Çizelge 6.3. (devam) UEVEP bina ve hizmet sektörü eylemleri ve eylemlere ilişkin güncel gelişmeler [193] [194]

Eylem Adı	Tamamlanma Oranı	Güncel Gelişmeler
B6-Merkezi ve Bölgesel Isıtma/Soğutma Sistemlerinin Kullanımının Özendirilmesi	%80	- Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmeliğin uygulamasına yönelik kılavuz hazırlanmış ve eğitimler gerçekleştirilmiştir. - ETKB tarafından yürütülen Danimarka-Türkiye Stratejik Sektör İşbirliği Projesi kapsamında konut sektörü ısı talep haritası çıkartılmış, farklı iklim bölgeleri ve nüfus yoğunlukları gözetilerek verimli ısıtma sistemlerine yönelik jenerik fayda maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Belediyelerin ısıtma ve soğutma planlaması yapmalarına yönelik kılavuz hazırlığı ile ulusal ölçekte ısıtma ve soğutmanın kapsamlı değerlendirilmesi çalışmaları sürdürülmektedir.
B7-Mevcut Binaların Enerji Kimlik Belgesi Sahiplik Oranının Artırılması	%100	- SMM firmalarının da mevcut binalara EKB hazırlamalarına imkân sağlanmıştır. - ÇŞB tarafından yetkilendirilen denetçiler vasıtasıyla EKB denetimlerine başlanmıştır.
B8-Sürdürülebilir Yeşil Binalar ile Yerleşmelerin Belgelendirilmesinin Özendirilmesi	%90	- Ulusal Yeşil Sertifika Bilgi Sistemi (YeS-TR) yazılımı tamamlanmıştır. - Binalar ile Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Uygulama Tebliği ile YeS-TR'nin kullanımı, yeşil bina ile yeşil yerleşmelerin değerlendirmesine ilişkin şartlar, değerlendirme kılavuzları ve denetlemelere ilişkin usul ve esaslar belirlenmiştir.
B9-Yeni Binalarda Enerji Verimliliğinin Özendirilmesi	%85	- Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ ile Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği kapsamındaki "Referans Bina" sınır değerleri yukarı çekilmiştir. Böylelikle asgari enerji tüketim sınıfı D'den C'ye yükseltilmiştir. - TS 825 Isı Yalıtım Kuralları Standardının güncellenmesi çalışmaları sürdürülmektedir. - Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun kapsamında B sınıfı EKB'ye sahip binalara 50 baz puan, A sınıfı EKB'ye sahip binalara 100 baz puan faiz desteği sağlanmıştır.
B11-Binalarda Yenilenebilir Enerji ve Kojenerasyon Sistemlerinin Kullanımının Yaygınlaştırılması	%100	2017 yılında Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde yapılan değişiklik ile kullanım alanı 2000 m² üzerindeki konaklama haricindeki binalarda güneş enerjisi ile desteklenen sıcak su sistemi planlaması yapılması şartı getirilmiştir. 2022 yılında Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde yapılan değişiklik ile 2023 yılı itibarıyla 5000 m² üzeri inşaat alanına sahip binaların birincil enerji taleplerinin %5'inin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması şartı getirilmiştir. - Gelir Vergisi Kanunu'nda yapılan değişiklik ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı ve kurulu gücü azami 10 kW olan elektrik tesislerinden üretilen elektrik enerjisi geliri vergisinden muaf tutulmuştur. Sonrasında 10 kW olan kurulu güç limiti 25 kW'a yükseltilmiştir.

Çizelge 6.3. (devam) UEVEP bina ve hizmet sektörü eylemleri ve eylemlere ilişkin güncel gelişmeler [193] [194]

Eylem Adı	Tamamlanma Oranı	Güncel Gelişmeler
<i>Konut Dışı Binalara Yönelik Eylemler</i>		
B3-Kamu Binaları İçin Enerji Tasarrufu Hedefi Tanımlanması	%100	2019/18 Kamu Binalarında Enerji Tasarrufu konulu Cumhurbaşkanlığı Genelgesi ile 2020-2023 yılları arasında kamu binalarına %15 tasarruf yapma hedefi tanımlanmıştır. - ETKB tarafından Kamu Binalarında Tasarruf Hedefi ve Uygulama Rehberi hazırlanmıştır. - Enerji yöneticisi görevlendirmekle yükümlü 2432 kamu binası/kampüsün izlemesi yapılmaktadır.
B4-Belediye Hizmetlerinde Enerji Verimliliğinin Artırılması	%80	- Dört büyükşehir belediyesinde ISO 50001 Enerji Verimliliği Yönetim Sistemi kurulmuş, onunda da kurulma çalışmaları devam etmektedir. - AB IPA 2015 Belediyeler için Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Ekipman Alımı Projesi kapsamında 7 büyükşehir belediyesindeki su ve kanalizasyon idarelerindeki 234 pompanın değişimi gerçekleştirilmiştir. - IPA 2015 Belediye ve Üniversitelere Teknik Yardım (YEVDES) Projesi kapsamında 800 kişiye eğitim verilmiş, belediye ve üniversite binalarında 80 enerji verimliliği etüdü ve 80 yenilebilir enerji fizibilitesi hazırlanmıştır. - Sürdürülebilir Şehirler Projesi-II kapsamında Dünya Bankası ile İlbank A.Ş. arasında 500 milyon Avro tutarında kredi paketi imzalanmıştır.
B10-Mevcut Kamu Binalarında Enerji Performansının İyileştirilmesi	%100	2850 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı ile Kamuda Enerji Performans Sözleşmelerine İlişkin Usul ve Esaslar yayımlanmıştır. - ETKB tarafından Kamuda Enerji Performans Sözleşmelerinin Uygulanmasına İlişkin Tebliğ hazırlanmış ve 15.04.2021 tarih ve 31455 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. 200 milyon Dolar bütçeli "Dünya Bankası Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Projesi" başlatılarak merkezi kamu binalarının enerji tüketiminin düşürülmesi ve kamuda EPS uygulamalarının özendirilmesine yönelik çalışmalar yürütülmektedir. 2020 yılında Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğinin Artırılmasına Dair Yönetmelik’te yapılan değişiklik ile enerji yöneticisi görevlendirmekle yükümlü olan binaların ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi kurma yükümlülüğü getirilmiştir.
B12-KOBİ Niteliğindeki Binalara Yönelik Enerji Verimliliği Etüt Programları ve Etütler için Kaynak Tahsisi	%10	KOSGEB tarafından sunulan Genel Destek Programı dışında bir ilerleme sağlanamamıştır.

6.1.2. Türkiye'nin enerji verimliliği mevzuatında konut sektörüne yönelik düzenlemeler

Türkiye’de enerji verimliliği çalışmalarının ana çerçevesi 2.5.2007 tarih ve 26510 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile çizilmiştir. Kanun, enerjinin ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması, israfın önlenmesi, çevrenin korunması ve enerji maliyetlerinin düşürülmesi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, üretimden nihai tüketime bütün aşamalarda verimliliğin artırılmasına ve toplumda bu alanda bilincin geliştirilmesine yönelik düzenlemeler belirlenmiştir. Kanun ile (mülga) Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu, yetkilendirme, eğitim ve bilinçlendirme, destekler ve bilinçlendirmeye yönelik hükümlerine yer verilmiştir. Bina sektörüne yönelik yılın dört ayından daha az kullanılan, toplam kullanım alanı 50 m²’nin altında olan ve koruma altında olan binalar kapsam dışında bırakılmıştır [195].

Kanun, bina sektörüne yönelik daha çok belirli bir inşaat alanı veya enerji tüketimine sahip kamu, ticari ve hizmet binalarına odaklanmaktadır. Konut tipi binalara ilişkin ise ısı pay ölçer kullanımı, EKB ve eko-tasarım ile etiketleme düzenlemeleri olmak üzere üç ana düzenlemeye yer verilmektedir:

- Uygulamalar bölümünde yer alan 7. maddenin birinci fıkrasının c bendinde merkezi ısıtma sistemine sahip binalarda, kontrol cihazlarının ve ısı maliyetlerinin ısı kullanım miktarına bağlı paylaşımını sağlayan sistemlerin kullanılması yükümlülüğü getirilmekte, buna aykırı davranılması durumunda projelerin ilgili merciler tarafından onaylanmayacağı hükmüne yer verilmektedir. Bu hükmün Kanunun yayımından itibaren beş yıl sonraya uygulamaya alınacağı altıncı geçici madde ile belirtilmiştir.
- 7. maddenin birinci fıkrasının d bendinde yapı projelerinde enerji kimlik belgelerinin hazırlanması yükümlülüğü getirilmiştir. EKB’lerde binanın enerji ihtiyacı, yalıtım ve soğutma sistemi ile enerji tüketimi sınıfı bulunması gereken asgari bilgiler olarak tanımlanmış ve EKB’lere ilişkin usul ve esasların hazırlanacak yönetmelik ile belirleneceği belirtilmiştir. Geçici altıncı madde ile mevcut ve yapı ruhsatı almış binalarda bu hükmün 10 yıl sonrasında uygulanacağı belirtilmiştir.
- 7. maddenin birinci fıkrasının g bendinde ise yakma tesisi ekipmanları, elektrik motorları, klima, ev aletleri ve aydınlatmaların sınıflandırılması ve asgari

verimliliklerinin belirlenmesine ilişkin usul ve esasların T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından belirleneceğine, asgari verimlilik değerleri sağlamayanların satışına izin verilmeyeceğine yer verilmektedir. Bunun için belirlenen idari para cezası ise 2022 yılı için 101.661 TL'dir.

Ayrıca mimari tasarım, ısıtma, soğutma, sıcak su, aydınlatma vb. konulardaki standartlar, asgari performans kriterleri ve denetleme süreçlerine ilişkin usul ve esasların hazırlanacak yönetmelikle belirleneceği belirtilmektedir.

Kanunun atıfta bulunduğu Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği 5.12.2008 tarih ve 27075 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. BEP Yönetmeliğinde günümüze kadar 6 adet değişiklik yapılmıştır. Yönetmelik; enerji tüketimi ile ilgili konularda bina projelerinin ve enerji kimlik belgelerinin hazırlanmasına ve uygulanmasına ilişkin standart, yöntem ve kriterlere, enerji kimlik belgesinin düzenlenmesi ile ilgili usullere, binalarda kojenerasyon ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanılmasına ve bilinçlendirme çalışmalarına yönelik düzenlemeleri kapsamaktadır. Sanayi tesislerindeki üretim faaliyeti yürüten binalar, planlanan kullanımı iki yıldan az olan binalar, kullanım alanı 50 m²'nin altında olan ve ısıtma ve soğutulmasına gerek bulunmayan binalar kapsam dışında tutulmuştur [2].

BEP Yönetmeliğine aykırı işlem yürütülmesi durumunda uygulanacak yaptırımlar İlkeler bölümünde yer alan 5. madde ile yapı ruhsatının veya yapı kullanım izin belgesinin verilmemesi olarak belirlenmiştir. Yönetmelik binalarda enerji verimliliğini tasarım aşamasından başlayarak ele almaktadır. Yönetmeliğin 7. ve 8. maddeleri bina enerji performansı açısından mimari proje tasarımı ve mimari uygulamalarına yer vererek mimari tasarımlarda enerji tüketiminin asgari seviyede tutulması amacıyla doğal ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatmadan en iyi biçimde istifade edilmesi prensibini getirmektedir. BEP Yönetmeliğinin 9. maddesi ile bina enerji tüketiminde en büyük paya sahip olan ısıtma amaçlı enerji tüketiminin sınırlandırılması amaçlanmış ve buna yönelik bina enerji ihtiyacının TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardında belirtilen sınır değerden düşük olması zorunluluğunu getirmiştir. Ayrıca, 11. madde ile yüzey sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığı 5°C'yi aşmayacak şekilde mekanik tesisatlara da yalıtım yapılması yükümlülüğünü getirilmiştir.

Kullanım alanı 2000 m²'yi aşan yeni binalarda merkezi ısıtma sistemi kullanılması zorunluluğu 13. maddenin üçüncü fıkrası ile getirilmiştir. Aynı maddenin beşinci fıkrasında bu binaların bağımsız bölümlerinde sıcaklık kontrol ekipmanları kullanılması zorunluğu, 14. madde ile de ısıtılan mahallerin 15°C'nin altına düşmemesi gerektiği hükmü getirilmiştir. Diğer taraftan, aydınlatmada verimliliğin sağlanması amacıyla da gün ışığından azami biçimde faydalanılması ve gereksiz yapay aydınlatmadan kaçınılması Yönetmeliğinin 21. maddesiyle düzenlenmiştir.

BEP Yönetmeliğinde 2022 yılında yapılan düzenleme ile (19.02.2022-31755) neredeyse sıfır enerjili bina (NSEB) tanımı yapılarak bu binaların yüksek enerji performansına sahip olduğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullandığı belirtilmiştir. Yönetmeliğin 23. maddesine göre NSEB niteliğindeki binaların asgari B sınıfı EKB performansına sahip olması ve birincil enerji ihtiyacının en az %10'unun yenilenebilir enerji kaynakları kullanılması zorunluluğu getirilmiştir. Altıncı geçici maddenin birinci fıkrası ile yenilenebilir enerji kullanım oranı 01.01.2023 tarihinden itibaren %5, 01.01.2025 tarihinden itibaren %10 olarak belirlenmiştir. Altıncı geçici maddenin ikinci fıkrası ise 01.01.2023 tarihinden itibaren 5000 m² üzeri, 01.01.2025 tarihinden itibaren 2000 m² üzeri yapı inşaat alanına sahip binaların NSEB olarak inşa edilmesini yükümlülüğünü getirmiştir.

EKB'lerde bulunması gereken bilgiler ve yetkili kuruluşlara dair hükümler BEP Yönetmeliğinin 25. ve 26. maddelerinde yer verilmiştir. EKB'ler ÇŞİDB tarafından yetkilendirilen kuruluşlarca ÇŞİDB'in BEP-TR adı verilen yazılım programı kullanılarak düzenlenmekte olup EKB'lerin geçerliliği 10 yıldır. EKB'lerde ısıtma, soğutma, iklimlendirme, aydınlatma ve sıcak su kullanımı amaçlı enerji tüketimi ve enerji türüne göre dağılımı, kullanım alanı ve kullanım amacı gibi binayla ilgili genel bilgiler ile enerji tüketim ve emisyon sınıflandırılması bilgileri sunulmaktadır. Ayrıca, EKB'si düzenlenmeyen binaya yapı kullanım izin belgesi verilmeyeceği hükmü getirilmiştir.

2010 yılında yapılan yönetmelik değişikliği ile (01.04.2010-27539) yeni binaların asgari D sınıfı EKB'ye sahip olması zorunluluğu getirilmiştir. 2017 yılında yayımlanan Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ ile yeni binaların enerji sınıfı D'den C'ye yükseltilmiştir.

Mevcut binaların da EKB'ye sahip olmaları amacıyla BEP Yönetmeliğinin 25. maddesi ile

alım, satım ve kiralama işlemlerinde EKB düzenlenmiş şartı olması aranması hükmüne yer verilmiştir. 3. Geçici Madde ile mevcut binalar için EKB düzenlenmesinin 2017 yılına kadar tamamlanması öngörülmüştür. 2017 yılında yapılan yönetmelik değişikliği (28.04.2017-30051) ile bu süre 01.01.2020 tarihine ertelenmiştir. Bununla birlikte, sadece beyanda bulunularak alım, satım ve kiralama işlemlerinin belgesiz yapılabilmesine yönelik 2019 yılında ÇŞİDB tarafından duyuru yapılmış ve uygulama esnetilmiştir.

Enerji Verimliliği Kanunu'nun 16. maddesi merkezi ısıtma sistemlerinde ısınma giderlerinin paylaştırılmasına ilişkin usul ve esasların çıkartılacak yönetmelikle belirleneceğine atıf yapmaktadır. Bu amaçla, Merkezi Isıtma Ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma Ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik 14.04.2008 tarih ve 26847 Mükerrer sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiş ve ısıtma ve sıcak su giderlerinin paylaştırılmasına ilişkin usul ve esaslar belirlenmiştir [196].

Merkezi Isıtma Ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma Ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmeliğin beşinci ve altıncı maddeleri ile enerji tüketimlerini ölçmek amacıyla mahallerin ölçüm cihazları ile donatılması zorunlu tutulmuştur. Yönetmeliğin 7. maddesine göre ortak kullanım alanlarının ısı giderlerinin bağımsız bölüm kullanıcılarına kapalı kullanım alanları oranlarında paylaştırılması gerekmektedir. Isı ölçerlerin kullanılması durumunda bağımsız bölümlerdeki her bir radyatör grubuna ısı ölçer takılarak bütün ısı ölçerlerden yapılan ölçümlerin toplamı ile tüketim hesaplanırken, ısı sayacı kullanılması durumunda ısı sayaçları referans alınmaktadır. Yönetmeliğin 8. maddesi ise toplam ısıtma giderlerinin %70'i bağımsız bölümlerin ölçülen ısı tüketimlerine göre, %30'u ortak kullanım alanları kaynaklı ısı giderleri olarak bağımsız bölümlerin kullanım alanlarına göre paylaştırılması hükmünü getirmiştir. Yönetmeliğin 12. maddesi ile yönetmelikte öngörülen şartlara uygunsuzluk tespit edilmesi durumunda yapı ruhsatı veya yapı kullanım izin belgesi verilmemesi tedbirleri öngörülmüştür. 1. Geçici Madde ile mevcut binalarda gerekli iş ve işlemlerin Enerji Verimliliği Kanunun yürürlüğe girdiği tarih itibariyle 5 yıl içerisinde yerine getirilmesi hükmüne bağlanmıştır.

Enerji Verimliliği Kanunu'nun diğer bir ikincil mevzuatı ise 27.10.2011 tarih ve 28097 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Enerji Kaynaklarının Ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik'tir. Yönetmelik geneli itibariyle

enerji yöneticisi görevlendirmekle yükümlü varlıklara¹ yönelik düzenlemelere odaklanmakla birlikte konut sektörünün enerji verimliliğine yönelik atıflar dolaylı olarak ele alınmıştır [197]. Yönetmeliğin 27. maddesinin ikinci fıkrası ile termik santral atık ısılarının bölgesel ısıtma ve soğutma amaçlı değerlendirilmesine yönelik etüt yapma yükümlülüğü, üçüncü fıkrası ile de belediyeler ve Toplu Konut İdaresi'nin yeni yerleşim alanlarında varsa termik santral atık ısını kullanarak bölgesel ısıtma ve soğutma yapması yükümlülüğü getirilmiştir. Fakat Soma bölgesel ısıtma uygulaması dışında bu alanda önemli bir ilerleme sağlanamamıştır.

Türkiye, Gümrük Birliği Anlaşması kapsamında Avrupa Birliği müktesebatında yer alan Malların Serbest Dolaşımı başlığı altındaki düzenlemeleri uyumlaştırmayı taahhüt etmiştir. Bu çerçevede, eko-tasarım yönetmeliği olarak da bilinen ve enerji tüketen ekipmanlara yönelik enerji verimliliği kriterleri getiren Enerji ile İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik 07.10.2010 tarihli ve 27722 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanmıştır. Nihai kullanıcıların bilgilendirilmesi ve bu sayede enerji verimli ürünleri tercih etmelerini sağlamak üzere Ürünlerin Enerji ve Diğer Kaynak Tüketimlerinin Etiketleme ve Standart Ürün Bilgileri Yoluyla Gösterilmesi Hakkında Yönetmelik 02.12.2011 tarihli ve 28130 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Enerji tüketen ekipmanların verimliliğinde sağlanan ilerlemeler sonucunda mevcut etiketleme düzenlemelerinin yetersiz kalması nedeniyle 2017 yılında AB ilgili çerçeve yönetmeliğini revize etmiştir. Türkiye de enerji etiketlemesi çerçeve yönetmeliğini 2021 yılında 3584 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı ile uyumlaştırmış ve Ürünlerin Enerji ve Diğer Kaynak Tüketimlerinin Etiketleme ve Standart Ürün Bilgileri Yoluyla Gösterilmesi Hakkında Yönetmelik 02.03.2021 tarihli ve 31411 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanmış ve böylelikle 2011 yılında yürürlüğe girmiş olan çerçeve yönetmelik tadil edilmiştir.

Konutlarda kullanılan ev aletleri dahil olmak üzere elektrik-elektronik sektöründe yer alan ürünlerin çevreye duyarlı tasarım gereklilikleri ve enerji etiketlemesi ile ilgili tebliğler T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından tebliğ olarak uyumlaştırılmaktadır. Bu kapsamda uyumlaştırılan tebliğlerin listesi Çizelge 6.4.-6.5.'te sunulmaktadır.

¹ Yükümlü varlıklar endüstriyel işletmeleri, binaları, elektrik üretim tesislerini ve organize sanayi bölgelerini kapsamaktadır. Yükümlü olma durumu toplam inşaat alanı, yıllık enerji tüketimi, kurulu güç veya işletme sayısı gibi kıstaslar üzerinden belirlenmektedir.

Çizelge 6.4. Türk mevzuatında yer alan eko-tasarım tebliğleri

Mevzuat Adı	İlgili AB Düzenlemesi	R.G. Tarihi ve Sayısı
Enerji İle İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik	2009/125/EC	07.10.2010/27722
Ev ve Büro Tipi Elektrikli ve Elektronik Cihazların Hazır Bekleme ve Kapalı Moddaki Elektrik Enerjisi Tüketimi ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ Değişiklik Değişiklik	EC 1275/2008	27.08.2011/28038 22.08.2012/28389 31.12.2015/29579
Basit Set Üstü Sinyal Dönüştürücülerin Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ	EC 107/2009	27.08.2011/28038
Doğrusal Olmayan Ev Tipi Lambalar İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ Değişiklik	EC 244/2009	27.08.2011/28038 17/5/2007-30069
Entegre Balastsız Flüoresan Lambaların, Yüksek Yoğunluklu Boşalmalı Lambalar ve Bu Lambaları Çalıştırabilen Balastlar ve Aydınlatma Armatürleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ Değişiklik	EC 245/2009	27.08.2011/28038 17/5/2007-30069
Harici Güç Kaynaklarının Yüksüz Durumdaki Enerji Tüketimi ve Ortalama Aktif Verimi İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ	EC 278/2009	27.08.2011/28038
Bağımsız ve Ürünlere Entegre Salmastrasız Devirdaim Pompaları İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (EC 641/2009) Değişiklik Değişiklik Değişiklik	EC 641/2009	23.09.2011/28063 25.12.2012/28508 08.01.2015/29230 29.07.2015/29429
Televizyonlar İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ Değişiklik	EC 642/2009	23.09.2011/28063 31.12.2015/29579
Ev Tipi Soğutma Cihazları İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ	EC 643/2009	23.09.2011/28063
Ev Tipi Çamaşır Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ Değişiklik	EU 1015/2010	23.09.2011/28063 15.05.2013/28648
Ev Tipi Bulaşık Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ	EU 1016/2010	23.09.2011/28063
Elektrik Motorları ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ Değişiklik Değişiklik	EC 640/2009 EU/1781/ 2019	07.02.2012/28197 13.3.2015/29294 28.04.2021/31468
Ev Tipi Çamaşır Kurutma Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ	EC 932/2012	17.07.2013/28710
Klimalar Ve Vantilatörler İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ	EC 206/2012	19.07.2013/28712
Elektrikli Süpürgeler İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ	EU/666/2013	14.01.2015/29236
Ev Tipi Fırınlr, Ocaklar Ve Aspiratörler İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ	EU 66/2014	14.01.2015/29236
Bilgisayarlar Ve Bilgisayar Sunucuları İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ	EU 617/2013	13.02.2015/29266
Doğrusal Lambalar, Işık Yayan Diyot Lambalar Ve İlgili Ekipmana İlişkin Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ Değişiklik	EU/1194/ 2012	13.02.2015/29266 17/5/2007-30069

Çizelge 6.5. Türk mevzuatında yer alan enerji etiketlemesi tebliğleri

Mevzuat Adı	İlgili AB Düzenlemesi	R.G. Tarihi ve Sayısı
Ürünlerin Enerji Ve Diğer Kaynak Tüketimlerinin Etiketleme Ve Standart Ürün Bilgileri Yoluyla Gösterilmesi Hakkında Yönetmelik Değişiklik	2010/30/EU EU 1369/2017	02.12.2011/28130 02.03.2021/31411
Ev Tipi Bulaşık Makinelerinin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ Değişiklik	EU 1059/2010 EU 2017/2019	22.06.2012/28331 16.12.2015/29564 25.03.2021/31434
Ev Tipi Soğutma Cihazlarının Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ Değişiklik	EU 1060/2010 EU 2016/2019	22.06.2012/28331 16.12.2015/29564 25.03.2021/31434
Ev Tipi Çamaşır Makinelerinin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ Değişiklik	EU 1061/2010 EU 2014/2019	22.06.2012/28331 15.05.2013/28648 16.12.2015/29564 25.03.2021/31434
Televizyonların Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ Değişiklik	EU 1062/2010 EU 2013/2019	22.06.2012/28331 16.12.2015/29564 25.03.2021/31434
Ev Tipi Çamaşır Kurutma Makinelerinin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ Değişiklik	EC 392/2012 EU 2014/2019	15.05.2013/28648 16.12.2015/29564 25.03.2021/31434
Klimaların Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ Değişiklik	EU 626/2011	24.12.2013/28861 16.12.2015/29564
Elektrikli Süpürgelerin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ Değişiklik	EU/665/2013	14.01.2015/29236 16.12.2015/29564
Ev Tipi Fırınlardan Ve Aspiratörlerin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ	EU/65/2014	14.01.2015/29236

6.2. AB'nin Enerji Verimliliği Mevzuatında Yer Alan Konut Sektörüne Yönelik Düzenlemeleri ve Üye Ülkelerin Enerji ve İklim Eylem Planlarının İncelenmesi

6.2.1. AB enerji verimliliği mevzuatında konut sektörüne yönelik düzenlemeler

Türkiye, AB Katılım Müzakereleri çerçevesinde AB müktesebatının kendi iç hukukuna aktarmasına yönelik çalışmalarını sürdürmektedir. Bugüne kadar toplam 35 fasıldan 16'sı açılmış olmakla birlikte 2009 yılında Güney Kıbrıs Rum Yönetimi enerji faslı ile birlikte diğer başka beş faslı da tek taraflı bloke etmiştir [198]. Diğer taraftan, AB'nin yıllık olarak yayımladığı Ülke Raporu'nda enerji sektörüne yönelik ilerlemelere de yer verilmektedir.

Enerji faslı altında yer alan enerji verimliliği başlığında Enerji Verimliliği Direktifi (2012/27/AB sayılı Direktifi tadil eden, 11 Aralık 2018 tarihli ve (AB) 2018/2002 sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi), Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2010/31/AB sayılı Direktifi tadil eden, 30 Mayıs 2018 tarihli ve (AB) 2018/844 sayılı Direktif), Enerji Etiketlemesi Tüzüğü (2010/30/AB sayılı Direktifi tadil eden, 4 Temmuz 2017 tarihli ve (AB) 2017/1369 sayılı Tüzük) ve Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine İlişkin Direktif (21 Ekim 2009 tarihli ve 2009/125/AT sayılı Avrupa Parlamentosu ve

Konsey Direktifi) olmak üzere dört ana mevzuat bulunmaktadır. Bölüm 6.1.2.'de sunulmakta olduğu üzere, Gümrük Birliği Anlaşması kapsamında Enerji Etiketlemesi Tüzüğü ve Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine İlişkin Direktifi kapsayan eko-tasarım ve etiketleme mevzuatı AB'deki mevzuat düzenlemelerine paralel olarak uyumlaştırılmaktadır.

AB'nin 2012 yılında yayımlanan Enerji Verimliliği Direktifi (EED) ile 2020 yılında 1.842 mtep olması beklenen birincil enerji tüketiminde %20 enerji verimliliği sağlanması, böylelikle tüketimin 1.483 mtep'i aşmaması hedeflenmiştir [199]. EED ile üye ülkelerin enerji verimliliğine yönelik hedefler belirlemesi, bina stokunun yenilenmesine yönelik uzun dönemli stratejilerin belirlenmesi, kamu binalarının yılda %3 oranında yenilenerek öncü rol oynaması, kamu satın alımlarında enerji verimliliğinin önceliklendirilmesi, enerji tedarik ve dağıtım şirketlerine enerji verimliliği yükümlülüğü getirilerek nihai kullanıcılarda enerji tasarrufu yapma yükümlülüğü getiren enerji verimliliği yükümlülük sisteminin kurulması, enerji etütleri ve yönetim sistemlerinin uygulanması, akıllı sayaçların yaygınlaştırılması, tüketicinin enerji tüketim verilerine kolay erişebilmelerine yönelik düzenlemeler yapılması, tüketici bilinçlendirme çalışmaları, verimli ısıtma ve soğutmanın yaygınlaştırılması, enerjinin üretiminde, iletiminde ve dağıtımında verimliliğin artırılması, yeterlilik, akreditasyon ve sertifikasyon sistemleri, enerji hizmet piyasasının geliştirilmesi ve enerji verimliliğinde ulusal fon kurulması konularında düzenlemeler getirilmiştir. Ayrıca, EED ile üye ülkeler her üç yılda bir enerji verimliliği eylem planlarını hazırlamakla ve bina stoklarının yenilenmesine yönelik uzun dönemli stratejilerini belirlemekle yükümlü tutulmuştur.

Enerji Verimliliği Direktifinde 2018 yılında yapılan tadil ile 2030 yılına kadar 1.887 mtep olması beklenen birincil enerji tüketiminde %32,5 enerji verimliliği sağlanarak tüketimin 1.273 mtep ile sınırlandırılması hedeflenmiştir [200]. Daha sonra bu hedef, AB Yeşil Mutabakatı "Fit for 55 Paketi" kapsamında 1.023 MTEP değerine düşürülmüştür [201]. Enerji Verimliliği Direktifinde yapılan revizyon ile üye ülkelerin enerji verimliliği hedeflerini AB'nin 2030 hedefleriyle uyumlu olarak güncellemeleri, enerji verimliliği yükümlülük sisteminin sıkılaştırılması, ısıtma, soğutma ve sıcak suda giderlerin paylaşılması, uzaktan okuma ve enerji faturalarında bilgilendirmeye yönelik konular düzenlenmiştir.

Avrupa Komisyonu'nun 2019 Türkiye Raporu'nda Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nın Enerji Verimliliği Direktifi ile büyük ölçüde uyumlu olduğu, bununla birlikte Enerji Verimliliği Kanunu'nun gözden geçirilmesi ve Binalarda Enerji Performans Direktifi ile uyum sağlanması gerektiği belirtilmektedir [202]. Enerji Verimliliği Direktifi'nde yer alan bina stokunun yenilenmesine yönelik uzun dönemli stratejilerin belirlenmesi, enerji verimliliği yükümlülük sisteminin kurulması ve enerji verimliliğinde ulusal fon kurulması konularındaki hükümlere ilişkin henüz uyumlaştırma gerçekleştirilmemiştir.

Diğer taraftan, AB ilk iklim nötr kıta olma hedefi doğrultusunda döngüsel ekonomi, dijitalleşme, karbonsuzlaşma, temiz ve güvenli enerji arzı hedeflerini içeren Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) ile uzun dönemli yol haritasını 11 Aralık 2021 tarihinde ilan etmiştir [203]. AYM kapsamında Avrupa Komisyonu'nun yayımladığı stratejilerden biri de 14 Ekim 2020 tarihinde yayımlanan Avrupa için Yenileme Dalgası Stratejisidir. Yenileme Dalgası Stratejisi ile AB'deki mevcut bina stokunun %85'ini temsil eden 220 milyondan fazla yapının 20 yaşından büyük ve enerji verimliliğinin düşük olduğu, başlatılacak yenileme dalgası ile 2030 yılına kadar yenileme oranının en az iki katına çıkartılması ve böylelikle 35 milyon yapının yenilenerek ilave 160 bin yeşil istihdamın oluşturulması hedeflenmiştir [204]. Ayrıca, 16 Eylül 2020 tarihinde Avrupa Komisyonu Başkanı Ursula von der Leyen tarafından duyurulan Yeni Avrupa Bauhaus Girişimi ile sürdürülebilir, estetik ve kapsayıcı (uygun fiyatlı ve erişilebilir olan) üç ana değer çerçevesinde yaşam alanlarının oluşturulması ve bunun sağlanması için vatandaşların, uzmanların, kamunun ve özel sektörün bir araya getirilmesi amaçlanmıştır [205].

2010 yılında yayımlanan Binalarda Enerji Performansı Direktifi (BEPD) ile Avrupa Birliği'nin 2020 yılı hedefleri doğrultusunda enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı yüksek bina stokunun oluşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda binalarda enerji performansının geliştirilmesi amacıyla;

- Binaların enerji performansının hesaplanmasına yönelik yöntemin uyumlaştırılması,
- Binaların ekonomik ömürleri dikkate alınarak maliyet optimum seviyelerin hesaplanması,
- Yeni binaların minimum enerji performansı gerekliliklerini karşılamalarına ilişkin gerekli tedbirlerin alınması,

- Kapsamlı yenileme yapılacak mevcut binaların minimum enerji performans gerekliliklerini karşılamaları için gerekli tedbirlerin alınması ve akıllı ölçüm sistemlerinin yaygınlaştırılmasının teşvik edilmesi,
- 2019 yılı itibariyle kamu binalarının, 2021 yılı itibariyle bütün yeni binaların neredeyse sıfır enerji bina olarak inşa edilmesi, neredeyse sıfır enerjili binaların sayısının artması için ulusal planların oluşturulması ve 2013 yılı itibariyle her 3 yılda bir ilerleme raporlarının yayımlanması,
- Neredeyse sıfır enerjili binaların yaygınlaştırılmasına yönelik finansal teşvikler dahil politik enstrümanları uygulamaya alınması ve Avrupa Komisyonu'na her üç yılda bir bilgi verilmesi ve enerji verimliliği eylem planlarına eklenmesi,
- Binalarda enerji performansı sertifikası uygulanması,
- Isıtma ve soğutma sistemlerinin kontrollerinin yetkili veya sertifikalandırılmış kurum veya kuruluşlarca yapılması ile ilgili hükümlere yer verilmiştir [206].

2018 yılında BEPD'te yapılan tadil ile 2050 yılına kadar bina stokunun yüksek verimli ve karbondan arındırılması için ulusal bina stokunun yenilenmesi ve bu amaçla uzun dönemli yenileme stratejisinin oluşturulması ve böylelikle mevcut binaların maliyet etkin dönüşümü ile neredeyse sıfır enerjili binalara dönüşümünün sağlanmasına yönelik düzenleme yapılmıştır [207]. Tadil edilen BEPD'te ayrıca uzun dönemli yenileme stratejisine ulaşılmasında üye devletlerin ölçülebilir göstergeleri olan eylemleri içeren ve 2030, 2040 ve 2050 yılları için dönüm noktalarının belirtildiği yol haritasını belirlemelerine, bunun için gerekli yatırımların harekete geçirilmesine, yeni binaların minimum enerji performansı gerekliliklerine göre inşa edilmesinin garanti altına alınmasına ve inşaat aşamasında yüksek verimli alternatif sistemlerin teknik, çevresel ve ekonomik fizibilitesinin yapılmasına, mümkün olması durumunda da bunların dikkate alınmasına, yeni binalarda teknik olarak uygun ve maliyet etkin olması durumunda her bir oda için sıcaklık kontrol ekipmanlarının uygulanmasına, konut dışı yeni yapılacak veya kapsamlı yenileme geçirecek ve en az on park alanı olan binalarda en az bir elektrikli araç şarj ünitesinin kurulmasına, konut tipi binalarda ise park alanının elektrikli şarj ünitesinin kurulumu için gerekli altyapının hazır hale getirilmesine ilişkin hükümlere yer verilmiştir.

Avrupa Komisyonu tarafından 2021 yılında BEPD'nin revize edilmesi önerisi sunulmuş ve minimum enerji kimlik belgelerinin iyileştirilmesi, sıfır emisyonlu binalar için daha iddialı

hedeflerin belirlenmesi, uzun dönemli yenilenme stratejilerinin ulusal bina yenileme stratejilerine dönüştürülmesi ve bina modernizasyonunda enerji sistemlerine entegrasyonunun güçlendirilmesi amaçlanmıştır [208].

Avrupa Komisyonu'nun 2021 Türkiye Raporu'nda Türkiye'nin mevzuata uyum konusunda ilerleme kaydetmiş olduğu belirtilmekte, bununla birlikte mevcut politikaların devamı ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yönelik çekincelere yer verilerek ulusal enerji verimliliği finansman mekanizmasının kurulmamış olduğu belirtilmektedir [209]. Konut sektöründe enerji verimliliğine ilişkin hükümlerin uyumlaştırılmasına bakıldığında Enerji Verimliliği Direktifi ve Binalarda Enerji Performansı Direktifinin ilgili hükümlerinin Türkiye'nin enerji verimliliği mevzuatı arasında önemli bir açıklığın bulunduğu görülmektedir. EED ve BEPD ile bina stokunun yüksek verimli ve karbondan arındırılmış olarak yenilenmesi amacı doğrultusunda üye ülkelerin uzun dönemli stratejilerini oluşturulması yükümlülüğü Türk mevzuatında henüz yer edinmemiştir. EED ile yenileme çalışmalarında kamu binalarının öncü rol oynamasına işaret edilmiş ve yılda %3 oranında yenileme yapılması yükümlülüğü getirilmiştir. Türkiye'de ise kamu binalarında getirilen enerji tasarrufu hedefi daha mütevazı ölçekte kalmış, enerji yöneticisi görevlendirmekle yükümlü olan belirli büyüklükteki kamu binaları kapsanarak 2020-2023 döneminde gerçekleştirilmek üzere %15 tasarruf hedefi getirilmiştir.

EED ile getirilen bir diğer düzenlemeler elektrik, doğal gaz, ısıtma ve soğutma enerjisinin ölçülmesinde akıllı sayaçların yaygınlaştırılması, tüketicinin enerji tüketim verilerine kolay erişebilmelerine yönelik düzenlemeler yapılması ve tüketici bilinçlendirme çalışmalarının yürütülmesidir. UEVEP E3. Tüketicie Kıyaslanabilir ve Daha Detaylı Bir Fatura Bilgisinin Sunulması, Ölçüm Bilgisinin Akıllı Yönetimi için Enerji Veri Platformunun Oluşturulması eylemi kapsamında EPDK tarafından elektrik ve doğal gaz faturalarında düzenlemeler yapılmış olmakla birlikte, jeotermal ve atık ısı gibi diğer enerji kaynaklarından elde edilen ısıtma ve soğutma enerjisinin faturalandırılmasına yönelik ortak bir yöntem ve düzenleme bulunmamaktadır. Bilinçlendirme çalışmaları ise farklı kamu kurum ve kuruluşları tarafından UEVEP Y8. Farkındalık, Eğitim ve Bilinçlendirme Faaliyetlerinin Yürütülmesi eylemi doğrultusunda yürütülmektedir. Akıllı sayaçların yaygınlaştırılmasına yönelik olarak ise UEVEP'te E4. Akıllı Sayaçların Yaygınlaştırılması eylemi bulunmakta ve 2020 yılı itibariyle uygulamaya başlanması öngörülmektedir. EPDK destekli Milli Akıllı Sayaç Sistemleri Projesi başlatılmış olup 21 elektrik dağıtım şirketinin katılımıyla prototip

ürünlerin üretilmesi ve pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır [210]. Bununla birlikte, UEVEP E4. eyleminde öngörüldüğü gibi AB müktesebatında belirlenen fayda-maliyet analizlerinin gerçekleştirilmesine ve diğer enerji kullanımlarında da akıllı sayaçların yaygınlaştırılmasına yönelik kamuya açıklanan bir bilgi bulunmamaktadır.

EED ile ısıtma ve soğutma talebinin verimli olarak karşılanması amacıyla düzenlemeler yapılmış, bu kapsamda ısıtma ve soğutma seçeneklerinin ve kojenerasyon sistemlerinin analiz edilmesi, maliyet etkin olan çözümlerin tespit edilerek potansiyelin hayata geçirilmesi öngörülmüştür. UEVEP E1. Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma-Soğutma Sistemlerinin Potansiyelinin Belirlenmesi ve Yol Haritasının Hazırlanması eylemi ile ilgili düzenlemenin uyumlaştırılarak potansiyel belirleme, fayda-maliyet analizleri ve mevzuat geliştirme çalışmalarının yapılması öngörülmüştür. ETKB ile Danimarka Enerji, Kamu Hizmetleri ve İklim Bakanlığı arasında yürütülen Düşük Karbonlu ve Verimli Isıtma ve Soğutma Proje kapsamında Türkiye'nin ısıtma ve soğutma talebi belirlenerek coğrafi bilgi sistemleri aracılığıyla ısı talep haritalandırması çalışması ve farklı iklim bölgeleri ve nüfus dağılımları dikkate alınarak ısıtma ve soğutma arzına yönelik fayda-maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir [211]. Düzenleme ile amaçlanan kazanımların sağlanabilmesi için gerçekleştirilmiş olan analizlerin devamında kojenerasyon ve verimli ısıtma ve soğutma altyapılarının teşvik edici düzenlemelerin uygulamaya alınması gerekmektedir.

Avrupa Komisyonu'nun Türkiye İlerleme Raporlarında sıklıkla enerji verimliliğinde bir finansman mekanizması eksikliğine atıf yapılmaktadır. UEVEP Y2. Ulusal Enerji Verimliliği Finansman Mekanizmasının Geliştirilmesi ve Y11. Enerji Dağıtım ve Perakende Şirketlerine Yönelik Enerji Verimliliği Yükümlülük Programı eylemleri ile enerji verimliliği çalışmalarının finansal olarak teşvik edilmesini öngören düzenlemelerin yapılacağı belirtilmiş olsa da Türkiye'de bugüne kadar bu alanda bir ilerleme kaydedilememiştir. Bu tür mekanizmaların uygulanmasının konut sektörünün enerji verimliliğinin artırılmasında hanehalkının ihtiyaç duyduğu teşvikin sağlanmasında ve enerji yoksulluğu ile mücadelede önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

BEPD ile getirilen enerji performansının hesaplanmasına yönelik yöntemin ve enerji performansı sertifikasının uygulanmasına, yeni binalar için minimum enerji performansı gerekliliklerin tanımlanmasına, neredeyse sıfır enerji binaların yaygınlaştırılmasına ve ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrollerine yönelik düzenlemelerde önemli ölçüde

uyumlaştırma sağlanmıştır.

Binalarda enerji performansı sertifikasının uygulanmasına, yeni binalara asgari enerji performansı gerekliliklerinin tanımlanmasına ve ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrollerine yönelik hükümler ve bu alanda yürütülen çalışmalar Bölüm 6.1.-2'de açıklandığı üzere Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Merkezi Isıtma Ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma Ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik ve UEVEP B7. Mevcut Binaların Enerji Kimlik Belgesi Sahiplik Oranının Artırılması eylemi çerçevesinde yürütülmektedir.

BEP Yönetmeliğinde 2022 yılında yapılan değişiklik ile neredeyse sıfır enerjili bina tanımı yapılmıştır. Bununla birlikte, NSEB'in 5000 m² üzeri binaları kapsamı nedeniyle konut tipi binaların pratikte kapsam dışında kaldığı söylenebilir. Ayrıca, UEVEP B8. Sürdürülebilir Yeşil Binalar ile Yerleşmelerin Belgelendirilmesinin Özendirilmesi eylemi ile enerji verimliliği, doğal malzeme kullanımı, atık yönetimi ve çevresel etkileri kapsayan yeşil sertifika uygulamalarının yaygınlaştırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, ÇŞİDB tarafından Ulusal Yeşil Sertifika Bilgi Sistemi hazırlanarak yetkilendirme çalışmaları sonrasında sistem uygulamaya alınacaktır. Bu çalışmalara ek olarak, UEVEP B11. Binalarda Yenilenebilir Enerji ve Kojenerasyon Sistemlerinin Kullanımının Yaygınlaştırılması eylemi ile sürdürülebilir çevre dostu binaların teşvik edilmesi amaçlanmış ve NSEB düzenlemesi ile yeni yapılacak binaların birincil enerji taleplerinin %5'inin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması şartı getirilmiştir.

2018 yılında BEPD'te yapılan tadil ile otoparklarda şarj ünitelerinin uygulanmasına yönelik düzenlemelere paralel olarak Otopark Yönetmeliği de 2021 yılında revize edilmiş ve otopark adedi 20 ve üzeri olan yeni yapılacak yapılarda otopark alanlarının %5'inin elektrikli araçlara uygun olarak yapılması zorunluluğu getirilmiştir [212].

Bununla birlikte, binaların ekonomik ömürleri dikkate alınarak maliyet optimum seviyelerin hesaplanması, konut sektöründe akıllı ölçüm sistemlerinin yaygınlaştırılması, ulusal bina stokunun yenilenmesine yönelik uzun dönemli yenileme stratejisinin oluşturulması, neredeyse sıfır enerjili binaların sayısının artması için ulusal planların oluşturulması, bu amaçlar için gerekli yatırımların ve finansal araçların harekete geçirilmesi konularında henüz uyumlaştırma gerçekleştirilememiştir.

6.2.2. Üye ülkelerin enerji ve iklim eylem planlarının incelenmesi

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin AB 2018/1999 sayılı düzenlemesi ile üye ülkelerin ulusal enerji ve iklim eylem planı hazırlamaları ve üye ülkelerin 2021-2030 döneminde enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, emisyon azaltımı, entekonneksiyon ve araştırma-geliştirme konularında uygulamaya alacağı eylemleri belirlemeleri yükümlülüğü getirilmiştir [213]. Bu bölümde, 27 AB üye ülkesinin Avrupa Komisyonuna sunduğu ulusal enerji ve iklim eylem planlarındaki (UEİEP) konut sektörüne yönelik eylemler analiz edilerek konut sektöründe enerji verimliliğine yönelik belirlenen eylemler incelenmektedir.

Üye ülkelerin eylem planlarındaki enerji verimliliğine yönelik eylemlerinin öncelikle EED ve BEPD düzenlemeleriyle uyumlu ve ilgili olması gerekmektedir. Üye ülkelerin duyurdukları UEİEP'lerine bakıldığında enerji verimliliğinin iyileştirilmesine yönelik belirlenen eylemlerin finansal, mali ve yasal düzenlemelerin bir karışımı olduğu görülmektedir.

UEİEP'lerdeki bazı eylemler belirli bir enerji verimliliği uygulamasını önceliklendirmektedir. Belirlenen kriterleri sağlayamayan katı yakıtlı kazanların yasaklanması (Bulgaristan), fuel-oil yakıtlı kazanların satışı ve yeni binalarda kullanımının yasaklanması (Avusturya, Slovenya), fuel-oil yakıtlı kazanların ısı pompalarıyla değişimi (Danimarka) ve kazanlarda verimliliğin artırılmasına yönelik teşvikler uygulanması (Litvanya) bu tür eylemlere örnek olarak gösterilebilir.

Enerji verimliliği uygulamalarına yönelik hibe destekleri, düşük faizli kredi programları, KDV ve diğer vergi indirimleri üye ülkelerce finansal ve mali teşvikler olarak sıklıkla başvurulmaktadır. Fransa, İtalya, Yunanistan gibi bazı üye ülkeler enerji dağıtım ve perakende şirketlerine getirdikleri enerji verimliliği yükümlülük programı ile de enerji verimliliği çalışmalarını teşvik etmektedir. Kırılgan grupların korunmasını ve enerji yoksulluğu ile mücadele edilmesini amaçlayan belirli bir alana odaklanan teşvik programların uygulanması da öngörülmüştür (Romanya). Ayrıca, verimsiz ev aletlerinin dönüşümü amaçlı teşvik programlarının oluşturulması da eylem planlarında yer almaktadır (Slovakya, İspanya).

Bazı üye ülkeler yenilikçi yasal düzenlemeler ile enerji verimliliğinin teşvik edilmesini

amaçlamaktadır. Örneğin, düzenleme ve standartlara uyum sağlanmasına yönelik doğrulama çalışmalarının güçlendirilmesi (İtalya), yapı kullanım izni aşamasında yüksek verimli alternatif enerji ve ısı arz kaynaklarının incelenmesine yönelik analiz yükümlülüğü (Polonya) ve yüksek enerji performansına sahip binalara daha yüksek inşaat alanına sahip yapı izni verilmesi (GKRK) bu türdeki eylemlerdendir.

Bilinçlendirme ve farkındalık artırma çalışmaları ile binalarda enerji verimliliği uygulamalarının teşvik edilmesi birçok üye ülke tarafından benimsenen ortak eylemlerdendir. Bu amaçla, UEİEP’lerde tek durak hizmet anlayışı ile tüketicilere tavsiye ve yönlendirmelerin yapılması (Belçika), sürdürülebilir bina bilgi merkezi ve ulusal yenileme merkezi aracılığıyla bilinçlendirme çalışmalarının yürütülmesi (İsveç) ve bağımsız danışmanlık hizmeti veren firmalar tarafından konut tipi binalarda yenileme çalışmalarına yönelik yerinde inceleme ve danışmanlık hizmetlerinin verilmesi (Almanya) gibi eylemlere de yer verilmiştir. Üye ülkelerin UEİEP’lerinde konut sektöründe enerji verimliliğinin geliştirilmesine yönelik 2021-2030 döneminde uygulamaya almayı planladığı başlıca eylemler Çizelge 6.6.’da sunulmaktadır.

Çizelge 6.6. AB üye ülkelerinin UEİEP’lerinde konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik öngördüğü eylemler [214]

AB Üye Ülkesi	Konut Sektöründe Öngörülen Eylemler
Avusturya	- Yeni binalarda ısıtma, sıcak su ve soğutma amaçlı sıvı fosil yakıt kullanılmaması, sıvı fosil yakıtlı kazan kullanılan mevcut binaların yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ve verimli bölgesel ısıtma sistemlerine geçişlerinin teşvik edilmesi - Isıtma ve sıcak su amaçlı doğal gaz kullanımının bölgesel ısıtma şebekesinin bulunmadığı veya istisnai duruma sahip yerlerle sınırlandırılması, uzun vadede doğal gazın yenilenebilir kaynaklı gazlarla ikame edilmesi - Yenileme oranının iki katına çıkartılması, bu amaçlı finansal ve mali teşviklerin tanımlanması - Bilinçlendirme ve farkındalık artırma faaliyetleri
Belçika	- Yıkılıp yeniden inşa edilen binalardan KDV’nin %6 uygulanması - Fuel-oil yakıtlı kazanların her yıl, doğal gaz yakıtlı kazanların her iki yılda bir denetlenmesi, yeni kurulan kazan sistemlerinin optimum çalışma koşullarında işletilmesine yönelik denetlenmesi - Yalıtım önceliklendirilmek üzere ısıtma talebini azaltan uygulamalara finansal ve mali teşvikler sağlanması - Tek durak hizmet anlayışı ile tüketicilere tavsiye ve yönlendirmelerin yapılması - Yeşil vergilendirme sisteminin geliştirilmesi

Çizelge 6.6. (devam) AB üye ülkelerinin UEİEP'lerinde konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik öngördüğü eylemler [214]

AB Üye Ülkesi	Konut Sektöründe Öngörülen Eylemler
Bulgaristan	• Ulusal Enerji Verimliliği ve Çok-Aileli Konut Binası Programı ile hibe destekleri • Konutlarda Enerji Verimliliği Kredi Programı • Belirlenen kriterleri sağlamayan katı yakıtlı ısıtma ekipmanlarının kademeli olarak değişimi
Hırvatistan	• Yeni binalarda ve kapsamlı yenilemelerde neredeyse sıfır enerji binaların teşvik edilmesi, bilinçlendirme çalışmalarının yürütülmesi • Enerji yenileme programı ile mevcut binalarda enerji verimliliğinin teşviki
GKRK	• A sınıfı enerji performansına sahip binalara %5 oranında daha fazla yapı izni verilmesi • AB Yapısal Fonlar ve Uyum Fonu aracılığıyla bina yenilemelerinin teşvik edilmesi
Çekya	• Mevcut binaların yenilenmesine yönelik finansal teşvikler • Neredeyse sıfır enerjili binaların yaygınlaşmasına yönelik yasal düzenlemelerin yapılması • Enerji Danışmanlığı ve Bilgi Merkezleri ile bilinçlendirme ve danışmanlık hizmetlerinin sunulması
Danimarka	• Binalarda enerji verimliliği uygulamalarına ve bölgesel ısıtma ve gaz şebekesi dışında yer alan fuel-oil yakıtlı kazanların ısı pompaları değişimine yönelik teşvikler verilmesi
Estonya	• Bölgesel ısıtma altyapısına yönelik (boru çapının düşürülmesi, boru hatlarının yalıtımı gibi) teşvikler verilmesi • Mevcut binaların yenilenmesine yönelik mevcut teşvik programlarının sürdürülmesi
Finlandiya	• Yeni yapılacak binaların enerji verimli olarak inşa edilmesine yönelik proje geliştiricilere teşvikler verilmesi • Isıtmada fuel-oil yakıtlı kazanların kullanımdan kaldırılması • Yeni yapılacak binaların neredeyse sıfır enerjili bina gerekliliklerine göre inşa edilmesi
Fransa	• Bina yenileme planının uygulanması, en düşük enerji performansına sahip (F ve G sınıfı) mevcut binaların dönüşümünün sağlanması • Emlak uzmanları, STK'lar, yerel kurumlar ve enerji şirketleri ile işbirliği yapılarak hanehalkının farkındalığının artırılması, finansman imkanları hakkında bilgilendirilmesi • Yenilemeye yönelik uygulamalarda KDV oranının %5,5 olarak devam edilmesi
Almanya	• Binaların yenilenmesinde enerji kimlik belgelerinin rol alacak şekilde yeniden düzenlenmesi, sosyal konutlara yönelik eko-kredilerin verilmesi • Yenilenebilir kaynaklı ısı üretiminde KDV oranının %5,5 olarak devam edilmesi • Bağımsız danışmanlık hizmeti veren firmaların konut tipi binalarda yenileme çalışmalarına yönelik yerinde inceleme ve danışmanlık hizmeti sağlamaları ve bina sahiplerine yol haritaların çıkarmaları için teşvik verilmesi • CO₂ Bina Modernizasyon Programı kapsamında mevcut binaların yenilenmesine ve yüksek verimli yeni binalara yönelik teşvik verilmesi • Binalarda yakıt hücreli ısıtma sistemlerine, verimsiz ısıtma ve sıcak su sirkülasyon pompalarının dönüşümüne, mevcut ısıtma sistemlerinin optimizasyonuna yönelik ilave teşvikler sağlanması

Çizelge 6.6. (devam) AB üye ülkelerinin UEİEP'lerinde konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik öngördüğü eylemler [214]

AB Üye Ülkesi	Konut Sektöründe Öngörülen Eylemler
Yunanistan	- Mevcut binaların yenilenmesine yönelik teşvikler uygulanması - Yeni binalara yönelik yeni enerji performans gerekliliklerinin uygulanması ve neredeyse sıfır enerji binaların yaygınlaştırılmasına yönelik düzenlemeler yapılması - Yeni yapılacak veya kapsamlı iyileştirme yapılacak binalarda zorunlu güneş ısı sistemlerinin uygulanması
Macaristan	- Enerji verimliliği yatırımlarına vergi avantajı sağlanması - ESCO türü finansman çözümlerinin teşvik edilmesi
İrlanda	- Yeni yapılacak ve kapsamlı yenileme geçirecek mevcut binaların neredeyse sıfır enerji bina olarak inşa edilmesi - Daha İyi Enerji Programı ile enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımına yönelik hibeler verilmesi, yenileme uygulamalarına yönelik vergi indirimlerinin yapılması - Bilinçlendirme çalışmalarının gerçekleştirilmesi, kütüphanelerde enerji kullanımı ve tasarrufu ile ilgili materyallerin yaygınlaştırılması - Sosyal konut stokunun yenileme programı dahilinde verimli hale getirilmesi
İtalya	- Enerji verimliliği yatırımlarına yönelik vergi indirimleri uygulanması - Yeni ve kapsamlı yenileme gerçekleştirecek binalara yönelik yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edilmesi zorunluluğu - Düzenleyici çerçevenin güçlendirilmesi - Yüksek verimli enerji sınıfına sahip binaların satın alınmasının, talep yanıtı teknolojilerinin, bilişim ve iletişim teknolojilerinin ve ev otomasyonunun teşvik edilmesi - Tüketicilere yönelik bilinçlendirme ve eğitim çalışmalarının gerçekleştirilmesi
Letonya	Enerji verimliliği yatırımlarının teşvik edilmesi, uzun dönemli yenileme programının uygulanması
Litvanya	- Konut tipi binaların yenilenmesinin teşvik edilmesi, verimli kazanların değişimine yönelik %50'ye varan hibe desteği sağlanması - Enerji tedarikçileri ile anlaşmalar yapılarak tüketicilerin eğitilmesi ve danışmanlık hizmeti sağlanması
Lüksemburg	- Yasal ve finansal engellerin kaldırılmasına yönelik düzenlemeler yapılması - Bina yenileme çalışmalarında KDV oranının %3 olarak uygulanması - Bina stokunun yenilenmesine yönelik sunulan iklim kredilerinin idari süreçlerinin sadeleştirilmesi - Mevcut binalarda fuel-oil yakıtın değiştirilmesi programının devreye alınması
Malta	- Küçük ölçekli öz tüketim amaçlı yenilenebilir teknolojilerinin teşvik edilmesi - Kademeli enerji tarifesi uygulanarak enerji tüketiminin düşürülmesinin teşvik edilmesi
Hollanda	- Yalıtım malzemeleri ve yalıtımlı camlara yönelik KDV indirimi uygulanması - Isı pompası, ısıtma sistemi kontrolü gibi uygulamalara yönelik finansman desteği uygulamaları - Yeni binaların doğal gaz şebekesine bağlanmasına yönelik kısıtlar getirilmesi, yenilenebilir ısı kullanımına yönelik teşvikler sağlanması - Kredi ödeyen ev sahiplerinin enerji verimliliği uygulamaları yapmaları durumunda daha fazla borçlanabilmeleri imkanı - Ev satın alım ve kiralamaalarında EKB'ye sahip olma zorunluluğu

Çizelge 6.6. (devam) AB üye ülkelerinin UEİEP'lerinde konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik öngördüğü eylemler [214]

AB Üye Ülkesi	Konut Sektöründe Öngörülen Eylemler
Polonya	- Mevcut binaların yenilenmesine yönelik kredi kullanılacaklara finansal destek sağlanması - Mevcut binaların yenilenmesine yönelik yapılan yatırımların gelir vergisinden indirim sağlanarak teşvik edilmesi - Yapı kullanımı izni aşamasında yüksek verimli alternatif enerji ve ısı arz kaynaklarının incelenmesine yönelik zorunluluk getirilmesi
Portekiz	- Mevcut bina stokunun yenilenmesine yönelik uzun dönemli stratejisi oluşturulması ve neredeyse sıfır enerjili binaların teşvik edilmesi - Enerji kimliklerinin ve enerji verimliliği düzenlemelerinin gözden geçirilmesi
Romanya	- Bina stokunun çıkartılarak enerji verimliliği potansiyelinin belirlenmesi, bu amaçla bina stoku veritabanının oluşturulması - Düşük enerji performansına sahip binaların satılmasına veya kiralanmasına yönelik kısıtlamalar getirilmesi - Bina yalıtımı ve iklimlendirme sistemlerinin uygulanmasında performans kriterlerinin geliştirilmesi - Talep yanıtı uygulamalarından dinamik fiyatlandırma tarifesinin hayata geçirilmesi - Binalarda ısı yalıtımı programı ile enerji yoksulluğu ile mücadele edilmesi
Slovakya	Bina yenileme programları ile enerji verimliliği yatırımlarının teşvik edilmesi
Slovenya	- Enerji verimliliği ve yenilenebilir yatırımlarının teşvik edilmesi, kırılgan gruplara yönelik enerji verimliliği desteği sağlanması - Enerji verimliliği yatırımlarına yönelik uygun kredi ve teşviklerin sağlanması binaların yenilenmesine yönelik finansman planının geliştirilmesi - Binalarda enerji verimliliğine yönelik düzenlemelerin gözden geçirilmesi binalara yönelik sürdürülebilirlik kriterlerinin oluşturulması - Yeni binalarda fuel-oil kullanımının yasaklanması
İspanya	- Mevcut binalarda enerji verimliliği yatırımlarına yönelik sağlanan finansal teşviklerin sürdürülmesi - Verimli ev aletlerinin dönüşümünün sağlanmasına yönelik üreticiler ve satıcılarla gönüllü anlaşmaların yapılması, eğitim ve bilinçlendirme faaliyetlerinin yürütülmesi
İsveç	- Enerji ve karbon vergilendirmesi ve enerji verimliliği uygulamalarına yönelik vergi indirimleri - Sürdürülebilir Bina Bilgi Merkezi aracılığıyla enerji verimliliğine yönelik bilinçlendirme çalışmalarının yürütülmesi
Enerji Verimliliği Yükümlülük Sistemine yer veren ülkeler	
Avusturya, Bulgaristan, Çekya, Hırvatistan, GKRK, Fransa, İtalya, Yunanistan, Macaristan, Polonya	

6.3. Küresel İklim Hedefleri Kapsamında Konut Sektöründe Enerji Verimliliği Politikaları

2019 yılı verilerine göre atmosfere en çok sera gazı emisyon salımı yapan ülkeler Çin, ABD, Hindistan, Rusya, Japonya, Almanya, Güney Kore, İran, Endonezya ve Kanada'dır [215].

Sera gazı salımlarında on dördüncü sırada yer alan Türkiye'nin ise 2020 yılı sera gazı emisyonu 523,9 Mt CO₂ eşdeğeri olarak gerçekleşmiştir. Toplam CO₂ emisyonlarının %85,4'ü enerji, %14,2'si sanayi sektöründe ve %0,4'ü tarım ve atık sektörü kaynaklıdır [216].

Türkiye, Paris Anlaşması kapsamında ulusal katkı niyetini 2015 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Sekretaryasına sunarak 2030 yılına kadar referans senaryoya göre %21 azaltım sağlanmasını öngörmüştür. Paris Anlaşması'nda gelişmiş ülkelerin yer aldığı Ek-1 listesinde yer alan Türkiye, ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve adil bir tanımlama isteyerek diğer ülkeler gibi ucuz finansmana erişmeyi hedeflemeye ve emisyon azaltımına yönelik müzakerelerini sürdürmüş, nihayetinde Paris Anlaşması 6 Ekim 2021 tarihinde TBMM'de oy birliği ile geçerek 7 Ekim 2021 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanmıştır. Yeşil Kalkınma Devrimi adı verilen politika çerçevesinde Türkiye'nin 2053 yılına kadar karbon nötr hedefi ilan edilmiştir. Bununla birlikte, emisyon azaltımının hangi politikalarla sağlanacağı, bu amaçla uygulamaya alınacak strateji ve eylemlere yönelik henüz bir yol haritası kamu ile paylaşılmamıştır.

Diğer taraftan, Avrupa Birliği 11 Aralık 2019 tarihinde ilan ettiği Avrupa Yeşil Mutabakatı politikası ile AB'nin sera gazı emisyonlarının 1990 seviyesine göre 2030 yılına kadar %55 azaltılmasını ve Avrupa'nın 2050 yılına kadar dünyanın ilk iklim-nötr kıtasına dönüştürülmesini hedeflemiştir [217]. Benzer biçimde, 2020 yılında yapılan açıklamalarla birlikte ABD, Japonya, Güney Kore ve İngiltere de 2050 yılında net sıfır emisyon hedeflerini duyurmuştur.

İklim değişikliğinin etkilerinin minimumda tutulabilmesi için sıcaklık artışının yüzyılın sonunda 1,5 derecede sınırlandırılmasında 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşılması önemli bir dönüm noktası olarak görülmektedir. Bu hedeflere ulaşılmasında küresel enerji sisteminin geçirmesi gereken dönüşümü ve ülkelerin takip edebilecekleri yol haritası Uluslararası Enerji Ajansı tarafından 2021 yılında yayımlanan "2050'de Net Sıfır: Küresel Enerji Sektörü İçin Bir Yol Haritası" adlı rapor ile duyurulmuştur. Rapora göre, 2030 yılı itibarıyla küresel ölçekte herkesin enerjiye erişiminin sağlanması, ağır sanayideki çoğu yeni temiz teknoloji uygulamalarının uygulamaya alınması, yıllık 1020 GW güneş ve rüzgar kurulu gücünün bağlanması, gelişmiş ekonomilerde emisyonu bertaraf edilmemiş kömür kullanımının kademeli olarak kaldırılması, 150 Mt düşük karbonlu hidrojen ve 850 GW

elektrolizör kurulumu, bütün yeni binaların sıfır karbona hazır bina olarak inşa edilmesi ve küresel araç satışlarının %60'ının elektrikli olması; 2050 yılı itibariyle yenilenebilirin toplam elektrik üretimdeki payının %90'a ulaşması, küresel elektrik üretiminde fotovoltaik güneş ve rüzgar üretiminin yaklaşık %70'e getirilmesi, ağır sanayi üretiminin %90'dan fazlasının düşük emisyonlu gerçekleştirilmesi, 7,6 Gt CO₂ yakalanması, 520 Mt düşük karbonlu hidrojen üretilmesi ve bina stokunun %85'inden fazlasının sıfır karbona hazır olması amaçlanmıştır [218]. Net sıfır hedeflerine ulaşılmasına politika, altyapı ve teknoloji gelişimine yönelik dönüm noktaları Şekil 6.1.'de sunulmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın Net Sıfır Yol Haritasına göre enerji verimliliği ve elektrifikasyon bina sektöründe karbonsuzlaşma politikalarının iki ana unsuru olacaktır. Nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerinin fosil yakıtlı ekipmanlardan elektrikli ekipmanlara doğru kayması beklenmektedir. Nüfus yoğun bölgelerde bölgesel ısıtma ve hidrojen içeren yakıtlar gibi düşük karbonlu gaz kullanımı ile ısıtma talebi karşılanacaktır. Ayrıca, ısıtma talebinin karşılanmasında başta ısı pompası teknolojisi olmak üzere biyoenerji ve güneş ısısının kullanımı yaygınlaşacaktır. Verimli ev aletlerinin ve aydınlatma ekipmanlarının dönüşümü sağlanarak talep tarafı uygulamaları yaygınlaştırılacaktır. Bina sektöründe öne çıkması beklenen gelişmeler şu şekildedir [218];

- Binalarda toplam kullanım alanı 2020-2050 döneminde %75 artması ve mevcut bina stokunun yarısının 2050 yılına gelindiğinde hala duracak olması,
- Emisyon azaltım hedefinin %70'inin enerji verimliliği ve elektrifikasyon politikalarıyla sağlanması,
- Isıtma amaçlı enerji talebinin enerji verimliliği, davranış değişikliği gibi çalışmalar sayesinde 2020-2050 döneminde üçte iki oranında azalması, fosil yakıt kullanımının ise %96 oranında azalması,
- Küresel ölçekte bina yenileme miktarının yıllık 10 milyon konuta ulaşması,
- 2050 yılına gelindiğinde bina stokunun %85'inin sıfır karbona hazır bina olması,
- Isı pompası stokunun 2020 yılındaki 180 milyondan 2030 yılına gelindiğinde 600 milyona ve 2050 yılına gelindiğinde 1 milyar 800 milyona çıkması, güneş ısısı kullanan konut sayısının 2020 yılındaki 250 milyondan 2030 yılında 400 milyona ve 2050 yılında 1 milyar 200 milyona yükselmesi,
- Özellikle gelişmekte olan ekonomilerde soğutma ekipmanlarına yönelik piyasanın

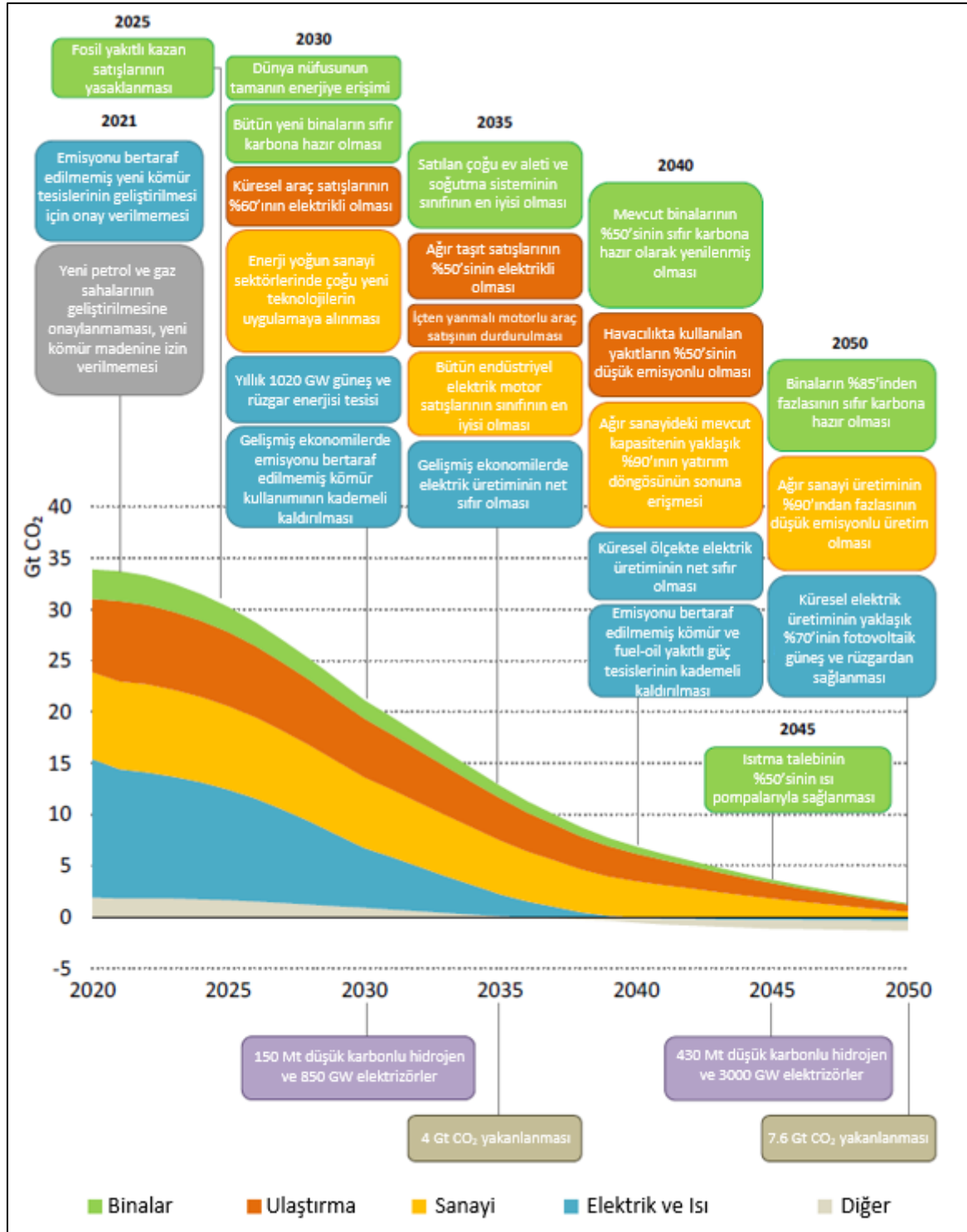
genişlemesi ile birlikte 2030 yılına kadar 650 milyon adet, 2050 yılına kadar ilave 2 milyar adet klimanın soğutma stokuna eklenmesi, enerji verimliliği çalışmaları sayesinde enerji talep artışının yıllık %1 ile sınırlı kalacak olması,

- Gelişmiş ekonomilerde 2025 yılı itibariyle, gelişmekte olan ekonomilerde 2030 yılı itibariyle satılan ev aletlerinin %80'inin en iyi teknolojiye sahip ekipmanlar olması, 2025 yılı itibariyle satılan ampullerin tamamının LED olması,
- Dağıtık üretimde fotovoltaik güneş enerji sistemleriyle elektrik üretiminin 2020 yılındaki 320 TWh'den 2030 yılında 2200 TWh'e, 2050 yılında 7500 TWh'e yükselmesi,
- Bireysel elektrikli araç şarj ünitesi sayısının 2020 yılındaki 270 milyondan 2030 yılına 1400 milyona, 2050 yılında 3500 milyona yükselmesi.

Net sıfır hedefine ulaşılmasında belirlenen alt hedeflerin erişilebilmesi için uygulanması gereken politika araçları ise;

- Fosil yakıt kullanımının kademeli olarak kaldırılması,
- 2025 yılı itibariyle kömür ve fuel-oil yakıtlı kazanların satışının yasaklanması, doğal gaz yakıtlı kazan satışlarının 2030 yılına kadar %40, 2050 yılına kadar %90 oranında azaltılması ve 2025 yılı itibariyle satışa sunulacak doğal gaz kazanlarının %100 hidrojen yakma kapasitesine sahip olması,
- 2025 yılına kadar asgari performans standartlarının güçlendirilerek verimli ev aletleri ve LED dönüşümünün sağlanması ve standartların talep yanıtı uygulamalarını destekleyecek şekilde uyumlaştırılması,
- 2030 yılına kadar herkesin enerjiye erişiminin sağlanması,
- Mevcut binaların yenileme hızının bugünkü %1 oranından 2030 yılına gelindiğinde %2,5 oranına çıkartılması,
- Enerji kimlik belgelerinin güncellenerek 2030 itibariyle küresel ölçekte bütün bölgelerde sıfır karbona hazır bina kimlik belgelerinin zorunlu olarak devreye alınması,
- 2035 yılına gelindiğinde küresel ölçekte satışa sunulan çoğu ev aleti ve soğutma ekipmanlarının sınıfının en iyi performansına sahip olması,
- 2040 yılına kadar mevcut bina stokunun %50'sinin sıfır karbona hazır binaya çevrilmesi,
- 2045 yılına gelindiğinde ısıtma talebinin %50'sinin ısı pompaları ile sağlanması,

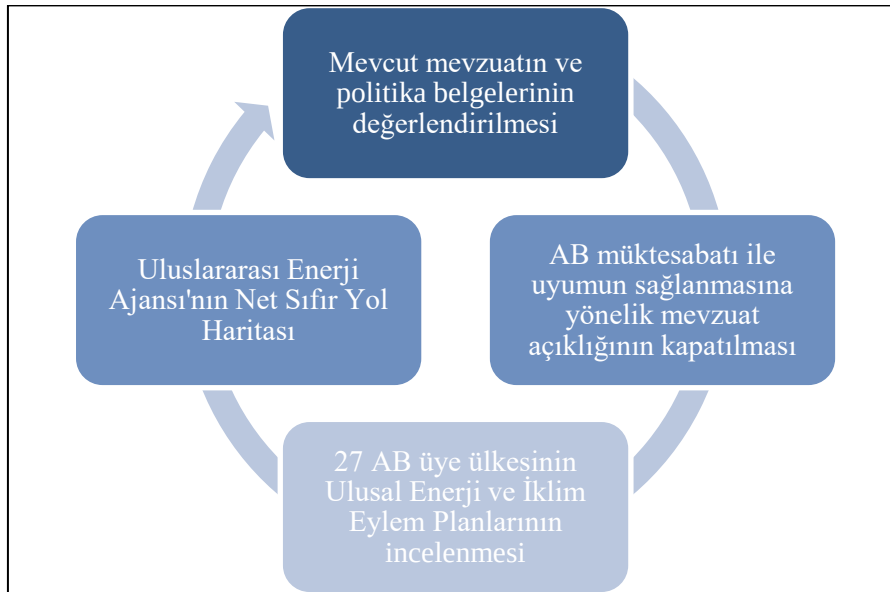
- 2050 yılına kadar bütün bina stokunun %85'inin sıfır karbona hazır binaya çevrilmesi,
- Karbonsuzlaşma çalışmaların bütün değer zincirinde yürütülerek bina ve altyapı yatırımları yanı sıra inşaat sektörünün rolü ve şehir planlaması da dikkate alınarak yürütülmesi,
- Yerel hizmetlere ve toplu taşımaya erişimin kolaylaştırıldığı şehir planlaması uygulamalarının teşvik edilmesi,
- Ve bu amaçla kamunun gerekli finansal teşvikler ile birlikte yeşil leasing anlaşmaları, yeşil tahvil gibi farklı finansman olanaklarını da harekete geçirmesidir.



Şekil 6.1. Uluslararası Enerji Ajansı'nın Net Sıfır Yol Haritasına Göre politika, altyapı ve teknoloji gelişimine yönelik dönüm noktaları [218]

6.4. Türkiye Konut Sektörünün Enerji Verimliliğinin Artırılmasına Yönelik Uzun Dönemli Politika Önerileri

Türkiye'nin 2053 net sıfır hedefleri kapsamında konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uzun dönemli uygulanacak politika araçlarının belirlenmesinde Şekil 6.2.'de sunulan dört ana başlığa sahip yöntemsel bir çerçeve geliştirilmiştir. Birinci başlık, Bölüm 6.1.'de ele alınan mevcut mevzuata ve politika belgelerine odaklanarak devam edilmesi veya geliştirilmesi gereken eylemlere odaklanmaktadır. İkinci başlık, Bölüm 6.2.'de incelenen Türkiye'nin henüz kendi iç hukukuna aktarmadığı ve uyumlaştırılmanın gerçekleştirilmediği AB enerji verimliliği müktesebatına yönelik mevzuat açıklığının giderilmesini içermektedir. Üçüncü başlık, 27 AB üye ülkesinin ulusal enerji ve iklim eylem planlarında konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik belirlenmiş oldukları eylemlerden Türkiye'de henüz uygulama alanı bulamamış olanları kapsamaktadır. Dördüncü başlık ise, Uluslararası Enerji Ajansı'nın Net Sıfır Yol Haritası çerçevesinde Türkiye'nin atması gereken adımlara odaklanmaktadır.



Şekil 6.2. Türkiye konut sektöründe enerji verimliliğinin geliştirilmesine yönelik uzun dönemli politika araçlarının belirlenmesinde kullanılan yaklaşım yöntemi

Geliştirilen yaklaşım yöntemi ile uzun dönemli politikaların belirlenmesinin yanı sıra 2023 yılında uygulaması tamamlanacak olan UEVEP'in 2024-2030 yıllarını kapsayacak ikinci dönemi için eylem önerilerinin geliştirilmesi, mevcut enerji verimliliği uygulamalarının incelenerek gelişim alanlarının veya yeni uygulamaya alınması gereken politika araçlarının

belirlenmesi ve bütüncül bir politika çerçevesi oluşturularak uzun dönemli uygulamaya alınacak politika araçlarının bir haritasının çıkartılması hedeflenmiştir. Bu bölümde tavsiye edilen politika önerileri Bölüm 4-5'te yapılan analizlerin sonuçları dikkate alınarak geliştirilmiş ve böylelikle politika önerilerinin dört ana başlıklı yöntemsel çerçeve ile uyumlu olması sağlanmıştır.

Öncelikle uygulamaya alınacak politika önlemlerinin finansal, mali ve yasal düzenlemelerin dengeli bir karşımı olarak bütüncül bir bakış açısıyla tasarlanması gerekmektedir. İklim Değişikliği Eylem Planı B1.3. eylemi ile binalarda 2013 yılı sonuna kadar binalarda enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesine yönelik bir finansal desteğin sağlanmasının öngörülmüş, Onbirinci Kalkınma Planı ile de daha verimli ve kendi enerjisini üreten binaların yaygınlaşmasına yönelik teşvikler getirileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, Türkiye'de konut sektöründe enerji verimliliğinin teşvik edilmesine yönelik kamu tarafından henüz uygulamaya alınan bir finansal teşvik sistemi bulunmamaktadır.

Enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uygulamaya alınacak finansal teşvik sistemleri Bölüm 5.'teki analiz sonuçlarına göre konutlardaki toplam enerji tüketiminin yaklaşık dörtte üçünü temsil eden alan ısıtması ve sıcak su tüketiminin düşürülmesine odaklanacak biçimde geliştirilebilir. Net sıfır hedefleri kapsamında teşvik sistemi sonraki dönemlerde geliştirilerek Uluslararası Enerji Ajansı'nın tavsiyeleri doğrultusunda elektrifikasyona geçişi destekleyecek şekilde yeniden tasarlanabilir.

Uygulamaya alınacak finansal teşviklerin 2010 yılında tadil edilen Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği öncesinde inşa edilmiş enerji performansı düşük binalara odaklanması önem taşımaktadır. Konut tipi binalar içerisinde %87'sini temsil eden söz konusu binaların (Bkz. Bölüm 2) kentsel dönüşüme girmeyecek olanlarında, binaların ekonomik ömürleri dikkate alınarak maliyet optimum seviyelerine ulaşılmasına yönelik teşvikler sağlanması tavsiye edilmektedir. Uygulamaya alınacak finansal teşvik sistemi, UEVEP B5. Mevcut Binaların Rehabilitasyonu ve Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi eyleminin devamı niteliğinde duyurulacak uzun dönemli yenileme stratejisini tamamlar nitelikte olmalıdır. Ayrıca, uygulamaya alınacak teşvik sistemi kırılgan grupların desteklenmesi ve enerji yoksulluğu ile mücadele gibi diğer politik hedefleri destekler nitelikte geliştirilebilir.

Günümüzde konutlarda soğutma amaçlı enerji tüketiminin toplam enerji tüketimi içerisinde yalnızca %0,76 oranında bir yere sahiptir (Bkz. Bölüm 5). Uluslararası Enerji Ajansı'nın gelişmekte olan ülkelerde 2050 yılına kadar soğutma amaçlı enerji tüketiminin üç kat artacağı öngörüsü doğrultusunda verimli ekipmanların teşvik edilmesi ile yalıtım sistemlerinin yenileme stratejisi kapsamında teşvik edilmesi bina soğutma talebinin düşürülmesinde önemli katkılar sağlayacaktır.

Bütün bu çalışmaların bilinçlendirme faaliyetleri ile desteklenerek tek durak hizmet noktaları ile tüketicilere tavsiye ve yönlendirmeler yapılması önerilmektedir. Bir sonraki aşamada ise tek durak hizmet noktaları tüketicilere finansal destek sağlayacak biçimde evrilmesi göz önünde bulundurulabilir.

Binaların enerji verimliliği çalışmalarının teşvik edilmesine ek olarak verimsiz ürünlerin ve net sıfır hedefi doğrultusunda fosil yakıtlı enerji kaynaklarını kullanan teknoloji ve ekipmanların kademeli olarak yasaklanması göz önünde bulundurulabilir. Bu noktada, bir taraftan asgari verimlilik sınıfını sağlayamayan ekipmanlar yasaklanırken diğer taraftan uygulanacak teşvik sistemi piyasada arzına izin verilen bütün ekipmanları kapsamamasına özen gösterilmelidir. Tasarlanacak teşvik sistemlerinin sadece alanında en iyi performans gösteren ürün gruplarını içermesi, tasarruf potansiyelinin asgari kamu kaynaklarıyla hayata geçirilebilmesi için önem arz etmektedir. Diğer taraftan, ev aletleri ve şebekeye bağlı cihazlar gibi diğer kullanımlar adı altında sınıflandırılan ekipmanların enerji talebi diğer nihai kullanımlara kıyasla en fazla artacağı öngörülmekte ve bu ekipmanların enerji talebinde 2053 yılına kadar yaklaşık 3,5 kat büyüme yaşanacağı tahmin edilmektedir (Bkz. Bölüm 5). Alanında en iyi performans gösteren ürünlerin desteklenmesi ile söz konusu artış eğiliminin baskılanması sağlanabilir.

UEVEP B9. Yeni Binalarda Enerji Verimliliğinin Özendirilmesi eylemi kapsamında asgari D sınıfına EKB'ye sahip olma zorunluluğu 2017 yılında C sınıfına yükseltilmiş, 2022 yılında da belirli büyüklükteki binalar için neredeyse sıfır enerjili binaların yaygınlaşması amacıyla B sınıfına yükseltilmesine yönelik düzenlemeler yapılmıştır. Bununla birlikte, Binalarda Enerji Performansı Direktifi ile tam uyumlu olacak biçimde eylem revize edilerek yeni binaların daha yüksek enerji performansına sahip olacak şekilde inşa edilmelerine yönelik yükümlülük tanımlanabilir. Ayrıca, neredeyse sıfır enerjili bina tanımının daha iddialı olarak kullanım alanı başına enerji tüketiminin azaltılmasını ve yenilenebilir enerji

kullanımının artırılmasını teşvik edecek şekilde tadil edilmesi önerilmektedir. Neredeyse sıfır enerjili bina uygulaması diğer AB üye ülkelerinin enerji ve iklim eylem planlarına yer verildiği gibi belirli büyüklükteki binalar yerine bütün konut tipi binaları kapsayacak şekilde genişletilmesi göz önünde bulundurulabilir. Yine yeni yapılacak binaların neredeyse sıfır enerjili bina tasarımından öte net sıfır veya pozitif enerjili bina olarak inşa edilmesinin teşvik edilmesi amacıyla daha fazla inşaat alanına sahip yapı kullanma izni belgesi verilmesi gibi yenilikçi mevzuat düzenlemeleri de göz önünde bulundurulabilir.

Kurgulanacak yenileme stratejisinin hedeflerine ulaşamadığı durumda finansal ve düzenleyici teşviklerin yanı sıra mali teşviklerin de uygulanması düşünülebilir. Bazı AB üye ülkelerinde uygulanmakta olduğu gibi gerek bina yalıtımına yönelik uygulamaları gerekse enerji verimli ürünlerin piyasaya dönüşümünü teşvik etmek amacıyla KDV indirimleri getirilebilir. Bununla birlikte, üretici ve satıcıların vergi teşviklerinin sağlayacağı fiyat indirimini ürünlerine yansıtmasının izlenebilirliği enflasyonist bir ortamda kolay olmayacağı için tüketici tarafında beklenen hareketlenme sağlanmayabileceği de göz önünde bulundurularak mali teşvikler tasarlanmalıdır. Bu çalışmalar ayrıca düşük faizli veya faizsiz kredi imkanları ile kredi teminat garantileri gibi diğer finansal ve mali araçlarla da teşvik edebilir.

Isıtmada ve soğutmada enerji verimliliğinin artırılması çalışmaları UEVEP B11. Binalarda Yenilenebilir Enerji ve Kojenerasyon Sistemlerinin Kullanımının Yaygınlaştırılması eylemi çerçevesinde sürdürülebilir. Özellikle nüfus yoğun bölgelerde sanayi ve termik santral atık ısıları ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı bölgesel ısıtma sistemlerinin ve yerinde üretim amaçlı kojenerasyon uygulamalarının yaygınlaştırılması önceliklendirilebilir. Bu amaçla, EED’de öngörüldüğü biçimiyle yerleşim yerlerinin ısıtma ve soğutma taleplerinin farklı enerji kaynakları ve teknolojileri türleri dikkate alınarak fayda-maliyet analizlerinin gerçekleştirilmesine yönelik mevzuat düzenlemeleri yapılabilir. Mevzuat düzenlemelerinin yanı sıra verilecek altyapı destek programlarıyla da UEVEP B6. Merkezi ve Bölgesel Isıtma/Soğutma Sistemlerinin Kullanımının Özendirilmesi eyleminin etkin bir biçimde uygulanması sürdürülebilir. Ayrıca, net sıfır iklim hedefleri kapsamında bina sektörünün karbonsuzlaştırılması amacıyla ısı pompaları gibi elektrifikasyona geçişin sağlanacağı teknolojileri için ek finansal ve mali teşvikler tanımlanabilir. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ile belirli büyüklükteki konut dışı binalara getirilen güneş ısısı kullanma yükümlülüğü pratikte uygulanabilir bir tasarımla konut sektörünü de kapsayacak

şekilde genişletebilir. Bu noktada, yeni yapılacak binalara birincil enerji talebi üzerinden getirilen kriterlerin yanı sıra ısıtma ve soğutma talebinin belirli bir oranının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması yükümlülüğünün getirilmesi bu amaca hizmet edebilir.

Nihayetinde veriye dayalı politikaların oluşturulabilmesi için UEVEP B1. İnşaat Sektöründe Kullanılan Malzeme ve Teknolojiye İlişkin En İyi Uygulamaların Tespiti ve Paylaşılması ve UEVEP B2. Binalar İçin Enerji Tüketim Verilerini de İçeren Bir Veri Tabanı Oluşturulması eylemlerine devam edilmesi önerilmektedir. UEVEP B7. Mevcut Binaların Enerji Kimlik Belgesi Sahiplik Oranının Artırılması eyleminin icrası tamamlanarak bütün binaların enerji kimlik belgesine sahip olması önceliklendirilebilir. Bu amaçla, İklim Değişikliği Eylem Planı B1.4. eylemi ile tüm binalara EKB verilmesi hedeflenmiş olsa da uygulamada bu rakam günümüzde hala bir buçuk milyonun altında kalmıştır. Öncelikle bütün binaların EKB'ye sahip olmasına yönelik Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinin ilgili hükümlerinin uygulamasında yapılan esnekliklerin geri çekilmesi önerilmektedir. Sonrasında, Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nin SA-02/SH-01/E-01 eylemi kapsamında EKB'lerin rolü genişletilerek karbonsuzlaşma hedeflerine ulaşılmasında kullanılacak politik bir enstrümana çevrilmesi göz önünde bulundurulabilir.

Ulusal bina stokunun yenilenmesine yönelik uzun dönemli yenileme stratejisinin ve neredeyse sıfır enerjili binaların sayısının artırılması için ulusal planların oluşturulması Türkiye'nin net sıfır hedeflerine ulaşılmasında geliştirmesi gereken iki ana başlık olarak yer almaktadır. Bu çalışmalar, kamu teşvik ve düzenlemelerinin yanı sıra EED'de öngörüldüğü gibi ulusal enerji verimliliği fonunun kurulması ve enerji tedarik ve dağıtım şirketlerine yönelik enerji verimliliği yükümlülük sisteminin getirilmesi uygulamaları ile desteklenebilir. Ayrıca, B8-Sürdürülebilir Yeşil Binalar ile Yerleşmelerin Belgelendirilmesinin Özendirilmesi eylemi kapsamında yeşil binalara ilişkin teknik ve bilinçlendirme materyallerinin üretilmesi, sistemin devreye alınarak pilot uygulama olarak kamunun özendirici rol üstlenmesi gibi çalışmalarla da bu kapsamda katkılar sağlanabilir.

Bu politikalarla birlikte, enerji verimliliği çalışmalarının bütün değer zinciri boyunca yürütülerek inşaat sektörünü ve altyapı yatırımlarını kapsayacak biçimde ele alınması, verimlilik çalışmalarının şehir planlaması ile başlayarak yerel hizmetlere ve toplu taşımaya erişimi kolaylaştırması ve dijitalleşmenin getireceği yararlardan azami biçimde faydalanılmasına yönelik akıllı ölçüm sistemleri, ev otomasyonu ve talep tarafın yönetimine

ilişkin özel programların geliştirilmesi politika yapıcılarının göz önünde bulundurulması gereken diğer öncelikli alanlar olduğu değerlendirilmektedir. Konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uzun dönemli politika önerileri Çizelge 6.7’de sunulmaktadır.

Çizelge 6.7. Konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uzun dönemli politika önerileri

Mevcut Enerji Verimliliği Önlemi	Uzun Dönemli Politika Tavsiyesi	Uygulama Dönemi
UEVEP B1. İnşaat Sektöründe Kullanılan Malzeme ve Teknolojiye İlişkin En İyi Uygulamaların Tespiti ve Paylaşılması	Eylemin uygulamasına devam edilmesi	2023-2030
UEVEP B2. Binalar İçin Enerji Tüketim Verilerini de İçeren Bir Veri Tabanı Oluşturulması	Eylemin uygulamasına devam edilmesi	2023-2030
UEVEP B5. Mevcut Binaların Rehabilitasyonu ve Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi	Eylemin revize edilmesi, Uzun dönemli yenileme stratejisinin oluşturulması, YÖ1.*, YÖ2., YÖ4. ve YÖ6. ile birlikte ele alınması, Tek durak hizmeti uygulaması ile tüketicilere tavsiye ve yönlendirmeler yapılması	2023-2030
UEVEP B6. Merkezi ve Bölgesel Isıtma/Soğutma Sistemlerinin Kullanımının Özendirilmesi	Eylemin uygulamasına devam edilmesi, YÖ3. ve YÖ4. ile birlikte ele alınması	2023-2030
UEVEP B7. Mevcut Binaların Enerji Kimlik Belgesi Sahiplik Oranının Artırılması	Eylemin revize edilmesi, İklim Değişikliği Eylem Planı HEDEF B1.4. ve Enerji Verimliliği Strateji Belgesi SA-02/SH-01/E-02 eylemi kapsamında idari düzenlemelerin uygulanması ve EKB’lerin rolünün genişletilerek karbonsuzlaşma politikalarına entegre edilmesi	2023-2030
UEVEP B8. Sürdürülebilir Yeşil Binalar ile Yerleşmelerin Belgelendirilmesinin Özendirilmesi	Eylemin revize edilmesi, AYM döngüsel ekonomi politikaları kapsamında çalışmaların geliştirilmesi	2023-2030
UEVEP B9. Yeni Binalarda Enerji Verimliliğinin Özendirilmesi	Eylemin revize edilmesi, EPBD ile uyumlaştırılması, Minimum enerji sınıfı ve yenilenebilir kullanımına yönelik sıkılaştırılmış düzenlemeler yapılması, NSEB tanımının gözden geçirilmesi, 2030 sonrası YÖ10. ile entegre edilmesi	2023-2030
UEVEP B11. Binalarda Yenilenebilir Enerji ve Kojenerasyon Sistemlerinin Kullanımının Yaygınlaştırılması	Eylemin uygulamasına devam edilmesi, YÖ4 ve YÖ6 eylemi ile birlikte ele alınması	2023-2030

Çizelge 6.7. (devam) Konut sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uzun dönemli politika önerileri

Mevcut Enerji Verimliliği Önlemi	Uzun Dönemli Politika Tavsiyesi	Uygulama Dönemi
	YÖ1. Mevcut binaların yenilenmesine yönelik finansal teşviklerin tanımlanması	2023-2030
	YÖ2. Sınıfındaki en iyi performansa sahip enerji tüketen ekipmanların, ev otomasyon sistemlerinin ve dijital teknolojilerin ikame edilmesine yönelik ilave finansal teşviklerin tanımlanması	2023-2030
	YÖ3. Nüfus yoğun bölgelerde verimli bölgesel ısıtma ve soğutma sistemlerinin yaygınlaştırılmasına yönelik yerel yönetimlere altyapı teşvik programlarının geliştirilmesi	2023-2030
	YÖ4. Isıtma ve soğutma tüketiminin elektrifikasyonuna yönelik teşvikler tanımlanması, ısı pompası ve %100 H ₂ yakan teknolojilerinin desteklenmesi	2030-
	YÖ5. Verimsiz ve fosil yakıtlı kazanların kademeli olarak kaldırılması	2030-
	YÖ6. Yenilenebilir ısı ve mikrokojenerasyon sistemlerinin kullanımına yönelik düzenleme veya teşviklerin tanımlanması	2023-2030
	YÖ7. Talep tarafı uygulamalarına yönelik düzenlemelerin yapılması, teşvik seçeneklerinin değerlendirilmesi	2030-
	YÖ8. Karbonsuzlaşma çalışmalarının bütün değer zincirinde yürütülmesi amacıyla inşaat sektörünün rolü ve inşaa süreçleri göz önünde bulundurularak ve altyapı yatırımları da dikkate alınarak verimlilik çalışmalarının geliştirilmesi	2030-
	YÖ9. Şehir planlamasının yerel hizmetlere ve toplu taşımaya erişimi kolaylaştırıcı olarak geliştirilmesi	2023-
	YÖ10. Yeni binaların sıfır karbona hazır bina olarak inşa edilmesi	2030-
	YÖ11. Yeşil tahvil ve yeşil finansman vb. finansal araçların konut sektöründe geliştirilmesi	2030-

*YÖ: Yeni Öneri

Enerji verimliliği politikalarının tasarımı yapılırken hedefler kesin ve net olarak tanımlanmalı, ölçülebilir olmalı, ilgili paydaşlarca benimsenmesini garanti altına almalı, gerçekçi belirlenmeli ve erişilebilir zaman takvimine sahip olmalıdır.

Karbonsuzlaşma maliyetlerinin minimize edilmesi amacıyla belirlenecek eylemler sistemlerin veya binaların bütünün incelenmesi yaklaşımına sahip olmalı, böylelikle optimum maliyetli seçeneklerin değerlendirilmesi sağlanmalıdır. Yenilikçi teknolojileri önceliklendirecek eylemler maliyetlerin aşağı düşmesine, karbonsuzlaşma seçeneklerinin artmasına ve yüksek ekonomik katma değer oluşturmaya katkı sağlayacaktır.

Önerilerin her bir eylem için öncelikle ulaşılabilir hedefler tanımlanmalı ve yürütülecek alt faaliyetler ve odaklanılacak teknoloji çözümleri belirlenmelidir. Finansal ve mali teşvik sağlanacak eylemlerin etki analizleri gerçekleştirilerek teşvik süresi ve miktarı gibi etkenler kamu bütçesine ilave yük getirmeyecek ve en çok ihtiyaç duyulan alana yönelik olacak şekilde belirlenmelidir. Bu kapsamda kamunun kaldıraç etkisi ve bedavacılık problemi (free riders) gibi etkenler de dikkate alınarak uygulanacak eylemlerin faydası net bir biçimde belirlenmelidir. Kamu teşviklerinin diğer finansal çözümlerle harmanlanmasına ilişkin olanaklar belirlenmeli ve farklı finansal enstrümanların sisteme dahil edilmesiyle daha çok nihai tüketiciye ulaşılması imkanları değerlendirilmelidir. Nihayetinde bütün eylemlerin izlenmesi, ölçülmesi ve etki analizlerinin gerçekleştirilmesi, bu amaçla da kurumlar arasında etkin bir koordinasyonun sağlanması gerekmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji verimliliği gelişmiş ülkelerce kaynakların verimli kullanılarak israfın önlenmesinde, enerji maliyetlerinin düşürülerek rekabetçiliğin artırılmasında, enerjide dışa olan bağımlılığın azaltılarak arz güvenliğinin güçlendirilmesinde ve enerji yoksulluğu ile mücadelede önemli bir politika enstrüman olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan, iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasında bir dönüm noktası olarak kabul edilen yüzyılın sonunda sıcaklık artışının 1,5 derecede sınırlandırılmasına yönelik çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması konusu ön plana çıkmış ve küresel enerji sisteminin dönüşümünde enerji verimliliği odak noktalardan biri haline gelmiştir.

Enerji verimliliği potansiyelinin en yüksek olduğu alanlardan biri olan bina ve inşaat sektörü, yaklaşık olarak küresel nihai enerji tüketiminin üçte birinden ve CO₂ salımlarının %40'ından sorumludur. Bununla birlikte, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin veri mevcudiyetinin sınırlı veya mevcut literatürün çelişkili olması enerji verimliliği politikalarının etkinliğinin ölçülmesine ve geleceğe yönelik atılabilecek adımların belirlenmesine olanak vermemektedir. Buna ek olarak, toplumun bütün sosyoekonomik sınıflarını demografik, mevsimsel ve konutların karakteristik özellikleriyle birlikte değerlendiren anket ve etüt çalışmaları yüksek maliyetli ve zamanlı alıcı bir sürece sahiptir.

Bu sebeple, işbu Tez çalışması kapsamında net sıfır hedeflerine ulaşılmasında en zorlu sınanmaların görüleceği sektör olan konut sektörüne odaklanılarak öncelikle enerji tüketimindeki değişimlere neden olan etkenlerin araştırılmasına ve nihai kullanım temelinde enerji tüketim profilinin belirlenmesine yönelik analizler gerçekleştirilmiştir. Önerilen analiz ve yaklaşım yöntemlerinin Türkiye gibi nihai kullanım amaçlı enerji tüketim verilerinin sınırlı olduğu diğer ülkelere de yol gösterici olması amaçlanmıştır.

Enerji tüketiminde mühendislik, ekonomik, psikolojik, sosyolojik ve antropolojik gibi birçok farklı etken belirleyici olmaktadır. Türkiye ve AB'nin 2019 yılı verileri kullanılarak yapılan korelasyon çalışmasında enerji tüketimi ile nüfus arasında 0,93, GSYH arasında 0,52 ve ısıtma gün dereceleri arasında 0,57 gibi anlamlı bir ilişki bulunduğu görülmüştür. 2000-2019 döneminde yürütülen enerji verimliliği çalışmalarına rağmen Türkiye'nin nihai enerji tüketimi %80 oranında artarak 2,58 EJ'den 4,64 EJ'ye yükselmiştir. Bu dönemde,

nüfusun %29, GSYH'nın %141 ve toplam kullanım alanının %116 oranında artması enerji tüketimini yükselten başlıca etkenler olmuştur.

2019 yılı verilerine göre 0,97 EJ enerji tüketimine sahip konut sektörü %21,2 pay ile sanayi ve ulaştırma sektörlerinin ardından nihai enerji tüketimi içerisinde en büyük paya sahip üçüncü sektör olmuştur. Konut sektörüne yönelik göstergelerin üretilmesi ve detaylı analizlerin gerçekleştirilebilmesi için enerji tüketim verilerinin yanı sıra toplam konut sayısı ve kullanım alanı gibi temel veri setlerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, konut sayısı ve kullanım alanına ilişkin TÜİK'in 2011 yılında gerçekleştirdiği konut sayımı dışında literatürdeki tek güncel bilgi kaynağı ÇŞİDB'nin yayımlanmış olduğu Bina Sektörü Enerji Verimliliği Teknoloji Atlası adlı rapordaki 2018 yılı verileridir. Literatürdeki bu alandaki güncel veri ihtiyacının doldurulması amacıyla, TÜİK'in yapı kullanım izin belgeleri ve kişi başına düşen kullanım alanı varsayımları eşliğinde bir yöntem geliştirilmiş ve 1964-2019 dönemi için Türkiye konut stoku ve toplam kullanım alanı tahmin edilmiştir. Buna göre, 2019 yılı için toplam bina sayısı 7 025 054 adet ve kullanım alanı 2,85 milyar m² olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre konut tipi bina sayısının %87'si, toplam kullanım alanının ise %62'si 2010 yılında yayımlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nin öncesinde inşa edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, konut tipi bina stokunun önemli bir bölümü BEP yönetmeliği uygulamaya girmeden önce inşa edilmiştir. Metrekare başına ortalama enerji tüketiminin (konut sektörü enerji tüketiminin toplam kullanım alanına oranının) 340 MJ/m² ($\approx 94,4$ kWh/m²) olması ise net sıfır hedefleri kapsamında neredeyse sıfır enerjili binaların dönüşümüne yönelik önemli bir potansiyelin bulunduğu göstermektedir.

Konut sektöründe enerji verimliliğinin enerji tüketimine olan etkisinin tespit edilmesi ve veriye dayalı doğru politika seçeneklerinin belirlenebilmesi için öncelikle enerjinin tüketim noktalarının bilinmesi gerekmektedir. İşbu Tez çalışmasında, Avrupa İstatistik Ofisi'nin sınıflandırması temel alınarak konutlarda nihai kullanım amaçlı enerji tüketimi alan ısıtması, sıcak su, pişirme, alan soğutması, ev aletleri ve aydınlatma olarak altı başlıkta incelenmiş ve literatürde yer alan nihai kullanım fonksiyonları, stok modellemesi ve makine öğrenmesi yöntemlerinden çoklu doğrusal regresyon ve rastgele orman algoritmaları kullanılarak 2019 yılı için enerji tüketim profili oluşturulmuştur.

Nihai kullanım fonksiyonları kullanılarak yapılan tahmin çalışmasına göre Türkiye konut sektörünün 2019 yılı için alan ısıtması amaçlı enerji tüketimi 579,1 PJ, sıcak su amaçlı enerji tüketimi 192,0 PJ, pişirme amaçlı enerji tüketimi 50,8 PJ, aydınlatma amaçlı enerji tüketimi 17,0 PJ ve diğer kullanımlar amaçlı enerji tüketimi 132,5 PJ olarak hesaplanmıştır. İklim etkisinden arındırılmış alan ısıtması amaçlı enerji tüketiminin ise 641 PJ olduğu görülmüştür.

2000-2019 dönemi AB ülkelerinin verileri kullanılarak oluşturulan çoklu doğrusal regresyon ve rastgele orman modellerine göre 2019 yılı nihai kullanım amaçlı enerji tüketim değerleri alan ısıtması için 546,7 PJ ve 547,8 PJ, sıcak su amaçlı için 147 PJ ve 163,3 PJ ve pişirme için 60,8 PJ ve 66,6 PJ olduğu tahmin edilmiştir. Sıfıra yakın olması beklenen MSE, RMSE ve MAE değerlerinin sırasıyla 0,032-0,219, 0,180-0,468 ve 0,028-0,222 aralığında olduğu görülmüş ve bu sebeple nihai kullanımlar için yapılan tahminlerin kabul edilebilir aralıkta olduğu değerlendirilmiştir.

Nihai kullanım fonksiyonları ve makine öğrenmesi model sonuçları karşılaştırıldığında nihai kullanım amaçlı enerji tüketim tahminlerinin benzer olduğu ve konut enerji tüketiminin yaklaşık dörtte üçünün alan ısıtması ve sıcak su üretimi amaçlı gerçekleştirildiği görülmektedir. Pişirme amaçlı enerji tüketimi ise nihai kullanım içerisinde yalnızca %5,2-6,9 arasında bir paya sahiptir. Ev aletleri, haberleşme şebekesine bağlı cihazlar, aydınlatma ve alan soğutması amaçlı enerji tüketimlerinin toplamı ise konut sektörü enerji tüketiminin yaklaşık %20'sini temsil etmektedir. Dolayısıyla, nihai kullanımların toplam tüketim içerisindeki paylarına bakıldığında ısıtma amaçlı enerji tüketiminin düşürülmesinin öncelikli alanlardan biri olduğu görülmektedir.

Stok modellemesi sonuçlarına göre 2019 yılı için tahmin edilen stok miktarları; buzdolabı 22 953 045 adet, derin dondurucu 6 018 092 adet, çamaşır makinesi 22 997 003 adet, çamaşır kurutma makinesi 1 128 863 adet, bulaşık makinesi 16 954 196 adet ve klima 7 787 715 adet olarak hesaplanmıştır. Ev aleti sahiplik oranları ise buzdolabı, derin dondurucu, çamaşır makinesi, çamaşır kurutma makinesi, bulaşık makinesi ve klimalar için sırasıyla %98, %25, %96, %5, %71 ve %32'dir. Bu durum, buzdolabı ve çamaşır makinelerinde sahiplik oranlarının bir doyum seviyesine yaklaştığını ve stok enerji tüketiminin gelecekte hanehalkı sayısındaki artışla yakından ilişkili bir seyir izleyeceğini gösterirken derin dondurucu, çamaşır kurutma makinesi, bulaşık makinesi ve klima sahiplik

oranlarının hanehalkı sayısındaki artışın yanı sıra ekonomik gelişme ile birlikte sahiplik oranlarının artacağını ve stok enerji tüketiminin hanehalkı sayısındaki artış oranının üzerinde bir gelişim göstereceğine işaret etmektedir.

Stok modellemesi yapılan ürün gruplarının enerji tüketimleri eko-tasarım ve etiketleme tebliğlerinde her bir ürün grubuna yönelik belirlenen hesaplama yöntemleriyle tahmin edilmiştir. Buna göre, büyük ev aletleri stoku elektrik tüketiminin 2005 yılındaki 16 782 GWh'ten 2019 yılında 21 697 GWh'e yükseldiği ve 2019 yılı verilerine göre büyük ev aletlerinin konutlarda tüketilen elektrik enerjisinin %40'ından sorumlu olduğu tespit edilmiştir. Klimalar kaynaklı elektrik tüketimi ise 2005 yılındaki 771 GWh'ten 2019 yılında 1 979 GWh'e yükselmiştir. Klimalar konutlardaki elektrik tüketiminin yalnızca %3,6'sından sorumludur.

Stok modellemesi sonuçlarına göre buzdolaplarının ortalama yıllık elektrik tüketimi 2005 yılında 604 kWh değerinden 2019 yılına gelindiğinde %47 oranında azalarak 323 kWh'e gerilemiştir. Aynı dönemde ortalama yıllık elektrik tüketim değerleri derin dondurucular için 504 kWh'ten %38 azalarak 310 kWh'e, çamaşır makineleri için 276 kWh'ten %38 azalarak 172 kWh'e, çamaşır kurutma makineleri için 491 kWh'den %44 azalarak 274 kWh'e, bulaşık makineleri için 340 kWh'ten %20 azalarak 274 kWh'e düşmüştür.

Ayrıca işbu Tez çalışması kapsamında, nihai kullanımlardaki enerji verimliliği gelişiminin tespit edilmesi amacıyla literatürdeki veri setindeki sıfır değerlerinin oluşturduğu problemi aşan ve artık değer barındırmayan Logaritmik Ortalamalı Divisya Endeks Ayırıştırma Yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiş ve 2000-2018 dönemi için faaliyet, yapısal ve enerji yoğunluğundaki değişimlerin enerji tüketimine olan etkileri incelenmiştir. Böylelikle, konut sektöründe enerji tüketimindeki değişimlere neden olan faktörler ölçülerek uygulamada olan politika ve programların etkinliğine yönelik bir yorum getirilmiştir.

LODE ayırıştırma analizi sonuçlarına göre, 2000-2018 döneminde alan ısıtması amaçlı enerji tüketimini faaliyet ve yapısal etkenler sırasıyla %24 ve %50 oranlarında artırırken, iklim ve enerji yoğunluğu etkileriyle sırasıyla %31 ve %39 oranlarında düşürmüştür. Sonuç olarak, alan ısıtması amaçlı enerji tüketimindeki net değişim %21 oranında artış ile sınırlı kalmıştır. Aynı dönemde sıcak su amaçlı enerji tüketimini faaliyet ve enerji yoğunluğu etkenleri sırasıyla %44 ve %169 oranlarında artırmış ve sıcak su amaçlı enerji tüketiminin

toplamda %214 oranında yükselmesine neden olmuştur. Enerji yoğunluğunun enerji tüketimindeki artışı desteklemesinin sebebinin analiz döneminde hanehalkının çamaşır ve bulaşık makinesi sahiplik oranlarının önemli ölçüde artmasına bağlı olarak kişi başına sıcak su talebinin hızla yükselmesi olduğu düşünülmektedir. Pişirme amaçlı enerji tüketimi ise faaliyet ve yapısal etkenler nedeniyle toplamda %50 oranında artmış, enerji yoğunluğunda sağlanan %36'lık iyileşme sayesinde net değişim %14 ile sınırlı kalmıştır.

Soğutma amaçlı enerji tüketimini faaliyet, yapısal ve iklim etkenleri sırasıyla %78, %76 ve %48 oranlarında artırmıştır. Bu artışa ek olarak, refah etkisini yansıtan soğutulan kullanım alanının artması enerji tüketimini %823 oranında yükseltmiştir. Enerji yoğunluğunun %312 oranında enerji tüketimine azaltma etkisi göstermesine rağmen soğutma amaçlı enerji tüketimi nihayetinde %743 oranında artmıştır. Aydınlatma amaçlı enerji tüketimini de faaliyet ve yapısal etkenler sırasıyla %37 ve %36 oranlarında artırmış ve kişi başına düşen kullanım alanının artmasına bağlı olarak enerji yoğunluğu %59 oranında tüketimdeki artışı desteklemiştir. Sonuçta aydınlatma amaçlı enerji tüketimi analiz döneminde %133 oranında artış göstermiştir.

Büyük ev aletleri için her bir ürün grubu bazında faaliyet, yapısal ve enerji yoğunluğu faktörlerinin nihai enerji tüketimi üzerindeki etkileri de incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre 2000-2018 döneminde enerji tüketimindeki oransal en yüksek artış %1 598 oranı ile derin dondurucularda gözlemlenmiştir. Bunu çamaşır kurutma makineleri %521 ve bulaşık makineleri %155 oranlarıyla takip etmiştir. Buzdolabı ve çamaşır makinelerindeki artışlar ise sırasıyla %11 ve %8 oranlarıyla daha sınırlı kalmıştır.

Sonuçta, 2000-2018 döneminde konut sektörü enerji tüketimi nüfus artışına bağlı olarak toplamda 189 PJ artmıştır. Hanehalkı gelirin yükselmesine paralel olarak artan refah etkisi ile birlikte enerji tüketen ekipmanlar daha fazla kullanım alanı bulmuş ve konut sektörü enerji tüketimini ilave olarak 343 PJ artırmıştır. Diğer taraftan, iklimin uzun yıllar ortalamalarına göre daha sıcak geçmesi nedeniyle ısıtma amaçlı enerji talebinin azalması sonucunda nihai enerji tüketiminde 125 PJ kadar bir azalış gerçekleşmiştir. Enerji yoğunluğundaki en büyük gelişim alan ısıtmasında gerçekleştirmiş ve nihai enerji tüketiminde 157 PJ azaltım etkisi görülmüştür. Benzer biçimde pişirme, soğutma, büyük ev aletleri ve diğer kullanımlarda enerji yoğunluğundaki sağlanan ilerlemeler nihai enerji tüketimini sırasıyla 23 PJ, 3 PJ, 36 PJ ve 148 PJ düşmesini sağlamıştır. Tüketicilerin konfor şartlarının

iyileşmesinin bir sonucu olarak kişi başına sıcak su kullanımı ve konutlardaki aydınlatma noktasının artması enerji yoğunluğunun söz konusu iki nihai kullanım alanında enerji tüketimini artırıcı etki göstermesine neden olmuştur.

Nihayetinde enerji verimliliği politika ve programları sayesinde enerji tüketimindeki artışların sınırlı kaldığı görülmektedir. Enerji verimliliğinin etkisinin olmaması durumunda konut sektörünün nihai enerji tüketimi değerinin 2018 yılında gerçekleşen değerinden %21 daha fazla olacağı ve 1 092 PJ değerine ulaşacağı tahmin edilmiştir. Ayırıştırma analizi sonuçlarına göre, enerji tüketimindeki artış eğiliminin özellikle 2008 yılı sonrasında ön plana çıktığı görülmektedir. Bu durum, 2007 yılında yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Kanunu ile getirilen hükümlerin, 2008-2009 döneminde yayımlanan ikincil mevzuat düzenlemelerinin ve eko-tasarım ile etiketleme düzenlemelerinin etkinlik düzeyini net bir biçimde yansıtmaktadır.

İşbu Tez çalışması kapsamında Türkiye konut sektörünün 2053 net sıfır hedefleri doğrultusunda uzun dönemli enerji tüketiminin tahmin edilmesine yönelik bir analiz de gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede, öncelikle nüfus, ortalama hanehalkı ve GSYH bağımsız değişkenleri kullanılarak 2053 yılına yönelik bina sayısı makine öğrenmesi yöntemiyle tahmin edilmiştir. 1964-2020 dönemi bina verileri kullanılarak çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuş ve bina stokunun 2053 yılına gelindiğinde 8,82 milyona çıkacağı tahmin edilmiştir. Nihai kullanım amaçlı enerji tüketimlerine ilişkin yapılan varsayımlar eşliğinde, konut sektörü nihai enerji tüketiminin 2019 yılındaki 971 PJ değerinden 2053 yılına gelindiğinde %40,4 oranında artarak 1 363 PJ'ye ulaşacağı tahmin edilmiştir. Projeksiyon döneminde enerji verimliliğindeki iyileşmeler sayesinde alan ısıtmasının toplam enerji tüketimindeki payının %64,8'den %45,2'ye gerileceği öngörülmüştür. Sıcak su ve pişirme amaçlı enerji tüketimlerinin toplam tüketim içerisindeki oranlarında anlamlı bir değişim beklenmezken, ev aletleri, haberleşme şebekesine bağlı cihazlar ve aydınlatmayı içeren diğer kullanımların payının ekonomik büyüme bağlı olarak 2019'daki %13,1 olan payının 2053 yılına gelindiğinde %33,3'e yükseleceği tahmin edilmiştir.

Gerçekleştirilen analizler, mevcut enerji verimliliği politika ve programlarının Türkiye konut sektörünün enerji tüketimini düşürmeye yönelik önemli bir etkisinin bulunduğunu, ancak demografik, ekonomik ve yapısal etkenlerle birlikte 2053 yılına yönelik talep artışının hız kesmeyeceğini göstermiştir. Bu durum, 2053 net sıfır hedefine ulaşılmasında en zor

sınamalardan birinin konut sektöründe gerçekleşeceğine ve mevcut politika ve programların daha sıkılaştırılmış olarak güncellenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Bu amaçla işbu Tez çalışması ile konut sektöründe enerji verimliliği gelişiminin hızlandırılmasını sağlayacak ve orta ve uzun dönemde uygulamaya alınacak politika araçlarının belirlenmesine yönelik dört ana başlıklı yöntemsel bir çerçeve geliştirilmiştir. Birinci başlıkta, mer'î mevzuat hükümleri ve politika belgeleri incelenerek hedeflerdeki sapmalar ve geliştirilmesi gereken alanlar belirlenmiştir. İkinci başlıkta, Türkiye'nin henüz uyumlaştırma sağlamadığı AB'nin enerji verimliliği müktesebatındaki düzenlemeler incelenerek açıklık analizi gerçekleştirilmiştir. Üçüncü başlıkta, 27 AB üye ülkesinin ulusal enerji ve iklim eylem planları incelenerek önümüzdeki on yıllık dönemde konut sektöründe uygulamaya almaya planladıkları eylemler incelenmiş ve Türkiye'de henüz uygulama alanı bulamamış olan eylemler tespit edilmiştir. Dördüncü başlıkta ise, küresel iklim hedeflerine ulaşılmasında Uluslararası Enerji Ajansı'nın Net Sıfır Yol Haritası referans alınarak Türkiye'nin atması gereken adımlar belirlenmiştir.

Geliştirilen yaklaşım yöntemiyle bütüncül bir politika çerçevesinin oluşturulması, böylelikle 2023 yılında tamamlanacak olan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nın 2024-2030 dönemini kapsayacak ikinci dönemi için eylem önerilerinin geliştirilmesi ve 2053 yılına yönelik uzun dönemli politika araçlarının haritasının çıkartılması hedeflenmiştir. İşbu Tez çalışmasında gerçekleştirilen analizlerin bulguları dikkate alınarak politika tavsiyeleri geliştirilmiş ve tavsiyelerin dört ana başlıklı yöntemsel çerçeve ile uyumlu olması sağlanmıştır.

Türkiye'deki konut tipi binaların %87'si 2010 yılında yayımlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği öncesinde inşa edilmiş ve enerji performansı düşük binalar olması nedeniyle mevcut binalarda enerji verimliliğinin teşvik edilmesine yönelik bir finansman desteğinin sağlanması öncelikli politika başlıklarından biridir. Bu alandaki ilk politik hedeflerinin belirlenmesinin üzerinden on yıl geçmesine rağmen henüz bir ilerleme sağlanamamıştır. Diğer taraftan, konutlardaki toplam enerji tüketiminin yaklaşık dörtte üçünün alan ısıtması ve sıcak su üretimi amaçlı olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple, geliştirilecek finansal teşviklerin kentsel dönüşüme girmeyecek binalardaki ısıtma talebinin düşürülmesine öncelikle odaklanmalıdır. Bu amaçla geliştirilecek uzun dönemli yenileme stratejisinin kırılgan grupların desteklenmesi ve enerji yoksulluğu ile mücadele gibi diğer

politika hedefleriyle bütüncül olarak ele alınması tavsiye edilmektedir.

Konutlarda soğutma amaçlı enerji tüketimi toplam tüketim içerisinde sadece %0,73'lük bir paya sahiptir. Bununla birlikte, Uluslararası Enerji Ajansı'nın gelişmekte olan ülkelerde soğutma talebinin 2050 yılına kadar üç kat artacağını öngörmektedir. Ayrıca, yapılan analizlerde ev aletleri, haberleşme şebekesine bağlı cihazlar, aydınlatma ve alan soğutmasını da içeren elektrik enerjisi tüketiminin 2053 yılına kadar yaklaşık 3,5 kat büyüyeceği tahmin edilmiştir. Bu sebeple, alanında en iyi performans gösteren ürünlerin teşvik edilmesi ve net sıfır hedefleri doğrultusunda fosil yakıtlı enerji kullanan ekipmanların kademeli olarak yasaklanması diğer bir öncelikli alan olarak öne çıkmaktadır.

Uygulama alınacak finansal teşviklerin politik hedeflere ulaşılmasında yeterli olmadığı durumda mali teşviklerin de uygulanması düşünülebilir. Bu durumda, finansal ve mali teşviklerin etki analizlerinin gerçekleştirilmesi ve teşvik süresi ve miktarı gibi etkenlerin kamu bütçesine yük getirmeyecek biçimde en çok ihtiyaç duyulan alana yönelik olarak tasarlanması önem arz etmektedir. Bu kapsamda, farklı finansal enstrümanlarla teşviklerin harmanlama yapılması kamunun kaldıracağı etkisini daha da yükseltecektir. Ayrıca, EED'de öngörüldüğü gibi enerji dağıtım ve tedarik şirketlerine yönelik enerji verimliliği yükümlülüklerinin getirilmesi ve ulusal enerji verimliliği fonunun kurulması ile hanehalklarının enerji verimliliği yatırımlarının desteklenmesine katkı sağlanabilir.

Yeni yapılacak binaların orta vadede neredeyse sıfır enerjili bina, uzun vadede ise sıfır karbona hazır bina olarak inşa edilmelerine yönelik düzenleyici çerçevenin geliştirilmesi gerekmektedir. Mevcut mevzuatta yer alan neredeyse sıfır enerjili bina tanımının daha iddialı olarak yeniden düzenlenmesi, AB üye ülkelerinin enerji ve iklim eylem planlarında yer aldığı gibi konut sektörünün tamamını kapsayacak biçimde genişletilmesi, sıfır ve pozitif enerjili binaların yaygınlaştırılmasına yönelik ek teşviklerin tanımlanması ve EKB'lerin rolünün genişletilerek karbonsuzlaştırma politikalarına entegre edilmesi bu alanda atılması gereken diğer politika seçenekleridir.

Nüfus yoğun bölgelerin ısıtma ve soğutma talebinin karşılanması amacıyla sanayi ve termik santral atık ısıları ile yenilenebilir kaynaklı kojenerasyon uygulamalarının yaygınlaştırılması, nüfus seyrek bölgelerde yenilenebilir ve elektrifikasyona geçişin sağlanması için güneş kolektörü ve ısı pompası gibi ekipmanların kullanımının

desteklenmesi önceliklendirilmesi gereken bir diğer politika alanıdır. Bu amaçla, EED’de öngörüldüğü gibi yerleşim yerlerinin ısıtma ve soğutma taleplerinin en düşük maliyetle karşılanmasına yönelik fayda-maliyet analizi yapma yükümlülüklerinin mevzuatta tanımlanması, analiz sonuçlarına göre arz ve teknoloji seçeneklerinin belirlenmesi göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuçta, enerji verimliliği çalışmalarının konut sektöründeki bütün değer zinciri boyunca yürütülerek inşaat sektörünü ve altyapı yatırımlarını kapsayacak biçimde ele alınması gereklidir. Şehir planlaması ile başlatılan çalışmaların yerel hizmetlere ve toplu taşımaya erişimi kolaylaştırmasını ve dijital teknolojilerin getireceği yeniliklerden azami biçimde faydalanmasını da içermelidir.

Bütün bu çalışmaların davranışsal yöntemlerle pekiştirilmesi ve bilinçlendirme faaliyetleri ile desteklenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, tek durak hizmet noktaları ile hanehalklarına yönelik tavsiye ve yönlendirmelerin yapılması ve ilerleyen süreçte tek durak hizmet noktalarının finansal çözümleri de kapsayacak biçimde evrilmesi göz önünde bulundurulmalıdır.

Bütün bu bulgular ışığında, Türkiye için orta vade (2024-2030) ve uzun vade (2030 sonrası) ayrımı yapılarak UEVEP’te yer alan mevcut 11 eylemin devam edilmesi veya geliştirilmesine yönelik değerlendirmelerde bulunulmuş ve ilave uygulamaya alınabilecek 11 eylem önerisi daha geliştirilmiştir. UEVEP B1. İnşaat Sektöründe Kullanılan Malzeme ve Teknolojiye İlişkin En İyi Uygulamaların Tespiti ve Paylaşılması, B2. Binalar İçin Enerji Tüketim Verilerini de İçeren Bir Veri Tabanı Oluşturulması, B6. Merkezi ve Bölgesel Isıtma/Soğutma Sistemlerinin Kullanımının Özendirilmesi ve B11. Binalarda Yenilenebilir Enerji ve Kojenerasyon Sistemlerinin Kullanımının Yaygınlaştırılması eylemlerine devam edilmesi önerilirken; B5. Mevcut Binaların Rehabilitasyonu ve Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi, B7. Mevcut Binaların Enerji Kimlik Belgesi Sahiplik Oranının Artırılması, B8. Sürdürülebilir Yeşil Binalar ile Yerleşmelerin Belgelendirilmesinin Özendirilmesi ve B9. Yeni Binalarda Enerji Verimliliğinin Özendirilmesi eylemlerinin güncellenmesi gerektiği değerlendirilmiştir. Bu eylemlere ilave olarak geliştirilen yeni eylem önerileri;

- YÖ1. Mevcut binaların yenilenmesine yönelik finansal teşviklerin tanımlanması,
- YÖ2. Sınıfındaki en iyi performansa sahip enerji tüketen ekipmanların, ev otomasyon

sistemlerinin ve dijital teknolojilerin ikame edilmesine yönelik ilave finansal teşviklerin tanımlanması,

- YÖ3. Nüfus yoğun bölgelerde verimli bölgesel ısıtma ve soğutma sistemlerinin yaygınlaştırılmasına yönelik yerel yönetimlere altyapı teşvik programlarının geliştirilmesi,
- YÖ4. Isıtma ve soğutma tüketiminin elektrifikasyonuna yönelik teşvikler tanımlanması, ısı pompası ve %100 H₂ yakan teknolojilerinin desteklenmesi,
- YÖ5. Verimsiz ve fosil yakıtlı kazanların kademeli olarak kaldırılması,
- YÖ6. Yenilenebilir ısı ve mikrokojenerasyon sistemlerinin kullanımına yönelik düzenleme veya teşviklerin tanımlanması,
- YÖ7. Talep tarafı uygulamalarına yönelik düzenlemelerin yapılması, teşvik seçeneklerinin değerlendirilmesi,
- YÖ8. Karbonsuzlaşma çalışmalarının bütün değer zincirinde yürütülmesi amacıyla inşaat sektörünün rolü ve inşa süreçleri göz önünde bulundurularak ve altyapı yatırımları da dikkate alınarak verimlilik çalışmalarının geliştirilmesi,
- YÖ9. Şehir planlamasının yerel hizmetlere ve toplu taşımaya erişimi kolaylaştırıcı olarak geliştirilmesi,
- YÖ10. Yeni binaların sıfır karbona hazır bina olarak inşa edilmesi,
- YÖ11. Yeşil tahvil ve yeşil finansman vb. finansal araçların konut sektöründe geliştirilmesidir.

Enerji verimliliği politikalarının tasarımında hedefler ilgili paydaşları kapsayıcı, gerçekçi, ölçülebilir ve net olarak belirlenmeli ve erişilebilir bir zaman takvimine sahip olmalıdır. Net sıfır hedeflerine ulaşılmasında katlanılması gereken maliyetlerin minimize edilebilmesi için uygulamaya alınacak politikalar bütüncül bir bakış açısıyla tasarlanmalı ve optimum maliyetli seçeneklerin uygulamaya alınması garanti altına alınmalıdır. Yenilikçi çözümlerin teşvik edilmesi politika maliyetlerinin düşmesine, karbonsuzlaşma seçeneklerinin artmasına ve yüksek katma değer üretilmesine katkı sağlayacaktır.

Sınırlı veri mevcudiyeti nedeniyle işbu Tez çalışmasında gerçekleştirilen analizler, Türkiye ile kıyaslanabilir diğer ülke verilerinin de temin edilmesiyle ve nüfus, iklim ve ekonomik gelişmişliğin yanı sıra sosyolojik, kültürel, psikolojik gibi birçok farklı etkenlerin modellere dahil edilmesiyle ileriki çalışmalarda geliştirilebilir. Nihai kullanımlardaki enerji

tüketiminin daha yüksek doğrulukla belirlenmesine yönelik farklı iklim bölgelerini ve toplumun bütün sosyoekonomik sınıflarını kapsayan enerji etütleri ve alan araştırmaları gerçekleştirilebilir. Enerji etütleri ve alan araştırmalarından elde edilecek verilerle eksik veriler tamamlanarak işbu Tez çalışmasında sunulan yöntemler dışında da farklı yaklaşım ve algoritmalar kullanılabilir. Ayrıca, konut sektörünün enerji talebinin uzun dönemli tahmin edilmesine yönelik ekipman ve teknoloji maliyetleri de dikkate alınarak projeksiyon çalışmaları geliştirilebilir. Böylelikle bir maliyet minimizasyonu altında net sıfır hedeflerine ulaşılmasına yönelik farklı patika yollarının maliyetleri hesaplanabilir.

Sınırlı veriye sahip diğer ülkelerce izlenebilecek yaklaşımların ortaya konulmasını amaçlayan bu çalışma, konut sektöründe enerji tüketiminin değişiminde belirleyici olan etkenlerin on bir adet farklı nihai kullanım bazında incelenmesi yönüyle de literatürdeki en kapsamlı çalışma özelliğini taşımaktadır. Türkiye özelinde ise konut sektöründe nihai kullanım amaçlı enerji tüketimine ilişkin detaylı bir veri seti ilk defa ortaya konulmuş ve nihai kullanım amaçlı enerji tüketiminin gelişimi ile enerji verimliliği politikalarının etkinliğine yönelik veriye dayalı bir değerlendirme çalışması literatüre kazandırılmıştır. Ayrıca, Türkiye özelinde geliştirilen yönetsel çerçeve ile Türkiye'nin net sıfır dönüşümünde konut sektörünün enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uygulamaya alınabilecek politika seçenekleri kapsamlı olarak belirlenmiştir.

Nihayetinde, işbu Tez çalışmasıyla net sıfır hedefleri doğrultusunda uygulamaya alınacak politikaların finansal, mali ve düzenleyici önlemlerin dengeli bir karışımı olması ve politika yapıcılara yön göstermesi amacıyla bir analiz seti sunulmuştur.

KAYNAKLAR

1. İnternet: International Energy Agency. Web: <https://www.iea.org/topics/buildings>, Son Erişim Tarihi: 28.11.2020.
2. Resmî Gazete (2018). *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*. İlan Tarihi: 05.12.2008, Sayı: 27075.
3. International Energy Agency. (2014). *Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics*. OECD/IEA. Paris.
4. Swan, L. G. ve Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1819–1835.
5. Sathaye, J. ve Sanstad, A. (2004). Bottom-up Energy Modelling. *Encyclopeida of Energy*, 54851.
6. Daiglou, V., van Ruijven, B. ve van Vuuren, D. (2012). Model projections for household energy use in developing countries. *Energy*, 37, 601-615.
7. Bianco, V., Marchitto, A., Scarpa F. ve Tagliafico, L. (2020). Forecasting energy consumption in the EU residential sector. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2259.
8. Sepehr, M., Eghtedaei, R., Toolabimoghadam, A., Noorollahi Y. ve Mohammadi, M. (2018). Modeling the electrical energy consumption profile for residential buildings in Iran. *Sustainable Cities and Society*, 41, 481-489.
9. Yang, Q., Liu, M., Huang, C., Min Y. ve Zhong, Y. (2015). A model for residential building energy consumption characteristics and energy demand: A case in Chongqing. *Procedia Engineering*, 121, 1772-1779.
10. Hu, S., Yan, D. ve Qian, M. (2019). Using bottom-up model to analyze cooling energy consumption in China's urban residential building. *Energy and Buildings*, 202, 1-17.
11. Ghedamsi, R., Settou, N., Gouareh, A., Khamouli, A., Saifi, N., Recioui B. ve Dokkar, B. (2016). Modeling and forecasting energy consumption for residential buildings in Algeria using bottom-up approach., *Energy and Buildings*, 121, 309-317.
12. Diao, L., Sun, Y., Chen Z. ve Chen, J. (2017). Modeling energy consumption in residential buildings: A bottom-up analysis based on occupant behavior pattern clustering and stochastic simulation. *Energy and Buildings*, 147, 47-66.
13. Gago, E., García, J. ve Estrella, A. (2011). Development of an energy model for the residential sector: Electricity consumption in Andalusia, Spain. *Energy and Buildings*, 43 (6), 1315-1321.
14. Fumo, N. ve Biswas, M. (2015). Regression analysis for prediction of residential energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 332-343.

15. Alajmi, T. ve Phelan, P. (2020). Modeling and forecasting end-use energy consumption for residential buildings in Kuwait using a bottom-up approach. *Energies*, 13 (1981).
16. Diawuo, F., Sakah, M., Pina, A., Baptista, P. ve Silva, C. (2019). Disaggregation and characterization of residential electricity use: Analysis for Ghana. *Sustainable Cities and Society*, 48 (101586).
17. Heidari, M., Majcen, D., van der Lans, N., Floret I. ve Patel, M. (2018). Analysis of the energy efficiency potential of household lighting in Switzerland using a stock model. *Energy and Buildings*, 158, 536–548.
18. Eurostat. (2013). *Manual for statistics on energy consumption in households*. European Union. Luxembourg.
19. Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M. ve Özşahin, T. (2011). Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables. *Applied Energy*, 88(5), 1927-1939.
20. Uzlu, E., Kankal, M., Akpınar, A. ve Dede, T. (2014). Estimates of energy consumption in Turkey using neural networks with the teaching-learning-based optimization algorithm. *Energy*, 75, 295-303.
21. Aydin, G. (2014). Modeling of energy consumption based on economic and demographic factors: The case of Turkey with projections. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 382-389.
22. Oğulata, R. (2002). Sectoral energy consumption in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(5), 471-480.
23. Hamzaçebi, C. (2007). Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases. *Energy Policy*, 35(3), 2009-2016.
24. Dilaver, Z. ve Hunt, L. (2010). Modelling and Forecasting Turkish Residential Electricity Demand. *Surrey Energy Economics Discussion Paper Series*, SEEDS 131.
25. Şahin, M. Ç. (2012). *Konutlardaki Elektrikli Cihazların Bekleme Konumunda Elektrik Tüketiminin ve Buna Bağlı CO₂ Emisyonunun Belirlenmesi*. Ankara: Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
26. World Bank. (2010). Tapping the Potential for Energy Savings in Turkey. Sustainable Development Department Europe and Central Asia Region.
27. Türkiye Enerji Verimliliği Meclisi. (2010). Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu. *TEVEM*. İstanbul.
28. İnternet: Elektrik Mühendisleri Odası. Web: http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=104918&tipi=2, Son Erişim Tarihi: 26.05.2020.
29. Keirstead, J. (2006). Evaluating the applicability of integrated domestic energy consumption frameworks in the UK. *Energy Policy*, 34(17), 3065–3077.

30. York, R. ve Fonseca, P. (2007). Demographic trends and energy consumption in European Union Nations, 1960–2025. *Social Science Research*, 36, 855–872.
31. Serrano, S., Ürge-Vorsatz, D., Barreneche, C., Palacios, A. ve Cabeza, L. F. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 85–98.
32. Lévy, J. ve Belaid, F. (2018). The determinants of domestic energy consumption in France: Energy modes, habitat, households and life cycles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), 2104–2114.
33. Nair, G., Gustavsson, L. ve Mahapatra, K. (2010). Factors influencing energy efficiency investments in existing Swedish residential buildings. *Energy Policy*, 38(6), 2956–2963.
34. Brounen, D., Kok, N. ve Quigley, J. (2012). Residential energy use and conservation: Economics and demographics. *European Economic Review*, 56, 931–945.
35. Hara, K., Uwasu, M., Kishita, Y. ve Takeda, H. (2015). Determinant factors of residential consumption and perception of energy conservation: Time-series analysis by large-scale questionnaire in Suita, Japan. *Energy Policy*, 87, 240–249.
36. Kowsari, R. ve Zerriffi, H. (2011). Three dimensional energy profile: a conceptual framework for assessing household energy use. *Energy Policy*, 39, 7505–7517.
37. Frederiks, E. R., Karen, S. ve Hobman, E. V. (2015). The socio-demographic and psychological predictors of residential energy consumption: a comprehensive review. *Energies*, 8, 573–609.
38. Romero-Jordán, D., Peñasco, C. ve Del Rio, P. (2014). Analysing the determinants of household electricity demand in Spain. An econometric study. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 950–961.
39. Román-Collado, R., ve Colinet, M. (2018). Are labour productivity and residential living standards drivers of the energy consumption changes? *Energy Economics*, 74, 746–756.
40. Borozan, D. (2018). Regional-level household energy consumption determinants: The European perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 347–355.
41. Kavousian, A., Rajagopal, R. ve Fischer, M. (2013). Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy*, 55, 184–194.
42. Silk, J. ve Joutz, F. (1997). Short and long-run elasticities in US residential electricity demand: A co-integration approach. *Energy Economics*, 19, 493–513.
43. Bouznit, M., Pablo-Romero, M. ve Sánchez-Braza, A. (2018). Residential Electricity Consumption and Economic Growth in Algeria. *Energies*, 11 (1656).
44. Jacobsen, G. (2015). Do energy prices influence investment in energy efficiency? Evidence from energy star appliances. *Journal of Environmental Economics and Management*, 74, 94–106.

45. Poortinga, W., Steg, L. ve Vlek, C. (2004). Values, environmental concern and environmental behavior: a study into household energy use. *Environment and Behavior*, 36, 70–93.
46. Gatersleben, B., Steg, L. ve Vlek, C. (2002). Measurement and determinants of environmentally significant consumer behavior. *Environment and Behavior*, 34, 335–362.
47. Official Journal of the European Union. (2012). *Directive 2012/27/EU on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC*, Brüksel.
48. United Nations. (2018). International Recommendations for Energy Statistics. Statistical Papers, Series M No.93. UN. New York.
49. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Web: <https://enerji.gov.tr/evced-enerji-verimlilik-olcme-ve-degerlendirme>, Son Erişim Tarihi: 25.01.2022.
50. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021). Web: <https://enerji.gov.tr/Preview/tr/63d0007a-f593-458b-9610-353eb2545897>, Son Erişim Tarihi: 25.01.2022.
51. International Energy Agency. (2021). *Energy Efficiency Indicators Highlights*. Paris: OECD/IEA.
52. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). Web: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>, Son Erişim Tarihi: 15.01.2022.
53. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). Web: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Nufus-Projeksiyonlari-2018-2080-30567>, Son Erişim Tarihi: 15.01.2022.
54. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). Web: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>, Son Erişim Tarihi: 15.01.2022.
55. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). Web: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Aile-2019-33730>, Son Erişim Tarihi: 15.01.2022.
56. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). Web: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Aile-2020-37251>, 15.01.2022.
57. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). Web: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>, Son Erişim Tarihi: 15.01.2022.
58. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). Web: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/>, Son Erişim Tarihi: 15.01.2022.
59. İnternet: Eurostat. Web: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>, Son Erişim Tarihi: 27.01.2022.
60. T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı. (2022). Ekonomik Göstergeler 2021. HMB. Ankara.

61. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Web: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx>, Son Erişim Tarihi: 27.01.2022.
62. İnternet: Enerdata Odyssee-Mure Database. Web: <https://www.odyssee-mure.eu>, Son Erişim Tarihi: 27.01.2022.
63. Türkiye İstatistik Kurumu. (2013). Nüfus ve Konut Araştırması 2011. *TÜİK*. Ankara.
64. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021). Bina Sektörü Enerji Verimliliği Teknoloji Atlası Raporu. *ÇŞİDB*. Ankara.
65. Resmî Gazete (2019). *2020 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı*. İlan Tarihi: 04.11.2019, Sayı: 30938 (Mükerrer).
66. International Energy Agency. (2014). Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics. *OECD/IEA*. Paris.
67. European Commission. (2019). Review Study of Commission Regulation (EU) No. 814/2013 [Ecodesign] and Commission Delegated Regulation No. (EU) No. 812/2013 (Energy Label). *EC*. Brüksel.
68. İnternet: Eurostat. Web: https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Energy_consumption_in_households#Use_of_energy_products_in_households_by_purpose. Erişim Tarihi: 28.01.2022.
69. van Ruijven, B. (2008). Energy and Development, A Modelling Approach, Chapter 6, Science, Tecnology and Society, PhD Thesis. Utrecht: Universiteit Utrecht.
70. Daioglou, V. (2010). Residential Energy Use Scenarios, Sustianable Development – Energy and Resources, M.Sc. Thesis. Utrecht: Utrecht University.
71. International Energy Agency ETSAP. (2012). Technology Brief R06: Cooking Appliances. *IEA/TCP*. Paris.
72. Ertay, H. ve İleri, A. (t.y.). Türkiye’de Konut Sektöründe Enerji Tüketimi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 46.
73. Sarak, H. ve Satman, A. (2003). The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: a case study. *Energy*, 28, 929–939.
74. Mangan, S. ve Oral, G. (2014). A Study on the Evaluation of Heating and Cooling Energy Efficiency in Residential Buildings for Climatic Zones of Turkey. *Journal of Energy and Power Engineering*, 8, 2045-2052.
75. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2018). Isı Potansiyeli Belirleme Raporu. *ETKB*. Ankara.
76. Türkiye İstatistik Kurumu. (2016). Gelir ve Yaşam Koşulları Araştırması, Haber Bülteni Sayı 57/2017. *TÜİK*. Ankara.

77. Ediger, V. Ş., Kirkil, G., Çelebi, E., Ucal, M. Ş. ve Kentmen, Ç. (2019). Türkiye Toplumunun Enerji Tercihleri-3. Kadir Has Üniversitesi Enerji ve Sürdürülebilir Kalkınma Merkezi. İstanbul.
78. Odyssee-Mure. (t.y.). Definition of Data and Energy Efficiency Indicators in ODYSSEE data base. *Enerdata*, Paris.
79. Heidari, M., Majcen, D., van der Lans, N., Floret, I. ve Patel, M. (2018). Analysis of the energy efficiency potential of household lighting in Switzerland using a stock model. *Energy and Buildings*, 158, 536–548.
80. International Energy Agency (2014). The Future of Cooling: Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning. *OECD/IEA*. Paris.
81. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2016). Konutlarda Enerji Tüketimi İzleme Planı Anket Değerlendirme Raporu. UNDP/GEF Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi. *ETKB*. Ankara
82. Na, L. (2006). Energy Efficiency Monitoring and Index Decomposition Analysis, Ph.D. Thesis. Singapore: National University of Singapore, Department of Industrial and Systems Engineering.
83. Boyd, G., McDonald, J., Ross, M. ve Hanson, D. (1987). Separating the changing composition of US manufacturing production from energy efficiency improvements: A Divisia index approach. *Energy Journal*, 8(2), 77-96.
84. Ang, B., Liu, X. ve Ong, H. (1992). Sector Disaggregation and the Effect of Structural Change on Industrial Energy Consumption. *Energy*, 17(7), 679-687.
85. Ang, B. ve Skea, J. (1994). Structural Change and Electricity Consumption. *Energy & Environment*, 5(1), 1-17.
86. Ang, B. W. ve Lee, S. Y. (1994). Decomposition of Industrial Energy Consumption: Some methodological and application issues. *Energy Economics*, 16(2), 83-92.
87. Ang, B. ve Choi, K. (1997). Decomposition of Aggregate Energy and Gas Emission Intensities for Industry: A Refined Divisia Index Method. *Energy Journal*, 18(3), 59-73.
88. Greening, L., Davis, W., Schipper, L. ve Khrushch, M. (1997). Comparison of six decomposition methods: application to aggregate energy intensity for manufacturing in 10 OECD countries. *Energy Economics*, 19(3), 375–390.
89. Farla, J. ve Blok, K. (2000). Energy efficiency and structural change in the Netherlands 1980–1995. *Journal of Industrial Ecology*, 4(1), 93–117.
90. Albrecht, J., Francois, D. ve Schoors, K. (2002). A Shapley decomposition of carbon emissions without residuals. *Energy Policy*, 30(9), 727–736.
91. Lapillonne, B. (2020). Definition of energy efficiency index ODEX in ODYSSEE data base. *Enerdata*. Grenoble.

92. Asia Pacific Energy Research Centre. (2020). Energy efficiency indicators: a study of energy efficiency indicators for Industry in APEC economies. *APEREC*. Tokyo.
93. International Atomic Energy Agency. (2005). Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. *IAEA*. Vienna.
94. Natural Resources Canada. (2006). Energy Efficiency Trends in Canada. *NRC*. Ottawa.
95. Ang, B. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?. *Energy Policy*, 32, 1131-1139.
96. Ang, B. (1995). Decomposition Methodology in Industrial Energy Demand Analysis. *Energy*, 20(11), 1081-1995.
97. Choi K. ve Ang, B. (2012). Attribution of changes in Divisia real energy intensity index: An Extension to index decomposition analysis. *Energy Economics*, 34(1), 171-176.
98. Selçuk, I. (2018). Türkiye Sanayi Sektörü Enerji Verimliliği: Genişletilmiş Logaritmik Ortalama Divisia Endeks Ayrıştırma Yöntemi Uygulaması. *Sosyoekonomi*, 26 (37), 127-145.
99. Economidou, M. (2017). Assessing the progress towards the EU energy efficiency targets using index decomposition analysis. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
100. Setyawan, D. (2020). Energy efficiency in Indonesia's manufacturing industry: a perspective from Log Mean Divisia Index decomposition analysis. *Sustainable Environment Research*, 30(12).
101. De Oliveira-De Jesus, P., Galvis, J., Rojas-Lozano, D. ve Yusta, J. (2020). Multitemporal LMDI Index Decomposition Analysis to Explain the Changes of ACI by the Power Sector in Latin America and the Caribbean between 1990–2017. *Energies*, 13(9), 1-14.
102. Trotta, G. (2020). Assessing energy efficiency improvements and related energy security and climate benefits in Finland: An ex post multi-sectoral decomposition analysis. *Energy Economics*, 86(104640).
103. Wang, X., Huang, H., Hong, J., Ni, D. ve He, R. (2020). A spatiotemporal investigation of energy-driven factors in China: A region-based structural decomposition analysis. *Energy*, 207(118249).
104. Chontanawat, J., Wiboonchutikula, P. ve Buddhivanich, A. (2020). An LMDI decomposition analysis of carbon emissions in the Thai manufacturing sector. *Energy Reports*, 6(1), 705-710.
105. Talaei, A., Gemechu, E. ve Kumar, A. (2020). Key factors affecting greenhouse gas emissions in the Canadian industrial sector: A decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246(119026).
106. Bianco, V. (2020). Analysis of electricity consumption in the tourism sector. A decomposition approach. *Journal of Cleaner Production*, 248.

107. Hossain, M., Chen, S. ve Khan, A. (2020). Decomposition study of energy-related CO₂ emissions from Bangladesh's transport sector development. *Environmental Science and Pollution Research*.
108. Bhadbhade, N., Yilmaz, S., Zuberi, J., Eichhammer, W. ve Patel, M. (2020). The evolution of energy efficiency in Switzerland in the period 2000–2016. *Energy*, 191(116526).
109. Berrill, P., Gillingham, K. T. ve Hertwich, E. G. (2021). Drivers of change in US residential energy consumption and greenhouse gas emissions, 1990–2015. *Environmental Research Letters*, 16.
110. Reuter, M., Narula, K., Patel, M. ve Eichhammer, W. (2021). Linking energy efficiency indicators with policy evaluation – A combined top-down and bottom-up analysis of space heating consumption in residential buildings. *Energy and Buildings*, 244(110987).
111. Balezentis, T. (2020). Shrinking ageing population and other drivers of energy consumption and CO₂ emission in the residential sector: A case from Eastern Europe. *Energy Policy*, 140(111433).
112. Trotta, G. (2020). Assessing drivers of energy consumption and progress toward energy targets in Italy. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 15(3), 137-156.
113. Economidou, M. ve Román Collado, R. (2019). Assessing the progress towards the EU energy efficiency targets using index decomposition analysis in 2005–2016. Luxembourg: Publications Office of the European Union, EUR 29665 EN.
114. Reuter, M., Patel, M. ve Eichhammer, W. (2019). Applying ex post index decomposition analysis to final energy consumption for evaluating European energy efficiency policies and targets. *Energy Efficiency*, 12, 1329–1357.
115. Tzeiranaki, S., Bertoldi, P., Diluiso, F., Castellazzi, L., Economidou, M., Labanca, N., Ribeiro Serrenho, T. ve Zangheri, P. (2019). Analysis of the EU Residential Energy Consumption: Trends and Determinants. *Energies*, 12(6):1065.
116. Kurniawan, R., Sugiawan, Y. ve Managi, S. (2018). Cleaner energy conversion and household emission decomposition analysis in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 201, 334-342.
117. Nie, H., Kemp, R., Xu, J., Vasseur, V. ve Fan, Y. (2018). Drivers of urban and rural residential energy consumption in China from the perspectives of climate and economic effects. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2954-2963.
118. Shigetomi, Y., Matsumoto, K., Ogawa, Y., Shiraki, H., Yamamoto, Y., Ochi, Y. ve Ehara, T. (2018). Driving forces underlying sub-national carbon dioxide emissions within the household sector and implications for the Paris Agreement targets in Japan. *Applied Energy*, 228, 2321-2332.

119. Fan, J., Zhang, Y. ve Wang, B. (2017). The impact of urbanization on residential energy consumption in China: An aggregated and disaggregated analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 220-233.
120. Yan, R., Ma, M. ve Pan, T. (2017). Estimating energy savings in Chinese residential buildings from 2001 to 2015: a decomposition analysis. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 10, 107-113.
121. Liu, Z. ve Zhao, T. (2015). Contribution of price/expenditure factors of residential energy consumption in China from 1993 to 2011: A decomposition analysis. *Energy Conversion and Management*, 98, 401-410.
122. Nie, H. ve Kemp, R. (2014). Index decomposition analysis of residential energy consumption in China: 2002-2010. *Applied Energy*, 121, 10-19.
123. Weiguang, C., Hong, R. ve Shuangping, C. (2014). Decomposition Analysis of Driving Factors for Building Energy Consumption in China. *Nature Environment and Pollution Technology*, 13(1), 203-210.
124. Fan, J., Liao, H., Liang, Q., Tatano, H., Liu, C. ve Wei, Y. (2013). Residential carbon emission evolutions in urban-rural divided China: An end-use and behavior analysis. *Applied Energy*, 101, 323-332.
125. Rogan, F., Cahill, C. ve Gallachóir, B. (2012). Decomposition analysis of gas consumption in the residential sector in Ireland. *Energy Policy*, 42, 19-36.
126. Chung, W., Kam, M. ve Ip, C. (2011). A study of residential energy use in Hong Kong by decomposition analysis, 1990-2007. *Applied Energy*, 88(12), 5180-5187.
127. Lise, W. (2006). Decomposition of CO₂ emissions over 1980-2003 in Turkey. *Energy Policy*, 34(14), 1841-1852.
128. Ediger, V. ve Huvaz, O. (2006). Examining the sectoral energy use in Turkish economy (1980-2000) with the help of decomposition analysis. *Energy Conversion and Management*, 6(47), 732-745.
129. Tunç, G., Türüt-Aşık, S. ve Akbostancı, E. (2009). A decomposition analysis of CO₂ emissions from energy use: Turkish case. *Energy Policy*, 37(11), 4689-4699.
130. Ertuğrul, H. (2010). Türkiye’de Enerji Sektöründeki Yapısal Reformların Enerji Verimliliği Üzerine Etkileri. *Enerji, Piyasa ve Düzenleme*, 1(2), 145-171.
131. Yilmaz, M. ve Atak, M. (2010). Decomposition Analysis of Sectoral Energy Consumption in Turkey. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 5(2), 224-231.
132. Akbostancı, E., Tunç, I. G. ve Türüt-Aşık, S. (2011). CO₂ emissions of Turkish manufacturing industry: a decomposition analysis. *Applied Energy*, 88, 2273-2278.
133. Kumbaroğlu, G. (2011). A sectoral decomposition analysis of Turkish CO₂ emissions over 1990-2007. *Energy*, 36(5), 2419-2433.

134. Yılmaz, A., Ürüt-Kelleci, S. ve Bostan, A. (2016). Türkiye Ekonomisinde Sektörel Enerji Tüketiminin Ayrıştırma Yöntemiyle Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(2), 1-28.
135. Akbostancı, E., Tunç, G. ve Türüt-Aşık, S. (2018). Drivers of fuel based carbon dioxide emissions: The case of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), 2599-2608.
136. Özşahin, G. (2019). Decomposition of Industrial Energy Consumption in Turkey. *Journal of Research in Economics*, 3(2), 192-211.
137. Akyürek, Z. (2020). LMDI decomposition analysis of energy consumption of Turkish manufacturing industry: 2005–2014. *Energy Efficiency*, 13, 649–663.
138. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021). Binalarda Enerji Performansı Veri Tabanı. ÇŞB. Ankara.
139. Yükselen, M. (2018). *Ankara İlindeki Konutlarda Aydınlatma Teknolojisi Tercihleri*. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
140. Martínez-Montejo, S. A. ve Sheinbaum-Pardo, C. (2016). The impact of energy efficiency standards on residential electricity consumption in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 32, 50–61.
141. Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H. ve Choudhury, I. A. (2002). Theory of energy efficiency standards and labels. *Energy Conversion and Management*, 43(6).
142. Welch, C. ve Rogers, B. (2010). Estimating the Remainin Useful Life of Residential Appliances. Navigant Consultant Inc., ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, California.
143. Zachariadis, T., Samaras, Z. ve Zierock, K. H. (1995). Dynamic modeling of vehicle populations - an engineering approach for emissions calculations. *Technological Forecasting and Social Change*, 50(2), 135–149.
144. Diawuo, F., Pina, A., Baptista, P. ve Silva, C. (2018). Energy efficiency deployment: A pathway to sustainable electrification in Ghana. *Journal of Cleaner Production*, 186, 544-557.
145. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2020). Kamuoyunda Enerji Verimliliğine İlişkin Bilgi, İlgi ve Davranış Boyutunu Tespit Etme Araştırması, Kantitatif Araştırma Raporu. ETKB. Ankara.
146. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2015). UNDP/GEF Elektrikli Ev Aletlerinin Piyasaya Dönüşümü Projesi. ETKB. Ankara.
147. İnternet: TÜRKESD. Web: <http://www.turkesd.org/bilgiler.php?P=25>. Erişim Tarihi: 12.02.2022.
148. İnternet: İSKİD. Web: <https://iskid.org.tr/istatistikler-ve-raporlar>. Erişim Tarihi: 12.02.2022.

149. Türkiye İş Bankası A.Ş. (2016). Beyaz Eşya Sektörü Raporu. İktisadi Araştırmalar Bölümü, *İşbank*. İstanbul.
150. Resmî Gazete (2012). *Ev Tipi Soğutma Cihazlarının Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ (SGM-2012/4)*. İlan Tarihi: 22.06.2012, Sayı: 2833.
151. Resmî Gazete (2012). *Ev Tipi Çamaşır Makinelerinin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ (SGM-2012/6)*. İlan Tarihi: 22.06.2012, Sayı: 28331.
152. Resmî Gazete (2015). *Ev Tipi Çamaşır Kurutma Makinelerinin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ (SGM-2013/6)*. İlan Tarihi: 15.05.2015, Sayı: 28648.
153. Resmî Gazete (2012). *Ev Tipi Bulaşık Makinelerinin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ (SGM-2012/5)*. İlan Tarihi: 22.06.2012, Sayı: 28331.
154. Resmî Gazete (2015). *Ev Tipi Fırınlardan ve Aspiratörlerin Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ (SGM-2015/8)*. İlan Tarihi: 14.01.2015, Sayı: 29236.
155. Resmî Gazete (2013). *Klimaların Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğ (SGM/2013-11)*. İlan Tarihi: 24.12.2013, Sayı: 28861.
156. Resmî Gazete (2011). *Ev Tipi Soğutma Cihazları İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM 2011/17)*. İlan Tarihi: 23.09.2011, Sayı: 28063.
157. Resmî Gazete (2011). *Ev Tipi Çamaşır Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/18)*. İlan Tarihi: 23.09.2011, Sayı: 28063.
158. Resmî Gazete (2013). *Ev Tipi Çamaşır Kurutma Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2013/2)*. İlan Tarihi: 17.07.2013, Sayı: 28710.
159. Resmî Gazete (2011). *Ev Tipi Bulaşık Makineleri İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/19)*. İlan Tarihi: 23.09.2011, Sayı: 28063.
160. Resmî Gazete (2015). *Ev Tipi Fırınlardan, Ocaklar ve Aspiratörler İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2015/7)*. İlan Tarihi: 14.01.2015, Sayı: 29236.
161. Diri, B. (2014). Makine Öğrenmesine Giriş, İstanbul: Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi.
162. İnternet: Veribilimcisi. Web: <https://veribilimcisi.com/2017/07/12/denetimli-ogrenme>. Erişim Tarihi: 19.02.2022.
163. İnternet: Veribilimcisi. Web: <https://veribilimcisi.com/2017/07/18/coklu-dogrusal-regresyon-nedir-multivariate-linear-regression>. Erişim Tarihi: 06.11.2021.
164. İnternet: Karakuş, C. Makine Öğrenmesi Temelleri Ders Notu. Web: <https://ckk.com.tr/ders/ML/ML%20000%20Makine%20C3%96%C4%9Frenmesi%20Ders%20Notu.html>. Erişim Tarihi: 19.02.2022.

165. İnternet: Mwiti, D. Random Forest Regression: When Does It Fail and Why?. Web: <https://neptune.ai/blog/random-forest-regression-when-does-it-fail-and-why>. Erişim Tarihi: 19.02.2022.
166. Orhan, U. (2021). Makine Öğrenmesi Ders Notları: Doğrusal Regresyon. Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
167. Niu, W. J., Feng, Z. K., Feng, B. F., Min, Y. W., Cheng, C. T. ve Zhou, J. Z. (2019). Comparison of Multiple Linear Regression, Artificial Neural Network, Extreme Learning Machine, and Support Vector Machine in Deriving Operation Rule of Hydropower Reservoir. *Water*, 11(88).
168. Bilgen, İ. (2014). *İnsan ve HIV-1 Proteinleri Arasındaki Etkileşimlerin Rastgele Orman Yöntemi ve Birlikte Öğrenme Yaklaşımı ile Tahmin Edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
169. Akman, M. (2010). *Veri Madenciliğine Genel Bakış ve Randem Forests Yönteminin İncelenmesi: Sağlık Alanında Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
170. İnternet: Veri Bilimcisi. Web: Available: <https://veribilimcisi.com/2018/02/23/karar-agaclari-decision-trees>. Erişim Tarihi: 19.02.2022.
171. Akbay Arama, Z., Karakaş, S., Nuray, S. E., Oğuzhan, A., Akın, M. S. ve Gençdal, H. B. (2021). Düşük Plastisiteli Killi Zeminlerin Kıvam Özelliklerinin Tahmininde Rastgele Orman Yöntemi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21, 668-680.
172. Ceylan, V. (2021). *Zaman Serileri Analizleri: Performans Ölçümleri ve Seçim Kriterleri*. Ders Notu, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun.
173. İnternet: Taş, B. Web: <https://medium.com/kodluyoruz/makine-%C3%B6%C4%9Frenmesi-modelleri-i%CC%87%C3%A7in-veri-b%C3%B6lme-i%CC%87%C5%9Flemi-3b517ed74e37>. Erişim Tarihi: 21.11.2021.
174. İnternet: World Bank. Web: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>. Erişim Tarihi: 21.02.2022.
175. International Energy Agency. (2019). An Introduction to Decomposition Analysis. ASEAN Thailand 2019. *OECD/IEA*. Paris.
176. İnternet: OECD. Web: <https://data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm>. Erişim Tarihi: 11.07.2021.
177. Türkiye İstatistik Kurumu. (2021). Yapı Kullanma İzin Belgesi: Kullanma amacına göre tamamen veya kısmen biten yeni ve ilave yapılar (yeni sınıflandırma) 2009-2020. *TÜİK*. Ankara.
178. Türkiye İstatistik Kurumu. (2021). Yapı Kullanma İzin Belgesi: Kullanma amacına göre tamamen veya kısmen biten yeni ve ilave yapılar (yeni sınıflandırma) 2002-2010. *TÜİK*. Ankara.

179. Türkiye İstatistik Kurumu. (2021). Yapı Kullanma İzin Belgesi: Kullanma amacına göre tamamen veya kısmen biten yeni ve ilave yapılar (eski sınıflandırma) 1964-2003. *TÜİK*. Ankara.
180. K. Ellsworth-Krebs. (2020). Implications of declining household sizes and expectations of home comfort for domestic energy demand. *Nature Energy*, 5, 20-25.
181. İnternet: Eurostat. Web: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=ilc_1_vph01&lang=en. Erişim Tarihi: 28.01.2022.
182. Resmî Gazete (2010). *Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği*. İlan Tarihi: 08.05.2010, Sayı: 24043.
183. Selçuk, I. (2018). Türkiye Hanehalkı Elektrik Tüketim Yapısı: Elektrikli Ev Aletleri ve Enerji Verimliliği. *Fiscaoeconomia*, 2(2). 125-140.
184. Tabachnik, B. G. ve Fidell, L. (2013). *Using multivariate statistics (6. baskı)*. Boston: Pearson.
185. Resmî Gazete (2019). *Onbirinci Kalkınma Planı*. İlan Tarihi: 23.07.2019, Sayı: 20840 (Mükerrer).
186. Resmî Gazete (2021). *Binalar ile Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Uygulama Tebliği*. İlan Tarihi: 9.6.2021, Sayı: 31506 (Mükerrer).
187. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2010). Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023. *ÇŞİDB*. Ankara.
188. Dünya Bankası. (2011). Türkiye’de Enerji Tasarrufu Potansiyelini Kullanmak. Sürdürülebilir Kalkınma Bölümü (ECSSD), Avrupa ve Orta Asya Bölgesi, WB. Washington.
189. Doğan, H. ve Yılankıran, N. (2015). Türkiye’nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji*, 3(1), 375-383.
190. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). İklim Değişikliği Eylem Planı 2011-2023. *ÇŞİDB*. Ankara.
191. Resmî Gazete (2012). *Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023*. İlan Tarihi: 25.02.2012, Sayı: 28215.
192. Resmî Gazete (2018). *Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023*. İlan Tarihi: 02.01.2018, Sayı: 30289 (Mükerrer).
193. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı Gelişim Raporu 2017-2020. *ETKB*. Ankara.
194. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı Gelişim Raporu 2021. *ETKB*. Ankara.

195. Resmî Gazete (2007). *Enerji Verimliliği Kanunu (Kanun No: 5627)*. İlan Tarihi: 2.5.2007, Sayı: 26510.
196. Resmî Gazete (2008). *Merkezi Isıtma Ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma Ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik*. İlan Tarihi: 14.04.2008, Sayı: 26847.
197. Resmî Gazete (2011). *Enerji Kaynaklarının Ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik*. İlan Tarihi: 27.10.2011, Sayı: 28097.
198. T.C. Dışişleri Bakanlığı Avrupa Birliği Başkanlığı. (2021). Katılım Müzakerelerinde Mevcut Durum. DB. Ankara.
199. Official Journal of the European Union. (2012). *Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC*. İlan Tarihi: 14.11. 2012, Sayı: L 315/1.
200. Official Journal of the European Union. (2018). *Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency*. İlan Tarihi: 21.12.2018, Sayı: L 328/210.
201. Avrupa Parlamentosu (2022). EU Legislation in Progress: Revising the Energy Efficiency Directive: Fit for 55 package, EU Legislation in Progress. EP. Brüksel.
202. Avrupa Komisyonu. (2019). 2019 Türkiye İlerleme Raporu, AB Genişleme Politikasına İlişkin 2019 Bilgilendirmesi. COM (2019) 260, SWD(2019) 220. EC. Brüksel.
203. Avrupa Komisyonu (2019). A European Green Deal. COM (2019) 640. EC. Brüksel.
204. Avrupa Komisyonu (2020). A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives. SWD (2020) 550, COM (2020) 662. EC. Brüksel.
205. Avrupa Komisyonu. (2020). State of the Union Address by President von der Leyen at the European Parliament Plenary. EC. Brüksel.
206. Official Journal of the European Union. (2010). *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings*. İlan Tarihi: 18.06.2010, Sayı: L 153/13.
207. Official Journal of the European Union. (2018). *Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency*. İlan Tarihi: 19.06.2018, Sayı: L 156/75.
208. Avrupa Komisyonu. (2021). Press Corner: Revision of the Energy Performance of Buildings Directive. EC. Brüksel.
209. Avrupa Komisyonu. (2021). 2021 Türkiye İlerleme Raporu, AB Genişleme Politikasına İlişkin 2021 Bilgilendirmesi. COM (2021) 664, SWD(2021) 290. EC. Brüksel.

210. İnternet: Milli Akıllı Sayaç Sistemleri Projesi. Web: <https://www.mass.org.tr>. Erişim Tarihi: 01.07.2021.
211. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2020). Türkiye-Danimarka Stratejik Sektör İş Birliği Projesi: Bina Sektörü Isıtma ve Soğutma Talebinin Belirlenmesi ve Haritalandırılması Raporu. *ETKB*. Ankara.
212. Resmî Gazete (2021). *Otopark Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik*. İlan Tarihi: 25.03.2021, Sayı: 31434.
213. Official Journal of the European Union. (2018). Regulation on the Governance of the Energy Union and Climate Action. İlan Tarihi: 21.12.2018, Sayı: L 328/1.
214. İnternet: Avrupa Komisyonu. Web: https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-energy-and-climate-plans_en#final-necps. Erişim Tarihi: 13.02.2023.
215. Uluslararası Enerji Ajansı. (2022). Data and Statistics: CO2 Emissions. *OECD/IEA*. Paris.
216. Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2020. *TÜİK*. Ankara.
217. Avrupa Komisyonu. (2019). The European Green Deal. COM (2019) 640. *EC*. Brüksel.
218. International Energy Agency. (2022). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. *OECD/IEA*. Paris.



GAZİ GELECEKTİR..