İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT KONUT BİNALARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ İYİLEŞTİRMELERİ İLE NSEB'E DÖNÜŞTÜRÜLMESİ: FİNANSAL BARİYERLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

DOKTORA TEZİ

Begüm DİKER

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

OCAK 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT KONUT BİNALARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ İYİLEŞTİRMELERİ İLE NSEB'E DÖNÜŞTÜRÜLMESİ: FİNANSAL BARİYERLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

DOKTORA TEZİ

Begüm DİKER
(502172649)

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fatih YAZICIOĞLU

OCAK 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

TRANSFORMATION OF EXISTING RESIDENTIAL BUILDINGS IN TURKEY INTO NZEB WITH ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENTS: FINANCIAL BARRIERS AND SOLUTION PROPOSALS

Ph.D. THESIS

Begüm DİKER
(502172649)

Department of Architecture

Construction Science Programme

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Fatih YAZICIOĞLU

JANUARY 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502172649 numaralı Doktora Öğrencisi Begüm DİKER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT KONUT BİNALARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ İYİLEŞTİRMELERİ İLE NSEB'E DÖNÜŞTÜRÜLMESİ: FİNANSAL BARİYERLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Fatih YAZICIOĞLU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Hatice SÖZER** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Kamuran ÖZTEKİN Kocaeli Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Aslıhan ÜNLÜ Özyeğin Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Fatma Pınar ÇAKMAK İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 5 Kasım 2023
Savunma Tarihi : 17 Ocak 2024

Oğlum Ekrem Ege'ye,

ÖNSÖZ

Çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen başta danışmanım Doç. Dr. Fatih YAZICIOĞLU olmak üzere, tez izleme komitemde yer alan Prof. Dr. Hatice SÖZER ve Prof. Dr. Kamuran ÖZTEKİN ile tez savunma jürimde bulunan Prof. Dr. Aslıhan ÜNLÜ ve Doç. Dr. Fatma Pınar ÇAKMAK'a değerli görüş ve katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmayı gerçekleştirmeme teknik anlamda katkı sağlayan; fotovoltaik sistemlerin tasarımı konusunda Görkem SÖZEN'e, çalışmamla ilgili görüş ve önerileri için Dr. Öğr. Üyesi Esra AKBALIK'a, aydınlatma konusundaki bilgi ve fikir paylaşımları için Dr. Öğr. Üyesi Zeynep KESKİN'e, finans konusundaki değerli görüşleri için Sn. Özlem YAKUT'a, enerji simülasyon programına yönelik destekleri için Sinem BÜYÜKKARDAŞLAR'a, sektördeki güncel bilgi aktarımları için Sn. Oğuzhan ARMAĞAN'a, Sn. Ayşegül YILDIZ'a ve Sn. Furkan ARSLAN'a teşekkür ederim.

Birlikte çalıştığımız süre boyunca görüşleri ve yapıcı eleştirileri ile beni hep bir adım öteye taşıyan Nesim Doğuş YELEKÇİ başta olmak üzere, Doğuş Üniversitesi'nde motivasyon kaynağım olan ve desteklerini daima hissettiğim B.1-73 çalışma arkadaşlarıma ve bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Yoğun çalışma sürecimde destek ve anlayışlarını esirgemeyen başta eşim Can DİKER olmak üzere tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2024

Begüm Diker
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **ix**
İÇİNDEKİLER ..... **xi**
KISALTMALAR ..... **xiii**
SEMBOLLER ..... **xv**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xvii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xix**
ÖZET ..... **xxiii**
SUMMARY ..... **xxv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Tezin Kapsamı 3
1.3 Hipotez 4
1.4 Özgün değer 5
1.5 Yöntem 5
2. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ: KAVRAMLAR VE MEVZUAT **7**
2.1 Sıfır Enerjili Bina Kavramının Gelişimi 8
2.1.1 nSEB parametreleri 14
2.1.1.1 Bina sistem sınırı *(building system boundary)* 14
2.1.1.2 Ağırlıklandırma sistemi (*Weighting system*) 16
2.1.1.3 Dengeleme şartları (balancing conditions) 16
2.2 Dünyada Enerji Verimliliği: Yasal Mevzuat 18
2.3 Sıfır Enerjili Bina Kavramı ile İlgili Uluslararası Literatürün İncelenmesi 23
2.3.1 Kavramların Scopus veritabanı üzerinden analizi 23
2.3.2 Kavramların VOSviewer yazılımı üzerinden analizi 25
2.4 Türkiye'de Enerji Verimliliği: Yasal Mevzuat 31
2.5 Sıfır Enerji Kavramı İle İlgili Ulusal Literatürün İncelenmesi 37
2.6 Binalarda Enerji Verimliliğine Yönelik Finansal Destekler 41
2.6.1 Dünyada enerji verimliliğine yönelik finansman mekanizmaları 41
2.6.2 Türkiye'de enerji verimliliğine yönelik finansman mekanizmaları 54
2.7 Bölüm Sonu Değerlendirmesi 59
3.TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT KONUT BİNALARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ İYİLEŞTİRMELERİ İÇİN DURUM ÇALIŞMASI **63**
3.1 Türkiye'deki Mevcut Konut Stokunu Temsil Eden Referans Binanın Oluşturulması 64
3.1.1 Bina tipi ve iklim bölgesinin belirlenmesi 66
3.1.2 Bina kat sayısının belirlenmesi 68
3.1.3 Bina ortalama taban alanının bulunması 68
3.1.4 Taşıyıcı sistem tipinin belirlenmesi 70
3.1.5 Bina kabuğuna dair verilerin belirlenmesi 70
3.1.6 Bina iklimlendirme sistemlerine dair verilerin belirlenmesi 72

3.2 Referans Binanın Mevcut Durumdaki Enerji Performansının Belirlenmesi 73
3.2.1 Aktivite sekmesi *(Activity tab)* 74
3.2.2 Yapım sekmesi (Construction tab) 76
3.2.3 Açıklıklar sekmesi *(Openings tab)* 78
3.2.4 Aydınlatma sekmesi *(Lighting tab)* 78
3.2.5 Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemi *(HVAC tab)* 79
3.2.6 Elektrikli ev aletleri / ekipman kullanımı 83
3.3 Referans Binaya İlişkin Enerji Verimliliği Senaryolarının Oluşturulması 86
3.4 Enerji Verimliliği Önlemlerinin Enerji Performansının Hesaplanması 90
3.5 Enerji Verimliliği Önlemlerinin Finansal Performansının Hesaplanması: Küresel Maliyet Hesabı *(Global Cost Analysis)* 94
3.5.1 Ekonomik girdilere ilişkin varsayımlar 100
3.5.2 İlk yatırım maliyetlerinin hesaplanması *(initial investment costs)* 103
3.5.3 Yenileme maliyetlerinin hesaplanması *(Replacement costs)* 104
3.5.4 Yıllık bakım maliyetlerinin hesaplanması *(Maintenance costs)* 106
3.5.5 Yıllık enerji maliyetlerinin hesabı *(energy cost)* 106
3.5.6 Hurda maliyetlerin hesabı *(Salvage costs)* 107
3.5.7 Küresel maliyet analizleri *(Global cost analyses)* 108
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 113
4.1 Enerji Verimliliği Bakımından Değerlendirmeler 113
4.2 İlk Yatırım Maliyeti Bakımından Değerlendirmeler 117
4.3 Yıllık Enerji Maliyetleri Bakımından Değerlendirmeler 118
4.4 Küresel Maliyet Bakımından Değerlendirmeler 119
4.5 Çalışmadaki Kabuller ve Kısıtlamalar /Finansal Bariyerler 120
5.TÜRKİYE'DEKİ KONUT BİNALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI İÇİN FİNANSAL MODEL UYARLAMASI 123
SONUÇ VE ÖNERİLER 137
EKLER 159
ÖZGEÇMİŞ 177

KISALTMALAR

AB : Avrupa Birliği
BMİDÇŞ : Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
COP : Coefficient of Performance (Verim Katsayısı)
ÇŞİDB : Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DB : DesignBuilder (yazılım)
EKB : Enerji Kimlik Belgesi
EPS : Enerji Performans Sözleşmesi
ESCO : Energy Service Company (Enerji Hizmet Şirketleri)
ETKB : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EV : Enerji Verimliliği
EVD : Enerji Verimliliği Danışmanlık (Şirketi)
EVYS : Enerji Verimliliği Yükümlülük Sistemi
IEA : International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
nSEB : Neredeyse Sıfır Enerjili Bina
PÜKAD : Pencere ve Kapı Sektörü Derneği
SKDM : Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması
TEP : Ton Eşdeğeri Petrol
UEVEP : Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
UEVF : Ulusal Enerji Verimliliği Fonu
UFK : Uluslararası Finans Kuruluşları
VAP : Verimlilik Artırıcı Proje
WWR : Window-Wall Ratio (Pencere-Duvar Oranı)

SEMBOLLER

A_1	: İskonto edilmiş yenileme maliyeti
A_0	: İlk yatırım maliyeti *(initial investment cost)*
d	: Kalınlık (malzeme)
D_f_{LS}	: Yaşam ömrü süresindeki iskonto oranı
$C_g(\tau)$	: Hesaplama periyodu boyunca oluşacak toplam maliyet
C_i	: ilk yatırım maliyeti *(initial investment costs)*
$C_{a,i(j)}$	: j bileşeni için i yılındaki yıllık maliyetler
F_{pv}	: Bugünkü değer faktörü.
LS	: Ürünün yaşam ömrü *(lifespan)*
p	: Başlangıç döneminden itibaren yıl sayısı.
RAT_{pr}	: Ürün fiyat artış hızı
R	: Isıl geçirgenlik direnci
R	: Piyasa faiz oranı *(market interest rate)*
$R_{d(i)}$	: i yılı için indirim/ iskonto oranı. *(Discount rate for year i)*
R_i	: Enflasyon oranı *(inflation rate)*
R_r	: Gerçek iskonto oranı *(reel discount rate)*
U	: Isıl geçirgenlik katsayısı
$V_{f,\tau(j)}$	: Binanın hesaplama periyodu sonunda kalan değeri
kW_p	: Kilowatt peak
τ	: Hesaplama periyodu *(calculation period)*
λ	: Isıl iletkenlik hesap değeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Araştırmacılar tarafından irdelenen nSEB parametreleri. **14**
Çizelge 2.2 : Sıfır enerjili bina kavramı ile ilişkili uluslararası araştırma projeleri. . **22**
Çizelge 2.3 : Araştırma alanıyla ilgili en çok yayın içeren dergilerin verileri. **24**
Çizelge 2.4 : Araştırma alanı ile ilgili en çok yayın içeren konferans bildiri kitapları. **24**
Çizelge 2.5 : Bina sektöründe uygulanan finansal araçlar, teşvikler, hibeler [149] .. **51**
Çizelge 2.6 : Türkiye'de binalarda enerji verimliliğine yönelik bankaların sunduğu kredi paketleri. **57**
Çizelge 3.1 : Türkiye'deki 2000-2017 yılları arasındaki mevcut bina stokunun iklim bölgesine ve bina tipolojisine göre dağılımı [176]. **67**
Çizelge 3.2 : 4 Katlı ve üç ve daha fazla daireli binaların yapı sayısı ve yüzölçümü, 2019 yılı [175]. **69**
Çizelge 3.3 : 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı almış 3 ve daha fazla daireli 4, 5 ve 6 katlı konutların ortalama taban alanları. **69**
Çizelge 3.4 : TS825 standardında bölgelere göre yapı kabuğu U değerleri [104]. ... **72**
Çizelge 3.5 : Referans binada her bir dairede bulunan mekanlara ilişkin bilgiler. **72**
Çizelge 3.6 : Referans binaya ilişkin veriler. **73**
Çizelge 3.7 : Binanın hafta içi ve hafta sonu kullanım durumu. **75**
Çizelge 3.8 : Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri için girilen sıcaklık verileri. **76**
Çizelge 3.9 : Referans binadaki yapı bileşenlerine ilişkin katmanlaşma. **76**
Çizelge 3.10 : Apartmanlar, ofisler ve diğer bina tipolojilerinde doğal havalandırma hava değişim sayısı (n), (1/h) [188]. **78**
Çizelge 3.11 : Pencere bileşenlerinin teknik özellikleri. **78**
Çizelge 3.12 : Referans binada kullanılan lambaların teknik özellikleri [191-193].. **78**
Çizelge 3.13 : Mekanlardaki aydınlık düzeyi, güç yoğunluğu ve aygıt türleri. **79**
Çizelge 3.14 : Aydınlatma sistemi için belirlenen kullanım çizelgesi. **79**
Çizelge 3.15 : Isıtma sisteminin kullanım çizelgesi. **81**
Çizelge 3.16 : Soğutma sisteminin çalışma çizelgesi. **82**
Çizelge 3.17 : Isıtma, soğutma, aydınlatma ve sıcak su sistemlerinin yakıt cinsi ve verimlilik katsayıları. **83**
Çizelge 3.18 : Elektrikli ev aletlerinin enerji tüketimileri. **83**
Çizelge 3.19 : Yapı kabuğunda ele alınan tekil enerji verimliliği önlemleri. **88**
Çizelge 3.20 : Yerden ısıtma sistemi (ISITMA-DS) önleminin detayları. **89**
Çizelge 3.21 : Fotovoltaik panel sistemine (PV) ilişkin veriler. **89**
Çizelge 3.22 : Yapı kabuğunda ele alınan tekil önlemlerin birincil enerji tüketim değerleri ve iyileştirme yüzdeleri. **90**
Çizelge 3.23 : Yerden ısıtma sistemine ilişkin önlemin enerji performansı. **91**
Çizelge 3.24 : Aydınlatma sistemi ile ilgili alınan tekil önlemin enerji performansı. **91**
Çizelge 3.25 : Yenilenebilir enerji entegrasyonuna ilişkin tekil önlemin enerji performansı. **91**

Çizelge 3.26 : Yapı kabuğu kombinasyonların birincil enerji tüketim değerleri ve iyileştirme yüzdeleri. **92**
Çizelge 3.27 : S9-S22 senaryolarının birincil enerji tüketimi ve iyileştirme yüzdeleri. **94**
Çizelge 3.28 : TCMB 2013- 2022 yılları arasındaki enflasyon verileri. **100**
Çizelge 3.29 : TCMB 2013- 2022 yılları arasındaki piyasa faiz oranı verileri [208]. **101**
Çizelge 3.30 : Elektrik tüketim bedeli (Vergiler ve fonlar dahil). **101**
Çizelge 3.31 : Doğalgaz tüketim bedeli (Vergiler dahil). **102**
Çizelge 3.32 : Enerji fiyatlarındaki artış oranı (2013-2022) [212]. **102**
Çizelge 3.33 : Küresel maliyet hesaplamalarında kullanılan veriler. **102**
Çizelge 3.34 : EV önlem/önlem paketlerine ilişkin ilk yatırım maliyetleri. **104**
Çizelge 3.35 : Bina bileşenlerinin/ sistemlerinin yaşam ömrü [200]. **105**
Çizelge 3.36 : Çalışma kapsamındaki enerji verimliliği önlemlerinin yıllık enerji maliyetleri (2022 yılı baz alınmıştır). **107**
Çizelge 4.1 : En verimli senaryoların referans binaya kıyasla enerji tüketimleri. **119**
Çizelge 5.1 : Finansal model uyarlaması için gerekli eylemler, vadeleri ve sorumlu kurumlar. **136**
Çizelge A.1 : Finansal destek sistemlerine ilişkin engeller ve çözüm önerileri [130]. **160**
Çizelge B.1 : Ulusal ESCO piyasasının oluşumu için gerekli eylemler [138]. **161**
Çizelge E.1 : Türkiye'deki enerji verimliliği mevzuatında konut binalarına ilişkin yasal boşluklar. **172**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Trias Energetica yaklaşımı [7]. **8**
Şekil 2.2 : NZEB tasarım yaklaşımı [14]. **10**
Şekil 2.3 : Sıfır enerji ile ilişkili kavramlar. **13**
Şekil 2.4 : Bina sistem sınırı ve enerji akışları.[28, 26]. **15**
Şekil 2.5 : nSEB'lerdeki üç dengeleme tipinin gösterimi [26]. **17**
Şekil 2.6 : nSEB tanımlarında kullanılan parametreler [28]. **18**
Şekil 2.7 : Yıllık yayın eğilimleri. **23**
Şekil 2.8 : Scopus veritabanındaki araştırma alanıyla ilgili ilk on dergi ve bildiri kitabı. **24**
Şekil 2.9 : Araştırmalara fon/destek sağlayan kuruluş ve programlar. **25**
Şekil 2.10 : Ülkeler arası yayın işbirlikleri. **26**
Şekil 2.11 : Yazarlar arasındaki ortak yazarlık ilişkileri. **26**
Şekil 2.12 : Sıfır enerji ve bina iyileştirmesi ile ilgili anahtar kelimeleriyle ortak oluşum ağ analizi. **29**
Şekil 2.13 : Sıfır enerji ve bina iyileştirmesi ile ilişkili kavramların ort. yayın yılları. **30**
Şekil 2.14 : AB ve Türkiye'deki mevzuat gelişimi. **36**
Şekil 2.15 : Türkiye'de "sıfır enerji" kavramının yıllara göre çalışılma oranı. **37**
Şekil 2.16 : ESCO ile finansman [130]. **43**
Şekil 2.17 : Tasarruf garantili EPS modeli. **44**
Şekil 2.18 : Paylaşım garantili EPS modeli. **44**
Şekil 2.19 : Dünyada enerji verimliliğine yönelik çeşitli finansman mekanizmaları. **47**
Şekil 2.20 : AB'de çeşitli finansman mekanizmalarının EV'ye katkısı [139]. **48**
Şekil 2.21 : EVYS'nin ana aktörleri [143]. **49**
Şekil 2.22 : Yıllara göre karbon vergisinin uygulanma durumu. **49**
Şekil 2.23 : EVD şirketlerinin etüt-proje danışmanlık hizmeti verdikleri sektörlerin dağılımı. **55**
Şekil 2.24 : TURSEFF işleyişi [140]. **56**
Şekil 2.25 : Kredi aktarım süreci. **56**
Şekil 2.26 : Avrupa Birliği ülkelerinin enerji verimliliği konusundaki genel işleyişi. **59**
Şekil 3.1 : Çalışmanın işleyiş şeması **64**
Şekil 3.2 : Referans binaya ilişkin veri toplama süreci. **66**
Şekil 3.3 : Binaların kullanım amacına göre sınıflandırılması. **66**
Şekil 3.4 : Binaların daire sayısına göre sınıflandırılması. **66**
Şekil 3.5 : Türkiye'nin toplam güneş radyasyon haritası. **68**
Şekil 3.6 : 2007-2019 yıllarında yapı ruhsatı almış 3 ve daha fazla daireli konut binalarının kat sayısına göre sınıflandırılması. **68**
Şekil 3.7 : Binalarının taşıyıcı sistemine göre sınıflandırılması [175]. **70**
Şekil 3.8 : 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı almış üç veya daha fazla daireli konutlarda kullanılan duvar dolgu malzemeleri [175]. **70**
Şekil 3.9 : Türkiye iç pazardaki yalıtım malzemesi talebi [176]. **71**

Şekil 3.10 : Referans binanın tip kat planı. **73**
Şekil 3.11 : Referans binanın DesignBuilder modeli. **74**
Şekil 3.12 : Referans binadaki zonlama ve yapı bileşenleri. **80**
Şekil 3.13 : Referans binada soğutulan mekanlar. **81**
Şekil 3.14 : Binada sıcak su kullanımı olan mekanlar. **82**
Şekil 3.15 : Referans binanın enerji tüketimi: Yakıt türüne göre nihai kullanım. **84**
Şekil 3.16 : Referans binanın birincil enerji tüketimi cinsinden değeri. **84**
Şekil 3.17 : Referans binadaki enerji tüketiminin yakıt cinsinden karşılıkları. **85**
Şekil 3.18 : Referans binadaki sistem yükleri (ısıtma ve soğutma). **85**
Şekil 3.19 : Aylık iç kazançların gösterimi. **86**
Şekil 3.20 : İyileştirme/ Yenileme Sınıflandırması [129]. **87**
Şekil 3.21 : Referans binanın dış duvar, bodrum kat tavan döşemesi ve çatısına uygulanan yalıtım önlemleri. **88**
Şekil 3.22 : Yapı kabuğunda ele alınan tekil önlemler ve kombinasyonların enerji performansı. **93**
Şekil 3.23 : Küresel maliyet analizine ilişkin girdi ve çıktılar. **96**
Şekil 3.24 : Hesaplama periyodundan daha fazla yaşam ömrüne sahip bina bileşeninin/ elemanının hurda değer hesabı [172]. **97**
Şekil 3.25 : Hesaplama periyodundan daha az yaşam ömrüne sahip bina bileşeninin/ elemanının hurda değer hesabı [172]. **98**
Şekil 3.26 : Maliyet-optimum grafiği [206] **100**
Şekil 3.27 : Yapı kabuğunda ele alınan önlemlerin birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri. **109**
Şekil 3.28 : Isıtma, aydınlatma ve yenilenebilir enerji sistemlerinin birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri. **110**
Şekil 3.29 : S1- S8 senaryolarının birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri. **111**
Şekil 3.30 : S9-S22 senaryolarının yıllık birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri. **111**
Şekil 3.31 : Çalışılan tüm senaryoların birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri. **112**
Şekil 4.1 : YLTM-D, YLTM-Ç, YLTM-DS ve C1-C4 önlemlerinin yıllık birincil enerji tüketimleri (kWh/m2y). **114**
Şekil 4.2 : ISITMA-DS, AYD-KONTROL VE PV önlemlerinin yıllık birincil enerji tüketimleri (kWh/m^2y). **114**
Şekil 4.3 : S1- S8 senaryolarının yıllık birincil enerji tüketimleri (kWh/m^2y). **115**
Şekil 4.4 : S9- S22 senaryolarının yıllık birincil enerji tüketimleri (kWh/m^2y). **115**
Şekil 4.5 : Çalışılan enerji verimliliği senaryolarının birincil enerji tüketimi cinsinden değeri (kWh/m^2y). **116**
Şekil 4.6 : EV önlem/önlem paketlerinin ilk yatırım maliyetleri (m^2/TL) ve enerji performansı (birincil enerji tüketimi cinsinden – kWh/m^2y). **117**
Şekil 4.7 : EV önlem paketlerinin yıllık enerji maliyetleri açısından değerlendirilmesi (2022 yılı). **118**
Şekil 5.1 : Enerji verimliliği paydaşları: Türkiye'deki mevcut durum. **125**
Şekil 5.2 : Finansal model uyarlamasındaki finansal araçlar ve paydaşlar arası öneri ilişki ağı. **127**
Şekil 5.3 : Finansal model uyarlaması: girdi, süreç ve çıktı ilişkisi. **132**
Şekil 5.4 : Belediyelerde enerji verimliliği tadilatlarına ilişkin bir işleyiş önerisi. **134**
Şekil C.1 : YLTM-D1 yoğuşma analiz raporu. **163**
Şekil C.2 : YLTM-D2 yoğuşma analiz raporu. **163**

Şekil C.3 : YLTM-D3 yoğuşma analiz raporu. **164**
Şekil C.4 : YLTM-D4 yoğuşma analiz raporu. **164**
Şekil C.5 : YLTM-Ç1 yoğuşma analiz raporu. **165**
Şekil C.6 : YLTM-Ç2 yoğuşma analiz raporu. **165**
Şekil C.7 : YLTM-Ç3 yoğuşma analiz raporu. **166**
Şekil C.8 : YLTM-Ç4 yoğuşma analiz raporu. **166**
Şekil C.9 : YLTM-DS1 yoğuşma analiz raporu. **167**
Şekil C.10 : YLTM-DS2 yoğuşma analiz raporu. **167**
Şekil C.11 : YLTM-DS3 yoğuşma analiz raporu. **168**
Şekil C.12 : YLTM-DS4 yoğuşma analiz raporu. **168**
Şekil D.1 : Küresel maliyet analizine ilişkin veriler. **169**
Şekil D.2 : Küresel maliyet hesabı örneği – S22 senaryosu (DesignBuilder veri girişi için hazırlık aşaması). **170**
Şekil D.3 : Küresel maliyet analizine ilişkin veriler. **171**

TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT KONUT BİNALARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ İYİLEŞTİRMELERİ İLE NSEB'E DÖNÜŞTÜRÜLMESİ: FİNANSAL BARİYERLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

ÖZET

İklim değişikliği, küresel ısınma ve çevresel tahribat sorunları, son dönemde etkilerine doğrudan maruz kaldığımız seviyelere ulaşmıştır. Özellikle sanayileşme sonrasında, kentlerdeki insan kaynaklı emisyonların ve enerji ihtiyacının dramatik seviyelerde artış göstermesi ulusal ve uluslararası birçok platforma konu olmuştur. Kentlerdeki binaların enerji tüketiminde ve küresel emisyonlarda önemli bir paya sahip oluşu ise binalarda enerji performansının iyileştirilmesine yönelik çalışmalara ivme kazandırmıştır. Bu kapsamda, Avrupa Birliği başta olmak üzere pek çok dünya ülkesi, binalarda enerji tüketiminin dengelenmesi ve emisyonların azaltılmasına yönelik çalışmalar yürütmektedir.

2010 yılında Avrupa Komisyonu tarafından yayımlanan Bina Enerji Performans Direktifi ile 'neredeyse sıfır enerjili bina (nSEB)' kavramı literatüre girmiş ve binaların enerji performansının iyileştirilmesi sürecinde üye devletlerin maliyet etkin çözüm önerilerine odaklanılması istenmiştir. Direktife göre ülkelerin, kendi koşullarına uygun nSEB seviyelerini belirlemeleri; bunun için gerekli mevzuat düzenlemeleri yapmaları ve binalarda enerji verimliliği uygulamalarını finansal araçlarla desteklemeleri gerekmektedir. Türkiye'de, 2007 yılı itibarıyla enerji verimliliğine yönelik yasal düzenlemeler oluşturulmuştur; ancak nSEB tanımı 2022 yılında mevzuata girmiştir. Binalarda enerji verimliliği uygulamalarına yönelik finansal destekler ise oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle, mevcut binalarda enerji performansını iyileştirmeye yönelik uygulamaların önündeki en önemli zorluklardan birinin, bu uygulamaların finanse edilmesi olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'deki mevcut bina stokunun önemli bir bölümünü oluşturan konut binalarının, yapılacak enerji verimliliği iyileştirmeleri ile nSEB'e dönüştürülmesi probleminden yola çıkılmış ve bu kapsamda alınabilecek teknik önlemlerin belirlenmesi, karşılaşılabilecek finansal bariyerlerin tanımlanması ve bunlara ilişkin çözüm önerileri getirilmesi amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı aldığı ve İstanbul'da (2. İklim bölgesi) olduğu kabul edilen 4 katlı bir mevcut konut binasını temsil eden referans binaya ilişkin gerekli tüm istatistiksel veriler toplanmış ve *DesignBuilder* programına aktarılarak modellenmiştir. Referans binanın nihai ve birincil enerji tüketimi cinsinden enerji performansı dinamik simülasyon yöntemi ile saatlik bazda hesaplanmıştır *(EnergyPlus)*. Buna göre, referans binada ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su sistemi ve elektrikli ev aletlerine ilişkin birincil enerji tüketimi 165,71 kWh/m^{2}y'dir. Bir sonraki adımda, referans binanın enerji performansını iyileştirmeye yönelik tekil önlemler ve önlem paketlerinden oluşan toplamda 41 adet senaryo belirlenmiştir. Önlemler ve önlem paketlerinin her biri enerji verimliliği, ilk yatırım maliyeti, yıllık enerji maliyeti ve 30 yıllık küresel maliyetler üzerinden değerlendirilmiştir.

Enerji verimliliği bakımından yapılan değerlendirmelerde, yapı kabuğunda ele alınan senaryolarda (S1-S8) en fazla %3 oranında iyileştirme sağlanmıştır. En verimli tekil önlemler, %14,61'lik iyileştirme oranı ile yerden ısıtma sistemi (ISITMA-DS) ve %14 iyileştirme oranı ile fotovoltaik sistem (PV) senaryolarıdır. Yapı kabuğunda ele alınan önlemlere ek olarak ısıtma, aydınlatma sistemleri ile yenilenebilir enerji entegrasyonlarının çalışıldığı senaryolarda ise (S9-S22), referans binaya oranla en fazla %45,53 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Küresel maliyeti referans binaya oranla düşük olan tek önlem 1652,94 TL/m^2 ile PV senaryosudur (%1,34 daha düşük).

Yapılan değerlendirmeler sonucu, referans binaya uygulanan enerji verimliliği önlemlerinin yüksek maliyetli uygulamalar olduğu görülmüştür. Bu uygulamaların, bina sahiplerine ya da son kullanıcıya yüklendiği ve herhangi bir teşvik ya da hibe ile desteklenmediği durumlarda yatırımın finanse edilmesi oldukça zorlaşmaktadır.

Bu bağlamda, Türkiye'de halihazırda mevcut binalardaki enerji verimliliği iyileştirmelerini kapsamayan finansman sistemine bir öneri getirilmiş, -Avrupa'daki öne çıkan uygulama örneklerinden de yararlanılarak- Türkiye şartları için finansal bir model uyarlaması yapılmıştır. Bu uyarlama yapılırken, mevcut literatürdeki tekil önerilerden beslenilmiş ve bütünleşik bir yaklaşım ile mevcut binaların nSEB kriterleri doğrultusunda enerji verimli dönüşümünün sağlanması hedeflenmiştir.

Önerilen finansal model uyarlaması, enerji verimliliğinin finanse edilmesinde görev alacak kurum ve paydaşlar ile birbirleri arasındaki ilişki ağını ortaya konması ve uygulanacak finansal araçların belirlenmesi ile bütünleşik bir bakış açısı sunmaktadır.

Gelecekteki çalışmalar için, binalarda enerji verimliliğinde uygulanabilecek finansal araçların (ESCO, EVYS ve devlet teşvikleri gibi) küresel maliyete etki oranlarının, nicel analiz yöntemi ile araştırılması ve önem derecelerinin belirlenmesi önerilmektedir. Ayrıca, konut binalarında enerji verimliliği tekil örnekler üzerinden ele alınarak, uygulanabilecek finansal teşvik seçeneklerinin bina özelinde etkilerinin değerlendirilmesi yapılabilir.

TRANSFORMATION OF EXISTING RESIDENTIAL BUILDINGS IN TURKEY INTO NZEB WITH ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENTS: FINANCIAL BARRIERS AND SOLUTION PROPOSALS

SUMMARY

Climate change, global warming, and environmental degradation issues have reached levels that we are directly exposed to in recent times. Especially after industrialization, the dramatic increase in anthropogenic emissions and energy demand in cities has become a topic of discussion in many national and international platforms. The fact that buildings in cities have a significant share in energy consumption and global emissions has accelerated studies on improving energy performance in buildings. In this context, many world countries, especially the European Union, are carrying out studies to balance energy consumption in buildings and reduce emissions.

The Energy Performance of Building Directive (EPBD), published by the European Union for the energy performance of existing and new buildings, is one of the main documents within the scope of energy efficiency. The directive, which was first published in 2002 and later revised in 2010 and 2018, covers issues such as reducing greenhouse gas emissions, the use of renewable energy technologies in buildings or in the immediate surroundings of buildings, and determining a common methodology for calculating energy consumption in buildings. Especially with the EPBD Recast published in 2010, the concept of 'nearly zero energy building (nZEB)' had taken place in literature and member states were asked to focus on cost-effective solution proposals in the process of improving the energy performance of buildings. According to the directive, countries must determine nZEB levels appropriate to their own conditions; for this, they need to make the necessary legislative arrangements and support energy efficiency practices in buildings with financial instruments. In Turkey, legal regulations for energy efficiency have been established as of 2007; however, the nZEB definition entered into legislation in 2022. Financial support for energy efficiency applications in buildings is quite limited. Therefore, it is thought that one of the most important challenges for applications to improve energy performance in existing buildings is the financing of these applications.

This study is based on the problem of transforming residential buildings, which constitute a significant portion of the existing building stock in Turkey, into nearly zero energy buildings through energy efficiency improvements. Within this scope, the aim is to identify technical measures that can be taken, define potential financial barriers, and propose solutions related to them.

The aim of the study is to discuss to what extent the energy efficiency measures determined can be implemented with existing financial support systems by making energy and cost analyses. In this context, proposing a financial support model that can be applied to energy efficiency improvements in buildings in Turkey is also one of the main objectives of the study.

The first part of the study includes explanations about the purpose, scope, method, hypothesis and eigen value of the study. The second part contains a detailed literature review on the concept of energy efficiency and nZEB in buildings. In this context, firstly, the concepts and definitions related to nZEB in the national and international literature are discussed. In Section 2.1.1, approaches to balancing calculation methodologies of nZEBs are explained. In Section 2.2, legal legislation regarding energy efficiency in the world is examined. In this context, laws, regulations, standards and action plans are mentioned. In Section 2.3, an international literature review was conducted on the concept of zero energy building. At this stage, a two-stage analysis was carried out with the help of *Scopus* database and *VOSviewer* software. Section 2.4 includes a review of national laws/regulations and legislation on energy efficiency in Turkey. In Section 2.5, the national literature on the concept of zero energy building was examined and information was given mainly about the thesis studies on this subject at the National Thesis Center. In Section 2.6, energy efficiency financing in buildings is examined, focusing especially on Europe, where the old building stock is concentrated, and financial support systems that are being implemented or planned are investigated. Financing mechanisms frequently encountered in international literature are schematized and prominent application examples are cited. In the next step, the financial support systems currently implemented in Turkey and their areas of activity are mentioned. In this context, the stakeholders and their powers and responsibilities were transferred and an evaluation was made based on the limitations and deficiencies in the current system functioning.

In the third section, the methodological framework required for a situation assessment to be carried out on existing residential buildings in Turkey and determined in the EU directive is presented. In this regard, first of all, a reference building that largely represents the physical, climatic and characteristic features of the residential buildings within the scope of the thesis was created and its energy performance was calculated with the help of *EnergyPlus* software. Then, energy efficiency measures that could be applied to the reference building were determined and the energy performance value was calculated for each. In the next step, data on economic inputs were collected for financial analysis and global cost analyzes of the measures were carried out.

The fourth chapter includes the findings of the analysis and their interpretation within the framework of the criteria determined within the scope of the study. In the evaluation, the most efficient scenarios were examined in terms of energy efficiency, initial investment costs, annual energy costs and 30-year global costs. In this context, the assumptions and limitations of the study are also explained.

In the fifth chapter, firstly a gap analysis was made for residential buildings in the energy efficiency legislation. Afterwards, a proposal was made for the financing system that does not include energy efficiency improvements in existing buildings in Turkey, and a financial model was adapted for Turkey's conditions - making use of good practice examples in Europe. While making this adaptation, a financial model was adapted to improve the energy efficiency of existing buildings in line with the nZEB criteria, based on individual suggestions in the existing literature and with a holistic approach.

In the study, all necessary statistical data regarding the reference building, which represents a 4-storey existing residential building that received a building permit between 2007 and 2019 and is considered to be in Istanbul (2nd Climate Zone), was collected and modeled by transferring it to the *DesignBuilder* program. The energy

performance of the reference building in terms of final and primary energy consumption was calculated on an hourly basis with the dynamic simulation method (EnergyPlus). Accordingly, the primary energy consumption for heating, cooling, lighting, hot water system and electrical appliances in the reference building is 165.71 kWh/m2y. In the next step, a total of 41 scenarios were determined, consisting of individual measures and precaution packages to improve the energy performance of the reference building. Each of the measures and precaution packages were evaluated on energy efficiency, initial investment cost, annual energy cost and 30-year global costs.

In the evaluations made in terms of energy efficiency, a maximum of 3% improvement was achieved in the scenarios (S1-S8) considered in the building envelope. The most efficient individual measures are the underfloor heating system (ISITMA-DS) with an improvement rate of 14.61% and the photovoltaic system (PV) scenarios with an improvement rate of 14%. In the scenarios (S9-S22) where heating, lighting systems and renewable energy integrations were studied in addition to the measures taken in the building envelope, an improvement of 45.53% was achieved at most compared to the reference building. The only measure with a lower global cost compared to the reference building is the PV scenario with 1652.94 TL/m2 (1.34% lower).

As a result of the evaluations, it was seen that the energy efficiency measures applied to the reference building were high-cost applications. In cases where these practices are imposed on the building owners or the end user and are not supported by any incentives or grants, it becomes very difficult to finance the investment.

In this context, a proposal has been made for the financing system that does not include energy efficiency improvements in existing buildings in Turkey, and a financial model has been adapted for Turkey's conditions - making use of good practice examples in Europe. The proposed financial model adaptation offers an integrated perspective by revealing the relationship network between the institutions and stakeholders that will be involved in financing energy efficiency and determining the financial instruments to be applied.

For future studies, the quantitative analysis method is proposed to investigate the impact ratios on global costs of financial instruments such as ESCOs, EEOS and government incentives in order to determine their significance levels. Also, it is recommended to consider energy efficiency in residential buildings through individual examples and to discuss/evaluate the effects of applicable financial incentive options on a building-specific basis.

1. GİRİŞ

Günümüzde kentlerin, enerji tüketimi ve insan kaynaklı emisyonların büyük bir bölümünden sorumlu olduğu bilinmektedir. Artan enerji talebi ve beraberinde gelen çevre tahribatı, ulusal ve uluslararası bir çok platforma konu olmuştur. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) verilerine göre, binalar nihai enerji tüketiminin %30'undan ve emisyonların %26'sından sorumlu tutulmaktadır [1]. Bu nedenle, Avrupa Birliği (AB) başta olmak üzere, pek çok dünya ülkesi enerji tüketiminin dengelenmesi, insan kaynaklı emisyonların azaltılması ve binaların enerji performansının iyileştirilmesine yönelik eylem planları hazırlamışlardır.

Avrupa Birliği'nin mevcut ve yeni binaların enerji performansına yönelik yayımlamış olduğu Binalarda Enerji Performansı Direktifi ise enerji verimliği kapsamındaki başlıca dökümanlardan biridir. İlk olarak 2002 yılında yayımlanan, daha sonra 2010 ve 2018 yıllarında revize edilen direktif, sera gazı salımlarının azaltılması, yenilenebilir enerji teknolojilerinin binalarda veya bina yakın çevresinde kullanımı, binalardaki enerji tüketiminin hesaplanması için ortak bir metodoloji belirlenmesi gibi konulara yer vermektedir. Özellikle 2010 yılında yayınlanan Bina Enerji Performans Direktifi'nde *(EPBD Recast),* ilk defa 'neredeyse sıfır enerjili bina' kavramının tanımı yapılmış ve üye ülkelerin kendi koşullarına uygun olarak nihai enerji tüketim hedeflerini belirlemeleri istenmiştir [2]. Ülkelerden, enerji verimliliği önlemlerini belirlerken maliyet-optimum seviyelerini dikkate almaları beklenmiştir. Bu bağlamda, birçok Avrupa Birliği ülkesi kendi koşullarına göre kanun, standart ve ulusal eylem planlarını oluşturmuşlardır.

Aday ülke konumunda olan Türkiye'de, 2017-2023 Enerji Verimliliği Ulusal Eylem Planı çerçevesinde ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) Enerji Verimliliği ve Tesisat Dairesi Başkanlığı öncülüğünde neredeyse sıfır enerjili binalara yönelik çalışmalar yürütüldüğü bilinmektedir [3,4]. 2007 ve 2008 yıllarında yayımlanan sırasıyla Enerji Verimliliği Kanunu ve Binalarda Enerji Performansı yönetmeliği, enerji performansını iyileştirmeye yönelik hedefleri barındırsa da, "sıfır enerji" kavramına yönelik tanımlamalar, ancak 2022 yılı itibarıyla ulusal mevzuata girmiştir [5].

Avrupa Birliği ülkelerindeki enerji verimliliği uygulamaları incelendiğinde, sıfır enerjili binaların ilk yatırım maliyetlerinin geleneksel binalara kıyasla yüksek olduğu, bu nedenle birtakım finansal mekanizmalar ile desteklendiği görülmektedir. Bu bağlamda, neredeyse sıfır enerjili binaların Türkiye genelinde yaygınlaştırılması için gerekli yasal ve finansal altyapı düzenlemelerine yönelik çalışmaların da artırılması gerektiği düşünülmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Binalarda uygulanacak enerji verimliliği önlemlerinin aynı zamanda maliyet etkin olması, Bina Enerji Performans Direktifi ve ulusal eylem planı hedefleri açısından kritik önem taşımaktadır. Dolayısıyla, binalarda enerji ve maliyet etkinlik konusu bütünleşik bir bakış açısıyla ele alınmalıdır.

Bu çalışmada, Türkiye'deki mevcut konut binalarının, yapılacak enerji verimliliği iyileştirmeleri ile neredeyse sıfır enerjili binalara (nSEB) dönüştürülmesi probleminden yola çıkılmış ve bu kapsamda karşılaşılabilecek finansal bariyerlerin tanımlanması ve bunlara ilişkin çözüm önerileri getirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında belirlenen enerji verimliliği önlemlerinin, enerji ve maliyet analizlerinin yapılarak mevcut finansman destek sistemleri ile ne seviyede uygulanabileceğinin tartışılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, Türkiye'de binalarda enerji verimliliği iyileştirmelerinde uygulanabilecek bir finansal destek modelinin önerilmesi de çalışmanın ana hedeflerinden biridir.

Çalışmada cevaplanması hedeflenen araştırma soruları aşağıda listelenmektedir:

1. Mevcut konut bina stokunun enerji verimliliği iyileştirme uygulamalarında hangi teknik önlemler alınabilir?
2. Mevcut konut bina stokunun neredeyse sıfır enerjili binalara (nSEB) dönüştürülme sürecinde hangi ek maliyetler ön plana çıkmaktadır?
3. Maliyetlerin ne kadarı son kullanıcıya yansıtılmaktadır? Mevcut durumda uygulanan finansal destek sistemleri (teşvik, kredi) nelerdir?
4. Binaların enerji verimliliği kapsamında -ulusal koşullar gözetilerek- hangi finansal destek sistemleri/mekanizmaları kullanılabilir?
5. Bu bağlamda paydaşlara (mal sahipleri, tasarımcılar, tedarikçiler, uygulayıcılar, kullanıcılar) ne gibi görevler/sorumluluklar düşmektedir?

1.2 Tezin Kapsamı

Bu tez çalışmasının evrenini, Türkiye'nin 2. İklim bölgesinde (İstanbul ili) 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı almış olan konut binaları oluşturmaktadır. 2007 yılından önce inşa edilmiş binalar 26454 sayılı 'Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik' mevzuatına tabi olmadığından ve depreme dayanıklılık açısından detaylı bir inceleme gerektirdiğinden bu araştırmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

Çalışmanın birinci bölümünde, çalışmanın amacı, kapsamı, yöntemi, hipotez ve özgün değerine yönelik açıklamalar yer almaktadır. İkinci bölüm, binalarda enerji verimliliği ve nSEB kavramına ilişkin detaylı literatür incelemesini içermektedir. Bu kapsamda, öncelikle ulusal ve uluslararası literatürde geçen nSEB ile ilişkili kavramlar ve tanımları ele alınmıştır. Bölüm 2.1.1'de nSEB'lerin dengeleme hesaplama metodolojilerine ilişkin yaklaşımlar aktarılmıştır. Bölüm 2.2'de, dünyada enerji verimliliğine yönelik yasal mevzuat incelenmiştir. Bu kapsamda kanun, yönetmelik, standartlar ve eylem planlarına değinilmiştir. Bölüm 2.3'te, sıfır enerjili bina kavramı ile ilgili uluslararası literatür incelemesi yapılmıştır. Bu aşamada Scopus veritabanı ve VOSviewer yazılımı yardımıyla iki aşamalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bölüm 2.4, Türkiye'de enerji verimliliğine yönelik ulusal mevzuat incelemesini içermektedir. Bölüm 2.5'te sıfır enerjili bina kavramına yönelik ulusal literatür incelenmiş ve ağırlıklı olarak Ulusal Tez Merkezi'ndeki bu konuda yapılmış tez çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 2.6'da binalarda enerji verimliliği finansmanı irdelenerek, özellikle eski bina stokunun yoğunlaştığı Avrupa'ya odaklanılmış ve uygulanmakta olan veya planlanan finansal destek sistemleri araştırılmıştır. Uluslararası literatürde sıklıkla karşılaşılan finansman mekanizmaları şematize edilmiş ve öne çıkan uygulama örnekleri aktarılmıştır. Bir sonraki adımda, Türkiye'de mevcut durumda uygulanmakta olan finansal destek sistemleri ile faaliyet alanlarına değinilmiştir. Bu kapsamda görev alan paydaşlar ile yetki ve sorumlulukları aktarılarak, mevcut sistem işleyişindeki kısıtlılıklar ve eksiklikler üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, Türkiye'deki mevcut konut binaları üzerinden yapılacak bir durum değerlendirmesi için gerekli olan ve AB direktifinde belirlenen metodolojik çerçeve aktarılmıştır. Bu doğrultuda öncelikli olarak, tez kapsamındaki konut binalarının fiziksel, iklimsel ve karakteristik özelliklerini büyük oranda temsil eden bir referans

bina oluşturulmuş ve enerji performansı *EnergyPlus* yazılımı yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra, referans binaya uygulanabilecek enerji verimliliği önlemleri belirlenmiş ve her biri için enerji performans değeri hesaplanmıştır. Bir sonraki adımda, finansal analiz için ekonomik girdilere ilişkin veriler toplanmış ve önlemlerin küresel maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü bölüm, yapılan analizlere ilişkin bulguları ve çalışma kapsamında belirlenen kriterler çerçevesinde yorumlanmasını içermektedir. Değerlendirmede, enerji verimliliği, ilk yatırım maliyetleri, yıllık enerji maliyetleri ve 30 yıllık küresel maliyetleri açısından en verimli senaryolar irdelenmiştir. Bu kapsamda, çalışmadaki kabuller ve kısıtlar da ayrıca aktarılmıştır.

Beşinci bölümde, öncelikle enerji verimliliği mevzuatında konut binalarına yönelik boşluk analizi yapılmıştır. Daha sonra, Türkiye'de halihazırda mevcut binalardaki enerji verimliliği iyileştirmelerini kapsamayan finansman sistemine bir öneri getirilmiş, -Avrupa'daki öne çıkan uygulama örneklerinden de yararlanılarak- Türkiye şartları için finansal bir model uyarlaması yapılmıştır. Bu uyarlama yapılırken, mevcut literatürdeki tekil önerilerden beslenilmiş ve bütüncül bir yaklaşım ile mevcut binaların nSEB kriterleri doğrultusunda enerji etkinliğinin iyileştirilmesi için bir finansal model önerisi getirilmiştir.

1.3 Hipotez

Yeni binalardaki enerji verimliliği uygulamaları, oluşturulan yasal mevzuat düzenlemeleri ile tasarım aşamasından itibaren belirlenebilmekte ve projeye daha kolay adapte edilebilmektedir. Ancak, mevcut binalarda yapılacak enerji verimliliği uygulamalarında binanın yaşı, fiziksel özellikleri, mevcut durumdaki kullanımı, yapılacak iyileştirme uygulamalarının süresi ve kimin tarafından finanse edileceği gibi pek çok parametrenin birlikte değerlendirilmesini gerektiren kapsamlı bir araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Sıfır enerjili binaların enerji etkin ve yüksek performanslı olarak tasarlanması, yalıtım, çift veya üçlü cam sistemleri, enerji verimli cihazlar (ısı geri kazanım sistemi, ısı pompası, radyant ısıtma-soğutma vb.) gibi sistemlerin binaya entegre edilmesini gerektirmekte ve bu durum binanın özelikle ilk yatırım maliyetlerini yükseltmektedir. Türkiye'deki güncel durumda, binaların enerji verimliliği uygulamalarına yönelik

destekler oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle, mevcut binalarda enerji performansını iyileştirmeye yönelik uygulamaların önündeki en önemli zorluklardan birinin, bu uygulamaların finanse edilmesi olduğu düşünülmektedir.

Bu kapsamda, hükümet nezdinde -özellikle mevcut binaların enerji verimliliğine yönelik- finansal araçların geliştirilip çeşitliliğinin sağlanması ile yatırımcı/son kullanıcı üzerindeki finansal yükün paylaşılmasının, binalarda enerji verimliliği projelerinin ülke çapında yaygınlaşmasında itici bir güç olabileceği düşünülmektedir.

İstatistiksel verilere göre, Türkiye'de 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı almış binaların yaklaşık %84'ü konut kullanımlıdır. Bu nedenle, mevcut konut binaları özelinde önerilecek enerji performans iyileştirmeleri ile finansal destek sistemlerinin genele daha hızlı etki edeceği öngörülmüş ve çalışma kapsamında mevcut konut binaları ele alınmıştır.

1.4 Özgün değer

2010 yılında yayımlanan Bina Enerji Performans Direktifi'nde, üye ülkelerden mevcut ve yeni binaların enerji verimliliğini arttırmak için yasal mevzuat ve pazardaki engeller ile ilgili aldıkları önlemleri ve çözüm önerilerini içeren bir rapor hazırlamaları istenmiştir. Bu nedenle, enerji ve maliyet etkin çözüm önerilerinin, sürdürülebilir olması açısından yasal ve finansal bir altyapıya dayandırılması gerekmektedir.

Daha önceki tez çalışmaları, mevcut binaların sıfır enerjili binalara dönüştürülmesi için gerekli olan enerji ve maliyet optimizasyon çalışmalarını içermektedir. Ancak, Türkiye'deki neredeyse sıfır enerjili bina sayısının arttırılması için finansal bir model önerisi oluşturulması ve yasal mevzuattaki boşlukların giderilmesine yönelik yapılmış olan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu çalışma, Türkiye'deki mevcut bina iyileştirmeleri için enerji ve maliyet etkin çözüm önerileri sunmanın ötesinde, enerji verimliliği projelerinin uygulanabilirliği için bütünleşik bir finansal model uyarlaması önermekte ve bu yönüyle diğer tez çalışmalarından ayrılmaktadır.

1.5 Yöntem

Bu araştırma, konu özelinde literatüre yönelik kapsamlı bir içerik analizi yaklaşımı ile ele alınmıştır. 2. Bölümdeki literatür analizinde, uluslararası ve ulusal tez merkezleri, veritabanları, resmî kurumların yayımlamış olduğu mevzuat dökümanları (kanun,

yönetmelik, standart vd.) ve sektör faaliyet raporları gibi çeşitli kaynaklardan faydalanılmıştır. Ayrıca, uluslararası literatürdeki araştırmalara yönelik Scopus veritabanı ve VOSviewer yazılımı üzerinden iki aşamalı kaynakça analizi *(bibliometric analysis)* gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, görselleştirilen bibliyometrik ağlar üzerinden yorumlanmıştır.

Türkiye'deki mevcut konut binalarının enerji performansının değerlendirilebilmesi için referans bina oluşturma sürecinde *DesignBuilder* programından yararlanılmış ve gerekli veri girişlerinin tamamlanmasından sonra bina enerji simülasyonları *EnergyPlus* yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Referans binanın mevcut durumdaki enerji performansı, dinamik simülasyon yöntemi ile saatlik bazda hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan enerji verimliliği önlemleri ise yapılan enerji simülasyonları sonucunda karşılaştırmalı analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Finansal model uyarlama bölümünde de ağırlıklı olarak literatür araştırmasından faydalanılmış ve örnek inceleme yoluyla öne çıkan uygulamalar üzerinden bir yaklaşım önerisi getirilmiştir.

2. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ: KAVRAMLAR VE MEVZUAT

İklim değişikliği, küresel ısınma ve çevresel tahribat sorunları, son dönemde etkilerine doğrudan maruz kaldığımız seviyelere ulaşmıştır. Özellikle sanayileşme sonrasında, kentlerdeki insan kaynaklı emisyonların ve enerji ihtiyacının dramatik seviyelerde artış göstermesi, birçok dünya ülkesini bu konuda çözüm üretmeye itmiştir. Kentlerdeki emisyonların önemli bir bölümünden binaların sorumlu olması, binaların enerji performansının iyileştirilmesine yönelik araştırmaları hızlandırmıştır.

Uluslararası literatürde yüksek enerji performanslı bina tasarımına ilişkin birçok kavram araştırma konusu olmuştur. Bunlardan bazıları, düşük enerjili bina, pasif bina, neredeyse sıfır enerjili bina, net sıfır enerjili bina ve pozitif enerjili binadır. Kavramların ulusal literatürdeki karşılıklarını pekiştirmek ve olası kavram karışıklıklarını önlemek amacıyla, ilk bölümde sıfır enerjili bina ile ilişkili olarak literatürde sıklıkla kullanılan kavramların tarihsel süreçteki karşılıkları verilmiş ve bu çalışma kapsamında odaklanılan nSEB'lere ilişkin tasarım parametreleri detaylı olarak incelenmiştir (Bölüm 2.1). Bölüm 2.2'de dünyada enerji verimliliği ile ilgili uluslararası yasal mevzuat aktarılmış ve bu kapsamda yapılan uluslararası araştırma projelerine yer verilmiştir. Daha sonra, sıfır enerji ve bina yenilemesi özelinde yapılmış olan uluslararası çalışmalar bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmiş; Scopus veritabanı ve VOSviewer üzerinden yapılan analizin sonuçları Bölüm 2.3'te tartışılmıştır. Bir sonraki bölümde, Türkiye'deki enerji verimliliği mevzuatı aktarılmış, AB ve Türkiye'deki mevzuat gelişimi ilişkilendirilmiştir (Bölüm 2.4). Bu kapsamda, ulusal literatürde sıfır enerji kavramına yönelik yapılan güncel çalışmalar aktarılmıştır (Bölüm 2.5). Bir sonraki adımda, binalarda enerji verimliliği uygulamalarına yönelik finansal destek sistemleri incelenmiş ve çeşitli dünya ülkelerinde halihazırda uygulanmakta olan destekler ve öne çıkan uygulama örneklerine yer verilmiştir. Daha sonra, Türkiye'de halihazırda uygulanmakta olan finansman mekanizmaları aktarılmış, Bölüm 2.7'de ise bir bölüm sonu değerlendirmesi yapılmıştır.

2.1 Sıfır Enerjili Bina Kavramının Gelişimi

Sıfır enerjili bina kavramı, fosil kaynaklı yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının, çevre sorunlarının çözümünde oynadığı rol açısından kritik bir öneme sahiptir. Kavramların doğru bir şekilde tanımlanması, sıfır enerjili binalara ilişkin temel prensipleri anlamak açısından elzem görülmektedir.

Sıfır enerjinin geçmişte kullanılan tanımları, temel olarak binanın işletilmesi sürecinde harcanan operasyonel enerjinin (ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, priz yükleri vb.) dengelenmesine dayanmaktadır [6].

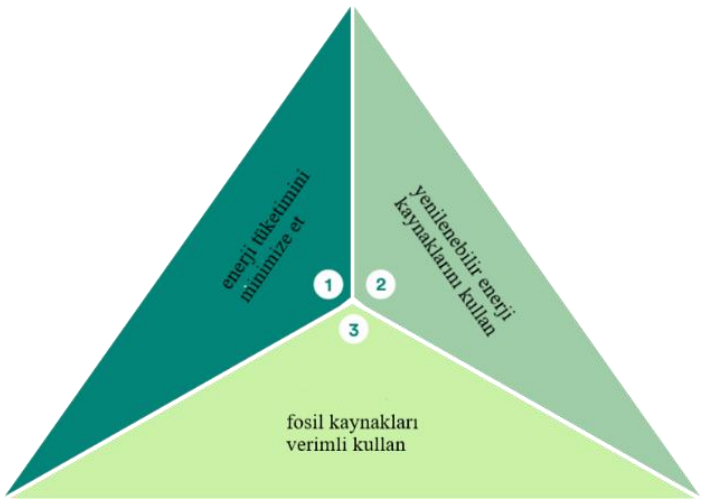
Sıfır enerjili binalara dayanak oluşturan ilk deneysel çalışmaların 1970'li yıllarda petrol krizi sonrasında Kuzey Amerika'da yapıldığı, daha sonra Asya ve Avrupa'ya yayıldığı bu alanda yapılan geçmiş çalışmalarda aktarılmıştır [6]. Bu araştırmaların odağında, binadaki enerji tüketimini ve ısı kaybını minimize etmeye yönelik yüksek performanslı yalıtım ve pencere sistemleri ile ilişkili pasif sistem uygulamaları bulunmaktadır.

1979 yılında, Hollanda Delft Teknoloji Üniversitesi'nde Kees Duijvstein önderliğinde geliştirilen ve sonrasında uluslararası düzeyde tanınan 'Trias Energetica'da, yüksek performanslı bina tasarımına ilişkin üç aşamalı yaklaşım benimsenmiştir (Şekil 2.1):

1) İsraftan kaçının ve gereksiz enerji ihtiyacını azaltın.

2) Güneş, rüzgar, su, toprak gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanın.

3) Fosil kaynaklı yakıtları mümkün olduğunca verimli ve sadece sürdürülebilir kaynakların olmadığı durumlarda kullanın [7].



Şekil 2.1 : Trias Energetica yaklaşımı [7].

1988 yılında Amerikalı fizikçi William Shurcliff 'süper yalıtımlı bina *(superinsulated house)*' konseptinin olgunlaştığını ilan etmiştir. Süper yalıtımlı bina, sadece az bir miktarda güneş enerjisi alan, çok iyi yalıtılmış ve hava sızdırmaz bir binayı tariflemektedir. Binada pencere alanlarının oranı, ısı kaybının minimumda tutulması açısından önemli bir tasarım girdisidir [8].

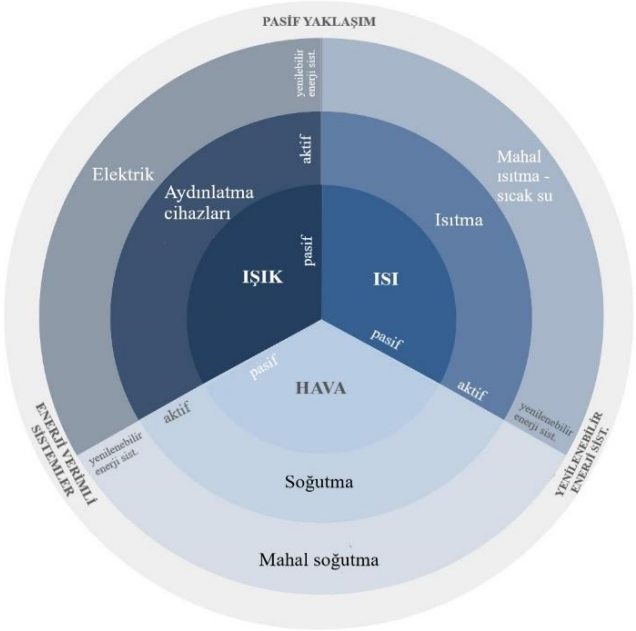
1990'lı yılların ortalarına gelindiğinde, Almanya'da bu kavram geliştirilerek nSEB kavramına önemli bir dayanak oluşturan Pasif Ev Enstitüsü *(Passive House Institute – PHI)* kurulmuştur. PHI'nın geliştirdiği 'pasif ev *(passive house)*' kavramı, "havanın yeniden sirküle edilmesine ihtiyaç duymadan, yeterli iç hava kalitesi şartlarını sağlayabilmek için gerekli olan temiz havanın sadece sonradan ısıtılması veya soğutulması yoluyla ısıl konforun sağlanabildiği bina" olarak tanımlanmıştır [9]. Pasif bina, temelde çok yüksek performanslı bir yapı kabuğunu (yalıtımlı dış duvar, çatı ve pencereler ile hava sızdırmaz) önceliklendirmektedir. Binada havalandırma ve istenilen iç hava kalitesinin sağlanabilmesi için ise ısı geri kazanımlı havalandırma sistemleri *(heat recovery ventilation- HRV)* kullanılmaktadır.

2008 - 2013 yılları arasında Uluslararası Enerji Ajansı *(International Energy Agency-IEA)* tarafından yürütülen 'IEA SHC Görev 40/EBC Ek 52: Net Sıfır Enerji Güneş Binalarına Doğru' başlıklı araştırma projesine, 19 farklı ülkeden 82'den fazla uzman katılım göstermiş ve SEB konseptinin teorikten pratiğe dönüştürülmesine ve pazarda kabul görmesine katkı sağlamışlardır. Bu proje kapsamında ilk defa 'net sıfır enerji *(net zero energy)*' tanımı yapılmıştır [10,11]. Araştırma ekibindeki Garde ve diğ. (2017), net-sıfır enerjili binayı (NSEB), "yıllık bazda şebekeden çektiği enerji kadar saha içinde enerji üreten -elektrik şebekesine bağlı- bir bina" olarak tanımlamaktadır. Bu binalarda metrekare başına düşen yıllık birincil enerji tüketimi 0 kWh/m^2y'dir. NSEB çevreden bağımsız otonom bir bina değildir; aksine enerji şebekelerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Projenin ana çıktılarından biri de, çeşitli bina ve iklim tipolojilerini kapsayan bir dizi örnek binanın belgelendiği 'Net Sıfır Enerji Binalar için Çözüm Setleri' isimli kitaptır [12].

Lu ve diğ. (2019), net sıfır enerjili binaları, bir yılı aşkın bir süredir nötr olan, şebekeden kullandıkları enerji kadar şebekeye enerji tedarik eden binalar olarak tanımlamaktadır. Bu binalar, şebekeden enerji çekmelerine rağmen ısıtma, soğutma, aydınlatma gibi enerji kullanımları için fosil yakıt kullanmamaktadırlar [13].

Net sıfır enerjili binalar, enerji tüketimini minimize ederken öncelikli olarak pasif tasarım kriterlerini barındırırlar [12]. Bu bağlamda binanın yerleşimi, yönlendirilmesi, formu, açıklıklar vb. parametreler önem kazanmaktadır. Bir sonraki adım, yüksek yalıtımlı ve hava sızdırmaz yapı kabuğu tasarlamaktır. Çünkü yapı kabuğu, dış ortam şartlarını istenilen oranda iç ortama ileten bir filtre görevi görmekte ve binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. Bir diğer kriter, binada yüksek verimli ısıtma-soğutma ve iklimlendirme sistemleri tasarlamaktır.

Aelenei ve diğ. (2012), net sıfır enerjili bina tasarımını yorumladıkları grafikte üç yaklaşımdan bahsetmektedir (Şekil 2.2): pasif yaklaşımla enerji ihtiyacını minimize etmek (en iç çember), enerji verimli sistemler (radyan ısıtma-soğutma, ısı geri kazanım sistemleri, enerji verimli aydınlatma sistemleri, enerji verimli elektrikli aletler vb.) uygulamak (ikinci çember) ve son olarak yenilenebilir enerji teknolojilerini uygulamak (dış çember) [14].



Şekil 2.2 : NZEB tasarım yaklaşımı [14].

Yüksek performanslı bina kabuğu ve enerji verimli sistemlerin binaya entegrasyonu ile yüksek enerji verimli bir bina tasarımı yapılabilmektedir; ancak sıfır enerji hedefine ulaşabilmek için en önemli kriter yenilenebilir enerji kullanımıdır. Yenilenebilir enerji sistemleri farklı ölçeklerde binaya uygulanabilmektedir [15]:

- Bina kullanım alanı içinde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması (çatıya yerleştirilen PV ve güneş kolektörleri).
- Proje sahası içinde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması.

- Proje sahası içinde enerji üretmek için proje alanı dışında bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının (biyokütle, ethanol, biyodizel vb) kullanılması.
- Proje sahası dışında bulunan yenilenebilir enerji üretim tesislerine bina sahibinin yatırım yapması. Böylece proje alanı dışındaki tesis tarafından üretilen enerjinin, binanın enerji dengelemesine dahil edilmesi.
- Proje alanı dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarının satın alınması (PV, hizmet esaslı rüzgar, emisyon kredileri ve diğer "yeşil" alma seçenekleri gibi).

Torcellini ve diğ. (2006) ise , net sıfır enerjili binaları yenilenebilir enerji kullanım stratejilerine göre dört kategoride incelemektedir [16]:

- Net sıfır saha enerjisi *(net-zero site energy):* Bina, bulunduğu saha içerisinde bir yıl boyunca kullandığı/tükettiği enerji kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretmektedir.
- Net sıfır kaynak enerjisi *(net-zero source energy):* Bina, bir yıl boyunca kullandığı kaynak enerjisi kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretmektedir. Kaynak enerjisi, enerjinin hammadde halinden çıkartılıp işlenmesi, üretilmesi ve saha içerisinde iletilmesi sürecinde kullanılan birincil enerjiyi ifade etmektedir.
- Net sıfır enerji maliyeti *(net-zero energy cost):* Binadan elektrik şebekesine aktarılan enerji için elektrik şirketinin bina sahibine ödediği miktar, yıl boyunca enerji hizmetleri ve kullanımı için şirkete ödenen miktara eşit olmaktadır.
- Net sıfır emisyonlu enerji *(net-zero energy emissions):* Binada yıllık bazda kullanılan enerjiden kaynaklanan emisyonları dengeleyecek kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretilmesi veya satın alınması.

Net sıfır enerjili bina kavramının ortaya atılmasından sonraki süreçte, Avrupa Birliği daha ulaşılabilir bir hedef olarak 'neredeyse sıfır enerjili bina *(nearly zero energy building- nZEB)*' kavramını geliştirmiştir. Bina Enerji Performans Direktifi'nin 2010 yılında yayımlanan versiyonunda neredeyse sıfır enerjili bina, "enerji ihtiyacını minimumda tutan ve gereken enerjiyi binada/saha içindeki yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayan, çok yüksek enerji performansına sahip bina" olarak tanımlanmıştır [2]. Sıfır enerji tüketimine ne kadar yaklaşılması gerektiği veya minimum- maksimum gereklilikler direktifte spesifik olarak belirtilmemiş, üye ülkelere bırakılmıştır. Bu bağlamda, her ülkenin yerel koşulları oldukça önem taşımaktadır [17].

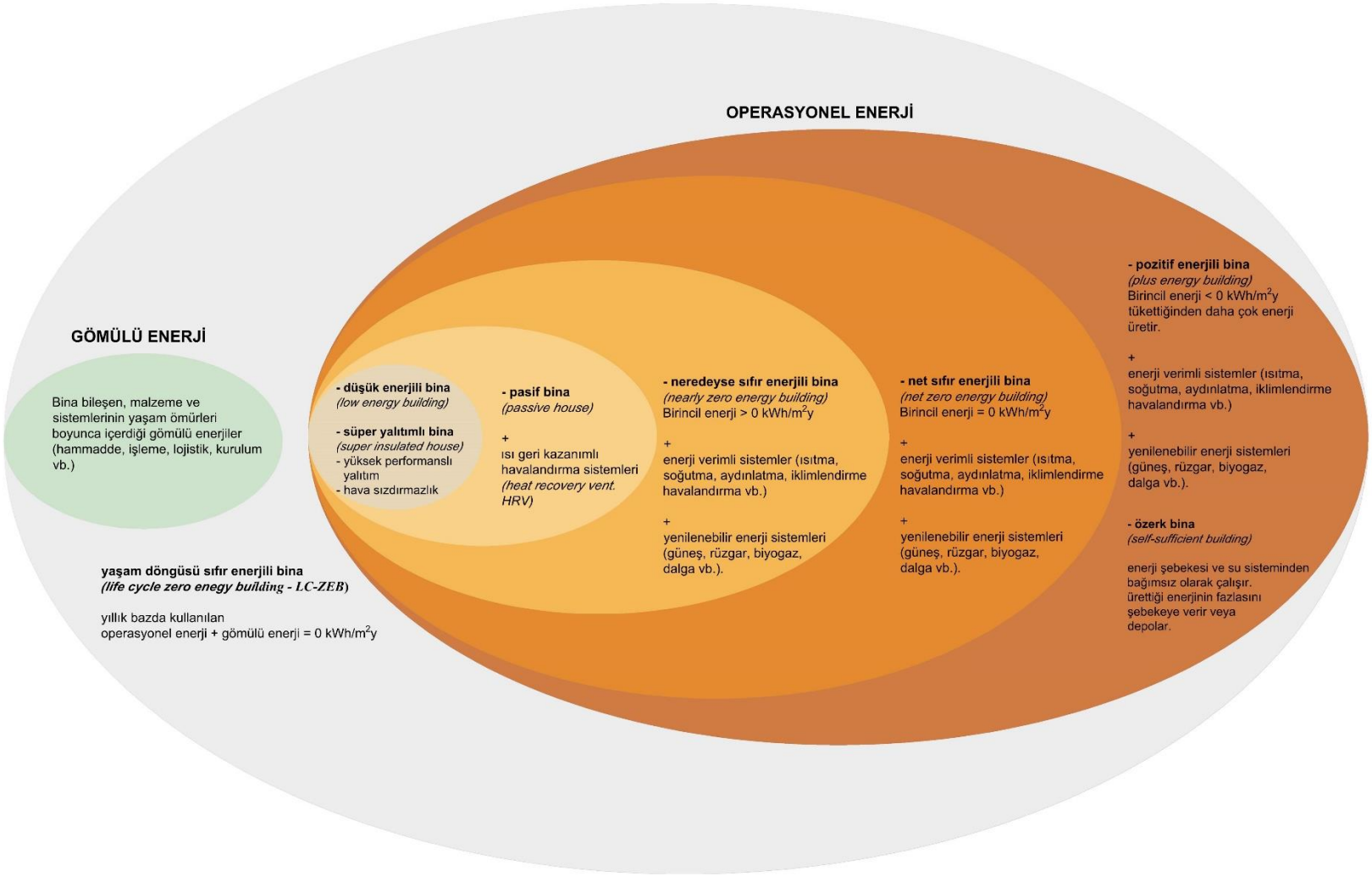
Pittakaras (2013), sıfır enerjili binayı "enerji ihtiyacının mümkün olabilecek en düşük seviyelere indirildiği ve kalan enerji talebinin ise yenilenebilir enerji teknolojileri ile karşılanabildiği bir ticari bina veya konut binası" olarak tanımlamıştır. Sıfır enerjili binada ana konsept, fosil kaynaklı yakıtların yerini güneş, rüzgar, dalga, biyogaz enerjisi veya jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynakların almasıdır. [18].

Hernandez ve Kenny (2010), sıfır enerji yaklaşımına farklı bir boyut kazandırarak yaşam döngüsü sıfır enerjili bina *(life cycle zero enegy building – LC-ZEB*) kavramını geliştirmişlerdir. Binanın yaşam ömrü boyunca kullandığı birincil enerji ile bina bileşen, malzeme ve sistemlerinin içerdiği enerjilerin de bina içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjiye eşit ya da daha az olduğu durumu ifade etmektedir [19]. Başka bir deyişle, bir binanın LC-ZEB olabilmesi için binanın operasyonel enerjisine ek olarak gömülü enerjisinin de bina ömrü boyunca enerji dengelemesine dahil edilmesi gerekmektedir.

Sıfır enerjili bina ile benzerlikleri nedeniyle karıştırılabilen kavramlardan biri de kendi kendine yeten bina veya özerk bina *(self-sufficient/ autonomous/ off-grid building)* kavramıdır. Özerk bina, sıfır enerjili binalar gibi enerji ihtiyacını minimize ederek ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaktadır; ancak sıfır enerjili binalardan farklı olarak, enerji şebekesine ve su sistemlerine bağlı değildir. Üretilen enerjinin fazlası şebekeye geri verilebilmekte veya depolanarak binada kurgulanan otomasyon sistemleri ile yönetilebilmektedir [20].

Pozitif enerjili binaya *(plus energy house)* ilişkin literatürde çeşitli tanımlamalar mevcuttur [21]. En basit anlamı ile pozitif enerjili bina, yıllık bazda tükettiği enerji miktarından fazla enerji üreten binalardır. Bu, ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve fişe takılan tüm cihazlar dahil olmak üzere operasyonel enerjiyi içerir [22]. Üretilen enerji şebekeye geri verilebilir ya da saha içerisinde depolanabilir.

Literatürden görüleceği üzere, sıfır enerjili bina kavramına dayanak oluşturan ilk tanımlamalar 1970'li yıllardan itibaren uluslararası düzeyde araştırma konusu olmuş ve yıllar içerisinde gelişerek bugünkü tanım ve kapsamına ulaşmıştır. Bölüm 2.1'de sıfır enerjiye yönelik incelenen kavramların birbirleriyle olan ilişkileri Şekil 2.3'te özetlenmektedir:



Şekil 2.3 : Sıfır enerji ile ilişkili kavramlar.

2.1.1 nSEB parametreleri

Sıfır enerjili binaların birbirleriyle doğru ve güvenilir bir şekilde karşılaştırılabilmesi için dengeleme (enerji) hesaplama metodolojilerine ilişkin parametrelerin belirlenmesi kritik önem taşımaktadır. Bu parametreler, AB direktifinde spesifik olarak tanımlanmadığı için ülkelere göre değişiklik gösterebilmektedir.

Daha önceki çalışmalarda, nSEB parametreleri kapsamlı olarak ele alınmıştır [12,23-27]. Çeşitli araştırmacılar tarafından irdelenen parametreler Çizelge 2.1'de özetlenmektedir:

Çizelge 2.1 : Araştırmacılar tarafından irdelenen nSEB parametreleri.

Garde ve diğ.(2017) [12]	D'Agostino ve diğ. (2016). [28]	Voss ve diğ. (2013) [24]	Sartori ve diğ. (2012) [26]	Kurnitski, J. (2013) [29]	Attia, S. (2018) [6]
Fiziki sınır	Fiziki sınır	Bina sistem sınırı - Fiziki sınır - Dengeleme sınırı	Bina sistem sınırı - Fiziki sınır - Dengeleme sınırı - Sınır koşulları	Sistem sınırı	Karbon emisyon sınırı
Dengeleme sınırı	Enerji kullanım türü			Değerlendirme sınırı	Minimum enerji verimliliği sınırı
Normalizasyon				Bina kullanım durumu (konut, ofis vb.)	Kullanıcı yoğunluğu
Ağırlıklandırma sistemi	Denge ölçüsü	Ağırlıklandırma sistemi	Ağırlıklandırma sistemi - Metrik/Ölçü - Simetri - zamana bağlı muhasebe	Birincil enerji göstergesi CO2 sayısal göstergesi Yenilenebilir enerji oranı	Isıtma-soğutma dengesi
Dengeleme periyodu	Dengeleme periyodu		net SEB dengeleme - Dengeleme periyodu - Dengeleme tipi - Enerji verimliliği - Enerji tedariği	Dengeleme periyodu	Yenilenebilir enerji üretim payı
Dengeleme tipi	Yenilenebilir enerji tedarik seçenekleri			Yenilenebilir enerji kullanımı (sahada, yakında, saha dışında)	
	Dengeleme tipi	Dengeleme tipi		Dengeleme tipi	Maliyet eşiği
Diğer gereksinimler	Enerji altyapısına bağlantı (şebekeye bağlı / şebekeden bağımsız)	Geçici özellikler şebeke etkileşimi, yük eşleştirme	Zamana dayalı enerji eşleşme karakteristikleri - yük eşleştirme - şebeke etkileşimi Ölçme ve doğrulama		İç hava kalitesi limitleri (termal konfor koşulları)

2.1.1.1 Bina sistem sınırı *(building system boundary)*

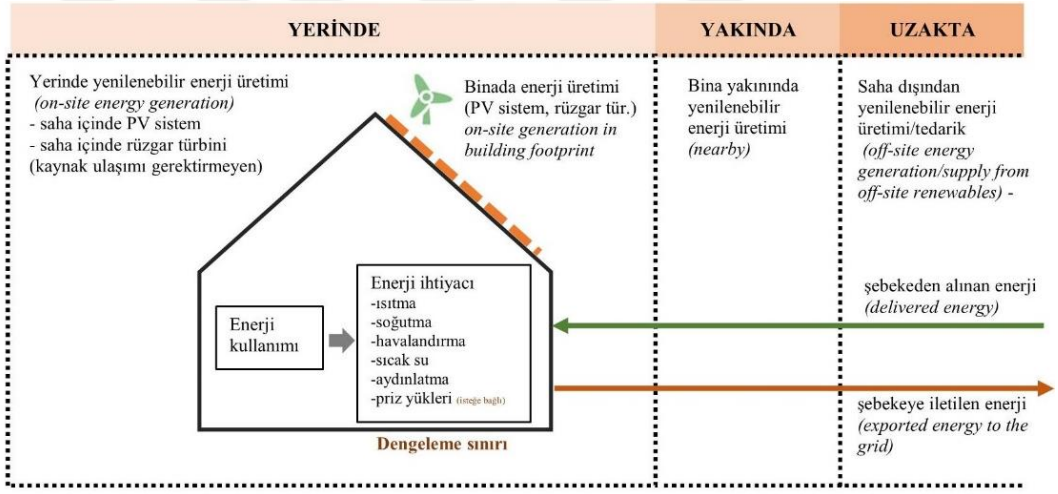
Binanın bağlı olduğu enerji kaynaklarını tanımlamaktadır. Bunlar 'yerinde' üretilen *(on-site)* yenilenebilir veya fosil kaynaklı enerji ile 'dışarıda' üretilen *(off-site)* şebeke enerjisidir. Sınır, yerinde ve dışarıda ayrımını yapmaktadır. Binanın sistem sınırı ise fiziki sınır ve dengeleme sınırının birleşimidir [12].

Fiziki sınır (*physical boundary*), bina ve içinde bulunduğu araziyi tanımlamaktadır. Daha üst ölçekte bir bina grubunu, yerleşim yerini, mahalleyi hatta şehirleri

tanımlayabilir [12]. Aynı zamanda, yenilenebilir enerji kaynaklarının sahada mı yoksa saha dışında mı olduğunu belirlemektedir [26]. Direktifte belirtilen şekliyle fiziki sınır, yerinde *(on-site)* veya yakınlarda *(nearby)* üretilen yenilenebilir enerji kaynaklarını kapsamaktadır [2].

Dengeleme sınırı (*balance boundary*) ya da sistem sınır gereksinimi *(system boundary demand)* ise, hangi enerji tipinin dengelemeye dahil edileceğini belirlemektedir. Binalarda Enerji Performans Direktifi, konut binalarında ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma için kullanılan operasyonel enerjiyi dikkate almaktadır [2]. Ancak bazı ülkelerde binalarda kullanılan elektrikli ev aletlerine ilişkin priz yükleri de hesaplamalara dahil edilmektedir [23].

Tipik bir bina fiziki sınırı ile şebekeden alınan ve şebekeye iletilen enerji akışı Şekil 2.4'te aktarıldığı gibidir:



Şekil 2.4 : Bina sistem sınırı ve enerji akışları.[28, 26] nolu kaynaklardan yararlanılmıştır.

Benzer iklim koşullarında yer alan benzer binaların tutarlı bir karşılaştırmaya imkan verebilmesi için işlevsellik, alan etkinliği, iklim ve konfora ilişkin sınır koşullarının da *(balancing boundary)* belirlenmesi gerekmektedir. İşlevsellik, binanın ne amaçla kullanıldığı (konut, ofis, eğitim veya sağlık binası) ile ilişkilidir. Alan etkinliği, kullanıcı yoğunluğu (kişi/m^2) ve dolaylı olarak kişi başına düşen enerji tüketimi olarak tanımlanmaktadır. İklim ve konfor koşulları, binanın enerji ihtiyacını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, referans koşulların doğru tanımlanması binadan beklenen performansın izlenecek performansla *(monitoring)* karşılaştırılabilmesi açısından önemlidir. [26].

2.1.1.2 Ağırlıklandırma sistemi (*Weighting system*)

Ağırlıklandırma sistemi farklı türdeki enerjileri, dengeleme sürecini kolay yönetebilmek amacıyla ortak bir metriğe dönüştürmektedir [24]. Direktif'te nSEB'ler için denge metriği yıllık kWh/m^2 olarak ifade edilen 'birincil enerji' *(primary energy)* olarak belirlenmiştir. Ancak bazı ülkeler, enerji performans göstergesi olarak sera gazı emisyonlarını birincil metrik olarak dikkate almaktadır.

Enerji hesabı için kullanılacak birincil enerji dönüşüm faktörleri, ulusal resmi verilere dayalı olabileceği gibi AB standartlarından da (EN 15603 gibi) alınabilir [2].

Ülkelerin ağırlıklandırma (dönüşüm) faktörlerine yönelik yürüteceği çeşitli politikaların, yenilenebilir enerji tedariği konusunda piyasaya yön verebileceği ve nSEB hedefine ulaşabilmeyi kolaylaştırılabileceği belirtilmiştir [24,26].

2.1.1.3 Dengeleme şartları (balancing conditions)

nSEB'lerin dengelenmesi sürecinde dengeleme periyodu, dengeleme tipi ve enerji tedarik seçenekleri gibi parametreler dikkate alınmaktadır [26].

Dengeleme periyodu (*balancing period*)

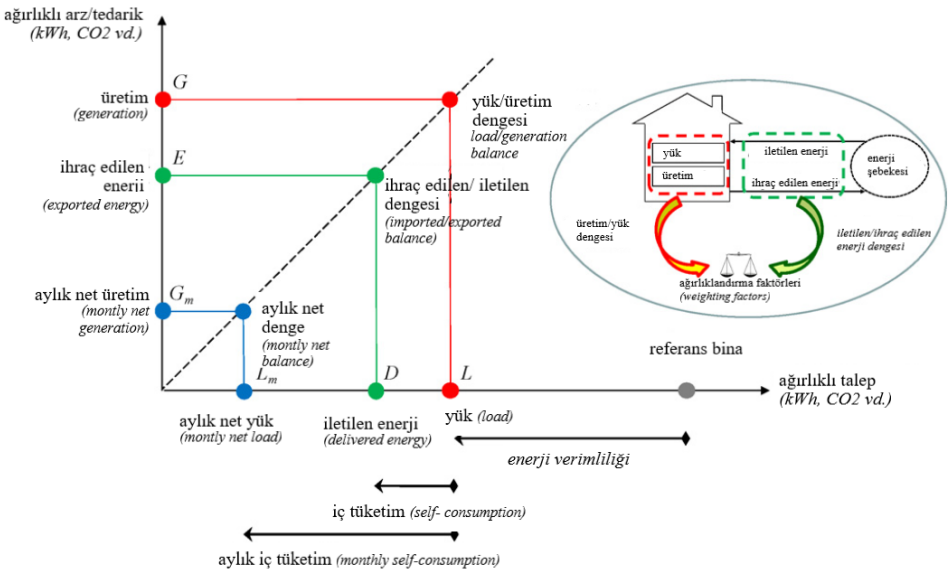
Binanın operasyonel enerjisinin hesaplanması sürecinde genellikle yıllık enerji tüketimi baz alınmaktadır. Ancak, binanın elektrik şebekeleri ile diğer elektrik şebekelerinin etkileşimini değerlendirmek için bir yıldan daha kısa süreli zaman aralıkları da (mevsimsel, aylık veya günlük) kullanılabilmektedir [30,25].

Dengeleme periyodunun bina yaşam döngüsü boyunca seçilmesi halinde (beşikten mezara – *from cradle to grave*) operasyonel enerjiye ek olarak gömülü enerjinin de hesaplamaya dahil edilmesi gereklidir [12]. Net sıfır enerjili binaların yaşam döngüsü üzerine yapılan çalışmalar, gömülü enerjinin toplam birincil enerji tüketiminin en fazla %20'sine karşılık geldiğini göstermektedir [31].

Dengeleme tipi (*balance type*)

nSEB'lerin ağırlıklı arz ve ağırlıklı talep arasındaki yıllık denge genellikle Şekil 2.5'te yeşil çizgi ile gösterilen ihraç edilen/iletilen enerji (imported/exported balance) dengesi olarak gösterilmektedir. İletilen ve ihraç edilen enerji miktarları, tüm enerji türlerinin dengelemeye dahil edilmesi halinde binanın izlenmesinde (monitoring) kullanılabilir. Bu süreçte bazı bileşenleri denge dışına çıkarmak, ölçümü karmaşıklaştırabilmektedir (priz yüklerinin dengelemeye dahil edilmemesi gibi) [26].

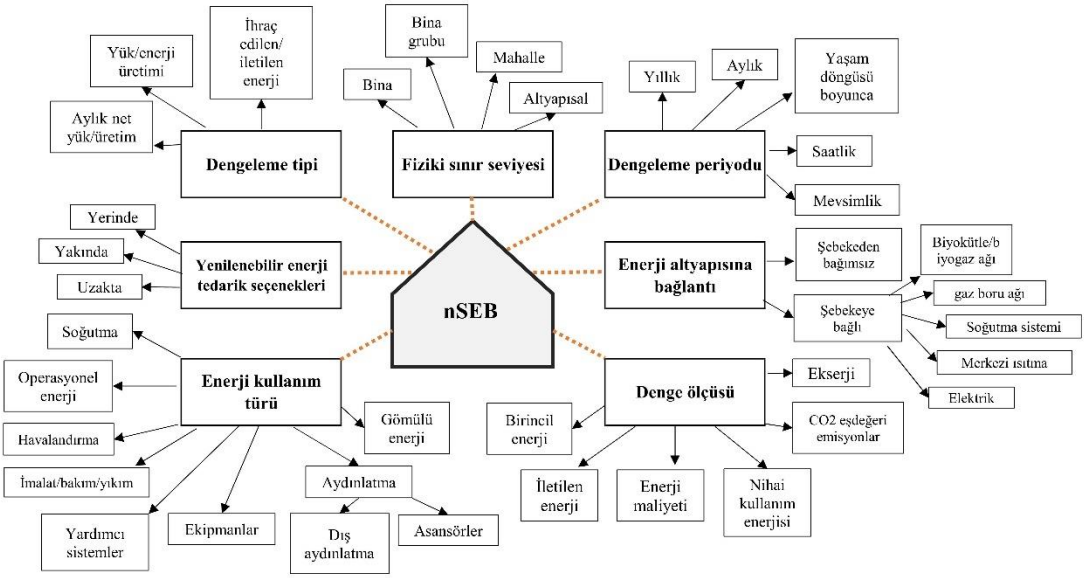
Binanın öz tüketimi *(self-consumption),* binada kullanılan üretim teknolojisi, bina türü, iklim ve kullanıcı davranışı gibi parametrelere göre değişkenlik gösterebilmektedir. Öz tüketim, literatürde yeterli veri bulunmadığı için nSEB tanımında açık bırakılan noktalardan biridir [17].



Şekil 2.5 : nSEB'lerdeki üç dengeleme tipinin gösterimi [26].

Şekil 2.5'te aktarılan üç dengeleme tipinin kapsamı, gereksinimleri, avantajları ve dezavantajları daha önceki çalışmalarda kapsamlı olarak tartışılmıştır [12,24,26,27]. Enerji tedariği *(energy supply)* konusu, daha önce tartışılan 'fiziki sınır' kavramı ile ilişkili olup temelde nSEB'lerin ihtiyacı olan enerjiyi hangi yenilenebilir kaynaklardan ve ne şekilde temin edeceğini belirlemektedir. Direktifte yerinde *(on-site)* veya yakınlarda *(nearby)* üretilen yenilenebilir enerji nSEB kapsamına alınmış olsa da, uzaktaki/proje sahası dışındaki kaynaklardan enerji tedarik seçenekleri daha önceki çalışmalarda kapsamlı olarak ele alınmıştır [15,16].

nSEB'lerin dengeleme hesaplama metodolojileri ile ilgili olarak, D'Agostino ve diğ. (2016) tarafından hazırlanan sentez raporu, nSEB'lerin uygulanma durumlarına ilişkin genel bir bakış açısı sunmakla birlikte, nSEB tanımlarındaki ortak özellikler ve ana farklılıkları ortaya koymaktadır [28]. Buna göre nSEB'ler; fiziki sınır seviyesi *(physical boundary level),* dengeleme periyodu *(balancing period),* dengeleme tipi *(balance type),* enerji altyapısına bağlantı *(connection to energy infrastructure),* denge ölçüsü *(metric of balance),* enerji kullanım türü *(type of energy use)* ve yenilenebilir enerji tedarik seçenekleri *(renewable supply options)* üzerinden irdelenebilmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : nSEB tanımlarında kullanılan parametreler [28].

Çalışmalardan da görülebileceği üzere, nSEB'ler, tanımlarında kullanılan dengeleme parametrelerinin çeşitliliği nedeniyle ülkelere göre farklılık gösterebilmektedir. Binaların birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için öncelikle ilgili değişkenlerin doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bu durum, ülkelerin/devletlerin yerel koşullarına uygun ulusal planlar hazırlanarak gerekli mevzuat düzenlemelerinin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle bir sonraki bölümde, enerji verimliliğine yönelik mevzuat düzenlemeleri kapsamlı olarak incelenmiştir.

2.2 Dünyada Enerji Verimliliği: Yasal Mevzuat

Sanayileşme sonrasında etkileri önemli oranda görülen iklim değişikliği, küresel ısınma ve çevre sorunları ile ilgili olarak, Birleşmiş Milletler (BM) 1992 yılında Rio'da gerçekleştirilen Dünya Zirvesi'nde bir araya gelmiş ve 1994 yılında yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİKDÇ) imzalamıştır. Amaç, sera gazı salımlarını, iklim üzerindeki antropojenik etkisini önleyecek düzeyde azaltmaktır [32].

1997 yılında imzalanan ve 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'nün 'ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ilkesi' uyarınca, gelişmekte olan ülkelerin sera gazı salımlarını dengelemeleri yönünde bağlayıcı olmayan bir yükümlülük tanımlanmışken, gelişmiş ülke taraflarına bağlayıcı sera gazı salım sınırlama ve azaltım yükümlülükleri getirilmiştir. Türkiye, 2009 yılında Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur [33].

2010 yılında yayımlanan ve AB'nin 10 yıllık kalkınma hedeflerini içeren Avrupa 2020 Stratejisi'nde, 2020 yılına kadar sera gazı salımlarının 1990 yılı seviyesine göre minimum %20 oranında azaltılması, AB'nin toplam enerji tüketimindeki payının %20'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması ve enerji verimliliğinin %20 oranında artırılması gibi hedefler bulunmaktadır [34,35].

2015 yılında kabul edilen ve BMİKDÇ'ye dayanan Paris Anlaşması, taraf ülkelerin küresel sıcaklık artışının sanayileşme öncesi döneme kıyasla 1,5°C ile sınırlandırılmasını hedeflemektedir. Bu hedefe erişilebilmesi için, fosil kaynak kullanımının azaltılarak güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmesi gerekmektedir. Anlaşmaya taraf olan tüm ülkelerin, kendi ulusal koşullarını gözeterek ve gönüllü hedeflerle hazırlayacakları Ulusal Katkı Niyet Beyanları ile emisyon azaltım eylemine dahil olması beklenmektedir [36].

2019 yılında Avrupa Birliği tarafından yayımlanan Avrupa Yeşil Anlaşması *(European Green Deal)* isimli belge, 2050 yılına kadar üzerinde yaşanılan coğrafyayı çevreye duyarlı ve zararsız hale getirebilmeyi amaçlamakta olup, sürdürülebilir kalkınma hedefleri ve Avrupa 2030 Stratejisi'nin ayrılmaz bir parçası olarak nitelendirilmektedir [37].

Yukarıda bahsedilen yasal çerçeve düzenlemelerine paralel olarak, kentlerin artan enerji talebi ve insan kaynaklı emisyonların önemli bir bölümünden sorumlu olması, kentlerdeki binaların enerji ihtiyacının en aza indirgenmesi, fosil kaynaklı yakıtlara bağımlılığın kademeli olarak azaltılarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmesi ve binaların dekarbonize edilmesine yönelik araştırmaları hızlandırmıştır.

Avrupa'daki binaların enerji tüketimlerinin ölçülmesi ve izlenmesi hedefi ile ilk olarak 2002 yılında Avrupa Komisyonu tarafından yayımlanarak yürürlüğe giren 'Bina Enerji Performans Direktifi' bu anlamda önemli bir yasal dayanaktır. 2010 yılında revize edilerek tekrar yayımlanan direktifte, ilk defa neredeyse sıfır enerjili binaların (nSEB) tanımı yapılmış ve üye ülkelerin kendi koşullarına özgü olarak nSEB tanımlarının yapılması ve bu binaların yaygınlaştırılması istenmiştir [2,38]. Ayrıca, üye ülkelerde 31 Aralık 2018 tarihinden itibaren tüm kamu binalarının ve 31 Aralık 2020 tarihinden itibaren tüm yeni binaların nSEB olma zorunluluğu getirilmiştir [2]. 2010 yılında revize edilen direktifi tamamlayıcı nitelikte hazırlanmış olan yönetmeliğin [39] uygulamasını kolaylaştırmak amacıyla, 2012 yılında Avrupa Birliği 'Avrupa Birliği,

Kurum, Ofis ve Kuruluşlarından Bildirimler' başlıklı bir yönerge hazırlamıştır [40]. Bu yönergede, bina ve bina elemanları için minimum performans gereksinimleri ve en uygun maliyetli seçeneklerin hesaplanmasına yönelik bir metodolojik çerçeve oluşturulmuştur. Bu kapsamda, mevcut bina stokunun enerji performansının hesaplanabilmesi için 'referans bina' oluşturma adımları açıklanmış; mevcut durumun enerji performansının belirlenmesinin ardından, enerji verimliliğini iyileştirmek amacıyla uygulanacak yenilenebilir enerji önlemleri ya da diğer önlem paketlerinin enerji performans ve küresel maliyet analizlerinin nasıl karşılaştırılacağına ilişkin kapsamlı bir yaklaşım sunulmuştur [40].

2018 yılında yeniden düzenlenen 'Bina Enerji Performans Direktifi'nde ise, üye devletlerin 2050 yılına kadar mevcut bina stokunun derin yenileme *(deep renovation)* ile neredeyse sıfır enerjili binalara dönüşmesini sağlayacak uzun vadeli yenileme stratejilerini açık bir şekilde belirlemesi, bunlara yönelik inşaat ve enerji sektöründe eğitim ve bilinçlendirme faaliyetleri düzenlemesi, enerji verimliliği yenilemeleri için aktif rol üstlenerek finansman mekanizmaları ve teşvikler sağlaması ve yatırımda algılanan riskleri çeşitli yöntemlerle (kamu-özel ortaklıkları, enerji performans sözleşmeleri gibi) azaltması istenmiştir [41].

Derin yenileme (*deep renovation*), binanın nihai enerji tüketim miktarını yenileme öncesi seviyelere oranla önemli oranda azaltan ve çok yüksek enerji performansının hedeflendiği yenilemelerdir [42]. Direktife göre, binalarda derin yenileme yapılabilmesi için aşağıdaki koşullardan birinin sağlanması gerekmektedir [38]:

- Yapı kabuğu yüzey alanının %25'ten fazlasının yenilenmesi,
- Yapı kabuğunun veya teknik bina sistemlerinin yenilendiği durumdaki toplam maliyetin oranının, binanın toplam değerinin %25'inden fazla olması.

Avrupa Birliği'nin 8 Mayıs 2019 tarihinde yayımladığı 'Komisyon Önerileri' *(Commission Recommendation)* raporunda ise, AB Yapı Stoku Gözlemevi'nin birincil enerji tasarrufu temelinde belirlediği yenileme oranlarına yer verilmiştir. Buna göre, hafif yenileme *(light renovation)* %30'dan az, orta yenileme *(medium renovation)* %30-60 arasında, derin yenileme *(deep renovation*) ise %60'ın üzerinde yenilenen binaları kapsamaktadır [42].

2020 yılında AB'nin yayımlamış olduğu 'Avrupa için Yenileme Dalgası' *(A Renovation Wave for Europe)*' başlıklı strateji belgesi, 2030 yılına kadar konut ve

konut dışı binaların yıllık enerji yenileme oranını en az iki katına çıkarmak ve derin yenilemeleri teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Belirlenen hedefle, 2030 yılına kadar 35 milyon yapı biriminin yenilenebileceği öngörülmektedir [43].

Avrupa Bina Performans Enstitüsü'nün 2016 yılında yayımladığı belge, ilk olarak 2002 yılında Bina Enerji Performans Direktifi'nde sunulan enerji performans sertifikalarının kapsamının genişletilerek Bina Yenileme Pasaportları'na (*Building Renovation Passports)* dönüştürülmesini konu almaktadır [44] Bina yenileme pasaportu, bir binanın enerji performansının iyileştirilmesine yönelik uzun vadeli (15-20 yıl) yenileme stratejilerini adım adım göstermeyi ve bu kapsamda bir yol haritası tariflemeyi hedefleyen elektronik ya da basılı bir belge olarak tanımlanmaktadır. Belge, binaya ilişkin enerji verimliliği önlemlerinin belirlenmesinin yanı sıra potansiyel yatırımcıların veya bina sahiplerinin bu önlemleri hangi finansal teşvik mekanizmaları ile uygulayabileceklerini de göstermeyi amaçlamaktadır. Yayımlanan dökümanda, binaya ilişkin performans iyileştirici önlemlerin belirlenmesinden önceki adımda mevcut duruma ilişkin verilerin toplanması gerektiği belirtilmiştir. Bu verilere örnek olarak, mevcut durumdaki binanın enerji üretim- tüketim verileri, bakım-onarım planları, binaya ait mimari planlar gösterilebilmektedir [44].

Binalarda enerji verimliliğine yönelik şimdiye kadar yapılmış olan mevzuat incelendiğinde, mevcut bina stokunun yoğunlaştığı Avrupa Birliği başta olmak üzere, pek çok dünya ülkesinin, özellikle 2000'li yılların başından itibaren enerji talebini ve sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla araştırmalar yaptığı ve yasal bir çerçeve düzenleme girişiminde bulundukları görülmektedir. Bu çalışmalarla eş zamanlı olarak yürütülen, yasal mevzuata kılavuz olacak ve uygulamayı kolaylaştırıcı nitelikte bazı uluslarası araştırma projeleri de mevcuttur. Bu kapsamda, Avrupa Birliği tarafından desteklenen uluslararası düzeydeki araştırmalardan bazıları Çizelge 2.2'de sunulmaktadır:

Çizelge 2.2 : Sıfır enerjili bina kavramı ile ilişkili uluslararası araştırma projeleri.

Proje Adı	Yıl	Açıklama
IEA SHC TASK 40/EBC ANNEX52 *Towards net Zero Energy Solar Buildings*	2008-2013	Proje, net sıfır, yaklaşık net sıfır ve çok düşük enerjili binaları kapsamaktadır. Mevcut ve yeni / konut-konut dışı / farklı iklim tipleri çalışılmıştır [45].
TABULA *(Typology Approach for Building Stock Energy Assessment)*	2009 -2012	Mevcut bina stokunun boyut, yapım yılı, kullanım amacı vd. parametrelere göre ülke bazında sınıflandırılmasını (enerji tüketim verilerini de içerecek şekilde) hedeflemektedir [46,47].
Transition Zero	2016-2018	Energiesprong tarafından 2016-2018 yılları arasında yürütülen bir Horizon2020 programıdır. Yapılara entegre edilen prefabrike yapı kabuğu/ enerji verimli sistemler /YE teknolojileri ile sıfır enerji hedefine ulaşılmıştır [48].
E=0: Desirable, warm, affordable homes for life	2016- 2019	Hollanda'daki Energiesprong tarafından yürütülen bir program olup konutlarda 30 yıldan daha uzun süreli bir performans garantisi ile net sıfır enerji (E=0) tadilatlarını kapsamaktadır [49].
Mustbe0	2019-2022	Energiesprong tarafından Hollanda, Fransa, İngiltere ve Almanya'da yürütülmüştür. Kuzey Batı Avrupa'daki apartman binaları için uygun maliyetli ve uzun vadeli performans garantili bina yenilemelerini kapsamaktadır [50].
MORE- CONNECT	2014-2019	KOBİ'lerin yönlendirdiği bir maliyet ve kalite optimizasyon sürecinde ürün yeniliği, süreç yeniliği ve yenilikçi pazar yaklaşımı birleştirmeyi amaçlamaktadır. Tüm yapı kabuğu (cephe ve çatı) ve bina servis sistemleri için prefabrik, çok işlevli yenileme elemanları geliştirmeyi amaçlamaktadır [51].
ABRACADABRA	2016-2019	Avrupadaki mevcut binaların derin yenilenmesi sürecinde, geri ödeme sürelerinin azaltılması, yatırımcı güveninin sağlamlaştırılması ile mevcut bina stoğunun kalitesinin ve çekiciliğinin artırılması hedeflenmektedir [52].
ZEBRA2020 – Data tool	2015-	Avrupa'da yakın zamanda inşa edilen nSEB ve yüksek performanslı binaların verilerini görüntülemekte. nSEB hedefine yönelik en güncel teknoloji, malzeme ve stratejileri görüntüleyebilme imkanı sağlamaktadır [53].
R2Cities	2013-2017	Proje, büyük ölçekli yerleşim yerlerinin sıfıra yakın enerji tüketen bir kent modeli çerçevesinde tasarlanması, inşa edilmesi ve yönetilmesine yönelik yinelenebilir stratejiler geliştirmekte ve göstermektedir [54].

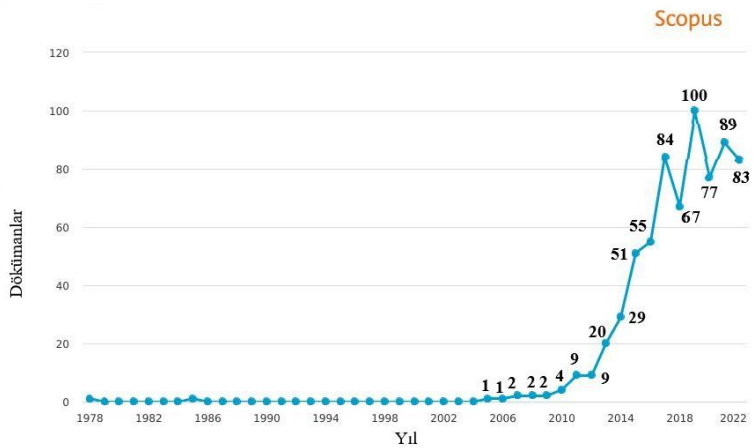
2.3 Sıfır Enerjili Bina Kavramı ile İlgili Uluslararası Literatürün İncelenmesi

Çalışmada, mevcut konut binalarının nSEB'e dönüştürülmesi ve enerji etkin iyileştirme uygulamalarına ilişkin detaylı bir literatür analizi yapabilmek için, 'sıfır enerji' *(zero energy)* ve 'bina iyileştirmesi' *(building retrofit)* kavramları ele alınmış ve iki aşamalı bir analiz yapılmıştır. İlk aşamada, Scopus veritabanı üzerinden arama sorgusu **"**zero energy" OR "NZEB" OR "zero energy hous" AND "retrofit" OR "renovation" OR "refurbishment" olarak belirlenmiştir. Scopus araması başlık/ özet/ anahtar kelimeler olarak ayarlanarak başlıklarında, özetlerinde veya anahtar kelimelerinde ilgili terimlerin dahil olduğu yayınlara ulaşılmıştır.1978- 2022 yılları arasında yapılan analiz 687 Scopus kaydı üzerinden gerçekleştirilmiştir.

İkinci aşamada ise, Scopus veritabanı üzerinden alınan kayıtlar kullanılarak VOSViewer yazılımı aracılığıyla kaynakça analizi yapılmıştır. VOSViewer, belirli bir veritabanı üzerinden sağlanan veriler ile ortak yazarlık *(co-authorship),* birlikte oluşum *(co-occurrence)* ve ortak alıntı *(co-citation)* ilişkilerini inceleyen ve bibliyometrik ağları görselleştirmek için kullanılan bir yazılım aracıdır [55].

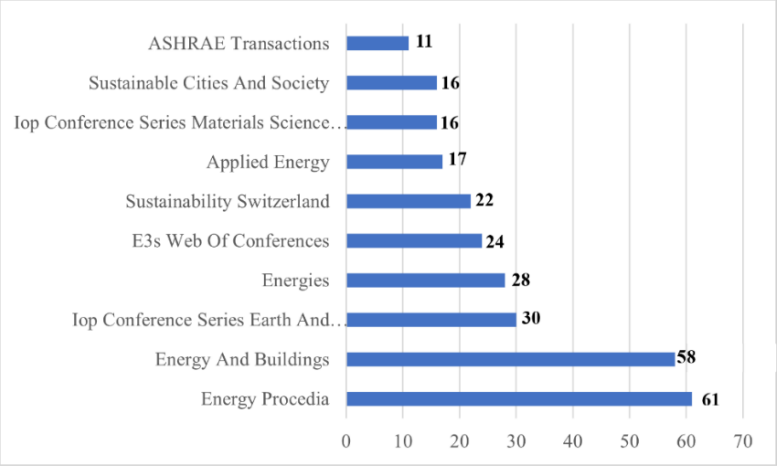
2.3.1 Kavramların Scopus veritabanı üzerinden analizi

Yapılan araştırmada, 1978-2009 yılları arasında sadece 10 adet yayın bulunmasına rağmen, 2010 yılından sonra yayınların dramatik bir şekilde arttığı görülmektedir (677 kayıt). Başka bir deyişle, toplam yayınların %98,54'ü son 12 yılda yayımlanmıştır. Avrupa Komisyonu tarafından 19 Mayıs 2010 tarihinde yayımlanan Binalarda Enerji Performans Direktifi'nin (EPBD Recast) araştırma konusu ile ilgili yayınlarda önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Yıllık yayın eğilimleri.

Doküman türleri incelendiğinde, araştırmaların büyük bir bölümünün (%87.7) makale ve konferans bildirilerinden oluştuğu görülmektedir. Sıfır enerji ve bina iyileştirmesi terimleriyle ilgili etki oranı en yüksek dergi *Energy Procedia* olurken, bunu *Energy and Buildings* dergisi takip etmektedir. Araştırma alanıyla ilgili yayınları içeren ilk on dergi ve bildiri kitabı Şekil 2.8'de verilmiştir:



Şekil 2.8 : Scopus veritabanındaki araştırma alanıyla ilgili ilk on dergi ve bildiri kitabı.

Kaynaklar ayrıca ISSN numaralarına, kategorilerine, h-indexlerine, açık erişim seçeneklerine ve yayıncılarına göre listelenmiştir (Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4).

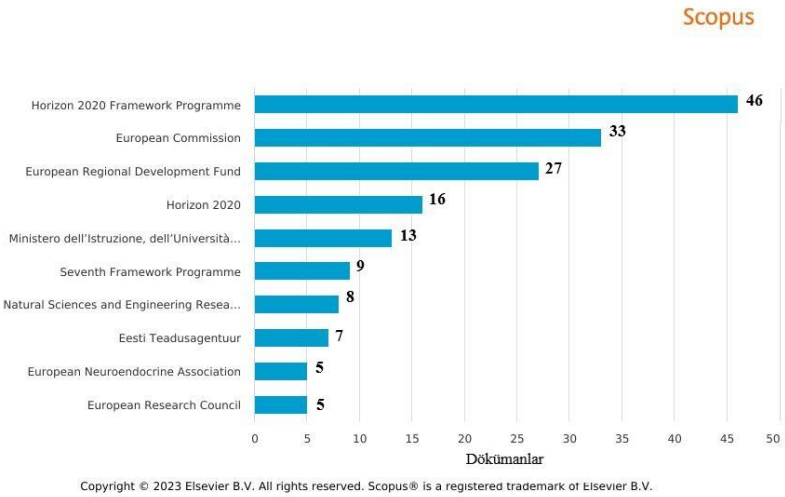
Çizelge 2.3 : Araştırma alanıyla ilgili en çok yayın içeren dergilerin verileri.

Kaynak Adı	ISSN	Kategori	H-Index (SJR)	Açık Erişim	Yayıncı kuruluş
Energy and Buildings	0378-7788	Q1	214	Evet	Elsevier BV
Energies	1996-1073	Q2	132	Evet	MDPI
Applied Energy	0306-2619	Q1	264	Evet	Elsevier BV
Sustainability	2071-1050	Q2	136	Evet	MDPI
Sustainable Cities an Society	2210-6707	Q1	103	Evet	Elsevier BV

Çizelge 2.4 : Araştırma alanı ile ilgili en çok yayın içeren konferans bildiri kitapları.

Source Name	ISSN	h-index (SJR)	Açık Erişim	Yayıncı kuruluş
Energy Procedia	1876-6102	107	Evet	Elsevier BV
Iop Conference Series Earth and Environmental Science	1755-1307 1755-1315	41	Evet	IOP Publishing Ltd.
E3s Web of Conferences	2267-1242	33	Evet	EDP Sciences
Iop Conference Series of Material Science and Engineering	1757-8981	54	Evet	IOP Publishing Ltd.
Ashrae Transactions	0001-2505	68	-	Amer. Soc. Heating, Ref. Air Conditioning Eng. Inc.

Scopus veritabanı üzerinden incelenen araştırmaların fon olanakları da irdelenmiştir. Bu kapsamda, UFUK 2020 *(Horizon 2020)* ve Avrupa Komisyonu *(European Commission)* tarafından fonlanan araştırmaların öne çıktığı görülmektedir (Şekil 2.9).

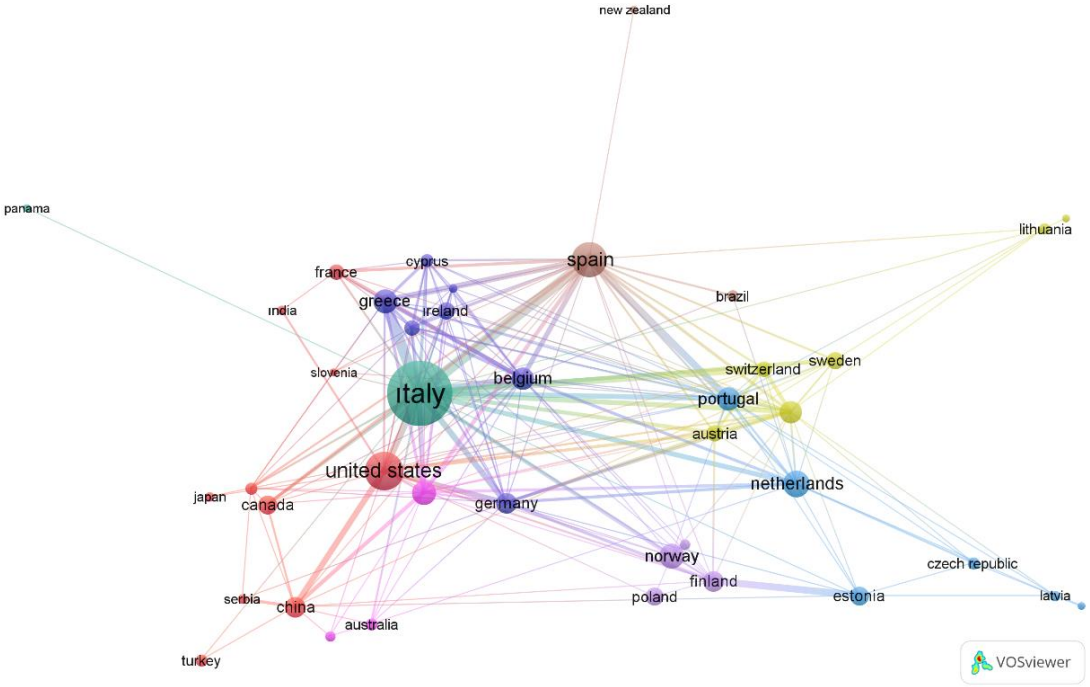


Şekil 2.9 : Araştırmalara fon/destek sağlayan kuruluş ve programlar.

2.3.2 Kavramların VOSviewer yazılımı üzerinden analizi

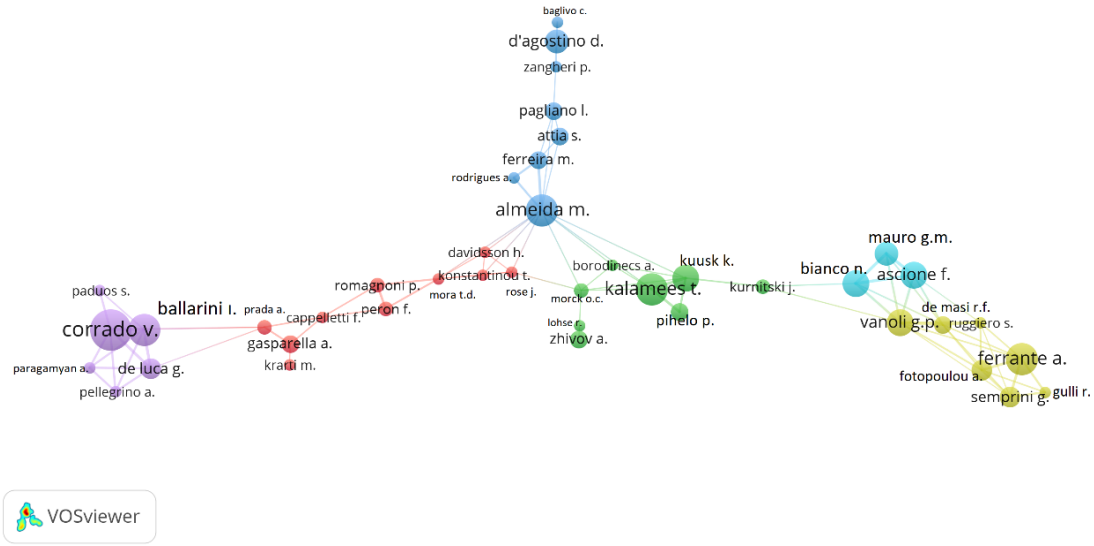
Çalışmanın ikinci aşamasında, Scopus veritabanı üzerinden alınan 687 adet kayıt VOSviewer yazılımına aktarılarak bir görselleştirme ağı oluşturulmuştur. Görselleştirmelerde analiz edilen öğelerin her biri etiket ve daire ile temsil edilmekte ve daire büyüklükleri kayıtlardaki karşılaşma sıklığı ile ilişkilendirilmektedir. İki daire arasındaki mesafe ise bağlantının güçlülüğünü ifade etmektedir. İki daire birbirine ne kadar yakın ise, aralarındaki ortak yazarlık, atıf vb. ilişkisi o kadar kuvvetlidir. Benzer şekilde, çizgiler ile ifade edilen bağlantılar ne kadar kalın ise, öğeler arasındaki ilişki de o kadar güçlüdür. Renkler ise, öğelerin atandığı kümeleri ifade etmektedir [56].

İlk olarak birlikte çalışma ve coğrafi dağılım için bir ağ oluşturulmuştur. Analiz türü ‘ortak yazarlık’ olarak seçilmiş ve analiz birimi ‘ülke’ olarak tanımlanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, sıfır enerji ve bina iyileştirmesi alanındaki araştırma yayınlarında en büyük etkiye sahip ülke İtalya iken (toplam yayın sayısı: 208), bunu Amerika Birleşik Devletleri (toplam yayın sayısı: 73) ve İspanya (toplam yayın sayısı: 62) izlemektedir (Şekil 2.10). İtalya'nın Çin, Sırbistan, Japonya, Brezilya, Hindistan, Polonya ve Çek Cumhuriyeti dışında 24 ülke (yeşil renkli) ile ortak çalışma yaptığı görülmektedir. İkinci en güçlü birlikte çalışma ilişkisi, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Birleşik Krallık, Almanya, Kanada ve Japonya (kırmızı renkli) arasındadır. Ülkeler arası yayın işbirlikleri Şekil 2.10’da verilmektedir:



Şekil 2.10 : Ülkeler arası yayın işbirlikleri.

Bir sonraki analiz ortak yazarlık ilişkileri üzerine gerçekleştirilmiştir. Analiz türü 'ortak yazarlık' olarak seçilmiş ve analiz birimi 'yazarlar' olarak tanımlanmıştır. Bir yazarın minimum belge sayısı '4' olarak seçilmiştir. Değerlendirme, 40'tan fazla yazar üzerinden yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, birbiriyle ortak çalışma yapan altı araştırma grubu bulunmaktadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Yazarlar arasındaki ortak yazarlık ilişkileri.

Mor küme olarak görselleştirilen araştırma grubu, Politechnico di Torino üniversitesinden Corrado V., Ballarini I., De Luca G., Pellegrino A., Paragamyan A. ve Paduos S'den oluşmaktadır. Corrado V. ve Ballarini I. bu kümede ortak yayın sayısı bakımından en güçlü ortak yazarlık ilişkisine sahiptir. Yazarlar, son dönemde nSEB'e dönüştürülmesi hedeflenen mevcut binaların iç ortam kalitesi, ısıl ve görsel konforu üzerinde çalışmaktadırlar [57-60]. Ayrıca, nSEB iyileştirmelerinde yenilenebilir enerji etkileri [61], nSEB'lerin maliyet optimum ve küresel maliyet analizleri [61-63], nSEB iyileştirmesi sürecindeki geri ödeme süreleri [64] ve dinamik simülasyonlar aracılığıyla nZEB'lerin enerji performans hesaplamalarına ilişkin araştırmaları bulunmaktadır [65-67].

Kırmızı kümede birkaç araştırma grubu bulunmaktadır. Gasparella A. ve Prada A., mevcut binaların yenilenmesi için uygulanabilecek mali teşvikler [68], enerji tüketiminin en aza indirilmesi ve termal konfor seviyeleri açısından en uygun güçlendirme çözümleri [69] ile bina optimizasyonunda meta model performansı [70] üzerinde çalışmaktadır. Peron F ., Romagnoni P. ve Mora T.D. 'IEA EBC Annex 56 | Bina Yenilemede Uygun Maliyetli Enerji ve Karbon Emisyonları Optimizasyonu' başlıklı projede birlikte çalışmışlardır. Bölge düzeyinde yenilenebilir enerji planlaması [71], maliyet optimizasyonu, geri ödeme süreleri, nSEB'lerin enerji ve sismik güçlendirme senaryoları [72,73] ve konut binasında enerji yenileme seçeneklerine yönelik kurumsal mülk sahipleri ve politika yapıcılar için yönergeler hakkında araştırma yayınları bulunmaktadır [74]. Konstantinou ve ekibi, bölge düzeyinde bina yenileme uygulamaları [75] ve bina enerji iyileştirmelerinde kullanıcı gereksinimlerinin ve davranışının etkileri üzerinde çalışmaktadır [76-78].

Mavi kümede yer alan Almeida M., toplamda 12 farklı yazar (her kırmızı, mavi ve yeşil kümeden 4 yazar) ile ortak çalışma yapmıştır. Özellikle Almeida M., Ferreira M. ve Rodrigues A. bu kümede en güçlü ilişkiye sahiptir. IEA EBC Annex 56 projesinde birlikte çalışmış olan ekibin, Portekiz 'de bina enerji iyileştirmelerinin faydaları ve nZEB yenilemelerinin maliyet uygunluğu hakkında yayınları bulunmaktadır [79-82]. Pagliano L. ayrıca Almedia M., Ferreira M., Attia S. ve Zangheri P. ile birlikte çalışmaktadır.

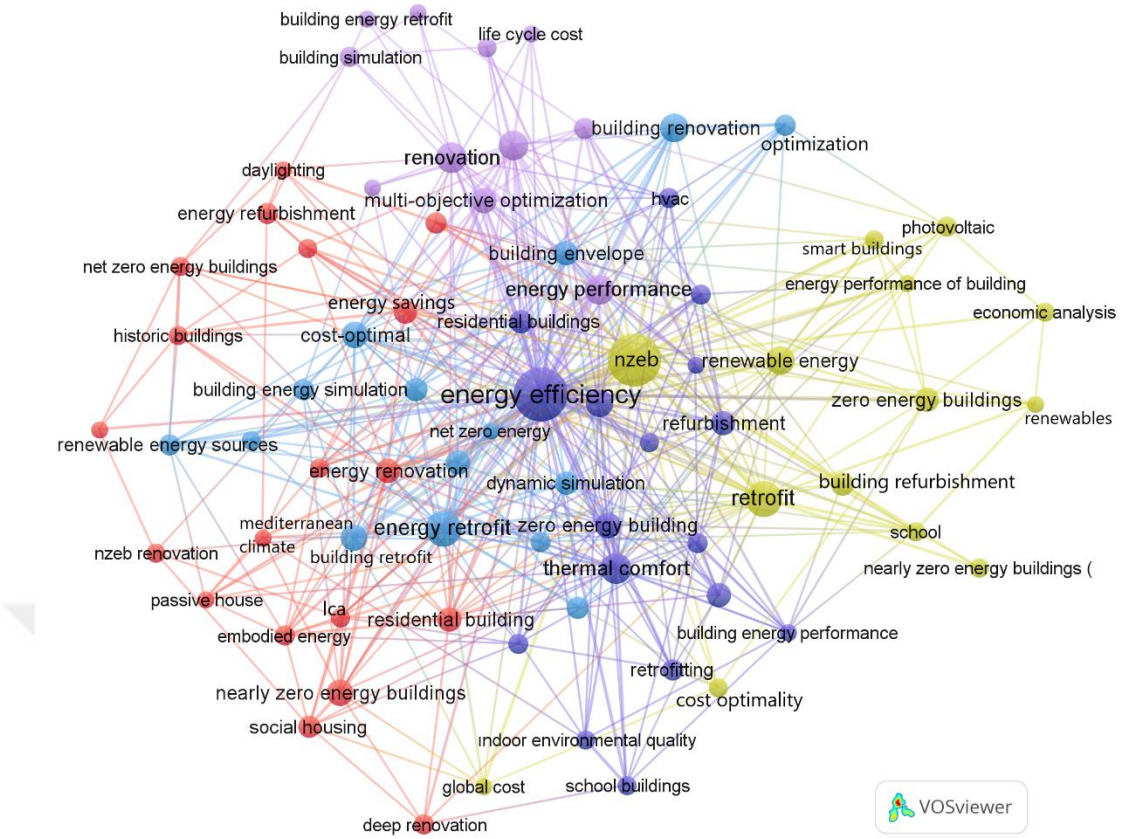
Yeşil kümede en güçlü ortak yazarlık ilişkisine sahip olan yazarlar Kalamees T., Kuusk K. ve Pihelo P.'dir. Araştırmacılar 'MORE-CONNECT' başlıklı bir UFUK 2020 projesinde birlikte çalışmışlardır ve nSEB hedefli derin yenilemelerde bina

kabuğu (cephe ve çatı) için ahşap çerçeveli prefabrike yalıtım elemanları ve prefabrike modüler panellerin kullanımına ilişkin yayınları bulunmaktadır [83-85].

Açık mavi kümede Mauro G.M., Bianco N. ve Ascione F. ortak yazarlık ilişkileri açısından ön plana çıkmaktadır. Son zamanlarda, konut binalarını ele alan Energyplus ve MAtlab®'ı birleştiren "EMAR" adlı kullanıcı dostu bir bina enerji simülasyon aracı üzerinde çalışmaktadırlar [86]. Ancak, esas olarak bina kabuğunun enerji yenilemesine odaklanmışlardır. İlgili çalışmalardan bazıları, bina kabuğu bileşenlerini, HVAC sistemlerini, enerji ile ilgili bina iyileştirmelerinde fotovoltaikleri içeren enerji verimliliği önlemlerini kapsamaktadır [87-89]. Çift cidarlı ve duyarlı cephe sistemleriyle bina kabuğu güçlendirme çözümleri [90], coğrafi bilgi sistemi (GIS) aracılığıyla bölgelerin enerji planlaması ve enerji ile ilgili bina güçlendirmelerinde maliyet uygunluğu ile ilgili çalışmaları da bulunmaktadır [91,92].

Sarı kümede iki araştırma grubu bulunmaktadır. Ferrante ve ekibi, ağırlıklı olarak geri ödeme süresini kısaltmaya ve yatırımcıları ve paydaşları mevcut binaların kapsamlı yenilemelerinde güçlendirmeye odaklanan 'ABRACADABRA' adlı bir UFUK 2020 projesinde çalışmışlardır [93,94]. Ayrıca, AB'deki mevcut bina stoku için çeşitli teknolojilerin çok fayda yaklaşımıyla (enerji gereksinimleri, sismik güvenlik ve sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik) entegrasyonunu öneren 'ProGETonE' adlı bir proje yürütmüşlerdir [95]. Bu kümedeki diğer araştırma grubu, De Masi R.F., Vanoli G.P. ve Ruggiero S'dir. Tarihi binalarda uygun maliyetli enerji yenileme uygulamaları [96], mevcut binalarda cephe dönüşümü [97] ve enerji verimliliği bağlamında ışık raflarının mevcut bina stoğuna entegre edilmesi üzerine araştırmaları bulunmaktadır [98,99].

Bir sonraki analiz, yazarların kullandığı anahtar sözcükler aracılığıyla araştırma alanının evreni ve yapısını ortaya çıkarmak üzerine kurgulanmıştır. Analiz türü ve birimi sırasıyla 'ortak oluşum' ve 'anahtar kelimeler' olarak seçilmiştir. Bir anahtar kelimenin minimum oluşum sayısı '5' olarak tanımlanmıştır. Anahtar kelimelerin her ikisi de aynı başlıkta, özette veya anahtar kelime bağlamında bulunuyorsa, yazılım bu anahtar kelimeleri ortak/birlikte oluşum *(co-occured)* olarak tanımlamaktadır. Alakasız kelimeler ve terimler manuel olarak hariç tutulmuştur. Anahtar kelimelerin birlikte oluşumun görselleştirmesi VOSviewer aracılığıyla oluşturulmuştur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : Sıfır enerji ve bina iyileştirmesi ile ilgili anahtar kelimeleriyle ortak oluşum ağ analizi.

Mor kümede, enerji verimliliği kavramının bina enerji performansı, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri *(HVAC)* , iç ortam kalitesi *(IEQ)*, ısıl konfor ve maliyet etkinliği, yenileme, iyileştirme kavramları ile birlikte kullanıldığı görülmektedir.

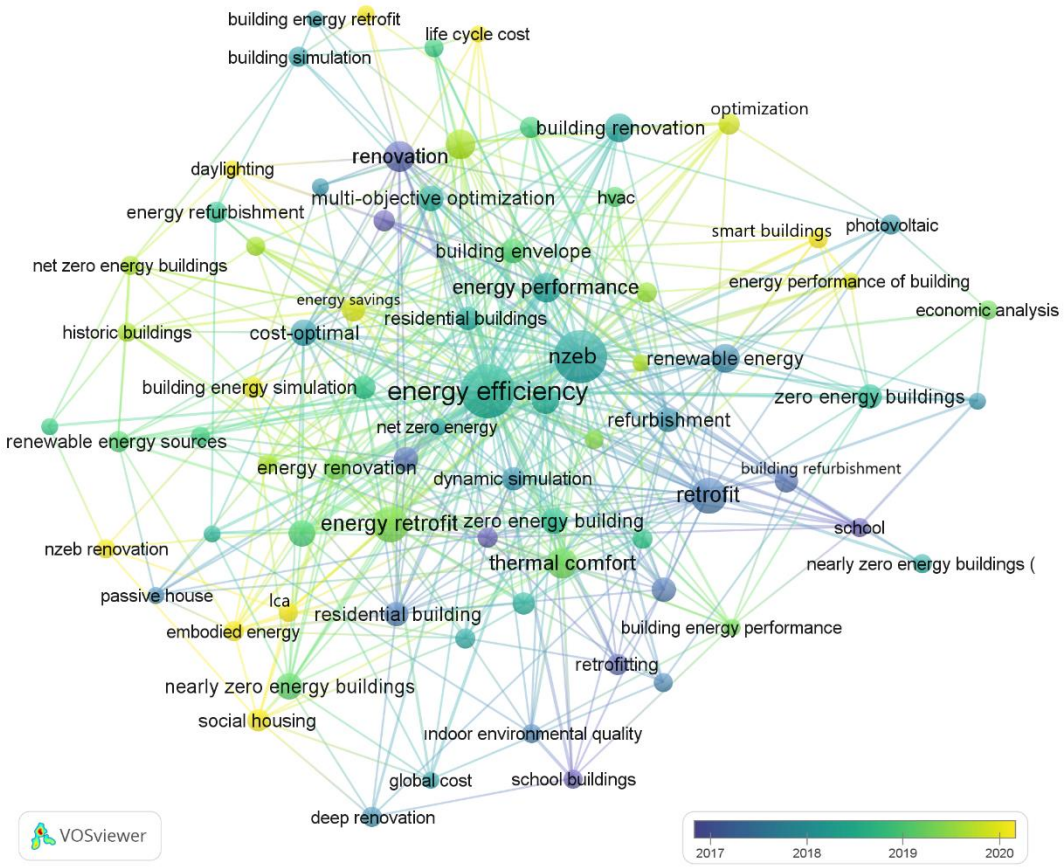
Kırmızı kümede enerji iyileştirmesi/retrofit kavramı, pasif binalar, gömülü enerji, yaşam döngüsü analizi *(LCA)* gibi anahtar kelimelerle ilişki kurmaktadır. Ayrıca, tarihi binalarda enerji etkin iyileştirme, nem kontrolü, havalandırma gibi anahtar kelimelerin bir arada kullanıldığı görülmektedir.

Sarı küme, nSEB kavramı ile yenilenebilir enerji teknolojileri, fotovoltaik sistem, akıllı binalar, ekonomik analiz gibi kavramların ilişki ağını göstermektedir.

Mavi kümede, enerji etkin iyileştirme kavramı ile sıfır enerji, dinamik simülasyon, bina enerji simülasyonu, optimum maliyet anahtar kelimelerinin ilişkisi görülmektedir.

Açık mor küme ise, renovasyon/yenileme kavramı ile yaşam döngüsü maliyeti, çok amaçlı optimizasyon, enerji performansı, bina stoku gibi anahtar kelimelerin bir arada kullanıldığını göstermektedir.

Sıfır enerji ve bina iyileştirmesi kavramları ile ilgili araştırmaların yapıldığı yıllara göre bir değerlendirme yapıldığında, enerji tüketimi, enerji verimliliği önlemleri, sürdürülebilirlik, yenileme gibi anahtar kelimelerin kullanıldığı yayınların ortalama yayın yılı 2017 iken, yaşam döngüsü analizi- maliyeti, optimizasyon, akıllı binalar, gömülü enerji gibi kavramların ortalama yayın yılı 2020 olarak görülmektedir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : Sıfır enerji ve bina iyileştirmesi ile ilişkili kavramların ort. yayın yılları.

Sıfır enerji ve bina iyileştirmesi kavramlarına ilişkin Scopus ve VOSviewer üzerinden gerçekleştirilen iki aşamalı analiz sonucunda, araştırmaların özellikle 2010 yılında yayımlanan AB Bina Enerji Peformans Direktifi sonrasında ivme kazandığı görülmektedir. Konuyla ilişkili en çok yayın yapan araştırmacıların ise İtalya, ABD ve İspanya'da yoğunlaştığı ve çalışmaların çoğunlukla Avrupa Birliği ya da uluslararası kuruluşlarca desteklenen araştırma projeleri kapsamında üretildiği tespit edilmiştir. Uluslararası araştırmalara konu olan sıfır enerji ve bina yenilemesi/ iyileştirmesi kavramlarının ulusal literatürdeki karşılıkları bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde aktarılmıştır.

2.4 Türkiye'de Enerji Verimliliği: Yasal Mevzuat

Türkiye'de enerji verimliliği konusundaki mevzuat çalışmaları, Avrupa Birliği'nin mevcut ve yeni binaların enerji performansına yönelik yayımlamış olduğu Binalarda Enerji Performans Direktifi'ni takip eder niteliktedir. Avrupa'da ilk olarak 2002 yılında yayımlanmış olan direktif sonrasında, Türkiye'de 2007 yılında 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu yürürlüğe girmiştir. Enerji ve doğal kaynakların verimli kullanılmasını amaçlayan bu kanun ile, enerji kimlik belgesi (EKB), şirket (enerji verimliliği danışmanlık şirketi), enerji yöneticisi, enerji performans sözleşmesi gibi kavramların ilk defa tanımları yapılmış; sanayi ve endüstriyel işletmeleri kapsayan enerji yoğun sektörlerde enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uygulanabilecek desteklere ilişkin bir çerçeve çizilmiştir [100].

2008 yılında yayımlanan 'Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği', binaların enerji performansının hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji ve CO_2 emisyonu açısından sınıflandırılmasını, mevcut ve yeni binalar için minimum enerji performans gereksinimlerinin belirlenmesini hedeflemektedir [101]. Bu kapsamda, bina enerji performansını doğrudan etkileyen mimari tasarım kararları, ısı yalıtımı, sızdırmazlık, ısıtma, soğutma, havalandırma, iklimlendirme ve sıcak su sistemleri ile 5000 m^2 üzerindeki binalarda otomasyon sistemlerinin tasarımına ilişkin uygulama esasları aktarılmıştır. Ayrıca, bu yönetmelik ile detaylandırılan EKB'de, binaların kullanım amaçlarına ve ısıtma bölgelerine göre metrekare başına düşen yıllık birincil enerji tüketim değerleri (kWh/m^2yıl) ile nihai sera gazı emisyon değerleri (kg CO_2/m^2yıl) belirlenmiştir. Yeni binalar için yönetmeliğin yürürlüğe girdiği andan itibaren zorunlu tutulan EKB uygulaması, mevcut binalar için yıllar içerisinde yönetmeliğe eklenen geçici maddeler ile sürekli olarak ertelenmiş ve son durumda 01.01.2020 tarihi itibarıyla zorunlu tutulmuştur [102].

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardı, ilk olarak 2008 yılında yayımlanmış olup binalardaki net ısıtma enerjisi gereksinimlerinin hesaplama kurallarını içermektedir. Bu standartta, Türkiye dört farklı derece gün bölgesine ayrılmış ve her bir bölge için yapı kabuğunda (duvar, çatı, tabana oturan döşeme ve pencere) olması gereken ısıl geçirgenlik değerleri (U) belirtilmiştir. Aynı zamanda, yapı malzeme ve bileşenlerine ilişkin ısıl iletkenlik değerleri ile su buharı difüzyon direnç faktörleri de verilmiştir [103].

2013 yılında revize edilen standartta, yapılan önemli değişikliklerden biri de derece gün bölgelerinin beşe ayrılmasıdır. Bölgelere göre ısıl geçirgenlik değerleri de yeniden düzenlenmiş ve iyileştirilmiştir [104].

2011 yılında yürürlüğe giren 'Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik' ile, enerji verimliliğine yönelik çalışmaların yaygınlaştırılması hedeflenmiş ve bu kapsamda, EVD şirketlerinin yetkilendirilmesi, enerji yöneticilerinin görev ve sorumluluklarının tanımlanması, EV projelerinin desteklenmesi ve gönüllü anlaşma uygulamalarına ilişkin usul ve esaslar belirlenmiştir [105].

2012 yılında yayımlanan 'Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023' isimli belgede, yedi adet stratejik amaç belirlenmiş olup bunlardan biri bina sektörü ile ilgilidir. Bu amaç, *"Binaların enerji taleplerini ve karbon emisyonlarını azaltmak; yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaları yaygınlaştırmak"* olarak tanımlanmıştır [106]. Bina sektörü için 2 adet stratejik hedef, her iki hedef altında da 2 adet eylem konulmuştur. *'Binalara azami enerji ihtiyacı ve azami emisyon sınırlaması getirilmesi'* eylemi altında, bina tipolojisine bağlı olarak ısıtma, soğutma ve aydınlatma konularında azami yıllık enerji ihtiyacının belirlenmesi, bu ihtiyacın enerji verimli teknolojiler ile yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması ve azami CO_2 salım miktarının belirlenmesi gibi hedefler bulunmaktadır. Ayrıca, mevcut binaların da bu sınır değerlere yaklaştırılması planlanmaktadır. Belgede, toplu konutlarda yenilenebilir enerji kaynaklarından, kojenerasyon, bölgesel ısıtma-soğutma sistemlerinden ve ısı pompalarından yararlanma fizibilitesinin yapılması, EKB'de tanımlanan asgari CO_2 seviyelerinin aşılması durumunda tespitinde idari yaptırımların uygulanması gibi eylemler de belirlenmiştir [106].

2023 Ulusal eylem planı hedefleri doğrultusunda Kalkınma Bakanlığı'nın koordinasyonunda birçok akademisyen, kamu çalışanı, özel sektör temsilcisi ve sivil toplum kuruluşu katkısıyla hazırlanan 'Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018', ülkenin ekonomik ve sosyal açıdan kalkınmasına yönelik hedefleri barındırmaktadır. Bina özelinde belirlenen hedeflerden biri de 2018 yılına kadar kamu binalarında enerji verimliliği kapsamında yapılacak uygulamalar ile enerji tüketiminin 2012 seviyesine göre %10 oranında düşürülmesidir [107]. Program bileşenlerinden biri olan *"Enerji Verimliliği Çalışmalarının ve Projelerinin Finansmanı İçin Sürdürülebilir Mali Mekanizmaların Geliştirilmesi*" ile uygulanmakta olan mali desteklerin

yaygınlaştırılması ve yatırım özendirici ilave finansman mekanizmalarının oluşturulması hedeflenmektedir. *"Binalarda Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi"* adlı program bileşeninde ise, yapılacak EV iyileştirmesi sonrasında sağlanacak enerji tasarrufları ile geri ödemeye imkân tanıyan Enerji Performans Sözleşmesi (EPS) modeli gibi çeşitli finansman mekanizmalarının kamu binaları için uygulanması ve yalıtım açısından yetersiz yapı stoku için kabukta alınacak önlemler ile binaların ısı yalıtımlı hale getirilmesi amaçlanmaktadır [107].

2012/27/EU sayılı Enerji Verimliliği Direktifi'nde, üye devletlerin ulusal eylem planlarını hazırlamaları ve üç yılda bir gözden geçirip yenilemelerini istenmektedir [108]. Bu kapsamda, Enerji Verimliliği Kanunu, Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ve Onuncu Kalkınma Planı hedefleri doğrultusunda hazırlanan ve 2018 yılında yürürlüğe giren **'**Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023'te, toplamda 6 kategoride tanımlanan 55 eylem ile Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin 2023 yılına kadar %14 oranında azaltılması hedeflenmektedir [3]. Bina ve hizmetler sektörü için belirlenen eylemler arasında, binalar için enerji tüketim verilerini de gösteren bir envanter çalışmasının yürütülmesi, kamu binalarında EPS kullanılarak enerji verimliliğinin artırılması, mevcut binalarda ısı yalıtımı, yüksek peformanslı pencere sistemleri, enerji verimli aydınlatma sistemleri ile verimli ısı pompası, kazan gibi kullanımların desteklenerek enerji verimliliğin artırılması, özellikle toplu konutlarda bölgesel ısıtma ve soğutma sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması, yeşil sertifika kullanımının özendirilmesi, yeni binalarda asgari enerji performans sınıfının C'den B veya A'ya çekilebilmesi için bina kullanıcılarına destek sağlanması, binalarda yenilenebilir enerji ve kojenerasyon sistemlerinin kullanımlarının arttırılması bulunmaktadır [3].

Bu belgenin yayımlanmasından sonra, 2019 yılında **'**On Birinci Kalkınma Planı 2019-2023' hazırlanmıştır. Bu belgede, Onuncu Kalkınma Planı'nda belirlenen hedeflere paralel olarak, bina sektörü ile ilgili; kendi enerjisini üreten verimli binaların yaygınlaştırılması, mevcut binalarda enerji verimliliğini teşvik eden desteklerin artırılması, ulusal yeşil bina değerlendirme sisteminin kurulması, kamu binalarında enerji verimliliği projesinin uygulamaya geçmesi gibi hedefler tanımlanmıştır [109].

2019 yılında yayımlanan 'Kamu Binalarında Enerji Tasarrufu Konulu Cumburbaşkanlığı Genelgesi'nde, yıllık toplam enerji tüketimi 250 TEP ve üzeri veya toplam inşaat alanı 10.000 m^2 ve üzeri olan kamu binalarında 2023 yılı sonuna kadar en az %15 oranında enerji tasarrufu sağlanması zorunlu kılınmıştır [110].

2020 yılında, ‘Kamuda Enerji Performans Sözleşmelerinin Uygulanmasına Dair Karar’ yayımlanmış ve yürürlüğe konmuştur. Buna göre, genel yönetim kapsamındaki kamu idareleri ile diğer kamu kurum ve kuruluşlarına kamu nezdinde kullanıma sahip binalarda enerji tüketim değerlerini düşürmek amacıyla Enerji Performans Sözleşmesi (EPS) düzenleme imkanı tanınmıştır [111].

5627 sayılı Enerji verimliliği Kanunu’nda geçen tanımı ile Enerji Performans Sözleşmesi, “uygulama projesi sonrasında sağlanacak enerji tasarruflarının garanti edilmesi ve yapılan harcamaların uygulama sonucu oluşacak tasarruflarla ödenmesi esasına dayanan sözleşme”dir [100].

2020 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) koordinasyonunda hazırlanan Ulusal Enerji Verimlilği Eylem Planı 2019 yılı Gelişim Raporu’nda bina ve hizmetler sektörü ile ilişkili gelişmeler arasında, ‘Dünya Bankası Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Projesi’ne başlanılması, mevcut binalara yapılacak enerji verimliliği uygulamaları için tadilat ruhsatında vergi ve harç muafiyeti sağlanması, BEP Yönetmeliğinde yapılan değişiklik ile 2000 m^2 ve üzeri kullanıma sahip konaklama amaçlı konut harici binalar ile spor merkezlerinde kullanılacak sıcak suyun güneş enerjisinden karşılanmasının zorunlu tutulması, 2019 yılında yürürlüğe giren Bankaların Kredi İşlemlerine İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik [112] ile A ve B sınıfı EKB’ye sahip binalarda kullanılabilecek kredi miktarlarında artış sağlanması sayılabilir [113].

2022 yılında yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, nSEB tanımının ilk defa ulusal literatüre girmiş olması nedeniyle önem kazanmaktadır. Yönetmelikte tanımlanan hali ile nSEB, “yüksek enerji performansına ve aynı zamanda belli oranda yenilenebilir enerji kullanımına sahip olan bina” olarak ifade edilmektedir [5]. nSEB niteliğindeki binaların enerji performans sınıfının minimum B olması ve binanın birincil enerji ihtiyacının en az %5’inin yenilenebilir enerji teknolojilerinden sağlanması gerekmektedir. Toplam yapı inşaat alanı 5000 m^2 ve üzeri binaların 1 Ocak 2023 yılı itibarıyla nSEB olarak inşa edilmesi zorunlu tutulmuştur. Belirlenen inşaat alanı 1 Ocak 2025 tarihinden itibaren 2000 m^2, yenilenebilir enerji oranı da %10 olarak uygulanacaktır [114].

2022 yılında yayımlanan ‘Binalar ve Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği’, binaların ve yerleşmelerin çevreye olan olumsuz etkisini en aza indirmek için

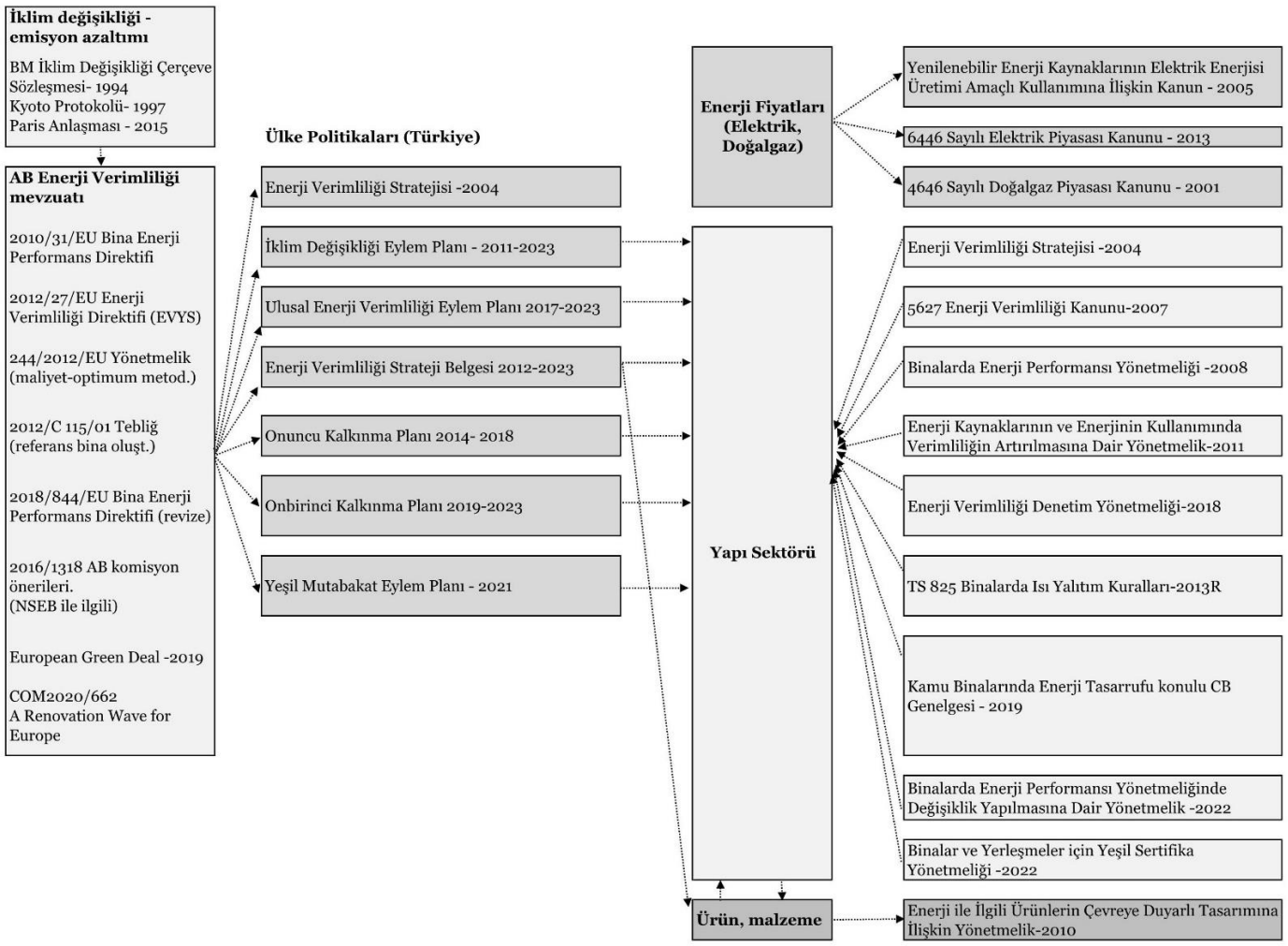
değerlendirme sistemlerinin oluşturulmasına ve bu kapsamdaki uzmanların, eğitici kuruluşların ve yeşil sertifika değerlendirme kriterlerinin belirlenmesine ilişkin usul ve esasları belirlemektedir [115].

Nisan 2023'te yayımlanan 'Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP) 2022 Gelişim Raporu'nda, bina ve hizmetler sektörü başlığı altında; konutlarda %99 faiz oranlı yalıtım kredisinin çeşitli bankalar tarafından kullandırılmaya başlandığı, kamu binalarında enerji verimliliği projesi kapsamında çalışmaların yürütüldüğü, Türkiye ve Danimarka işbirliği ile yürütülen bir proje kapsamında pilot olarak belirlenen iki belediyede yenilenebilir enerji kaynaklarından veya atık ısılardan yararlanılarak yerel ısıtma ve soğutma planlarının yapıldığı ve bu kapsamda örnek bir kılavuz hazırlandığı, yeşil sertifika yönetmeliğinin hazırlandığı ve BEP yönetmeliğinde yapılan son değişiklik [5] ile, nSEB tanımının ulusal mevzuata eklendiği aktarılmıştır [116].

Yapılan mevzuat incelemesinde, Türkiye'de enerji verimliliği konusunda 2007 yılından itibaren çalışmaların hız kazandığı görülmektedir. Türkiye tarafından 22 Nisan 2016 yılında imzalanan 7 Ekim 2021 tarihinde onaylanan [117] Paris Anlaşması kapsamında, Ulusal Katkı Beyanı'nda 2030 yılı için %21 olarak belirttiği emisyon azaltım hedefi, 2022 yılında % 41 olarak güncellenmiş [36] ve 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefi yolunda önemli bir adım atılmıştır.

Şimdiye kadar yapılmış olan çalışmalar umut verici olsa da bu hedeflere ulaşılabilirlik yolunda -özellikle çalışma kapsamındaki mevcut konut binalarında- enerji verimliliği çalışmalarının ve bunlara yönelik çeşitli finansman mekanizmalarının yaygınlaştırılması için Avrupa Birliği'nde olduğu gibi *(renovation wave)* itici bir güce ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

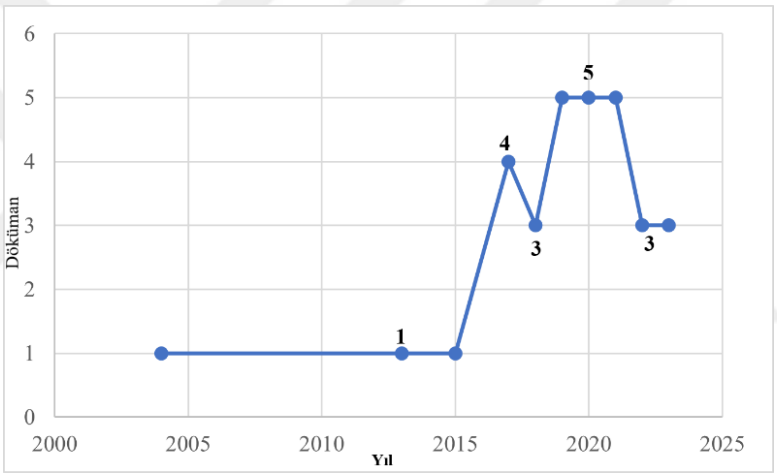
Avrupa Birliği'nde ve ona paralel olarak Türkiye'de gelişen enerji verimliliği mevzuatı Şekil 2.14'te özetlenmektedir:



Şekil 2.14 : AB ve Türkiye'deki mevzuat gelişimi.

2.5 Sıfır Enerji Kavramı İle İlgili Ulusal Literatürün İncelenmesi

Bu bölümde, ulusal literatürde sıfır enerji kavramına yönelik yayımlanmış olan tez çalışmaları incelenmiştir. Ulusal Tez Merkezi'nde arama sorgusunun *'sıfır enerji'* ile sınırlı tutulduğu sorgulamada, Ağustos 2023 itibarıyla kavramla ilişkili 31 adet tez çalışmasının (24 adet yüksek lisans, 7 adet doktora tezi) yayımlandığı ve çalışmaların %51'inin 2020- 2023 yılları arasında yapıldığı görülmektedir [118]. Araştırmaların ağırlıklı olarak mimarlık, makine mühendisliği ve enerji (enerji sistemleri mühendisliği, güneş enerjisi vb.) ana bilim dallarında yürütüldüğü gözlemlenmiştir. Türkiye'de sıfır enerji kavramının yıllara göre çalışılma oranı Şekil 2.15'te verilmektedir:



Şekil 2.15 : Türkiye'de "sıfır enerji" kavramının yıllara göre çalışılma oranı.

Acar'ın (2023) tez çalışmasında, Türkiye şartları için nSEB tasarımına yönelik bir tasarım yaklaşımı geliştirilmesi amaçlanmıştır. İki aşamalı olarak tanımlanan yöntemin ilk adımında, yapı kabuğu değişkenleri genetik optimizasyon algoritması kullanılarak optimize edilmiş ve Pareto cephesi (en iyi çözüm kümesi) çözümleri bulunmuştur. Analiz için Matlab ve EnergyPlus yazılımları kullanılmıştır. İkinci adımda ise fotovoltaik sistem ve rüzgar türbinlerinden oluşan yenilenebilir enerji teknolojileri binaya adapte edilerek TS 825 standardındaki dört farklı iklim bölgesi için nSEB çözümleri çalışılmıştır. Yapılan değerlendirmede, çalışılan birinci, ikinci ve üçüncü iklim bölgesi için sırasıyla 23 kWh/m2, 9 kWh/m2 ve 3 kWh/m2'ye kadar enerji üretimi yapılabildiği; ancak ısıtma yükünün daha fazla olduğu dördüncü bölgede, çatı alanının tüketilen enerjinin tamamını karşılayamadığı belirtilmiştir.

Çalışmada, toplam yatırım maliyetlerinin %19'unun yenilenebilir enerji sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerine karşılık geldiği ve geri ödeme sürelerinin 3,5 yıl seviyelerinde olduğu aktarılmıştır [119].

Çelik'in (2022) çalışmasında, soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum ilinde bir üniversite binası üzerinden yaklaşık sıfır enerji seviyesine ulaşabilmek için enerji performans ve maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan enerji verimliliği senaryoları, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Bulanık AHP ve TOPSIS ile değerlendirilmiştir. Uzman görüşlerine göre, enerji verimliliğini iyileştirmeye yönelik uygulanan senaryoların seçiminde birincil enerji tüketimi, maliyet ve enerji birim fiyatlarının etkili olduğu; ancak ekonomik parametrelerin diğer kriterlere daha üstün geldiği aktarılmıştır [120].

2021 yılında Arıkan tarafından yürütülen çalışmada, Antalya ilindeki bir otel binasının mevcut durumdaki enerji performansı *DesignBuilder* yazılımı ile hesaplanmış ve enerji verimliliğini iyileştirmeye yönelik senaryolar çalışılmıştır. Çalışma kapsamında pasif sistem önerileri ele alınmış, mekanik sistem iyileştirmeleri kapsam dışı tutulmuştur. Önerilen iyileştirmelerle binanın enerji tüketiminde %31'lik, karbon salımında ise %28'lik bir azalma sağlanmıştır. Ancak nSEB hedeflerine ulaşılabilmesi için pasif sistem önerilerine ek olarak, aktif sistemlerin de (bina servis sistemlerinde yapılacak iyileştirmeler ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gibi) planlamaya dahil edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [121].

Sattari (2021) tarafından yürütülen çalışmada, Ankara'daki bir TOKİ konut binası referans bina olarak seçilmiş ve yapı kabuğunda ele alınan tasarım stratejileri ile (yalıtım, cam sistemleri ve duvar yüzeylerinde fotovoltaik panel uygulaması) nSEB'e ne kadar yaklaşılabildiği *DesignBuilder* yazılımı aracılığıyla simüle edilmiştir. Toplamda 108 senaryo üzerinden yapılan değerlendirmede, yapı kabuğunda ele alınan önlemler ile enerji tüketiminde %3- 4 oranında bir azalma gözlemlenmiştir [122].

Yılmaz'ın (2021) tez çalışmasında, İstanbul Tuzla'da yapılması planlanan iki katlı müstakil bir konut binasında enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanarak sıfır enerjili binaya dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, mevcut duruma öneri olarak ısı pompası ve fotovoltaik sistem entegre edilerek enerji ve yaşam döngüsü maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, toprak kaynaklı ısı pompası ile fotovoltaik sistemlerin bir arada kullanıldığı senaryonun, 50 yıllık yaşam döngüsü

değerlendirmesinde ekonomik ve çevresel açıdan en uygun seçenek olduğu aktarılmıştır [123].

Mozazzen Ferdos (2020), tez çalışmasında Türkiye'deki bir tip eğitim binası üzerinden yaşam döngüsü analizi ile ekonomik ve çevresel performans değerlendirmesi gerçekleştirmiştir. Çalışmanın ilk adımında, referans bina modellenmiş ve enerji performansı simülasyon yardımı ile hesaplanmıştır. Referans bina üzerinden farklı iklim bölgelerinde bulunan iller için (İstanbul, Antalya ve Erzurum) enerji etkin iyileştirme senaryoları çalışılmış ve geri ödeme süreleri, maliyet optimum enerji performans seviyesi ve yaklaşık sıfır enerji seviyeleri belirlenmiştir. Bir sonraki adımda ise, optimum senaryolar üzerinden konfor analizleri gerçekleştirilmiştir [124].

Beyaztaş'ın (2020) mevcut kentsel dokuların enerji performansının optimize edilmesini hedefleyen tez çalışmasında, mevcut bina stokunu temsil eden referans binaya ek, kent ölçeğinde referans kent dokuları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, İstanbul Kadıköy'deki farklı sokak örnekleri üzerinden bir doku analizi yapılmış, altı farklı bina tipolojisi (katta tek daire/çift daire/dört daire, bitişik nizamlı apartmanlar gibi) ve üç yapı kabuğu (yalıtımsız kabuk, TS825 standardına uygun kabuk, yaklaşık sıfır enerji kabuğu) değişkenleri üzerinden *EnergyPlus* yazılımı aracılığıyla kombinasyonlar denenerek irdelenmiştir. Çalışma, kent dokusunun enerji üretim ve tüketim performansına etkisini göstermesi açısından önemlidir [125].

Çıldır'ın (2019) İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi içerisinde seçilen bir ofis binası üzerinde yürüttüğü çalışmada, yapı kabuğunda alınan önlemler ile binadaki ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji ihtiyacının azaltılması ile iç mekandaki konforsuz geçen sürenin azaltılması hedeflenmiştir. Yapılan araştırmada, gerçek iklim verileri ile çalışılabilmesi için bina içerisinde ve dışında ölçümler yapılmış ve kalibre edilen veriler bina enerji simülasyonu (*DesignBuilder*) yardımıyla modele aktarılmıştır. Mevcut yapı kabuğuna eklemlenecek çift cidarlı cephe ve gölgeleme elemanları alternatif olarak çalışılmış ve nSEB kriterlerinin sağlanması hedeflenmiştir [126].

Kalaycıoğlu'nun (2017) tez çalışmasında, 2010 yılında yayımlanan Bina Enerji Performans Direktifi'nde *(EPBD Recast)* belirtilen optimum maliyet ve neredeyse sıfır enerji seviyelerinin yerleşim ölçeğinde uygulanmasına yönelik bir metodoloji belirlenmiştir. Bu kapsamda, Eskişehir ilinde referans bir bölge belirlenmiş ve üzerinde yer alan farklı tipolojideki binalara ilişkin veriler enerji simülasyonuna

(DesignBuilder) tanımlanmıştır. Mevcut durumdaki enerji tüketim seviyeleri ve küresel maliyetler belirlendikten sonra, her bir bina tipi için enerji verimliliği önlemleri uygulanmış ve nSEB ve maliyet optimum seviyeler belirlenmiştir. Bir sonraki adımda, çalışma kapsamında belirlenen sekiz adet bölgesel enerji sistemi alternatifi *EnergyPro* yazılımı aracılığıyla seçili senaryolara uygulanmış ve karşılaştırılmıştır. Çalışmada, yüksek yatırım maliyetleri ve uzun geri ödeme sürelerinin, Türkiye'deki nSEB seviyelerine ulaşılabilirliğin önündeki engellerden biri olduğu vurgulanmıştır [127].

Ganiç Sağlam'ın (2017) yürütmüş olduğu tez çalışmasında, Türkiye'deki çok katlı konutları temsil eden bir referans bina üzerinden İstanbul, Antalya ve Erzurum illeri için mevcut durumdaki enerji performans seviyeleri hesaplanmıştır. Daha sonra, enerji verimliliğini iyileştirmeye yönelik bina kabuğunda ve servis sistemlerinde önerilen uygulamalar ile yenilenebilir enerji teknolojilerinin entegre edildiği senaryolar üzerinden – kullanıcı davranışları da dikkate alınarak- maliyet optimum ve yaklaşık sıfır enerji seviyeleri belirlenmiştir (nSEB için ulaşılabilir enerji tüketim düzeyi, incelenen iklim bölgesine göre yıllık 41,8 kWh/m^2y ve 63,2 kWh/m^2y arasında değişmektedir). Çalışma, çok katlı konut binalarında yapılacak enerji verimliliği iyileştirmeleri ile hesaplanan yaklaşık sıfır enerji ve maliyet optimum seviyeleri arasındaki finansal boşluğun kapatılmasına yönelik düşük faizli kredi gibi birtakım finansal öneriler sunması açısından dikkat çekmektedir [128].

Türkiye'de son dönemde sıfır enerjili bina kavramına yönelik araştırmalar, çeşitli bina tipolojileri (konut, ofis, eğitim, otel vb.) üzerinden farklı ölçeklerde (yapı kabuğu, bina ve kent ölçeği) yapılan enerji performans ve maliyet değerlendirmelerini içermektedir. Araştırmacıların, enerji performans değerlendirme sürecinde ağırlıklı olarak bilgisayar tabanlı simülasyon programlarından yararlandığı görülmektedir. Maliyet analizleri için ise, AB Bina Enerji Performans Direktifi'nde belirtilen finansal hesaplama prosedürlerinin çalışmalara adapte edildiği söylenebilir.

Binalarda enerji verimliliği iyileştirmelerinde hem istenilen enerji performansın sağlanması hem de yatırımın ekonomik açıdan uygulanabilir olması, disiplinlerarası bir çalışmayı gerektirmektedir. Bu bağlamda, enerji verimliliğine yönelik finansal destek sistemlerinin incelenmesi ve finansal altyapıya ilişkin eksikliklerin (varsa) tespit edilerek giderilmesi önem kazanmaktadır.

2.6 Binalarda Enerji Verimliliğine Yönelik Finansal Destekler

Mevcut ve yeni binaların enerji performansının iyileştirilmesi sürecinde yapılan uygulamalar, gerektirdiği yapım teknolojisi, malzeme özellikleri ve teknik donanımlar sebebiyle ilk yatırım ve yenileme maliyetleri yüksek uygulamalardır. Özellikle geri ödeme süreleri uzun olan ürün ya da sistem yatırımları söz konusu olduğunda, maliyetler doğrudan yatırımcıya ya da son kullanıcıya (bina veya işletme sahibi) yansıtılıyor ise, iyileştirmelerden kaynaklı enerji tasarrufları göz ardı edilerek maliyet odaklı düşünülebilmektedir. Bu nedenle, enerji verimliliği uygulamalarının ülke çapında yaygınlaştırılabilmesi için çeşitli finansman mekanizmaları ile desteklenmesi gerektiği önceki çalışmalarda da aktarılmıştır [2,41,108,129].

Bu bölümde, ilk olarak dünyadaki enerji verimliliği finansmanına değinilmiştir. Bu kapsamda, uluslararası literatürde sıklıkla geçen finansal destek sistemleri tanıtılmış ve Avrupa'daki öne çıkan uygulama örneklerinden bahsedilmiştir. Literatür araştırmasında ağırlıklı olarak, SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi'nin 2020 yılında 'Enerji Verimliliği Çözümü' başlığı ile yayınladığı bir dizi rapordan faydalanılmıştır.

Avrupa İklim Vakfı *(European Climate Foundation)*, Agora Energiewende ve Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi (IPM) tarafından kurulmuş olan SHURA Enerji Dönüşüm merkezi, enerji piyasasının karbonsuzlaştırılmasına yönelik yaptığı çalışmalar ile bilinmektedir. İlgili raporlar, mevzuat, piyasa temelli politika mekanizması araçları, iş modelleri, finansman mekanizmaları ve sistem verimliliğine yönelik kapsamlı bir araştırma sunmaktadır [130-132]. Çalışma kapsamında yararlanılan diğer kaynaklar; Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verileri, ProQuest ve Ulusal Tez Merkezi'ndeki tez çalışmaları ile çeşitli STK raporlarından oluşmaktadır.

Çalışmanın ikinci adımında, Türkiye'de enerji verimliliğine ilişkin mevcut finansman mekanizmaları aktarılmış ve güncel mevzuattaki kısıtlılıklara değinilmiştir.

2.6.1 Dünyada enerji verimliliğine yönelik finansman mekanizmaları

Enerji verimliliği (EV) projelerinin finansmanı temelde öz kaynak *(equity financing)* veya dış kaynak *(debt financing)* ile sağlanmakta olup, en sık kullanılan türü dış kaynak finansmanıdır. Öz kaynak finansmanında şirketler herhangi bir borçlanma ya da faiz olmadan kendi sermayeleri ile EV projelerini gerçekleştirir. Dış kaynak ile finansman genel olarak üç başlık altında değerlendirilmektedir [130]:

1. Enerji verimliliği fonları.
2. ESCO modeli ile finansman.
3. Diğer finansman mekanizmaları.

Enerji verimliliği fonları, enerji verimliliği projelerinin yatırımlarını finanse etmeye yönelik oluşturulmuş kaynaklar olup ağırlıklı olarak Birleşmiş Milletler, Avrupa Komisyonu gibi kurumlara bağlı yapılanmalardır. İklim Yatırım Fonları *(Climate Investment Funds- CIF),* Küresel Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Fonu *(Global Energy Efficiency and Renewable Energy Fund- GEEREF)* ve Avrupa Enerji Verimliliği Fonu *(European Energy Efficiency Fund- EEEF)* bu fonlara örnek olarak verilebilmektedir [130].

EV fonları, ticari finansal kurumların isteksiz oldukları veya yetersiz kaldıkları durumlar için alternatif bir kaynak oluşturma hedefiyle, uluslararası finans kuruluşları (UFK) veya devletler tarafından da kullanılabilmektedir [133].

Enerji verimliliği fonlarının en başarılı örneklerinden biri Tayland Enerji Verimliliği Döner Sermaye Fonu'dur *(Energy Efficiency Revolving Fund- EERF).* 2003 yılında kurulan fonda, petrol vergilerinin fona yönlendirilmesi ile kaynak sağlanmış, ticari bankalara EV yatırımları için imtiyazlı kredi verilmiştir. Bankalara yapılan geri ödemeler fona aktarılmakta, böylece yeni projelere fon sağlanmaktadır [134].

2017 yılında kurulan İspanya Ulusal Enerji Verimliliği fonunun finansal kaynağı enerji tedarik firmalarının enerji verimliliği yükümlülükleridir. EV yükümlülüğü bulunan kurumlar, yükümlülüklerini sağlamak için belirli bir tutarı fona aktarabilmektedir. Elde edilen gelirler, binalarda enerji verimliliği, sokak aydınlatması vb. alanlarda kullanılmaktadır [130].

Enerji verimliliği projeleri, bir çok farklı disiplinden uzmanın birlikte çalışmasını gerektiren, proje bazında yapılacak fayda-maliyet analizleri ile teknik önlemler alınmasını ve bu önlemlerin yatırımcılar/ uygulayıcılar için teşvik edilmesini içeren kapsamlı bir yönteme ihtiyaç duymaktadır. ESCO *(Energy Service COmpany)* modeli, hem proje ihtiyaçlarının tespiti ve projelendirilmesinde hem de projenin finanse edilmesinde rol oynayan teknik danışmanlık hizmeti görevi görmektedir.

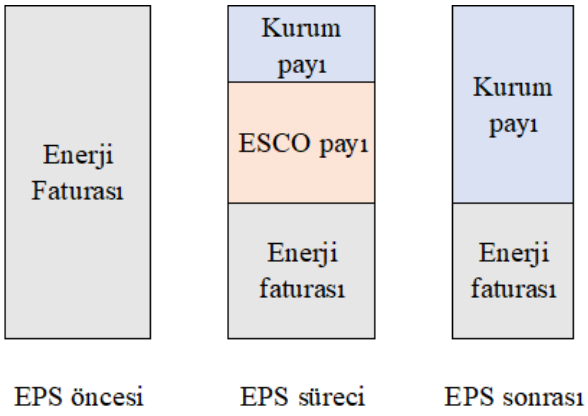
Bir EV projesinde ESCO'nun görev aldığı aşamalar şu şekilde sıralanabilir [130]:

- EV projesi için fizibilite çalışması (mevcut durumdaki enerji tüketimini belirleme).

- Garanti edilen enerji tasarruf miktarının sözleşmeye aktarılması.
- Proje, mühendislik, tedarik, yapım, işletme ve enerji performans sorumluluğunun alınması.
- Ölçme doğrulama ile enerji tasarrufunun istenilen oranda gerçekleşip gerçekleşmediğinin belirlenmesi.
- Ölçüm sonucunda EPS gereği garanti edilen performans sağlanmış ise ödeme yapılması.
- Garanti edilen performans sağlanamamış ise yaptırım-ceza uygulanması ve fesih sürecinin uygulanması.

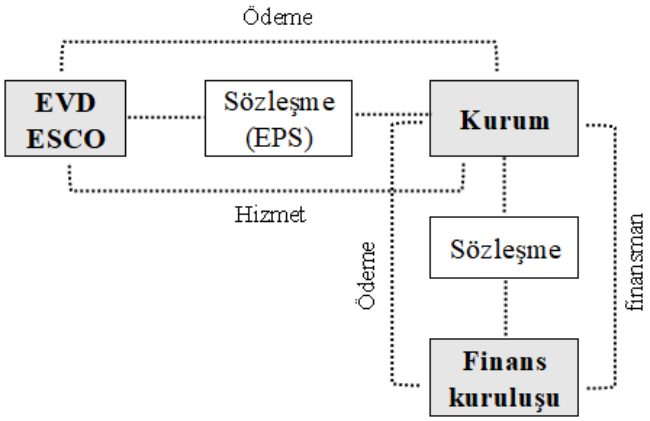
ESCO'ların en bilinen özelliği, yatırım sonrası oluşacak enerji tasarruflarını enerji performans sözleşmesi (EPS) ile garanti etmesidir. Bu modelde, EV'ye yönelik yapılan yatırımlar için gerekli harcamalar, uygulama sonucunda oluşacak enerji tasarrufları ile ödenmektedir.

Buna göre kurum, EPS öncesi enerji faturasına ödediği miktarı, EV yatırımı yapıldıktan sonra sözleşme süresi boyunca ESCO'ya hizmet bedeli olarak öder. Sözleşme süresi bitiminde enerji faturasından tasarruf edilen miktar kuruma kalan paydır [130]. ESCO ile finansman modeli Şekil 2.16'da verilmiştir:



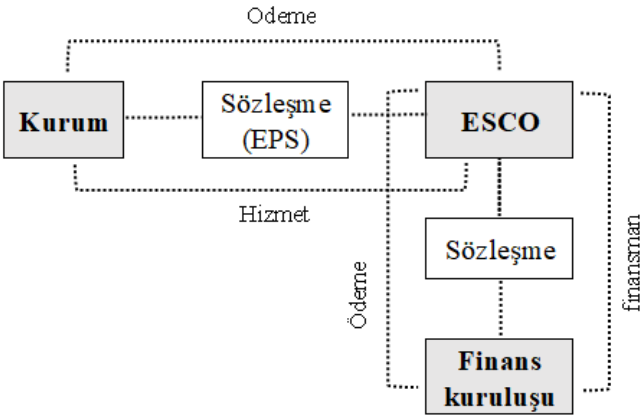
Şekil 2.16 : ESCO ile finansman [130].

ESCO'ların yaptığı EPS'ler farklı modellerde olabilir. Tasarruf garantili EPS, dünyada en yaygın olarak kullanılan modeldir. ESCO tasarruf miktarını garanti eder. Finansal risk ise kuruluştadır (Şekil 2.17). Bu model, gelişmekte olan ESCO piyasalarında sıklıkla kullanılmaktadır [130].



Şekil 2.17 : Tasarruf garantili EPS modeli.

Paylaşım garantili EPS modelinde ise yatırım ve performans riski ESCO'dadır (Şekil 2.18). Bu nedenle güçlü ESCO yapıları gerektirir.



Şekil 2.18 : Paylaşım garantili EPS modeli.

Yukarıda bahsedilen iki EPS modelinin hibrit olarak uygulandığı kısmi tasarruf garantili kısmi paylaşım garantili EPS'de, yatırım ve finansman riskleri kuruluş ve ESCO arasında paylaşılmaktadır.

Süper ESCO modeli, genellikle kamudaki enerji verimliliği dönüşümüne hizmet etmek ve proje finansmanını kolaylaştırmak için oluşturulmuş devlet kurumlarıdır. Yetkin bir kuruluş tarafından yapılan planlı ve toplu satın alımlarla maliyetler düşürülebilmekte ve EV projelerinin uygulama oranları artabilmektedir [135].

Enerji Satış Sözleşmesi (ESS) modeli, ESCO'nun fotovoltaik sistem, kojenerasyon, vb. enerji üretim tesisini kurup işletmesini veya satışını yaptığı modeldir. [130].

Fatura üzerinden finansman *(on-bill financing),* enerji dağıtım şirketlerinin, EV yatırımları için çeşitli bina türlerinde müşteriler ile EPS yaptığı, yatırım bedelinin ise aylık elektrik faturasına yansıtıldığı modeldir [136]. Bu modelin başarılı bir

uygulaması olarak Birleşik Krallık Yeşil Anlaşması *(UK Green Deal)* örnek verilebilir. Bu uygulamada, yapılan enerji verimliliği iyileştirmelerinin 25 yıl süren bir enerji faturası üzerinden geri ödenebildiği bir kredi olanağı bulunmaktadır [137].

Bu modellerin dışında EPS'ler, onaylanmış tasarruf garantili, tasarruf yarışma modeli, finansal kiralama *(leasing),* vergi indirimi modeli, beyaz sertifika, enerji verimliliği hizmet modeli gibi çeşitli şekillerde uygulanabilmektedir. Bu bağlamda, EPS uygulanacak ülkenin yerel koşulları ve ihtiyaçları önem kazanmaktadır.

2018 yılı itibarıyla Avrupa'da en çok ESCO barındıran ve en büyük EPS piyasasına sahip ülke Almanya'dır. 1990'lı yıllardan itibaren ESCO modeli uygulanmaya başlamış ve özellikle bölgesel enerji ajanslarının (bağımsız aracı) EPS bilinçlendirme faaliyetleri ile gelişmiştir [138]. Dünyada ise birinci sırada Çin, ikinci sırada Amerika Birleşik Devletleri bulunmaktadır [139]. ESCO modeli Çin'de hükümet tarafından başlatılmıştır. Küresel Çevre Fonu (GEF), Dünya Bankası vd. tarafından finansal destek sağlanmış ve ulusal enerji tasarrufu bilgi yayma merkezi kurulmuştur. Kalkınma bankası, ticari bankalara kısmi risk garantisi vermiştir. Bu durum, ticari bankaların ESCO finansmanına adapte olması açısından oldukça önemlidir [138]., ESCO modeli, Amerika'da ise ağırlıklı olarak kamuda enerji verimliliği projelerinde kullanılmaktadır.

Çalışmada, enerji verimliliği fonları ve ESCO modeli haricinde diğer finansman mekanizmaları olarak imtiyazlı krediler, ticari krediler, kredi dışı finansman mekanizmaları ve risk paylaşım mekanizmaları incelenmiştir.

İmtiyazlı krediler, yatırımcı ve finansal kuruluşların yeterli teknik donanıma sahip olmadığı veya risk almaktan kaçındığı durumlarda verilen düşük faizli ve uzun vadeli krediler olup Dünya Bankası *(World Bank),* Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası *(European Bank for Reconstruction and Development),* Alman Kalkınma Bankası *(kfW)* gibi uluslararası finans kuruluşları tarafından sağlanabilmektedir. Ticari krediler ise, finans kuruluşlarının kendi kaynaklarından sağladığı bireysel veya kurumsal krediler olup daha küçük ölçekli ve düşük riskli enerji verimliliği yatırımlarında kullanılabilmektedir [130].

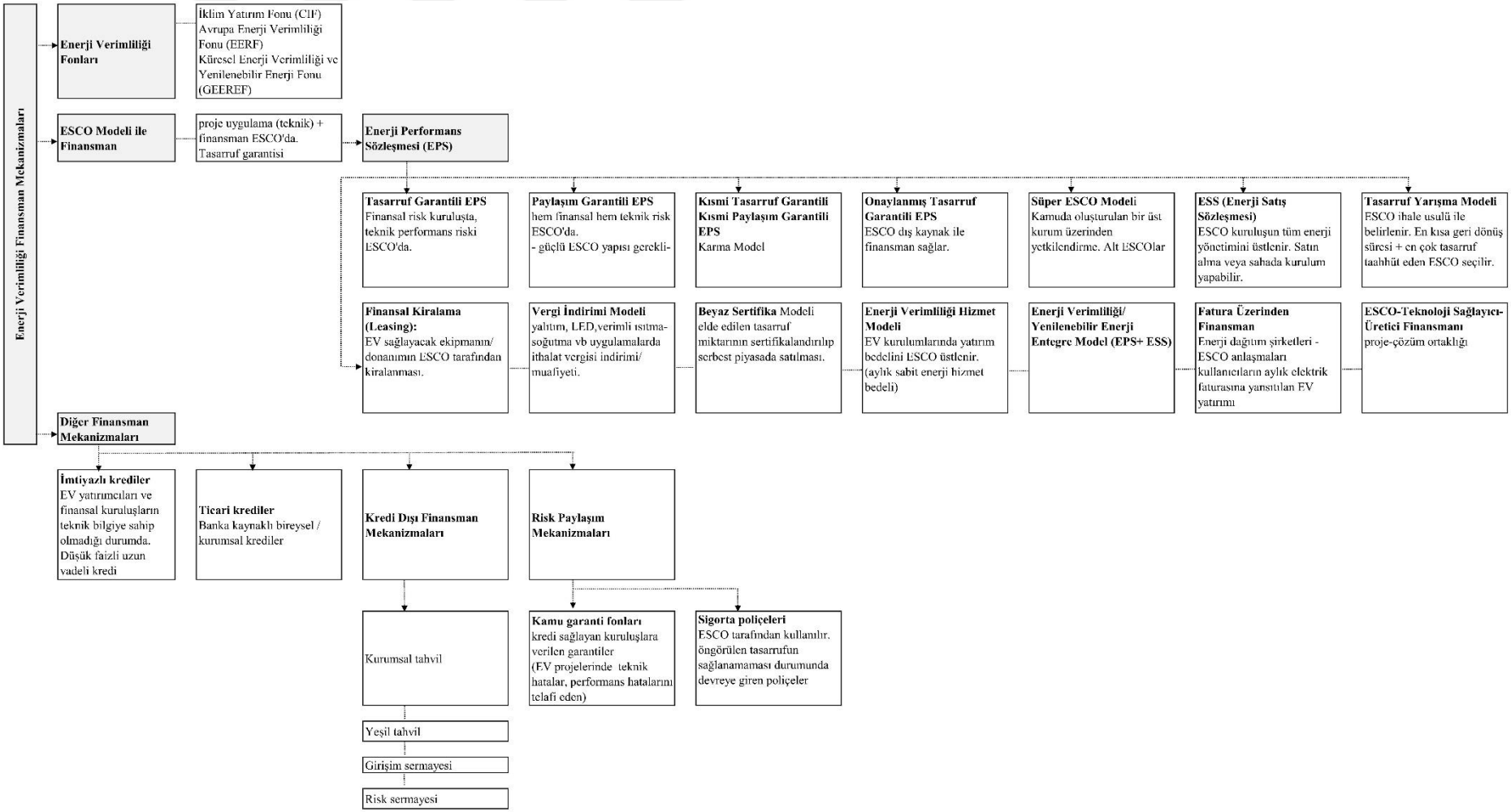
Yeşil tahvil ve girişim (risk) sermayesi kredi dışı finansman araçlarına örnek verilebilir; ancak bu uygulamaların kullanım alanları oldukça kısıtlıdır.

Dünyadaki enerji verimliliği yatırımlarında finansal risklerin azaltılması ve kredi maliyetlerinin düşürülmesi için çeşitli risk paylaşım mekanizmaları oluşturulmuştur. Devletler veya UFK tarafından enerji verimliliği yatırımları için kredi sağlayan kuruluşlara verilen kamu garanti fonları bu kapsamda değerlendirilmektedir. Kamu kuruluşları, EV projelerinde teknik hatalar veya performans hataları gibi nedenlerden oluşabilecek kayıpları önlemeye yönelik bir fon tahsis edebilmektedir [140].

Kamu garanti fonuna örnek olarak Fransa devlet desteği verilebilir. Sıfır faizli krediler, vergi iadesi, üçüncü taraf finansman vb. seçeneklerin mevcut olduğu modelde, ayrıca enerji dönüşümü garanti fonu kurulmuştur. İki yaş üstü konutlarda ısı yalıtımlı pencere-kapı, izolasyon, kazan değişimi, ısı pompası, kojenerasyon, GESIS'lerde yatırım tutarının %30'u gelir vergisinden düşülebilmektedir [141].

Kamu garanti fonları dışında, özel sektör tarafından geliştirilen ve projede öngörülen performans seviyesinin sağlanamaması durumunda devreye giren özel sigorta ürünleri de risk paylaşım mekanizmaları arasında değerlendirilebilmektedir. Bu ürünler genellikle sözleşmelerinde performans garantisi veren ESCO'lar tarafından kullanılmaktadır [130].

Dünyada enerji verimliliğine yönelik kullanılan finansman mekanizmaları Şekil 2.19'da özetlenmektedir:

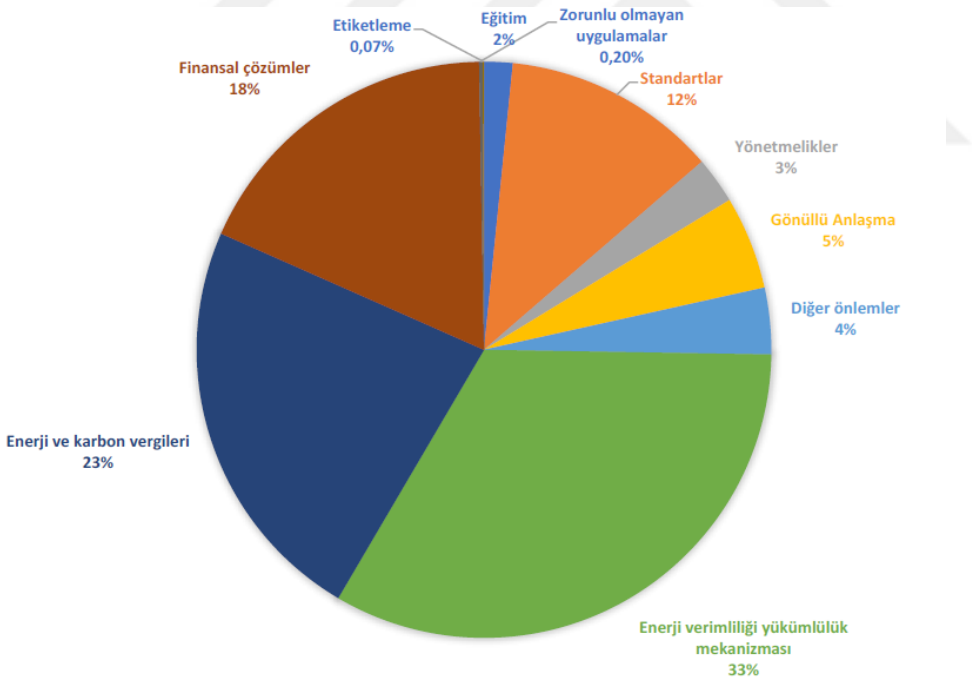


Şekil 2.19 : Dünyada enerji verimliliğine yönelik çeşitli finansman mekanizmaları.

Dünyada enerji verimliliğine yönelik uygulanan finansman mekanizmalarına ek olarak piyasa temelli politika mekanizması araçları da kullanılabilmektedir. Piyasa temelli politika mekanizması, birtakım çevresel hedeflere ulaşabilmek için piyasayı kullanan politikalar olarak tanımlanmaktadır [142]. Enerji Verimliliği Yükümlülük Sistemi (EVYS), bu kapsamda en çok uygulanan politika mekanizması olup, enerji verimliliği yarışmaları ve enerji verimliliği ağları da örneklere eklenebilir.

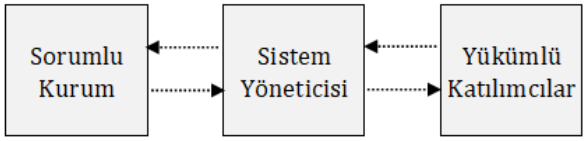
Enerji Verimliliği Yükümlülük Sistemi (EVYS), maliyet etkin enerji verimliliği hedefleri için tüm enerji sisteminin devreye alınmasını gerektiren bir yaklaşım sunmaktadır. EVYS genel olarak, enerji tasarruf hedefleri ile bu tasarrufa ulaşma yolunda yükümlü olan tarafları belirlemektedir [132].

AB'de 2014-2016 yılları arasında 2012 Bina Enerji Performans Direktifi kapsamında en çok tasarruf, enerji verimliliği yükümlülük sistemi ile sağlanmıştır (%33). (Şekil 2.20). Enerji ve karbon vergileri %23, finansal önlemler %18 etkili olmuştur. Standart oluşumunun da katkısı büyüktür (%12) [139].



Şekil 2.20 : AB'de çeşitli finansman mekanizmalarının EV'ye katkısı [139].

EVYS'de temel olarak üç aktör görev almaktadır. Bunlar; sorumlu kurum, sistem yöneticisi ve yükümlü katılımcılardır. Sorumlu kurum, EV hedeflerini belirleyen ve bilgi aktarımı yapan bir kurumdur. Sistem yöneticisi ise süreç işleyişinden sorumludur. Yükümlü katılımcılar, EV hedeflerine ulaşmaktan sorumlu taraflardır [143]. Ana aktörler arasındaki ilişki Şekil 2.21'de verilmektedir:

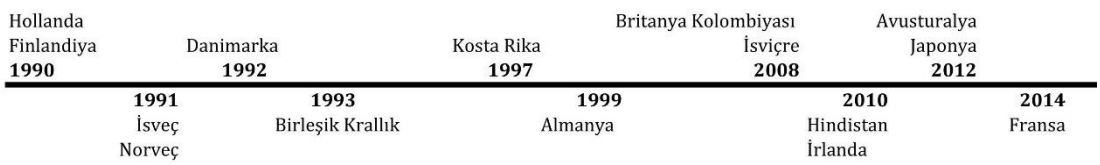


Şekil 2.21 : EVYS'nin ana aktörleri [143].

Halihazırda yürütülen bir EVYS uygulaması olarak Fransa örneği ele alınabilir. Fransa, 2006 yılından itibaren EVYS uygulamaktadır. Belirli bir hacmin üzerinde üretim yapan tüm enerji perakende ve tedarik şirketleri için yükümlülük getirilmiştir. Enerji verimlilik önlemleri konut binalarında %76, kamu ve ticari binalarda %14 ve sanayide %7 oranında uygulanmaktadır. Tasarruflar genel olarak yoğuşmalı kazanlar, çatı yalıtımı ve duvar yalıtımlarından sağlanmaktadır. Yükümlü katılımcılar, 2015 yılında uygulamaya geçen ve EV projeleri için kredi sağlayan enerji yenileme fonundan da yararlanmaktadır [132].

Uluslararası Enerji Ajansı'nın yapmış olduğu araştırmalarda, EVYS'nin uzun vadede etkili olabilmesi için yıllık ölçme-doğrulama gibi nicel hedefler içeren mevzuatlarla desteklenmesi gerektiği belirtilmiştir [132].

Ülkelerde EV kapsamında uygulanan teşvik ve hibelerin yanısıra, idari yaptırım ve ceza politika uygulamaları da finansal anlamda itici bir güç olabilmektedir. Çevre sorunlarının çözümünde vergilerden yararlanma düşüncesi 1920'li yıllarda Pigou'ya kadar dayanmaktadır. Çevreye verilen olumsuz etkilerin azaltılmasını amaçlayan karbon vergisi, *"Kirleten öder"* mantığından yola çıkmış olup ilk olarak 1990 yılında Finlandiya'da uygulanmıştır ve 1992 yılında Rio Çevre ve Kalkınma Deklerasyonu'nda tartışılmıştır. Halihazırda Finlandiya, Danimarka, Hollanda, Norveç ve İsveç gibi ülkelerde uygulanmaktadır (Şekil 2.22). Karbon vergilerinden toplanan para ise iklim fonuna aktarılmaktadır [144]. Bu vergilendirme sistemi ile, fosil yakıt kullanıcılarının neden oldukları küresel ısınma ve kirlilik sorunlarının azaltılması amaçlanmıştır.



Şekil 2.22 : Yıllara göre karbon vergisinin uygulanma durumu.

1997 yılında yayımlanan Kyoto Protokolü de 'fazla karbon üretenden fazla vergi alınması' gibi vergi sistemlerinin oluşturulmasını amaçlamaktadır. Bu anlaşmaya 2009

yılında taraf olan Türkiye'nin, fosil yakıtlar üzerinden uygulanan bir vergilendirme sistemi bulunmamaktadır [145]. Karbon vergisi, piyasa temelli bir vergi olması nedeniyle fosil yakıtların kullanım maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle bireyler/ kurumlar daha az fosil yakıt kullanmaya ve alternatif enerji kaynaklarına yönelmeye teşvik edilmektedir [146].

Halihazırda dünya ülkelerinde yürürlükte olan veya planlanan 31 adet emisyon ticaret sistemi ve 30 karbon vergisi olmak üzere toplamda 61 adet karbon fiyatlandırma mekanizması bulunmaktadır. Bu sistemi uygulayan ülkelerdeki emisyon değeri, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %22'sine karşılık gelmektedir [147].

Karbon vergisi uygulayan ülkelerde emisyon hacminin azaldığına ilişkin çalışmalar mevcuttur. İsveç Çevre Bakanlığı'nın yapmış olduğu bir çalışmada, karbon vergisinin olmadığı senaryoda 1995 yılı için %15, 2000 yılı için ise %20-25 daha fazla CO_2 emisyon salımı olacağı tahmin edilmiştir [148]. Bu vergilendirme sisteminin emisyon azaltımında yeterli etkiye sahip olmadığı görüşüne sahip çalışmalar da bulunmaktadır. Hotunoğlu ve Tekeli'nin yapmış olduğu çalışmada, 18 Avrupa ülkesinde karbon vergisinin ekonomik etkileri incelenmiş ve emisyon azaltımında anlamlı bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir. Bunun en önemli nedeninin, fosil yakıt kullanımı fazla olan kesimlere tanınan muafiyetler olduğu belirtilmiştir [146].

Bu nedenle, karbon vergisinin emisyon azaltımında önemli bir etkiye sahip olabilmesi için yasal çerçevenin çok iyi çizilmiş olması ve enerji yoğun sektörlerdeki muafiyetlerin minimumda tutulması gerektiği sonucu çıkmaktadır.

Bu bölümde, uluslararası literatürde planlanan ya da uygulanmakta olan çeşitli finansman mekanizmaları ile piyasa temelli politika mekanizmaları aktarılmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) oluşturmuş olduğu veritabanında enerji verimliliği kapsamında bina sektöründe (özellikle konut binalarında) uygulanan finansal araç, teşvik ve hibelerden bazıları ülke, yıl ve hedef sektör bazında Çizelge 2.5'te verilmektedir [149].

Çizelge 2.5 : Bina sektöründe uygulanan finansal araçlar, teşvikler, hibeler [149].

Politika / Program	Hedef Sektör	Ülke	Yıl	Açıklama
Elektrikli Su Isıtıcılarını Değiştir-Geri Dönüştür *(Recycle- Change Water Heaters)*	Konut binaları	Yunanistan	2023	Program ile 120.000 hanenin elektrik tüketiminin %65 oranında azaltılması hedefleniyor. Bütçe: 100.000.000 €
Temiz Hava+ Programı *(2022 Clean Air Plus programme extension)*	Konut binaları	Polonya	2022	Enerji verimli ev tadilatı yapan veya ısıtma sistemlerini ısı pompaları ile enerji etkin dönüştüren haneler maliyetlerin %90'ını karşılayabilecek (yaklaşık 19.000 $) tutarında bir sübvansiyon alma hakkına sahiptir.
Anti-enflasyon paketi *(Anti-Inflation package)*	Enerji sektörü	Bulgaristan	2022	Devlet Büt.çe Kanunu'nda yapılan değişiklik ile (Karar No:170) yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik ile sıvılaştırılmış petrol gazı ve doğal gazda özel tüketim vergisinden muafiyet sağlanacak, merkezi ısıtma ve doğal gaz tedariklerinde tüm yıl boyu %9'luk KDV oranının uygulanacaktır.
Kalorifer yakıtı veya dökme propanla ısıtılan haneler için 300 Euro tutarında sübvansiyon	Konut binaları	Belçika	2022	Kalorifer yakıtı veya propanla ısıtılan konutlara 300 Euro tutarında bir destek sağlanmaktadır.
Elektrik KDV İndirimi *(Electricity VAT reduction)*	Konut binaları	Portekiz	2022	Portekiz hükümeti 100kWh/ay'a (büyük ailelerde 150kWh) kadar olan elektrik tüketimi seviyeleri için KDV'yi %13'ten %6'ya indirdi.
Apartman binalarının enerji verimliliği 2022-2026 *(Energy efficiency of apartment buildings 2022-2026)*	Konut binaları	Letonya	2022	Devlete ait bir finansman kuruluşu, 170 binada yalıtım ve enerji verimliliğin artırılması için 57.200.000 € hibe ve kredi desteği sağlayarak yenilenebilir enerki kaynaklarına geçişi hedeflemektedir.
Enerji paketi 1: Gaz kullanan tüm hanehalkına gaz ödeneği *(Energy package 1: Gas subsidy to all households using gas (from 23% to 5%)*	Konut binaları	Hırvatistan	2022	Gazdaki KDV %5'e düşürülmüştür. Faturada yer alan destek miktarı kWh başına 10 Lipa. Bu oran MWh başına 66€ olarak öngörülen rakamın yaklaşık %20'sine denk gelmektedir. İndirim için yetkili kuruluş Ekonomi Bakanlığı'dır.
Tüm konut müşterileri için doğal gaz şebekesi maliyetleri (ücretler+vergiler) muafiyeti.	Konut binaları	Lüksemburg	2022	27 Nisan 2022 tarihinden itibaren tüm konut kullanıcıları için doğal gaz şebekesi maliyetlerini (ücretler+vergiler) devlet karşılayacaktır.

Çizelge 2.5 (devam) : Bina sektöründe uygulanan finansal araçlar, teşvikler, hibeler [149].

Politika / Program	Hedef Sektör	Ülke	Yıl	Açıklama
Ev yenileme sübvansiyonu *(Home retrofit subsidy)*	Konut binaları	Fransa	2022	Fosil yakıt tabanlı ısıtma sistemlerinden yenilenebilir enerji tabanlı ısıtma sistemlerine geçiş yapmak isteyen hanelere 1000 € destek verilmektedir.
Çatıların ısı yalıtımı ve evlere fotovoltaik sistem kurulumu için hibelerde artış *(Increase in grants for thermal insulation of roofs and installation of photovoltaic systems on homes)*	Konut binaları	Kıbrıs	2022	Kıbrıs Enerji, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı koordinasyonunda hibe programı. 2022 ve 2023 yılları için hibeler %40 oranında arttırılmıştır.
Yenilenebilir enerji ve enerji tasarrufuna yönelik sübvansiyonun artırılması 2022 (ISDE)	Konut binaları	Hollanda	2022	Isı yalıtım tedbirleri, ısı pompaları, güneş enerjisi vb. uygulamalar için sübvansiyon planı olan ISDE'nin bütçesi bu yıl 62.000.000 € arttırılacaktır.
Güneş panelleri, güneş enerjili su ısıtıcıları ve ısı pompalarında KDV indirimi	Konut binaları	Belçika	2022	Hükümet, fotovoltaik panelleri, güneş enerjili su ısıtıcıları ve ısı pompalarında geçici bir KDV indirimini yasalaştırmıştır. 10 yaşın altındaki konutlar %6'lık indirimli KDV oranından yararlanabilmektedir.
2021-27 Stratejik Plan - Konutlarda Enerji Verimliliği	Konut binaları	Estonya	2021	Stratejik plana göre, konutta enerji verimliliği standartlarının iyileştirilmesine yönelik yeni teknolojilerin tanıtılması, araştırma ve geliştirmelerin geliştirilmesi, özel destek ve garanti önlemlerinin getirilmesi ve konut yatırım fonu kurulması yer alacak. Bütçe: 3.7 milyar € (2021-2027)
Bina Yenileme Kampanyası *(Bulidings renovation campaign 2021/2022)*	Binalar (genel)	Avusturya	2021	Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı ısıtma sistemlerine geçiş için toplamda 650 milyon € sağlanmıştır. Bu hibenin yaklaşık %60'ı kombi değişimine harcanmıştır.
Hanelerin enerji verimliliğine yönelik yatırımlar *(Investments for household energy efficiency)*	Konut binaları Kamu binaları	İngiltere	2021	Bina kaynaklı emisyonları azaltmak ve enerji faturalarını düşürmek için yaklaşık 56 milyon $ fona aktarılmıştır. Binaların ısıtma ve soğutması için verimli ve düşük karbonlu teknolojiler için araştırma-geliştirme çalışmaları yürütülecektir.
Çatı üstü güneş enerjisi için teşvikler *(Incentives for rooftop solar (Solar PV rebate scheme)*	Konut binaları Ticari binalar	İsviçre	2020	Konut ve ticari binalar için yaklaşık 52 milyon $ hibe desteği sağlamaktadır.
Bina tadilatlarında vergi indirimi *(Tax deductions for building renovations)*	Konut binaları	Almanya	2020	Enerji verimliliği tadilatlarında (yalıtım,yeni pencere ve dış kapı, eski ısıtma ve havalandırma sistemlerinin değişimi, dijital enerji yönetim sistemlerinin kurulumu gibi) için yenileme maliyetlerinin %20'si vergiden düşülebiliyor (Sadece ev sahibi tarafından kullanılan binalarda geçerli, kiralık konutlar hariç tutulmuştur).

Çizelge 2.5 (devam) : Bina sektöründe uygulanan finansal araçlar, teşvikler, hibeler [149].

Politika / Program	Hedef Sektör	Ülke	Yıl	Açıklama
Binalarda Enerji Verimliliği, Kamu Hizmetlerinin Ticari Ölçümü ve Enerji Verimliliği Fonu Hakkında *(On Energy Efficiency in Buildings, On Commercial Metering of Utility Services, and On the Energy Efficiency Fund)*	Çok katlı konut binaları	Ukrayna	2019	Ukrayna Enerji Verimliliği Fonu (EEFU) desteği ile dernekler tarafından yönetilen çok daireli konutlarda rehabilitasyonu sağlanmaktadır (hafif veya esaslı tadilat) Hafif tadilatta, kredinin %40'ı EEFU tarafından ödenmektedir.
Apartmanların yenilenmesi (Hibe planı 1) *Renovation of apartment buildings (Grant scheme 1)*	Konut binaları	Estonya	2019	KredEX (2001- Estonya Kredi ve Garanti Fonu) 1993'ten önce inşa edilmiş apartmanların yenilenmesi için hibe sağlamaktadır.
Düşük gelirli evler için güneş enerjisi *(Solar for low income households - Trial)*	Konut binaları	Avusturalya	2019	Bu program, Düşük Gelirli Hanehalkı indirimi almamaları karşılığında evlerine 3 kilovatlık güneş enerjisi sistemleri kurarak düşük gelirli insanlara elektrik faturalarını düşürmelerine yardımcı oluyor.
Stop Smog Program	Konut binaları	Polonya	2019	Program, konutlarda ısı kaynaklarının değiştirilmesi veya ortadan kaldırılması için destek sağlamaktadır. Yatırım maliyetlerinin %70'e kadarı belediye bütçesinden karşılanmaktadır. Programın kapsamı: düşük karbonlu olanlar için yüksek karbonlu ısı kaynaklarının değiştirilmesi veya ortadan kaldırılması, tek aileli konutların termo-modernizasyonu, ısıtma veya gaz şebekesine bağlantı.
Enerji kullanımının azaltılmasına yönelik sübvansiyon *(Subsidy scheme Reduction Energy Use)*	Binalar (Genel)	Hollanda	2019	RRE programı aracılığıyla belediyeler, ev sahiplerine küçük enerji tasarrufu önlemleri (ısıtma tesisatlarının / izolasyonunun iyileştirilmesi, çatı, pencere veya cephe yalıtımı gibi) hakkında tavsiye vermektedir.

Finansal destek sistemlerinin uygulamalarında birtakım engeller ortaya çıkabilmektedir. Engeller ve bunlara yönelik ihtiyaçlar ile çözüm önerileri Ek A'da özetlenmiştir.

2.6.2 Türkiye'de enerji verimliliğine yönelik finansman mekanizmaları

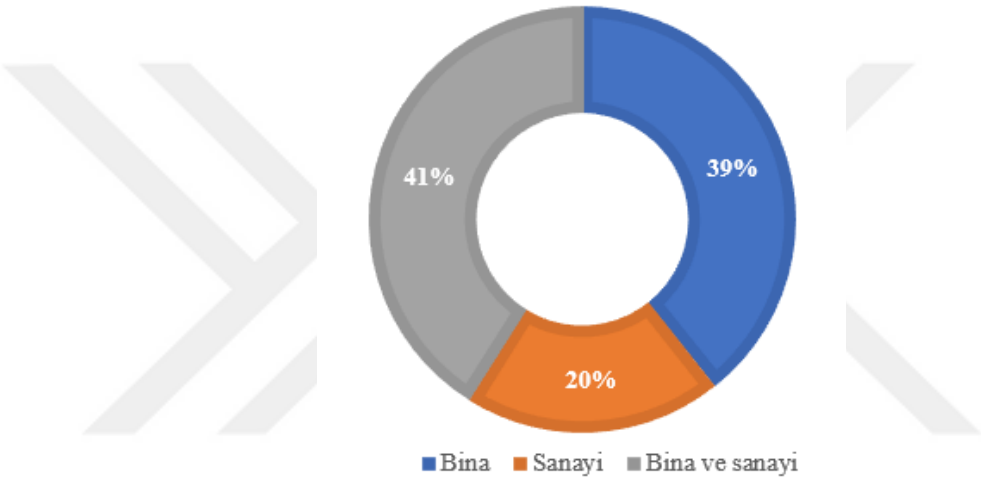
Türkiye'de enerji verimliliğini artırmaya yönelik proje uygulamaları için finans desteği, 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (Madde 8) ve bu kapsamda 2011 yılında hazırlanan 'Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik' ile belirlenmiştir [100,105]. 2020 yılında yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Destekleri Hakkında Uygulama Usul Ve Esasları ise proje başvuruları, şartlar ve değerlendirmeye ilişkin kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır [150].

Türkiye'de enerji verimliliğine yönelik birincil yetki ve sorumluluk Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndadır [105,151]. 2019 yılında CB kararnamesi ile ETKB bünyesinde Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı (EVÇED) kurulmuştur.

2023 yılı itibarıyla, ETKB bünyesinde verimlilik artırıcı proje ve gönüllü anlaşma desteği olarak iki adet finansman programı bulunmaktadır. Verimlilik artırıcı proje (VAP) desteği 2021 yılına kadar, son üç yıla ait enerji tüketimi 500 TEP ve üzeri olan ve tesisinde enerji yöneticisi görevlendirmiş olan endüstriyel işletmelere yönelik olup; proje bedeli en fazla KDV hariç beş milyon Türk Lirası ve geri ödeme süresi 5 yıldan az olan proje başvurularını değerlendirmeye almaktaydı [150]. 2021 yılında revize edilen kanun ve yönetmelik maddeleri ile bina, hizmet ve tarım sektörleri de VAP desteğine dahil edilmiş ve hibe ve faiz desteklerinden yararlanma imkanı verilmiştir [152,153]. Ancak bina grubu ticari, kamu ve hizmet binaları olarak sınırlandırılmış, konut binalarına ilişkin bir detay verilmemiştir.

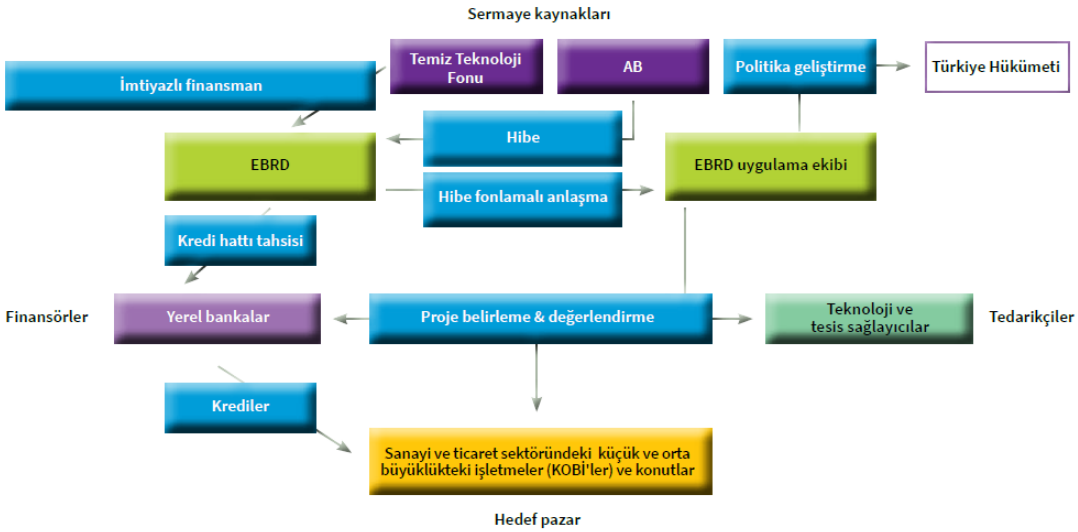
Gönüllü anlaşmalar ise, son üç yıla ait yıllık toplam enerji tüketimlerinin ortalamasının 500 TEP ve üzeri olan ve enerji yoğunluğunu üç yıl içerisinde en az %10 oranında azaltmayı taahhüt ederek Bakanlık ile gönüllü anlaşma yapmak isteyen endüstriyel işletmeler için uygulanan bir destek yöntemidir. ETKB'nin 2020 yılında yayınladığı Enerji Verimliliği Destekleri Hakkında Uygulama Usul ve Esasları'na göre, anlaşma dönemi sonunda hedeflenen enerji yoğunluğuna ulaşan işletmelere, anlaşmanın yapıldığı yıla ait enerji giderinin %30'u oranında (bir milyon TL'yi aşmayacak şekilde) destek ödemesi yapılmaktadır [150] (Madde 17, ç bendi).

ETKB'nin yürüttüğü destek programlarında, proje etütleri, teknik danışmanlık ve başvuru süreçlerinde enerji verimliliği danışmanlık şirketleri (EVD) görev almaktadır. EVD'ler, 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'nda *"...enerji verimliliği hizmetlerini yürütmek üzere yetki belgesi verilen enerji verimliliği danışmanlık şirketleri*" olarak tanımlanan ve kanunda 'Şirket' olarak adı geçen firmalardır [100]. Eylül 2023 itibariyle bakanlık tarafından yetkilendirilmiş 56 adet enerji verimliliği danışmanlık şirketi (EVD) bulunmakta olup, bunların 22 tanesi sadece bina sektöründe, 11 tanesi sadece sanayi sektöründe, 23 tanesi ise hem bina hem de sanayi sektöründe etüt-proje danışmanlık hizmeti vermektedir (Şekil 2.23) [154].



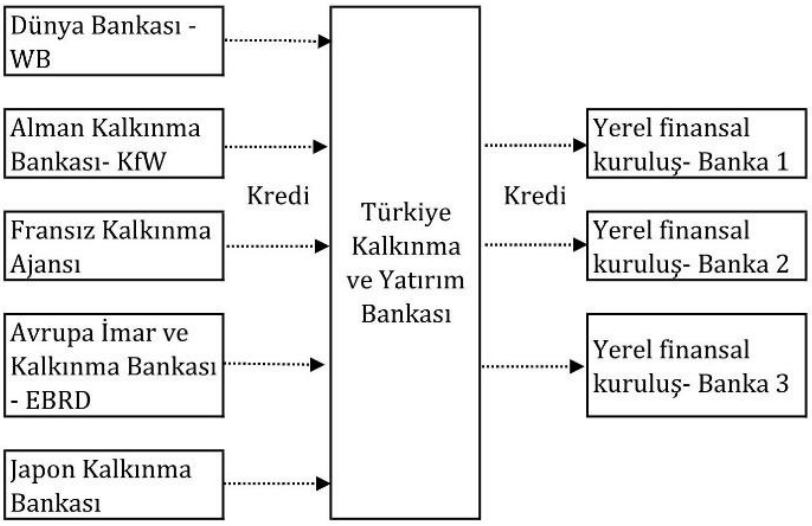
Şekil 2.23 : EVD şirketlerinin etüt-proje danışmanlık hizmeti verdikleri sektörlerin dağılımı.

Bakanlığın destek programları haricinde, Türkiye'de Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası tarafından geliştirilen ve AB ile Temiz Teknoloji Fonu tarafından desteklenen finansman programları mevcuttur. Yeşil Ekonomi Finansman Programı (GEFF), yerel finans kuruluşları üzerinden finansman sağlayarak yatırımcıların yüksek performanslı teknolojilere erişebilmesini hedeflemektedir. Bu modeli takip eden Türkiye Konutlarda Enerji Verimliliği Finansman Programı (TuREEFF), 2015- 2021 yılları arasında yürütülmüş olup, yaklaşık 50.000 hanede (konut) enerji verimliliği yatırımlarına yönelik finansman desteği sağlamıştır. Türkiye Sürdürülebilir Enerji Finansman Programı (TurSEFF) ise, kamu ve özel sektördeki EV yatırımlarını karşılamak üzere oluşturulmuştur [155]. TURSEFF'in genel işleyişi Şekil 2.24'te verilmektedir:



Şekil 2.24 : TURSEFF işleyişi [140].

Türkiye'de EV projelerine yönelik fonlamalar, uluslararası finans kuruluşlarının vermiş olduğu imtiyazlı krediler ile de sağlanmakta olup genellikle Türkiye Kalkınma ve Yatırım Bankası üzerinden yerel finans kuruluşlarına aktarılmaktadır (Şekil 2.25).



Şekil 2.25 : Kredi aktarım süreci.

Sektörde hizmet veren yerel finans kuruluşlarının konut binalarının enerji verimliliği özelinde vermekte olduğu kredi paketleri incelendiğinde, desteklerin yalıtım, enerji verimli beyaz eşya ve aydınlatma ile güneş enerjisi başlıklarında toplandığı görülmektedir. Halihazırda bankalar tarafından verilmekte olan krediler Çizelge 2.6'da özetlenmiştir:

Çizelge 2.6 : Türkiye'de binalarda enerji verimliliğine yönelik bankaların sunduğu kredi paketleri.

Banka Adı	Enerji Verimliliği Paketi	İçerik
Şekerbank	EKOkredi [156]	Yalıtım Kredisi (dış duvar,çatı, pencere, kapı), verimli ısıtma/soğutma kredisi, A sınıfı elektrikli cihazlar kredisi, verimli aydınlatma kredisi, güneş enerjisi kredisi seçenekleri. Apartman EKOkredi için 60 ay, bireysel EKOkredi için 36 ay vadeli, % 0 faiz (12 ay vade).
Garanti Bankası	Yeşil Mortgage [157]	EKB sınıfı A veya B olan konut binaları faydalanabilmektedir.
	Güneş Enerjisi Kredisi [158]	Güneş enerjisi tesis kurulumu ile 1 MW ve altındaki lisanssız elektrik üretimi projeleri için finansman desteği sunmaktadır.
Ziraat Bankası	Bireysel Enerji Verimliliği Kredisi [159]	Yalıtımlı pencere doğrama sistemleri, kapı, çatı sistemleri, dış cephe mantolama, ısı ses su yangın yalıtımı, A sınıfı beyaz eşyalar, doğalgaz dönüşüm sistemleri, verimli aydınlatma sistemleri, güneş enerjisi ile ısıtma ve sıcak su sağlayan sistemler için. 50.000 TL'ye kadar 36 ay vade 50.000-100.000 TL arası 24 ay 100.000 TL üzeri için 12 ay vade imkanı.
Halkbank	Enerji Destek Kredisi [160]	A+ ve üstü sınıflı beyaz eşyalar, yalıtımlı pencere doğrama sistemleri, kapı, çatı sistemleri, dış cephe mantolama, ısı ses su yangın yalıtımı, verimli aydınlatma sistemleri, güneş enerjisi ile ısıtma ve sıcak su sağlayan sistemler. 50.000 TL'ye kadar 36 ay vade 50.000-100.000 TL arası 24 ay 100.000 TL üzeri için 12 ay vade imkanı.
Vakıfbank	Yeşil Konut Kredisi [161]	Enerji sınıfı A ve B olan binalar yararlanabilmekte. 36-120 ay arası vade imkanı.
QNB Finansbank	Çevre Dostu Konut Kredisi [162]	Enerji sınıfı A ve B olan binalar yararlanabilmekte. İndirimli faiz oranı, %50indirimli kredi tahsis ücreti ve 180 ay vade imkanı sunmaktadır.
Yapı Kredi	Doğa Dostu Mortgage [163]	Enerji sınıfı A ve B olan binalar yararlanabilmekte. %50 indirimli kredi tahsis ücreti ve 120 ay vade imkanı sunmaktadır.

Binalarda enerji verimliliğine yönelik verilen kredilerin, son kullanıcı ya da mülk sahibi üzerine yüklendiği ve herhangi bir devlet teşviki ya da hibe ile desteklenmediği durumlarda yatırımın finanse edilmesi zorlaşmaktadır. Türkiye'de, Avrupa Birliği'ndeki gibi bir major yenileme dalgasının *(renovation wave)* hayata geçirilebilmesi için, özellikle mevcut bina stokunun büyük bir bölümünü oluşturan konut binalarında, devlet destekli teşvik mekanizmalarının çeşitlendirilmesi ve arttırılması gerekmektedir.

İMSAD'ın 2010-2012 yılları arasında AB projesi kapsamında yürütmüş olduğu 'EUbuild EE- AB Mevzuatı Çerçevesinde Binalarda Enerji Verimliliği Finansmanı ve Hukuki Düzenlemeler ile İlgili Sektörlerararası İşbirliği Projesi' başlıklı projenin raporuna göre, binalarda yapılacak enerji performans iyileştirmeleri ile yıllık 12-15 milyar dolar tasarruf sağlanabilmekte; cari açık %20 mertebesinde azaltılabilmekte ve dolayısıyla dışa bağımlılık %30 oranında azaltılabilmektedir [164].

2021 yılının Mayıs ayında gerçekleştirilen 'Binaların Yeşil Dönüşümünün Finansmanı' isimli panelde ele alınan konulardan bazıları aşağıda özetlenmiştir:

- Türkiye'deki enerji verimliliği mevzuatı çerçevesinde, kredilendirmeler halihazırda binaların enerji kimlik belgesindeki enerji sınıfına göre belirlenmekte [165] ve mevzuatın dışına çıkılamamaktadır.
- Binaların enerji kimlik belgesindeki enerji sınıfının ise yıllar içerisinde değişip değişmediğine ilişkin takip ve denetimin yetersiz olduğu dile getirilmiştir.
- Konut binalarında planlanan enerji performans iyileştirmeleri sonucunda oluşacak tasarrufların değerlendirilmesi için yatırımcı ve yerel finans kuruluşu haricinde ESCO ya da EVD gibi üçüncü bir tarafın devreye girmediği, ve performansa dayalı bir sözleşme imzalanmadığı belirtilmiştir. Ödemelerin tasarruflarla yapılması esasına dayanan EPS modelinin henüz yeterince yaygınlaşamadığı, bunun için mevzuat altyapısının gelişmediği aktarılmıştır.

Dünyada enerji verimliliğine yönelik finansman mekanizmalarına ek olarak uygulanan piyasa temelli politika mekanizması araçlarından biri olan ve bir önceki bölümde detaylı olarak açıklanan Enerji Verimliliği Yükümlülük Sistemi (EVYS), Türkiye'de henüz uygulamaya geçmemiştir. Ancak, 2018 yılında yayımlanan Ulusal Eylem Planı'nda 'Eylem Y11: Enerji Dağıtım ve Perakende Şirketlerine Yönelik Yükümlülük Programı' başlığı altında EVYS mekanizmasından bahsedilmekte olup 2020- 2022 yılları arasında yükümlülük programı uygulamasına geçileceği belirtilmiştir [3].

Benzer şekilde, 2005 yılında imzalanan ve 'fazla karbon üretenden fazla vergi alınması' gibi vergi sistemlerinin oluşturulmasını hedefleyen Kyoto Protokolü'ne 2009 yılında taraf olan Türkiye'nin, fosil yakıtlar üzerinden uygulanan bir vergilendirme sistemi bulunmamaktadır [145]. Ancak 2021 yılında Avrupa Komisyonu'nun yayımladığı taslakta açıklanan Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması *(Carbon Border Adjustment Mechanism-CBAM)* ile, yüksek karbon kaçağı riski olan beş üründe (çimento, demir-çelik, alüminyum, gübre ve elektrik) vergilendirme sistemini 2023 itibarıyla kademeli olarak hayata geçireceği belirtilmiştir [166]. Bu kapsamda Türkiye'nin 2021 yılında hazırlamış olduğu Yeşil Mutabakat Eylem Planı'nda, AB ile yapılan ticaretin sekteye uğramaması için, bu düzenlemeye ilişkin çalışmaların takip edilmesi, özellikle enerji yoğun ve kaynak yoğun sektörlerden başlanarak mekanizmanın AB tarafından belirlenecek metodoloji ve standartlar çerçevesinde nasıl uygulanabileceğine yönelik araştırma yapılması ve raporlar ile desteklenerek eylem planlarının oluşturulması hedeflenmektedir [167].

2.7 Bölüm Sonu Değerlendirmesi

İkinci bölümde, sıfır enerjili binalara yönelik kavram tanımlamaları, nSEB dengeleme hesap yöntemleri, ulusal ve uluslararası literatürde enerji verimliliği ile ilgili yasal mevzuat ve yürürlükte olan finansal destek sistemlerine yer verilmiştir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda, sıfır enerjili binaların tarihsel süreç içerisinde literatüre giren pek çok tanımla örtüştüğü görülmüştür. 1970'lerdeki petrol krizi sonrasında ortaya çıkan düşük enerjili bina kavramı, binalardaki enerji performans beklentisinin yükselmesi ile birlikte süper yalıtımlı bina, pasif bina, neredeyse sıfır enerjili bina (nSEB), net sıfır enerjili bina (NSEB) ve pozitif enerjili binalara evrilmiştir. Günümüzde ülkeler, bina stoklarını öncelikli olarak nSEB seviyesine çıkarmayı hedeflemekte ve bu kapsamda çalışmalar yürütmektedir.

Uluslararası literatürde ağırlıklı olarak Avrupa Birliği'nin enerji verimliliği konusundaki çalışmalara yön verdiği görülmektedir. AB'nin enerji verimliliği yol haritasında, ülke hedeflerinin belirlenmesi, konuyla ilgili strateji ve eylem planlarının hazırlanması, eylemlere yönelik mevzuat altyapısının oluşturulması, bu uygulamaların çeşitli finansal araçlarla desteklenmesi ve pazar dönüşümünün sağlanması şeklinde bir işleyiş görülmektedir [4] (Şekil 2.26).

Şekil 2.26 : Avrupa Birliği ülkelerinin enerji verimliliği konusundaki genel işleyişi.

Türkiye'de de benzer bir işleyiş görülmekle birlikte, mevzuat altyapısında ve finansal araçlardaki eksiklik ya da engellerden dolayı binalarda enerji verimliliği uygulamaları hedeflenen seviyelere ulaşamamaktadır. nSEB tanımının AB direktifinden 12 yıl sonra (2022) ulusal mevzuata girmesi, bu durumu destekler niteliktedir. Buna ilave olarak güncel mevzuat, nSEB tanımını yeni inşa edilecek binalarla sınırlı tutmakta ve mevcut binaların nSEB'e dönüştürülmesine ilişkin bir hedef içermemektedir. Dolayısıyla, Avrupa Birliği'ndeki gibi bir yenileme dalgasının *(renovation wave)* Türkiye'de hayata geçirilebilmesi için mevzuattaki eksikliklerin ivedilikle giderilmesi gerekmektedir.

Türkiye'de enerji verimlililiğine yönelik yürürlükte olan finansal araçlar incelendiğinde, desteklerin daha çok enerji yoğun sektördeki endüstriyel işletmelere

yönelik olduğu; binalar ve hizmet sektörünün ise 2021 yılında yapılan mevzuat değişikliği ile VAP desteklerine dahil edildiği görülmektedir. Ancak burada tanımlanan binalar da halihazırda ticari (alışveriş merkezi ve oteller) ve hizmet binalarını (hastane) kapsamaktadır.

Konut binalarının enerji verimliliği iyileştirmelerine yönelik teşvik uygulamalarına 2022 yılı itibariyle başlanmıştır. 'Konutlarda Isı Yalıtım Kredi Paketi' desteği, daire başına 50.000 TL'ye kadar 60 ay vadeli %0,99 faiz oranı ile uygulanmaktadır [168]. Mevcut binalarda pencere doğrama sistemleri, kapı ve çatı sistemleri ile dış cephe mantolama ve konutun zemin, duvar ve tavanın ısı, su, ses ve/veya yangın yalıtımını kapsayan destek uygulaması, ülkede yapılacak enerji verimliliği yatırımları için olumlu bir gelişme olmakla birlikte, mevcut bina stokunun nSEB'e yaklaştırılması sürecinde yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda, mevcut ısıtma-soğutma sistemlerinin enerji verimli dönüşümü ve binada yenilenebilir enerji entegrasyonları gibi daha kapsamlı enerji verimliliği uygulamaları için, vergi indirimi/ muafiyet modeli ile sübvansiyonlar vb. çeşitli finansal araçların AB ülkelerinde olduğu gibi devlet desteği ile uygulanması, yatırımcı ve son kullanıcılara yönelik finansal yükün paylaşılarak daha teşvik edici olması gerekmektedir.

Dünyada öne çıkan EV örnekleri incelendiğinde, projelerin finanse edilmesi sürecinde ESCO'ların aktif rol üstlendiği görülmektedir. ESCO'lar, hem proje ihtiyaçlarının tespiti ve projelendirilmesinde hem de enerji performans sözleşmeleri (EPS) ile enerji verimliliği projelerinin finansmanında hizmet veren teknik ve mali uzmanlardan oluşmuş firmalardır [169]. Türkiye'de EV Kanunu'nda 'Şirket' olarak tanımlanan ve aslında ESCO konsepti ile ortaya çıkmış olan EVD'ler ise, mevzuatta enerji verimlilik hizmetlerini yürütmek üzere yetki ve sorumlulukları tanımlanan kuruluşlardır [100]. EVD'ler halihazırda VAP ve diğer türdeki projelere etüt ve danışmanlık hizmeti vermektedir.

2017 yılında yayımlanan 'ESCO Gelişim Yol Haritası' raporunda, EVD'lerin ESCO tipi hizmetleri sunmak için yeterli donanıma ve tecrübeli uzman personele sahip olmadığı, uygulama ve finansal altyapı anlamında kısıtlı oldukları belirtilmiştir. Raporda, bu kapsamda belirlenen kısa, orta ve uzun vadeli eylemler Ek B'de özetlenmiştir [138].

Türkiye'de ESCO'ların oluşamamasının önündeki en büyük dört engel; enflasyon oranı, döviz kuru, kredi faizleri ve enerji fiyatları olarak belirtilmektedir [169]. Bu dört değişkenin uzun vadede tahmin edilemez oluşu süreçte tıkanıklığa sebep olmaktadır. EYODER tarafından yürütülen 'FACILITEE' isimli proje kapsamında 2022 yılında yayımlanan 'ESCO ve EPS Sektörü Politika Öneri Raporu'nda bu çerçevede detaylı bir boşluk analizi yapılmış ve analiz çıktıları doğrultusunda öneriler geliştirilmiştir [170].

Son olarak, ağırlıklı olarak ESCO'ların hizmet kapsamında bulunan Enerji Performans Sözleşmeleri (EPS)'nin Türkiye'deki mevcut durumda kamu binaları haricinde kullanımı bulunmamaktadır. Ancak ilerleyen yıllarda mevzuatın diğer bina tiplerini de kapsayacak şekilde güncellenmesi ve bu kapsamda EVD şirketlerinin daha aktif rol alması beklenmektedir.

3. TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT KONUT BİNALARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ İYİLEŞTİRMELERİ İÇİN DURUM ÇALIŞMASI

Türkiye'de mevcut konut binalarındaki enerji verimliliği uygulamalarına yönelik bir çalışma yürütülebilmesi için, öncelikle binaların mevcut durumdaki enerji performansının doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu kapsamda, Avrupa Bina Performansı Enstitüsü'nün (BPIE) 2010 yılında yayımlamış olduğu raporda, bina enerji performans gereksinimleri için maliyet-optimum seviyelerin belirlenmesi sürecinde kullanılabilecek bir işleyiş şeması önerilmiştir [171]. Bu işleyişe uygun olarak, ilk adımda mevcut bina stokunun fiziksel, iklimsel ve karakteristik özelliklerini büyük oranda temsil eden bir referans bina oluşturulmuştur (Bölüm 3.1). Detaylı bir veri toplama sürecinin ardından, referans bina *DesignBuilder* programında modellenmiş ve gerekli veri girişleri yapılmıştır. İkinci adımda, referans binanın mevcut durumdaki enerji performansı nihai ve birincil enerji tüketimi cinsinden hesaplanmıştır. Bu aşamada, bina enerji simülasyon programı olarak *EnergyPlus* yazılımından yararlanılmıştır. Üçüncü adımda, referans binanın enerji performansını iyileştirmeye yönelik enerji verimliliği önlemleri ve önlem paketleri belirlenmiştir. Bu kapsamda, ağırlıklı olarak güncel literatürden faydalanılmış ve önlemler Bölüm 3.3'te detaylı olarak aktarılmıştır. Dördüncü adımda, her bir enerji verimliliği önleminin birincil enerji cinsinden tüketim değerleri hesaplanmıştır (Bölüm 3.4). Beşinci adımda, enerji verimliliği önlemlerinin finansal performanslarının değerlendirilebilmesi için küresel maliyet analizleri yapılmış ve her biri referans bina ile karşılaştırılmıştır (Bölüm 3.5). Bu kapsamda, ağırlıklı olarak Bina Enerji Performans Direktifi'nde belirtilen maliyet-optimum seviyelerin belirlenme metodolojileri ile BS EN 15459 standardından yararlanılmıştır.

Bu çalışmada her bir enerji verimliliği önlemi, enerji etkinlik, ilk yatırım maliyeti, yıllık enerji maliyeti ve küresel maliyet açısından değerlendirilmiş ve 4. Bölüm'de kapsamlı olarak açıklanmıştır.

Çalışmada, Avrupa Bina Performansı Enstitüsü'nün yayınlamış olduğu rapordan [171] uyarlanarak oluşturulan işleyiş şeması Şekil 3.1'de aktarılmaktadır:

Şekil 3.1 : Çalışmanın işleyiş şeması.

3.1 Türkiye'deki Mevcut Konut Stokunu Temsil Eden Referans Binanın Oluşturulması

Türkiye'deki mevcut bina stokunun enerji performans ve maliyet analizlerinin yapılabilmesi ve maliyet- optimum seviyelerin belirlenebilmesi için çalışma evrenini oluşturan 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı almış olan binaların fiziksel, iklimsel ve karakteristik özelliklerini büyük oranda temsil eden bir referans bina oluşturulmalıdır [2]. Avrupa Komisyonu'nun 2010 yılında yayımladığı Bina Enerji Performans Direktifi (EPBD Recast) kapsamında hazırlanan 19.04.2012 tarih ve C 115/1 sayılı tebliğde, referans binaların iki şekilde oluşturulabileceği açıklanmıştır [172]:

- Belirli bir kategoride en tipik binayı temsil eden gerçek bir örneğin seçimi (termofiziksel karakteristikleri, enerji kullanım payları vb. açıdan benzerlik)
- Her bir ilgili parametre için en yaygın kullanılan malzemeleri ve sistemleri içeren bir "sanal bina" oluşturulması.

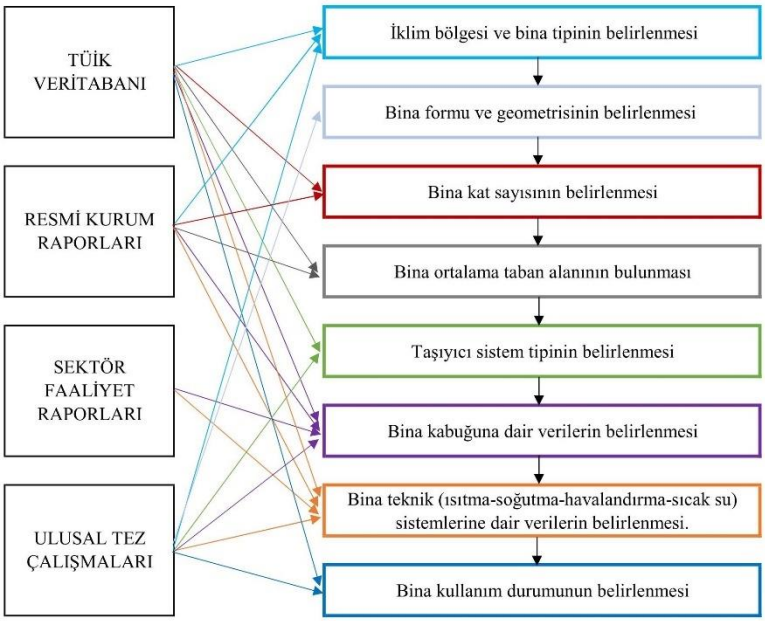
Avrupa'daki bina enerji değerlendirmelerinde kullanılabilecek tipoloji yaklaşımını araştıran TABULA projesinde ise, referans binaların oluşturulmasında üç farklı yöntem uygulanabileceği belirtilmiştir. [173,174].

1. Örnek (Referans) Bina Oluşturulması: İstatistiksel verilere ulaşılamadığı durumlarda kullanılan ve uzmanların araştırmalarına dayanan bir metodolojidir. Çeşitli kaynaklardan elde edilen bilgiler uzman görüşlerine dayandırılarak, belirlenen bir konum ve yaştaki bir grup bina arasından en olası bir binayı sağlamak için birleştirilir.
2. Gerçek (Referans) Bina Seçimi: Belirli kategorideki, istatistiksel analizler sonucu ortalama özelliklere sahip olan gerçek mevcut bir binadır. Binaya ilişkin kapsamlı bir bilgiye sahip olmayı gerektirmektedir.
3. Teorik (Referans Bina) Oluşturulması: Mevcut bina stokunda belirli bir kategoride bulunan özelliklerin istatistiksel verileri birleştirilerek, en yaygın kullanılan sistem ve malzemeleri tek bir bina özelinde tanımlanması suretiyle referans bina oluşturulur.

Bu çalışmada TABULA'daki 'teorik referans bina' metodolojisi seçilmiş olup gerçek binalara ilişkin malzeme ve sistemlerden en yaygın olanları bir araya getirilerek bir kombinasyon oluşturulmuştur. Çalışmanın evrenini Türkiye'nin 2. İklim bölgesinde bulunan İstanbul ilinde 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı almış konut binaları oluşturmaktadır. Referans binaya ilişkin veri toplama sürecinde ağırlıklı olarak aşağıdaki kaynaklardan yararlanılmıştır:

- TÜİK veritabanı [175].
- Resmi kurum raporları [4].
- Sektör faaliyet raporları [176-178].
- Ulusal tez çalışmaları.

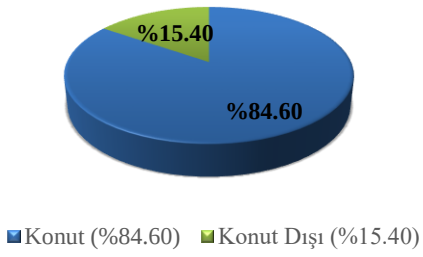
Referans bina oluşturma sürecinde izlenen adımlar, yararlanılan kaynakları ile birlikte Şekil 3.2'de aktarılmıştır:



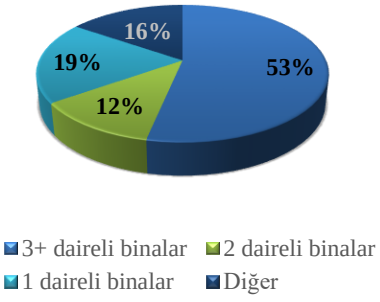
Şekil 3.2 : Referans binaya ilişkin veri toplama süreci.

3.1.1 Bina tipi ve iklim bölgesinin belirlenmesi

TÜİK veritabanında 2007-2019 yılları arasında Türkiye genelinde yapı ruhsatı almış binalar yıllara ve kullanım amacına göre sınıflandırıldığında, konutlar %84.60 oran ile birinci sıradadır. Konut binaları daire sayısına göre sınıflandırıldığında ise üç ve daha fazla daireli binaların (%53) ağırlıklı olduğu görülmektedir (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4) [175].



Şekil 3.3 : Binaların kullanım amacına göre sınıflandırılması.



Şekil 3.4 : Binaların daire sayısına göre sınıflandırılması.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2021 yılında yayımlamış olduğu *'Bina Sektörü Enerji Verimliliği Teknoloji Atlası'* isimli raporda, 2000 yılı Bina Sayımı istatistikleri, 2000-2001 ve 2002-2017 yılları arası yapı izin istatistikleri kullanılarak bina tiplerine göre mevcut bina stoku verileri aktarılmıştır. Hem mevcut hem de yeni bina stoku değerlendirildiğinde, 2. İklim bölgesinde bulunan çok haneli konut binalarının toplam bina stokunun neredeyse %50'sini oluşturduğu görülmektedir [176] (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 : Türkiye'deki 2000-2017 yılları arasındaki mevcut bina stokunun iklim bölgesine ve bina tipolojisine göre dağılımı [176].

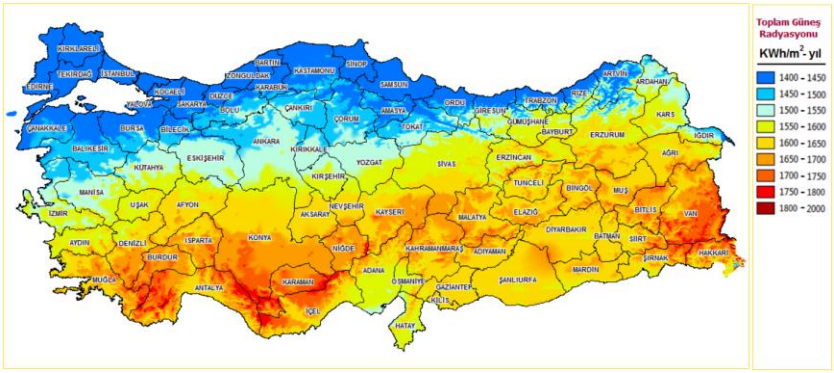
	Mevcut Bina				
	Tek Haneli Konut	**Çok Haneli Konut**	Ofis	Kamu	Diğer
1.İklim Bölgesi	1,156,277	224,549	78,160	10,154	92,287
2.İklim Bölgesi	2,131,329	**501,932**	148,931	23,789	191,390
3.İklim Bölgesi	1,179,912	232,566	86,491	17,802	149,409
4.İklim Bölgesi	418,630	55,436	45,941	6,407	51,332
Genel Toplam	4,886,148	**1,014,483**	359,523	58,152	484,418
	Yeni Bina				
	Tek Haneli Konut	Çok Haneli Konut	Ofis	Kamu	Diğer
1.İklim Bölgesi	89,672	87,279	3,103	2,297	20,049
2.İklim Bölgesi	122,851	214,766	6,624	4,968	36,685
3.İklim Bölgesi	71,385	100,948	3,527	3,912	20,502
4.İklim Bölgesi	16,767	19,718	995	751	13,422
Genel Toplam	300,675	422,711	14,249	11,928	90,658

Bu bağlamda, 2. İklim bölgesinde yapılacak bir iyileştirmenin genele daha hızlı yansıyacağı kabulü üzerinden, bu çalışma kapsamında 2. İklim bölgesi (İstanbul ili) üzerinde yer alan 3 ve daha fazla daireli konut binaları analiz edilmiştir.

İstanbul ili, Türkiye'nin ılıman-nemli iklim bölgesinde bulunmaktadır. Yıllık ortalama en yüksek sıcaklık 19.3°C, en düşük sıcaklık ise 11.9°C'dir. En yüksek sıcaklık Temmuz ve Ağustos aylarında sırasıyla 40.6 ve 40.1°C seviyelerinde iken, en düşük sıcaklık Ocak ve Şubat aylarında -6.8 ve -9.0°C olarak gözlemlenmiştir. Yıllık ısıtma-soğutma gün dereceleri *(heating- cooling degree days)* incelendiğinde ise, yıllık ortalama ısıtmaya ihtiyaç duyulan gün sayısı ($T \leq 15°C$) 113, soğutmaya ihtiyaç duyulan gün sayısı ($T > 22°C$) ise 75'tir [179]. Bu veriler, binanın ısıtma ve soğutma sezonunda ihtiyaç duyduğu enerji miktarının hesaplanması için önemlidir.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün hazırlamış olduğu Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'nda İstanbul ilinin yıllık 1400-1450 kWh/m^{2}yıl güneş radyasyonu aldığı görülmektedir (Şekil 3.5). Güneşlenme süreleri incelendiğinde ise İstanbul'da

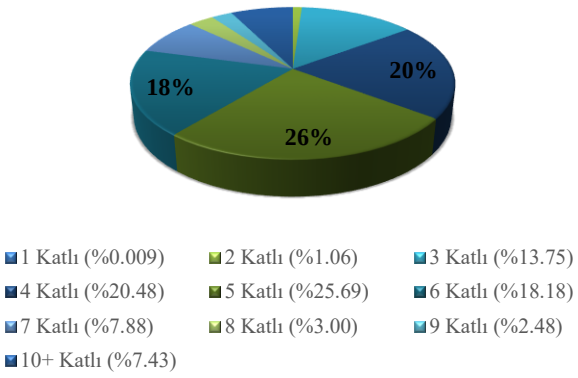
Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında sırasıyla 10.51 saat, 11.17 saat ve 10.14 saat güneşlenme süresi bulunduğu görülmektedir [180].



Şekil 3.5 : Türkiye'nin toplam güneş radyasyon haritası.

3.1.2 Bina kat sayısının belirlenmesi

İstanbul'da 2007-2019 yıllarında yapı ruhsatı almış üç ve daha fazla daireli konut binaları kat sayısına göre sınıflandırıldığında, 4 kat, 5 kat ve 6 katlı binaların yoğunlukta olduğu görülmektedir [38]. (Şekil 3.6). İstanbul'da son yıllarda ivme kazanan kentsel dönüşüm projeleri ile binaların kat sayılarında artış yaşansa da, istatistiklere yansımamıştır. Bu nedenle, çalışma kapsamında mevcut TÜİK verileri kabul edilmiştir.



Şekil 3.6 : 2007-2019 yıllarında yapı ruhsatı almış 3 ve daha fazla daireli konut binalarının kat sayısına göre sınıflandırılması.

3.1.3 Bina ortalama taban alanının bulunması

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın nSEB ile ilgili hazırlamış olduğu raporda, referans binaların ortalama taban alanı, toplam kullanım alanı bina sayısına ve ardından da kat yüksekliğine bölünerek hesaplanmıştır [4]. Buradan hareketle, çalışma kapsamında değerlendirilecek olan mevcut konut binalarının ortalama taban alanının hesaplanması sürecinde aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

1. TÜİK veritabanında 2007-2019 yılları için, 1.değişken ‘kullanım amacına göre’ , 2. değişken ‘kat sayısına göre’ sınıflandırması seçilmiştir (Çizelge 3.2).
2. Ortalama taban alanı hesaplanacak bina türü olarak 3 ve daha fazla daireli konut binaları seçilmiştir. Kat sayısı olarak 4 kat seçilmiştir. Daha sonra 5 ve 6 katlı binalar için de işlem tekrarlanmıştır.
3. Toplam yüzölçümü metrekare (m^2) olarak verilen değer toplam bina sayısına bölünmüştür. Bu değer, seçilen yıl için 4 kattan oluşan 3 ve daha fazla daireli bir konut binasının toplam yüzölçümünü vermektedir.
4. Bina katlarının yüzölçümleri eşit kabul edilerek, toplam bina alanı kat sayısına bölünmüştür. Bu değer, 4 kattan oluşan 3 ve daha fazla daireli bir konut binasının ortalama taban alanını vermektedir. 2019 yılı için yapılan hesaplama örnek olması açısından Çizelge 3.2’de verilmiştir.
5. İşlemler 2007 ve 2019 yılları arasındaki her yıl için tekrarlanmış ve ortalama bir taban alanı değeri bulunmuştur.

Çizelge 3.2 : 4 Katlı ve üç ve daha fazla daireli binaların yapı sayısı ve yüzölçümü, 2019 yılı [175].

			Toplam	Bir daireli binalar	İki daireli binalar	**Üç ve daha fazla daireli binalar**
2019	1 Katlı	A	10.471	5.188	97	1
		B	6.329.997	646.159	20.18	214
	2 Katlı	A	14.102	7.916	4.065	92
		B	5.400.440	1.561.203	1.055.399	45.978
	3 Katlı	A	9.219	2.818	1.668	3.479
		B	6.879.361	920.589	700.014	2.362.808
	4 Katlı	A	6.1	144	234	**5.018**
		B	7.617.944	74.005	158.068	**4.784.280**
	5 Katlı	A	6.36	29	28	5.608
		B	11.477.420	14.2	32.28	7.831.045
	6 Katlı	A	4.622		7	4.259
		B	10.414.619		9.041	8.264.011

A. Yapı sayısı B. Yüzölçüm (m^2)

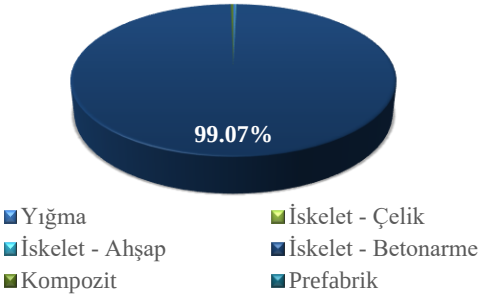
Son durumda, 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı almış 3 ve daha fazla daireli 4, 5 ve 6 katlı konutların ortalama taban alanları Çizelge 3.3’te verilmiştir. Referans bina 4 katlı kabul edilmiştir.

Çizelge 3.3 : 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı almış 3 ve daha fazla daireli 4, 5 ve 6 katlı konutların ortalama taban alanları.

Kat Sayısı	Ortalama Taban Alanı (m^2)
4 Kat	222.81
5 Kat	249.01
6 Kat	289.18

3.1.4 Taşıyıcı sistem tipinin belirlenmesi

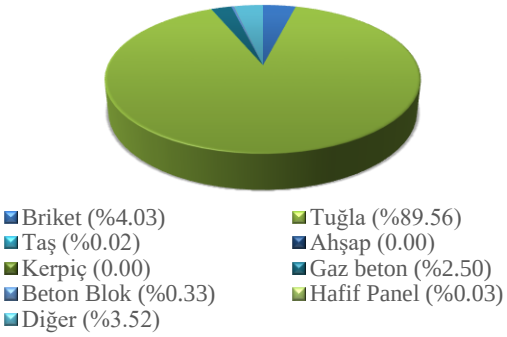
TÜİK veritabanında 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı almış üç veya daha fazla daireli konut binalarının taşıyıcı sistemleri incelendiğinde, binaların %99,07'sinin Betonarme sistem ile inşa edildiği görülmektedir (Şekil 3.7). Bu nedenle referans binanın taşıyıcı sistem tipi betonarme olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.7 : Binalarının taşıyıcı sistemine göre sınıflandırılması [175].

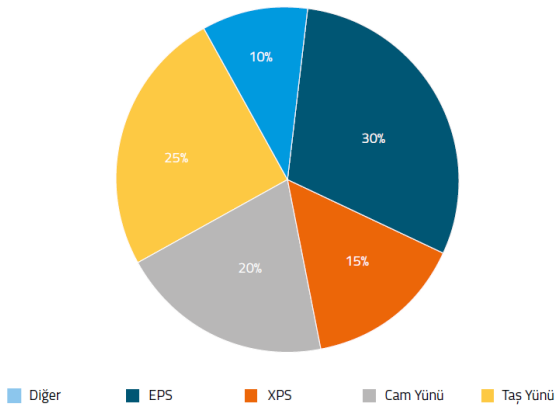
3.1.5 Bina kabuğuna dair verilerin belirlenmesi

TÜİK veritabanında 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı alan üç veya daha fazla daireli konut binalarının dış duvar dolgu malzemeleri incelendiğinde, en çok tercih edilen dolgu malzemesinin %89,56'lık bir oran ile tuğla olduğu görülmektedir (Şekil 3.8). Referans binada dış duvar düşey delili hafif tuğla (18,5 cm) olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.8 : 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı almış üç veya daha fazla daireli konutlarda kullanılan duvar dolgu malzemeleri [175].

TÜİK veritabanında binaların dış duvar ısı yalıtım malzemelerine ilişkin bir veri bulunmamaktadır. Türkiye iç pazardaki ısı yalıtım malzeme kullanımına ait en yakın resmi veri 2013 yılı olduğundan, raporda önemli üreticilerden biri olan İZOCAM firmasının 2019 yılı faaliyet raporu incelenmiştir [181]. Buna göre, yalıtım malzemesi olarak iç pazardaki talep tahmini olarak %30 EPS, %25 taş yünü, %20 cam yünü, %15 XPS ve %10 diğer malzemeler şeklindedir (Şekil 3.9). Rapora göre, gelecek yıllarda taş yünü ve XPS kullanımının daha da yaygınlaşacağı öngörülmektedir [176].



Şekil 3.9 : Türkiye iç pazardaki yalıtım malzemesi talebi [176].

XPS Isı Yalıtımı Sanayicileri Derneği'nin 'Bölgelere Göre Isı Yalıtım Kalınlık Değerleri Haritası'na göre, en çok satılan kalınlıklar mevcut yapı stokunun neredeyse %50'sini barındıran 2. iklim bolgesinde 5 cm, 1. İklim bolgesinde 4 cm, yine toplam bina stokunun %24'ünü barındıran 3. İklim bolgesinde 6 cm, son olarak bina stokunun %8'ini barındıran 4. İklim bolgesinde ise 8 cm'dir [178]. Bu veriler ışığında, referans binanın dış duvar yalıtım malzemesi olarak 5 cm kalınlığında EPS (yoğunluk: 20 kg/m^3) seçilmiş ve ısıl iletkenlik hesap değerleri TS 825 standardından alınmıştır.

Binalarda kullanılan pencere ve cam sistemleri ile ilgili olarak TÜİK veritabanında bir veriye ulaşılamamıştır. Bu nedenle, ilgili sektördeki derneklerden olan Pencere ve Kapı Sektörü Derneği'nin (PÜKAD) 2017 yılı verileri kullanılmıştır. Buna göre; konut üretiminde pencerelerin yaklaşık %94'ü PVC, %5'i Aluminyum, %1'i ise ahşap vb. malzemelerdendir. Pencere camı olarak üretilen camların %95'i çift cam, %4'ü tek cam, %1 ise üç camlı sistemlerdir [177]. Bu veriler ışığında, çalışma kapsamındaki referans binada standart çift camlı PVC pencere sistemi olduğu kabul edilmiştir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın nSEB ile ilgili hazırlamış olduğu raporda, Türkiye'de bina tipolojilerinin ortalama özelliklerinde apartmanlar için belirlenen pencere/duvar oranı %15 olarak verilmiştir [4]. Son dönemde inşa edilen konut binalarına bakıldığında, bu oranın düşük kaldığı düşünülmektedir; ancak TÜİK veritabanında pencere- duvar oranlarına ilişkin bir veri bulunmamaktadır. Bu nedenle, referans binada pencere/duvar oranı %15 olarak kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında 2007 yılı ve sonrasında yapı ruhsatı almış binalar seçildiği için, diğer tüm yapı kabuğu değerleri TS825 standardından alınmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 : TS825 standardında bölgelere göre yapı kabuğu U değerleri [104].

	UD (W/m^2K)	UT (W/m^2K)	Ut (W/m^2K)	UP (W/m^2K)
1. Bölge	0.66	0.43	0.66	1.8
2. Bölge	0.57	0.38	0.57	1.8
3. Bölge	0.48	0.28	0.43	1.8
4. Bölge	0.38	0.23	0.38	1.8
5. Bölge	0.36	0.21	0.36	1.8

U_D: Dış duvar, U_T: Tavan/çatı, U_t: Tabana oturan döşeme, U_P: Pencere

3.1.6 Bina iklimlendirme sistemlerine dair verilerin belirlenmesi

Referans binadaki ısıtma sisteminin belirlenmesi amacıyla 'İMSAD 2018 Yapı Sektörü Raporu' incelenmiştir. Rapora göre, kombi ve kazan sektöründe pazarın büyük bir bölümünü (%90) bireysel kombi oluşturmaktadır [182]. Referans binaya ilişkin soğutma sisteminin belirlenmesi için yapılan incelemede ise, 'Bina Sektörü Enerji Verimliliği Teknoloji Atlası' raporunda resmi veri olmadığı; ancak split klimalarda en büyük pazarı konut sektörünün oluşturduğu belirtilmektedir [176].

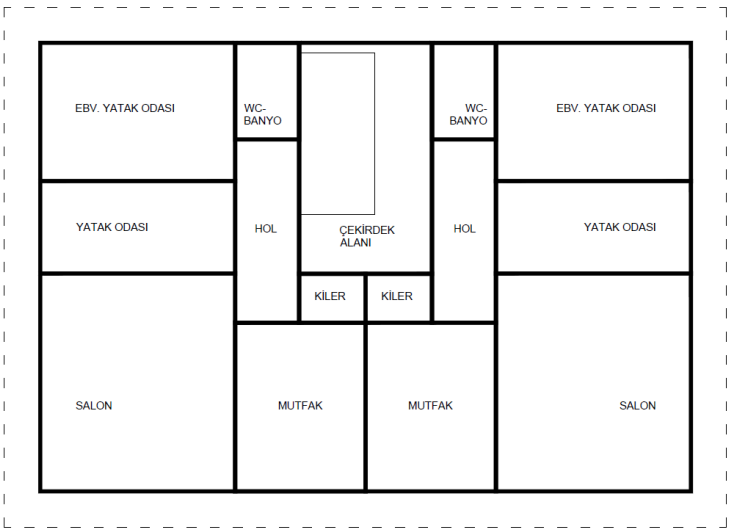
Referans binada ısıtma ve sıcak su sistemi olarak bireysel kombi, soğutma sistemi olarak da split klima seçilmiştir. Binanın doğal yollarla havalandırıldığı ve yenilenebilir enerji kullanımı olmadığı kabul edilmiştir.

3.1.7 Bina kullanım durumunun belirlenmesi

Referans binanın her katında iki daire olduğu varsayılmış ve hane halkı sayısı üç (3) olarak kabul edilmiştir [183]. Buna göre, toplamda 8 dairesi bulunan referans binada her katta 6 kişi, toplamda ise 24 kişi yaşamaktadır. Daire alanları 100 m^2 ve çekirdek alanı 23 m^2 olan tip bir kat planı kurgulanmıştır (Şekil 3.10). Her bir dairede 1 adet salon, 1 adet mutfak, 1 adet wc-banyo, 1 adet yatak odası, 1 adet çocuk odası ve 1 adet kiler bulunmaktadır (Çizelge 3.5). Bodrum kat ise, bina ortak alanlarının olduğu şartlandırılmayan *(unconditioned)* bir kat olarak düşünülmüştür.

Çizelge 3.5 : Referans binada her bir dairede bulunan mekanlara ilişkin bilgiler.

Mahal adı	Alan (m^2)
Salon	32.40
Yatak Odası 1	14.01
Yatak Odası 2 (çocuk)	19.42
Hol	9.15
Banyo	4.68
Kiler	2.33
Mutfak	16.91



Şekil 3.10 : Referans binanın tip kat planı.

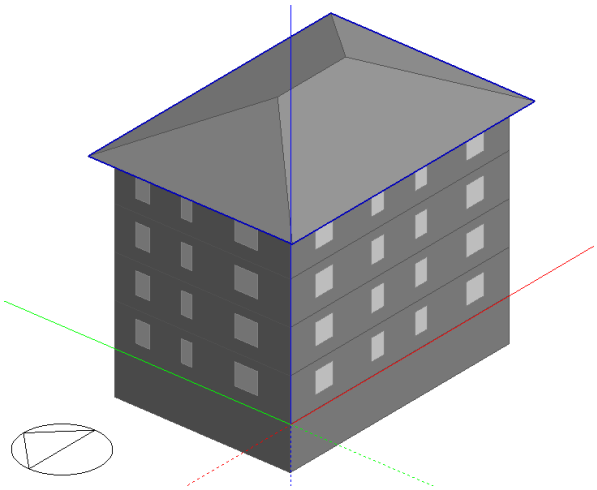
Çalışma kapsamında oluşturulan referans binaya ilişkin veriler Çizelge 3.6'da özetlenmektedir.

Çizelge 3.6 : Referans binaya ilişkin veriler.

Parametre	Veri Açıklama
İklim bölgesi	2.İklim bölgesi
Bina tipi	Konut (mevcut)
Kat sayısı	4
Ort. Taban alanı	223 m^2
Taşıyıcı sistem tipi	Betonarme Sistem
Dış duvar dolgu malzemesi	Tuğla duvar 18,5cm
Dış duvar yalıtım malzemesi	EPS yalıtım 5cm (20kg/m^3)
Pencere sistemi	PVC
Cam sistemi	Standart çift cam (4mm + 6mm hava+ 4mm)
Pencere/cephe oranı (WWR)	%15
Isıtma sistemi	Bireysel yoğuşmalı kombi
Soğutma sistemi	Split klima
Sıcak su sistemi	Bireysel yoğuşmalı kombi
Havalandırma sistemi	Doğal havalandırma
Yenilenebilir Enerji Kullanımı	Yok

3.2 Referans Binanın Mevcut Durumdaki Enerji Performansının Belirlenmesi

Referans binaya ilişkin veri toplama süreci tamamlandıktan sonra *DesignBuilder (DB)* programı üzerinde veri girişleri yapılmıştır. Bina, 223 m^2 dikdörtgen taban oturumlu, 1 bodrum ve 4 normal kattan oluşan blok nizamda bir binadır (Şekil 3.11). Toplam inşaat alanı 933,89 m^2, şartlandırılan alan *(conditioned area)* ise 690,77 m^2'dir.



Şekil 3.11 : Referans binanın DesignBuilder modeli.

Referans binanın enerji tüketiminin hesaplanabilmesi için programda girilmesi gereken veri sekmeleri aşağıda aktarılmaktadır:

1. Aktivite sekmesi *(Activity tab)*
2. Yapım sekmesi *(Construction tab)*
3. Açıklıklar sekmesi *(Openings tab)*
4. Aydınlatma sekmesi *(Lighting tab)*
5. HVAC sekmesi *(HVAC tab)*

3.2.1 Aktivite sekmesi *(Activity tab)*

Bu sekmede referans binaya ilişkin bina tipi, kullanım yoğunluğu, ısıtma-soğutma sıcaklık ayar noktası gibi veri girişleri yapılmaktadır.

- Kullanım yoğunluğu *(occupancy density)*

Bu sekmede, birim taban alanı başına düşen kişi sayısı verisi girilmektedir. Her bir dairede 3 kişi (katta 6 kişi) yaşadığının kabulü üzerinden yapılan hesaplamada, kullanım yoğunluğu 0.0269 kişi/m^2 olarak belirlenmiştir.

- Bina kullanım çizelgesi *(schedule)*

Referans binanın kullanım çizelgesini belirleyebilmek için hane halkı üzerinden bir senaryo oluşturulmuştur. Buna göre, referans binada her dairede 2 ebeveyn ve 1 çocuk yaşamaktadır. Bir ebeveynin çalıştığı, çocuğun ise okul çağında olduğu varsayılmıştır. Bu kabul üzerinden, binanın hafta içi ve hafta sonu kullanım durumu Çizelge 3.7'de verilmektedir:

Çizelge 3.7 : Binanın hafta içi ve hafta sonu kullanım durumu.

	Saat	Kişi Sayısı	Doluluk Seviyesi
Hafta içi günler (Pt, S, Ç, P, C)	00:00 – 07:00	3	1,00
	08:00	2	0,66
	09:00 -15:00	1	0,33
	18:00	2	0,66
	21:00 – 00.00	3	1,00
Hafta sonu günler (Ct, Pz)	00:00 – 08:00	3	1,00
	09:00 - 12:00	3	1,00
	12:00 – 15:00	0	0,00
	17:00 – 18:00	2	0,66
	19:00 – 21.00	3	1,00
	21:00 - 00:00	3	1,00

- Sıcak su tüketim oranı *(DHW consumption rate)*

TÜİK Belediye Su İstatistikleri'ne göre İstanbul'da kişi başı günlük ortalama su tüketim miktarı 190 lt.'dir [184]. Su Araştırması Vakfı'nın (Water Research Foundation) 2016 yılında yayımladığı raporda, evlerde kullanılan suyun yaklaşık %24'ünün tuvaletlerde, %16'sının çamaşır makinelerinde, %20'sinin duşlarda, %20'sinin musluklarda, %3'ünün banyo küvetlerinde ve %3'ünün diğer alanlarda kullanıldığı; %13'lük bir kısmının da tesisat sızıntılarından dolayı kaybedildiği belirtilmiştir [185]. Rapora göre, evlerde günlük bazda tüketilen suyun yaklaşık %40'ı sıcak sudur. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın verilerinden derlenen bilgiye göre ise konutlarda kullanılan suyun, %35'i banyoda, %30'u tuvalette, %20'si çamaşır ve bulaşık yıkamada, %10'u yemek pişirme ve içme suyu olarak, %5'i ise temizlik amacı ile kullanılmaktadır [186]. Bu veriye göre sıcak su kullanımı yaklaşık %55 oranındadır.

Çalışma kapsamında referans binada kullanılan suyun %50'sinin sıcak su olduğu kabul edilmiştir. Sıcak su tüketim oranı denklem 3.1 ile hesaplanmaktadır:

$$\frac{l}{kişi.g\ddot{u}n} \, x \, \frac{kişi}{m^2} = \frac{l}{m^2.g\ddot{u}n} \tag{3.1}$$

l/kişi.gün , bir kişinin günlük sıcak su tüketim miktarını, kişi/m^2 ise kullanım yoğunluğunu ifade etmektedir. Bu değerlerin çarpılması durumunda günlük sıcak su tüketim oranı bulunabilmektedir [187]. Yapılan hesaplamada kişi başına düşen günlük sıcak su tüketim oranı 2.55 l/m^2-gün olarak hesaplanmıştır.

- Isıtma-soğutma sıcaklık ayar/gerileme noktası *(heating-cooling set/ set-back point)*

Bu sekmede, binanın ısıtma ve soğutma dönemlerinde kullanılacak sıcaklık ayarları girilmektedir. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ne göre konut binalarında iç konfor koşullarının sağlanması için gereken minimum sıcaklık 20°C, maksimum sıcaklık ise 26°C'dir [188]. Gerileme ayar noktasının belirlenmesinde ise literatürden faydalanılmıştır. Binada havalandırmanın doğal yollardan sağlandığı kabul edilmiş olup minimum iç mekan sıcaklığı 24°C olarak seçilmiştir. İç mekan sıcaklığı 24°C'nin üzerine çıktığında doğal havalandırmanın devreye girdiği – pencerelerin açıldığı kabul edilmektedir. Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine ilişkin veriler Çizelge 3.8'de verilmektedir:

Çizelge 3.8 : Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri için girilen sıcaklık verileri.

	Sıcaklık ayar noktası *(Setpoint temperature)*	Sıcaklık gerileme noktası *(Set-back temperature)*
Isıtma *(Heating)*	20°C	17°C
Soğutma *(Cooling)*	26°C	28°C
Havalandırma minimum iç mekan sıcaklığı *(Vent.min. indoor temp.)*	24°C	-

3.2.2 Yapım sekmesi (Construction tab)

Bu sekmede, referans binanın duvar, döşeme, çatı gibi bileşenlerinin detayları verilmektedir. Referans binanın 2. İklim bölgesinde (İstanbul) yer aldığı ve 2007 sonrası yapı ruhsatı aldığı kabul edildiğinden, TS 825 standardında belirtilen ısıl geçirgenlik değerlerini sağladığı varsayılmıştır. Referans binadaki bileşenlere ilişkin katmanlaşma ise Çizelge 3.9'da verilmektedir:

Çizelge 3.9 : Referans binadaki yapı bileşenlerine ilişkin katmanlaşma.

	Bina Bileşenleri Katmanlaşmalar	Kalınlık (d)	Isıl İletkenlik (λ)	Isıl direnç (R)	Isıl geçirgenlik (U)
		m	W / m.K	m^2/ K.W	W / m^2.K
Dış Duvar *(External wall)*	Isı yalıtım sıvası	0.003	0.18	0.02	0.48
	Isı yalıtımı (EPS)	0.05	0.035	1.43	
	Sıva	0.02	0.51	0.04	
	Düşey delikli hafif tuğla	0.185	0.35	0.53	
	Sıva	0.02	0.51	0.04	
	TOPLAM	0.278		2.05	
Zemin Altı Duvar *(Belowgrade wall)*	Baskı duvarı (tuğla)	0.085	0.35	0.24	0.54
	Isı yalıtımı (EPS)	0.05	0.04	1.43	
	Su yalıtım membranı (PVC)	0.005	0.19	0.03	
	Betonarme duvar	0.25	2.20	0.11	
	Sıva	0.02	0.51	0.04	
	TOPLAM	0.41		1.85	

Çizelge 3.9 (devam) : Referans binadaki yapı bileşenlerine ilişkin katmanlaşma.

Bodrum Kat Zemine Oturan Döşeme *(Basement Ground Floor)*	Çakıl dolgu	0.15	0.70	0.21	0.49
	Grobeton	0.10	1.65	0.06	
	Su yalıtım membranı (PVC)	0.005	0.19	0.03	
	Betonarme radye temel	0.50	2.20	0.23	
	Isı yalıtımı (EPS)	0.05	0.04	1.43	
	Tesviye betonu	0.05	1.65	0.03	
	Yapıştırma harcı (çimento)	0.020	1.60	0.01	
	Seramik kaplama	0.015	1.30	0.01	
	TOPLAM	0.89		2.01	
Dış Ortama Kısmi Maruz Kalan Döşeme *(Semi-exposed floor)*	Seramik kaplama	0.015	1.30	0.01	7.03
	Yapıştırma harcı (çimento)	0.020	1.60	0.01	
	Tesviye betonu	0.05	1.65	0.03	
	Betonarme döşeme	0.15	2.20	0.07	
	Sıva	0.01	0.51	0.02	
	TOPLAM	0.25		0.14	
Çatı *(Roof)*	Kiremit kaplama	0.025	0.84	0.03	0.38
	Kiremit altı ahşap çıta	0.05	0.13	0.38	
	Buhar geçiren su yalıtım örtüsü	0.001	0.19	0.01	
	Isı yalıtımı (taşyünü)-mertekler arasında	0.08	0.04	2.00	
	OSB levha	0.020	0.13	0.15	
	TOPLAM	0.12		2.57	
Dış Ortama Kısmi Maruz Kalan Tavan *(Semi Exposed Ceiling)*	Taş yünü şilte	0.10	0.04	2.50	0.38
	Betonarme döşeme	0.15	2.20	0.07	
	Sıva	0.02	0.51	0.04	
	TOPLAM	0.27		2.61	
Dış Ortam İle Temas Eden Döşeme *(Çatı Saçak)*	Isı yalıtım sıvası	0.003	0.18	0.02	0.33
	Isı yalıtımı (EPS)	0.05	0.035	1.43	
	Sıva	0.02	0.51	0.04	
	Betonarme döşeme	0.15	2.20	0.07	
	Isı yalıtımı (EPS)	0.05	0.035	1.43	
	TOPLAM	0.27		2.98	
Pencere *(Glazing and Frame)*	Çift cam - 4-6-4 SHGC: 0.56, T_{vis}: 0.79				3,14
	Çerçeve (PVC)				1.80
İç Duvar *(Internal Wall)*	Sıva	0.01	0.51	0.02	2.13
	Düşey delikli hafif tuğla	0.15**	0.35	0.43	
	Sıva	0.01	0.51	0.02	
	TOPLAM	0.17		0.47	

**İç duvarlarda daireler arasındaki ortak duvarlar 20 cm, daire içindeki bölücü duvarlar 10 cm kabul edilerek ortalaması alınmıştır.

- Sızdırmazlık değeri *(Infiltration rate)*

BEP yönetmeliğinde, binalarda olası ısı geçişlerine önlem olarak, kesitlerde ve şaftlarda hava geçişini önleyen ve sızdırmazlık sağlayan malzemeler kullanılması, iç hava kalitesinin bozulmadan kontrollü temiz hava girişi sağlanması gerektiği belirtilmiştir [188]. Apartmanlara yönelik sızdırmazlık değerleri Çizelge 3.10'da verilmiştir:

Çizelge 3.10 : Apartmanlar, ofisler ve diğer bina tipolojilerinde doğal havalandırma hava değişim sayısı (n), (1/h) [188].

Binanın Korunma Durumu	Dışa Bakan Birden Fazla Yüzey Binanın sızdırmazlığı			Dışa Bakan Bir Yüzey Binanın sızdırmazlığı		
	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Korunmasız (Açık alandaki ve şehir merkezindeki yüksek binalar)	1,2	0,7	0,5	1	0,6	0,5
Hafif Korunmalı (Ağaçlık alandaki ve şehir merkezinde az sıklıktaki binalar)	0,9	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5
Tam Korunmalı (Orman içindeki ve şehir merkezindeki sık binalar)	0,6	**0,5**	0,5	0,5	0,5	0,5

Referans bina, tam korunmalı bir bina olarak varsayılmış ve buna göre sızdırmazlık değeri 0,50 ac/h alınmıştır.

3.2.3 Açıklıklar sekmesi *(Openings tab)*

Bu sekmede binaya ilişkin pencere ve çerçeve tipi, pencere-duvar oranı gibi veriler girilmektedir. Referans binada pencere-duvar oranının %15 olduğu [4] ve gölgeleme elemanı kullanılmadığı kabul edilmiştir. Pencerede cam kombinasyonu olarak 4mm+6mm+4mm kuru hava dolgulu çift cam, çerçeve tipi olarak ise PVC seçilmiştir [176]. Pencere bileşenlerinin teknik özellikleri Çizelge 3.11'de verilmiştir:

Çizelge 3.11 : Pencere bileşenlerinin teknik özellikleri.

Pencere	Özellikler	Isıl geçirgenlik değeri (U)
Cam	Çift cam (4+6+4mm) SHGC: 0.56 Tvis:0.79	3,14
Çerçeve tipi	PVC	1,80

3.2.4 Aydınlatma sekmesi *(Lighting tab)*

Aydınlatma sekmesinde, aydınlatma güç yoğunluğu, aygıt türü, aydınlatma kontrolü, dış aydınlatma vb. veriler girilmektedir. Referans binada aydınlatma enerji performansının belirlenebilmesi için minimum aydınlık düzeyleri çocuk odası için 300 lux, mutfak için 200 lux, banyo-wc, koridor, hol, kiler, salon ve yatak odaları için 100 lux olarak alınmıştır [189,190]. Hesaplamalarda 3 çeşit Philips marka LED ampül kullanılmış olup özellikleri Çizelge 3.12'de verilmiştir:

Çizelge 3.12 : Referans binada kullanılan lambaların teknik özellikleri [191-193].

Nominal güç (W)	Nominal ışık akısı (lm)	Renk sıcaklığı (K)
5,5 W	470 lm	2700 K
10 W	1055 lm	2700 K
13 W	1521 lm	2700 K

Mekanlardaki aydınlatma güç yoğunluğu ve ortalama aydınlık düzeylerinin hesaplanmasında *DIALux Evo 10.0* yazılımından faydalanılmıştır [194]. Buna göre, mahal bazında minimum aydınlık düzeyleri, çalışma düzlemindeki (h:0.80m) ortalama aydınlık düzeyleri, aydınlatma güç yoğunluğu ile bu değerlerin elde edilmesi için kullanılan aygıt türleri Çizelge 3.13'te belirtilmiştir:

Çizelge 3.13 : Mekanlardaki aydınlık düzeyi, güç yoğunluğu ve aygıt türleri.

Mahal adı	Alan (m2)	Minimum aydınlık düzeyi (lx)	Ortalama aydınlık düzeyi (Dialux evo)	Aydınlatma güç yoğunluğu *(LPD Ligting power density)* W/m2 N-LPD *(normalised lighting power density)*	Kullanılan aygıtların içerdikleri lamba türleri
Salon	32.40	100 lx	109 lx	LPD 1.90 / N-LPD 1.73 W/m^2-100lux	10Wx 3 + 5,5W
Yatak Odası 1	14.01	100 lx	121 lx	LPD 6.90 / N-LPD 5.73	13W x 1
Çocuk odası	19.42	300 lx	300 lx	LPD 8.02 / N-LPD 2.67	13W x 5
Hol	9.15	100 lx	120 lx	LPD 5.85 / N-LPD 4.88	13W x 2
Banyo	4.68	100 lx	113 lx	LPD 8.54/ N-LPD 7.56	5,5W x 4
Kiler	2.33	100 lx	140 lx	LPD 4.98 / N-LPD 3.57	5,5W
Mutfak	16.91	200 lx	212 lx	LPD 4.81 / N-LPD 2.27	13W x 3
Ortak Merd.	23.04	100 lx	119 lx	LPD 3.05/ N-LPD 2.57	10W x 4
Bodrum kat ortak alan	200.16	100 lx	100 lx	LPD 1.30/ N-LPD 1.32	13W x 15

Referans binada aydınlatma kontrolü ve dış aydınlatma olmadığı kabul edilmiştir. Aydınlatma sistemi için önerilen çizelge Çizelge 3.14'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.14 : Aydınlatma sistemi için belirlenen kullanım çizelgesi.

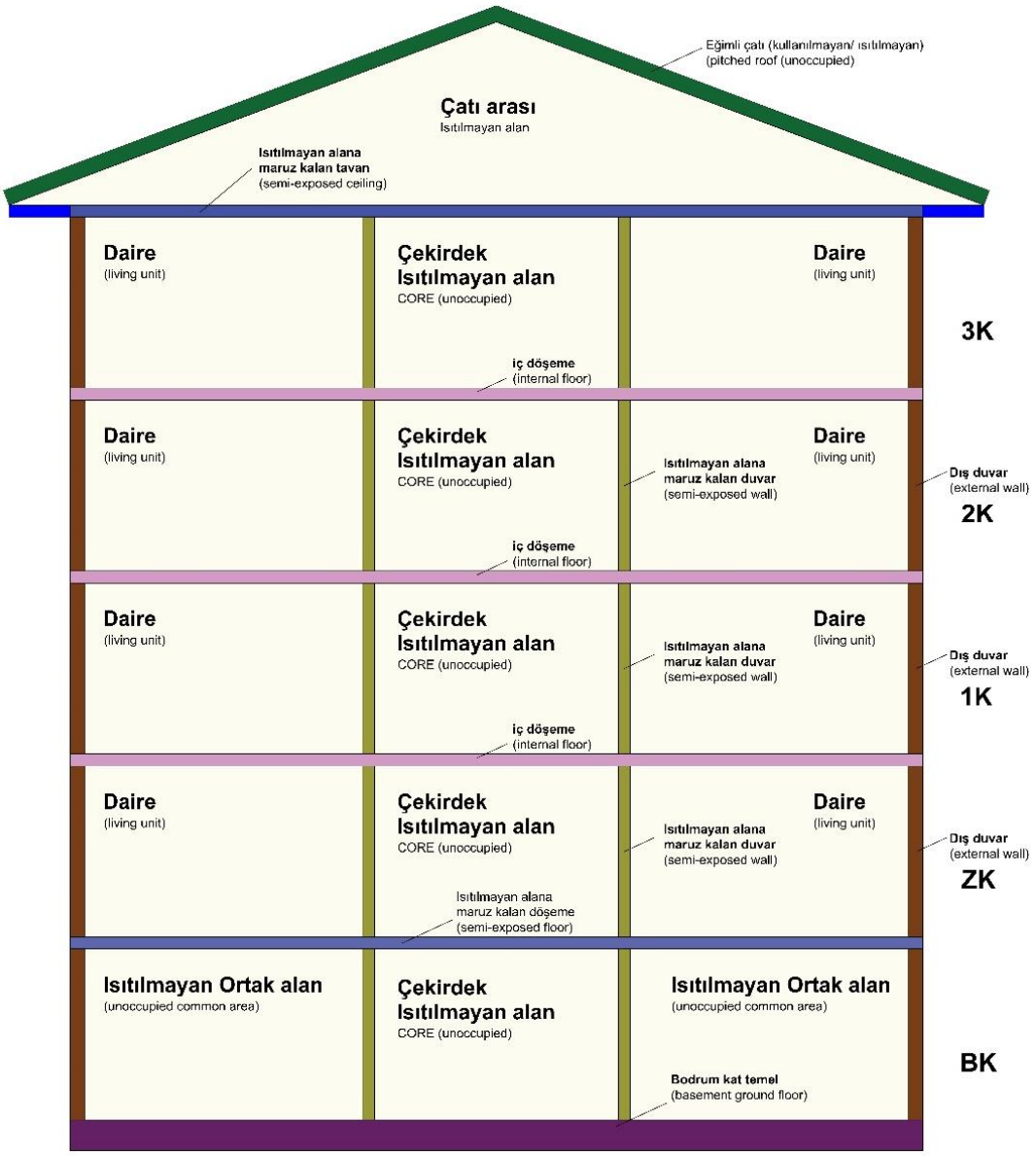
	Saat	Çalışma Durumu
Haftaiçi	00:00 – 07:00	0
	07:00 – 12:00	0.33
	12:00 – 18:00	0.33
	18:00 – 22:00	1
	22:00 – 23:00	0.66
	23:00 – 24:00	0.33
Haftasonu	00:00 – 07:00	0
	07:00 – 12:00	0.33
	12:00 – 18:00	0.33
	18:00 – 22:00	1
	22:00 – 23:00	0.66
	23:00 – 24:00	0.33
Tüm diğer günler	00:00 – 24:00	0

3.2.5 Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemi *(HVAC tab)*

Bu sekmede referans binanın ısıtma, soğutma, sıcak su ve havalandırma sistemlerine ilişkin veriler girilmektedir.

- Isıtma sistemi *(Heating system)*

Referans binada bodrum kat, çatı arası ve çekirdek alanlarının ısıtılmadığı kabul edilmiştir. Isıtma sistemi olarak bireysel kombi sistemi seçilmiştir. Yakıt tipi doğalgaz seçilmiş ve verimlilik katsayısı (COP) 0.85 alınmıştır. Referans binada ısıtılan ve ısıtılmayan bölgeler Şekil 3.12'de gösterilmektedir:



Şekil 3.12 : Referans binadaki zonlama ve yapı bileşenleri.

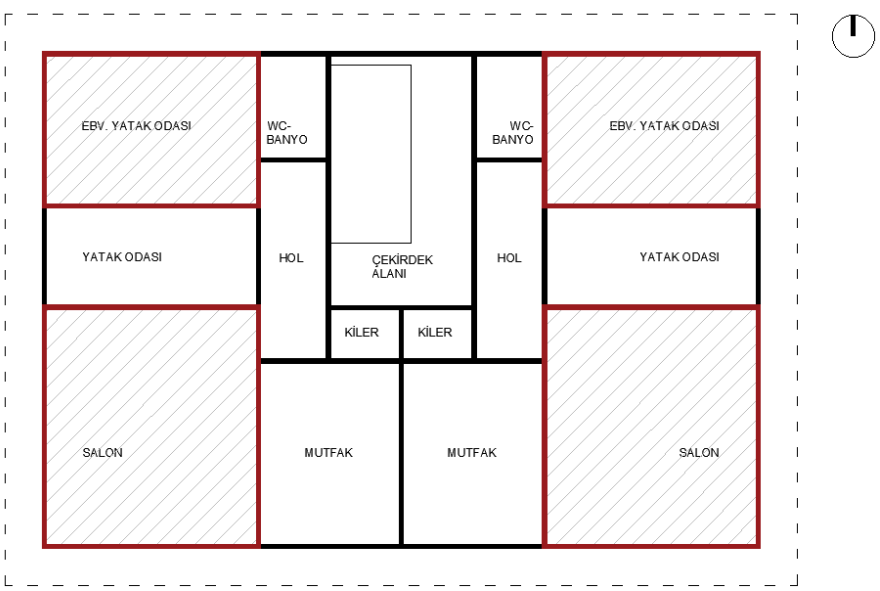
Isıtma sisteminin kış günlerinde 24.00 - 06.00 ve 10:00 - 17:00 aralığında ısıtma gerileme sıcaklık ayarında (*heating set-back temperature mode*) çalıştığı kabul edilmiştir (İç mekan sıcaklığı 17°C'nin altına indiğinde binanın aşırı soğumasını önlemek için). Sistem 06:00- 10:00 ve 17:00-24:00 aralığında ise tam performansta çalışmaktadır. Isıtma sisteminin çalışma çizelgesi Çizelge 3.15'te verilmiştir:

Çizelge 3.15 : Isıtma sisteminin kullanım çizelgesi.

	Saat	Çalışma Durumu
Haftaiçi (Yaz Sezonu)	00:00 – 06:00	0.5
	06:00 – 10:00	1
	10:00 – 17:00	0.5
	17:00 – 24:00	1
Kış Sezonu	00:00 – 24:00	1
Haftasonu	00:00 – 07:00	0.5
	07:00 – 10:00	1
	10:00 – 17:00	0.5
	17:00 – 24:00	1
Tüm diğer günler	00:00 – 24:00	0

- Soğutma sistemi *(Cooling system)*

Referans binada soğutma sistemi olarak split klima seçilmiştir. Her dairede salon ve birer yatak odasında split klima olduğu varsayılmıştır. Her bir dairede soğutulan alanlar Şekil 3.13'te gösterilmektedir.



Şekil 3.13 : Referans binada soğutulan mekanlar.

Split klima konusunda pazarın önde gelenlerinden Arçelik, Vestel, Daikin, Samsung, ve İklimsa firmalarının ürün gamı incelendiğinde, split klimalarda en çok satışın A^{++} sınıfında olduğu belirtilmiştir [176]. Bu nedenle, çalışma kapsamında soğutma sistemi olarak SEER: 6.10, SCOP: 4.60 değerinde split klima seçilmiştir.

Soğutma sisteminin, yaz günlerinde 24.00 - 09.00 ve 18:00 – 24.00 aralığında soğutma gerileme sıcaklık ayarında (*set-back temperature*) çalıştığı kabul edilmiştir (İç mekan sıcaklığı 28°C'nin üzerine çıktığı durumlarda). 09.00- 18.00 aralığında ise tam performansta çalışmaktadır. Diğer sezonlarda soğutma sistemi çalışmamaktadır. Soğutma sistemine ilişkin çalışma çizelgesi Çizelge 3.16'da verilmiştir:

Çizelge 3.16 : Soğutma sisteminin çalışma çizelgesi.

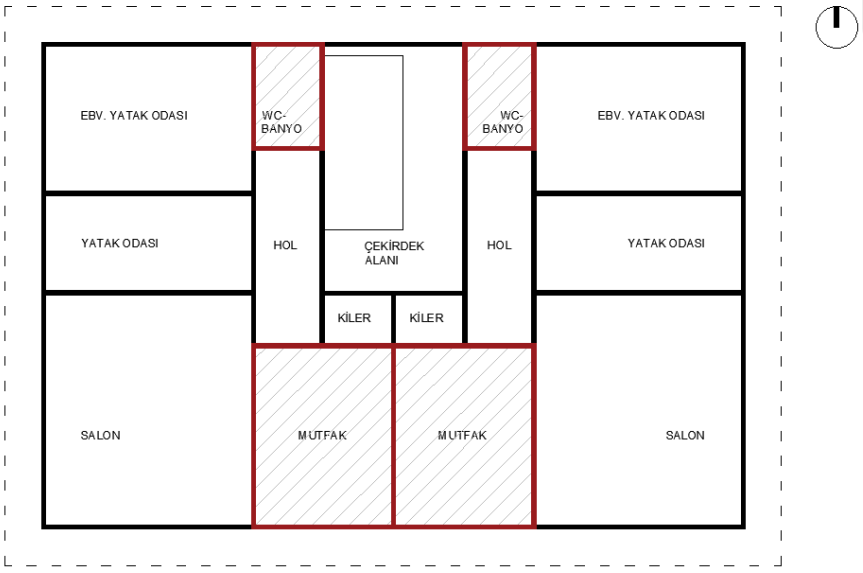
	Saat	Çalışma Durumu
Haftaiçi, Haftasonu (Yaz Sezonu)	00:00 – 09:00	0.5
	09:00 – 12:00	1
	12:00 – 18:00	1
	18:00 – 24:00	0.5
Kış Sezonu, diğer tüm günler	00:00 – 24:00	0

-Havalandırma Sistemi *(Ventilation system)*

Referans binanın doğal yöntemlerle havalandırıldığı kabul edilmiş, mekanik havalandırma çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Aktivite sekmesinde tanımlanan kullanım çizelgesi bu sekmede de geçerlidir.

- Sıcak su sistemi *(Domestic Hot Water System)*

Referans binada banyo ve mutfaklarda sıcak su kullanımı olduğu varsayılmış (Şekil 3.14) ve sıcak su sistemi olarak bireysel kombi sistemi seçilmiştir. Sistemin verimlilik değeri COP:0.85 olarak belirlenmiş olup yakıt türü doğalgaz seçilmiştir. Şebeke besleme sıcaklığı *(mains supply temperature)* 15°C, musluklara verilen su sıcaklığı (delivery temperature) ise 65°C alınmıştır.



Şekil 3.14 : Binada sıcak su kullanımı olan mekanlar.

Referans binada seçilen ısıtma, soğutma, aydınlatma ve sıcak su sistemlerinin yakıt cinsi ve verimlilik katsayıları Çizelge 3.17'de verilmektedir:

Çizelge 3.17 : Isıtma, soğutma, aydınlatma ve sıcak su sistemlerinin yakıt cinsi ve verimlilik katsayıları.

Sistem	Yakıt Cinsi		Verimlilik (COP)
	Elektrik	Doğalgaz	
Isıtma sistemi *(heating system)*		X	0.85
Soğutma sistemi *(cooling system)*	X		4.60
Aydınlatma sistemi *(lighting system)*	X		
Sıcak su kullanımı *(DHW system)*		X	0.85

3.2.6 Elektrikli ev aletleri / ekipman kullanımı

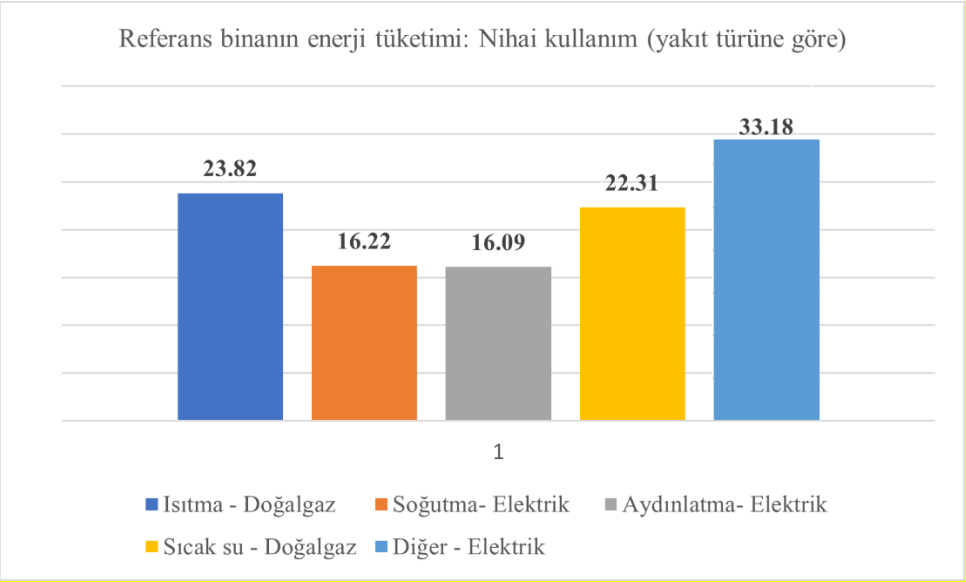
Referans binada iç kazançların hesaplanması için her bir dairede bulunan elektrikli ev aletleri kullanım süreleri ile birlikte hesaplanmış ve aktivite sekmesinde veri girişleri yapılmıştır (Çizelge 3.18).

Çizelge 3.18 : Elektrikli ev aletlerinin enerji tüketimileri.

Beyaz Eşya	Güç (W)	Kullanım Süresi (sa)	Enerji Tüketimi (W.sa) -günlük	kWh
Buzdolabı (A sınıfı)	62	24	1488	1.49
Çamaşır makinesi	800	3	2400	2.40
Bulaşık makinesi	900	2	1800	1.80
Fırın + Ocak	2150	3	6450	6.45
Davlumbaz	300	2	600	0.60
Çay makinesi	1800	3	5400	5.40
Buharlı ütü	2200	1	2200	2.20
55' LED TV	116	6	696	0.70
Laptop	100	4	400	0.40
Elektrikli süpürge	900	1	900	0.90
TOPLAM			22334.00	22.33
Saatlik enerji tüketimi W/24 sa)			930.58	0.93
1 daire alanı (m^2)			100.00	
Güç yoğunluğu (W/m^2)			9.30	

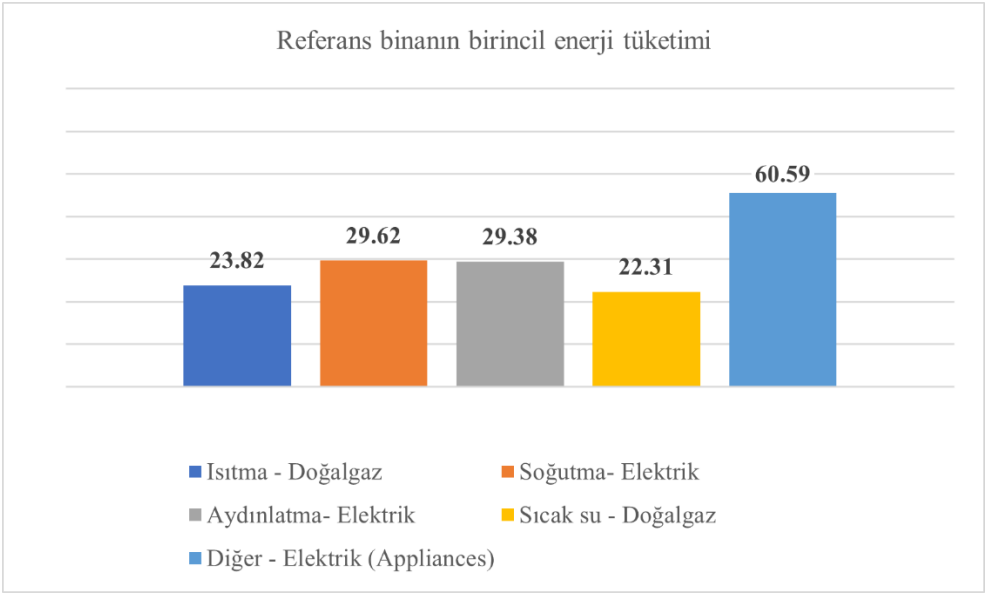
Son adımda, İstanbul'un iklimsel veri dosyası .epw formatında *DesignBuilder* programına yüklenmiş ve tüm veri girişlerinin tamamlanmasının ardından referans binanın ısıtma, soğutma, aydınlatma ve sıcak su sistemlerine ilişkin enerji performansının hesaplanabilmesi için saatlik bazda dinamik simülasyon yapılmış *(EnergyPlus)* ve sonuçlar birincil enerji tüketimi cinsinden verilmiştir.

2. İklim bölgesinde bulunan İstanbul ili için oluşturulan referans binanın yıllık nihai enerji tüketimi 77.098,63 kWh/y olarak hesaplanmıştır (111.62 kWh/m^2 y). Referans binada ısıtılan/soğutulan alan (m^2) başına düşen yıllık ısıtma enerjisi 23,82 kWh/m^2y, sıcak su sistemi için gereken enerji 22,31 kWh/m^2y, aydınlatma enerjisi 16,09 kWh/m^2y ve soğutma enerjisi 16,22 kWh/m^2y ve diğer (elektrik kaynaklı) enerji tüketimi 33,18 kWh/m^2y'dir. Referans binanın nihai enerji cinsinden tüketim değerleri Şekil 3.15'te verilmiştir:



Şekil 3.15 : Referans binanın enerji tüketimi: Yakıt türüne göre nihai kullanım.

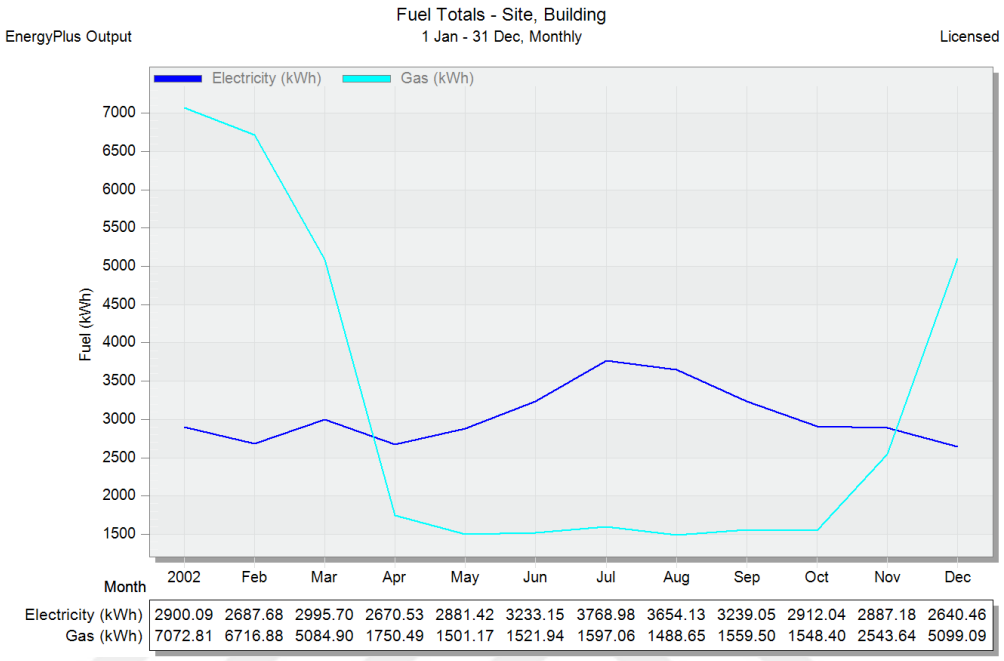
Nihai enerji tüketim değerlerinin birincil enerji cinsinden hesaplanabilmesi için birincil enerji dönüşüm katsayısı elektrik için 1,826 [195], doğalgaz için 1,00 alınmıştır. Referans binada birincil enerji tüketimi 165,71 kWh/m^{2}y olup %14,37'si ısıtma, %17,87'si soğutma, %17,73'ü aydınlatma enerjjisi, %13,46'sı sıcak su sistemi ve %36,56'sı elektrikli ev aletleri/ekipman kullanımından kaynaklanmaktadır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 : Referans binanın birincil enerji tüketimi cinsinden değeri.

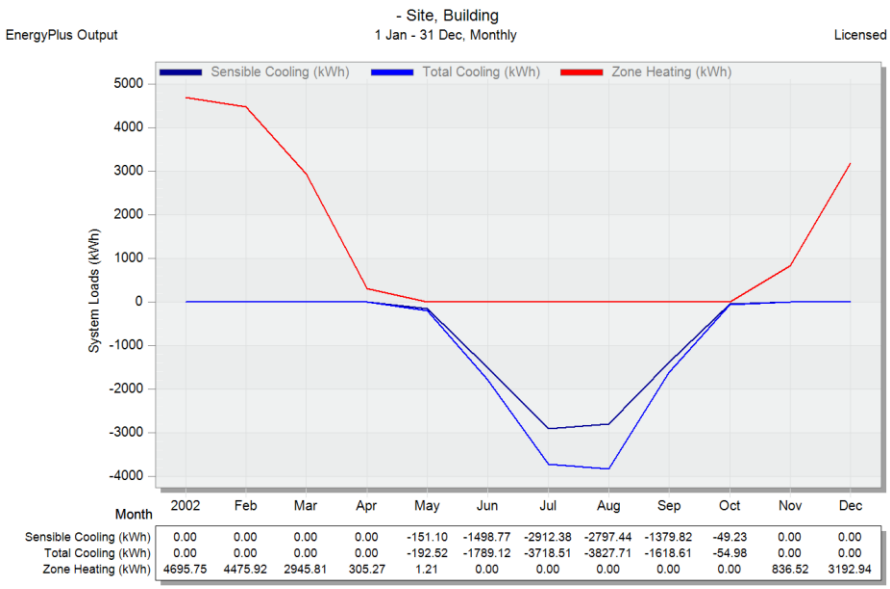
Enerji tüketimi yakıt cinsine göre incelendiğinde, elektrik tüketiminin baskın olduğu görülmektedir (%72,16). Mayıs- Ekim aralığında doğalgaz tüketimi minimum seviyeye düşmekte; ancak sıcak su kullanımından dolayı sabit bir seviyede

kalmaktadır. Elektrik tüketimi ise binadaki aydınlatma sistemi nedeniyle yıl içerisinde sabit bir seviyede seyrederken, yaz aylarında soğutma sisteminin devreye girmesinden dolayı artış göstermektedir. Referans binadaki yakıt kullanımı Şekil 3.17'de verilmektedir:



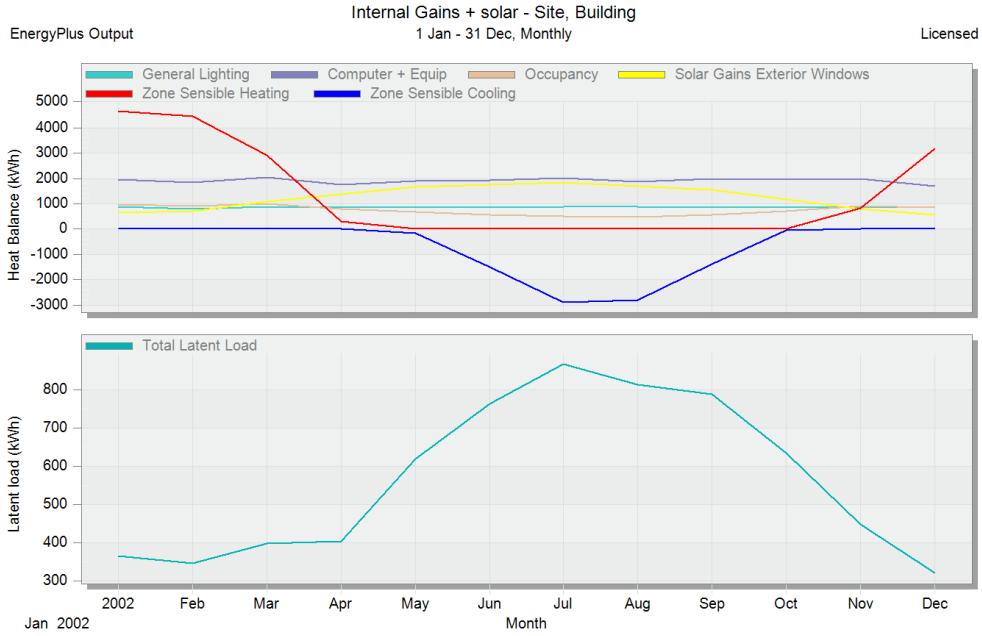
Şekil 3.17 : Referans binadaki enerji tüketiminin yakıt cinsinden karşılıkları.

Sistem yüklerine bakıldığında, ısıtma sisteminin Mayıs itibarıyla devre dışı kaldığı ve soğutma sisteminin devreye girdiği görülmektedir. Bu durum Ekim ayına kadar devam etmekte ve Ekim itibarıyla ısıtma sistemi tekrar devreye girmektedir. Referans binadaki sistem yükleri Şekil 3.18'de verilmektedir.



Şekil 3.18 : Referans binadaki sistem yükleri (ısıtma ve soğutma).

Aylık iç kazançlar incelendiğinde ise, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında dış pencerelerden gelen güneş kazancı (sarı renk) maksimum seviyeye çıktığı; buna bağlı olarak da soğutma ihtiyacının (mavi renk) özellikle Temmuz – Ağustos aylarında en üst seviyelere ulaştığı görülmektedir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 : Aylık iç kazançların gösterimi.

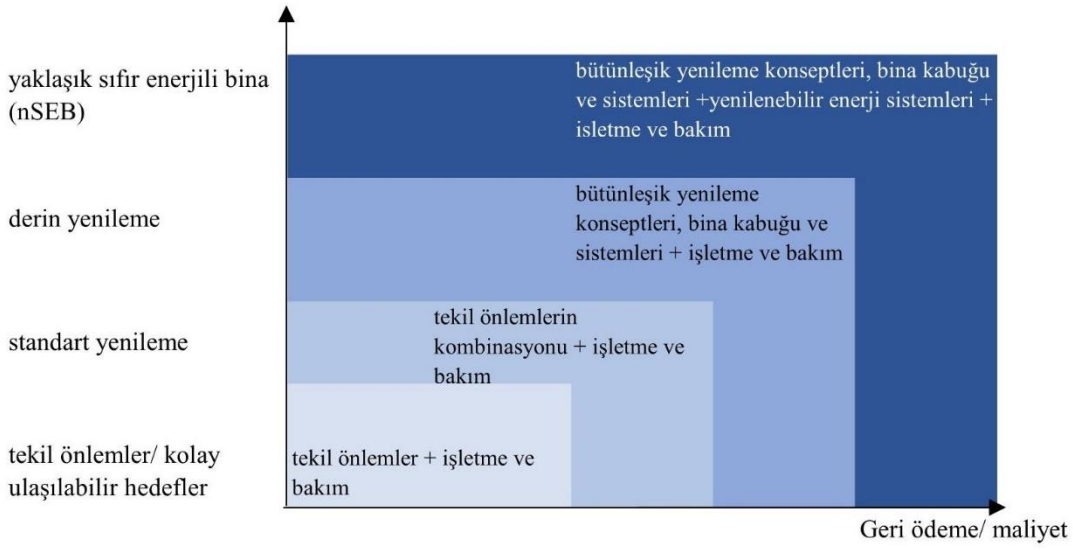
Referans binanın enerji performansı hesaplanırken ısıtma, aydınlatma, sıcak su ve soğutma sistemleri ile elektrikli ev aletleri (priz yükleri) için birincil enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Mevcut binanın iyileştirilmesi için özellikle yapı kabuğundaki ısı kayıplarının önlenmesi, daha verimli bir aydınlatma sistemi tasarımı, elektrik tüketimini azaltmak için yenilenebilir enerji entegrasyonunun sağlanması önem kazanmaktadır.

3.3 Referans Binaya İlişkin Enerji Verimliliği Senaryolarının Oluşturulması

Referans binaya ilişkin enerji performansının belirlenmesinden sonraki aşamada, enerji verimliliğine ilişkin iyileştirme senaryoları oluşturulmaktadır. Senaryolar belirlenirken birkaç yöntemden faydalanılabilmektedir. Ferrara ve diğ. (2018), yapmış olduğu araştırmalarda basitleştirilmiş ve dinamik olmak üzere iki temel yöntemden bahsetmektedir. Basitleştirilmiş yöntemde, enerji verimliliği önlemleri manuel olarak belirlenirken, dinamik simülasyon araçlarının kullanıldığı yöntemde önlemler manuel veya otomatik olarak seçilebilmektedir [196].

Ashrafian (2016), tez çalışmasında binalarda alınacak enerji etkin önlemleri dört kategori üzerinden değerlendirmiştir. Bunlar: yapı kabuğunda alınacak pasif önlemler (duvar, çatı yalıtımı, pencere iyileştirmeleri), mekanik sistem iyileştirmeleri (ısıtma, soğutma, havalandırma ve sıcak su sistemleri), aydınlatma sistemi iyileştirmeleri ve yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonudur [197]. Aktif sistemlere olan ihtiyacın azaltılması için yapı kabuğunda alınacak pasif önlemler birincil öncelik taşımaktadır.

Avrupa Komisyonu, 2014 yılında yayımlamış olduğu bir raporda, enerji verimli bina iyileştirmelerine yönelik bir sınıflandırma yapmıştır. Buna göre, işletme ve bakım işlemleri, dış duvar, çatı alanı veya döşemede yapılacak yalıtımlar, kazan değişimi gibi tekil önlemler ilk müdahaleyi oluşturmaktadır. Tekil önlemlerin kombinasyonu 'standart iyileştirme' işlemi olarak tanımlanmış olup birkaç tekil önlemin eş zamanlı uygulamasını içermektedir. Derin yenileme, çok yüksek enerji performansı elde etmek için özellikle bina kabuğunda yapılan iyileştirmeleri kapsamaktadır. Derin yenilemenin tek bir tanımı olmamakla birlikte, genel olarak %60'tan daha fazla oranda enerji tasarrufu sağlayan uygulamaları temsil etmek için kullanılmaktadır. Son aşama ise, neredeyse sıfır enerjili bina hedefine ulaşmak için uygulanan EV önlemlerini içerir. Bunlar yapı kabuğunda uygulanan önlemlere ek olarak yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonunu da kapsamaktadır [129]. Yenileme sınıflandırmaları Şekil 3.20'de verilmiştir:



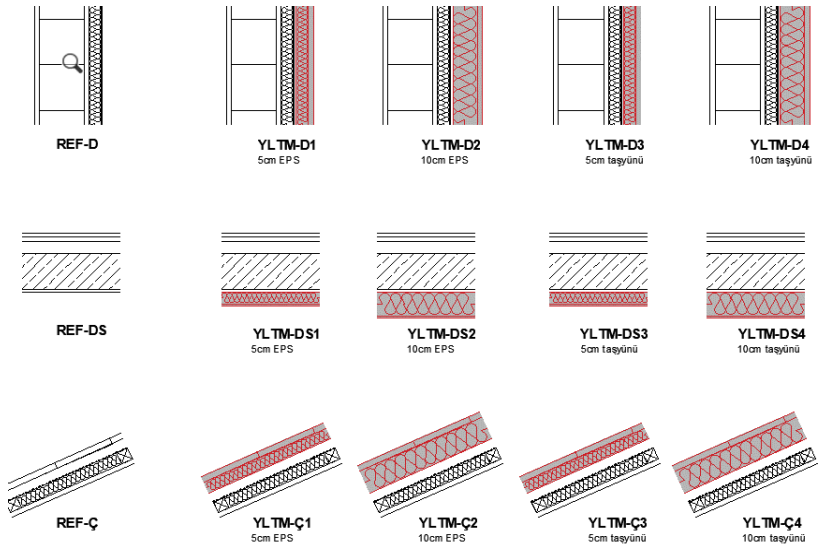
Şekil 3.20 : İyileştirme/ Yenileme Sınıflandırması [129].

Enerji verimliliği önlemlerinin belirlenmesi sürecinde, Bölüm 2.3 ve Bölüm 2.5'te kapsamlı olarak aktarılan ulusal ve uluslararası literatürden yararlanılmış, bu kapsamda sırasıyla; yapı kabuğu ve enerji verimli sistemler ile yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelik tekil önlemlere yer verilmiştir. Buna ek olarak, bir araya geldiklerinde enerji verimliliği açısından etkin sonuçlar verebilecek çoğul önlem paketleri de çalışılmıştır. Yapı kabuğunda ele alınan tekil önlemler Çizelge 3.19 ve Şekil 3.21'de belirtilmektedir:

Çizelge 3.19 : Yapı kabuğunda ele alınan tekil enerji verimliliği önlemleri.

Senaryo/ Önlem	Açıklama	U Değeri W/m²
Dış Duvar	REF	0.487
YLTM-D1	Mevcut dış duvara 5cm EPS* uygulaması (yoğunluk: 20kg/m^3)	0.301
YLTM-D2	Mevcut dış duvara 10cm EPS* uygulaması (yoğunluk: 20kg/m^3)	0.219
YLTM-D3	Mevcut dış duvara 5cm taşyünü uygulaması	0.286
YLTM-D4	Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması	0.203
Çatı	REF	0.38
YLTM-Ç1	Mevcut çatıya 5cm EPS* uygulaması (yoğunluk: 20kg/m^3)	0.334
YLTM-Ç2	Mevcut çatıya 10cm EPS* uygulaması (yoğunluk: 20kg/m^3)	0.235
YLTM-Ç3	Mevcut çatıya 5cm taşyünü uygulaması	0.315
YLTM-Ç4	Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması	0.217
Döşeme	REF	2.426
YLTM-DS1	Bodrum kat tavanına 5cm EPS* uygulaması (yoğunluk: 20kg/m^3)	0.699
YLTM-DS2	Bodrum kat tavanına 10cm EPS* uygulaması (yoğunluk: 20kg/m^3)	0.373
YLTM-DS3	Bodrum kat tavanına 5cm taşyünü uygulaması	0.621
YLTM-DS4	Bodrum kat tavanına 10cm taşyünü uygulaması	0.329
Pencere (cam)	REF 4mm cam + 6mm hava + 4mm cam	3.146
C1 (DB-LOE-A)	4mm cam + 12mm hava + 4mm cam (Tvis:0.79, SHGC: 0.56)	1.6
C2 (DB-LOE-AR)	4mm cam + 12mm argon + 4mm cam (Tvis:0.79, SHGC: 0.56)	1.3
C3 (DB-LOE-A)	4mm cam + 16mm hava + 4mm cam (Tvis:0.79, SHGC: 0.56)	1.3
C4 (DB- LOE-AR)	4mm cam + 16mm argon + 4mm cam (Tvis:0.79, SHGC: 0.56)	1.1

*Grafit katkılı EPS levha



Şekil 3.21 : Referans binanın dış duvar, bodrum kat tavan döşemesi ve çatısına uygulanan yalıtım önlemleri.

Referans binaya uygulanan ek yalıtım önlemlerinin her biri için yoğuşma analizi yapılmış ve sonuçları Ek C'de verilmiştir.

İkinci adımda, referans binada ısıtma yükünün azaltılmasına yönelik tekil bir önlem olarak yerden ısıtma sistemi (ISITMA-DS) önerilmiştir. Önerilen sistemin detayları Çizelge 3.20'de verilmektedir:

Çizelge 3.20 : Yerden ısıtma sistemi (ISITMA-DS) önleminin detayları.

ISITMA-DS	Yerden ısıtma sistemi
Uygulanan bölgeler	Zemin kat, 1. kat, 2. kat ve 3. kat döşemelerinin ısıtılan bölgeleri
Kombi verimlilik katsayısı (COP)	0.94
Dış ortam düşük sıcaklığında ayar noktası	50°C
Dış ortam düşük sıcaklığı	-2°C
Dış yüksek sıcaklıkta ayar noktası	30°C
Dış ortam yüksek sıcaklığı	20°C

Bir sonraki adımda, aydınlatma sistem yükünü azaltması öngörülen bir günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi (AYD-KONTROL) önerilmiştir *(daylighting sensored lighting control system).* Aydınlatma kontrolü, çalışma düzlemindeki (0.8 m alınmıştır) günışığı aydınlık düzeyine göre sensörlerle sağlanmaktadır.

Bu seçenekte, doğrusal kontrol *(linear control)* ile aydınlık düzeyi arttıkça lambaların kısıldığı varsayılmaktadır *(dimming);* gün ışığının belirli bir noktaya ulaşmasından sonra ise ışık minimum düzeyde yanmaya devam etmektedir. Doğrusal kontrol, elektrikli aydınlatmayı dengelemek için doğal gün ışığını kullanırken tasarruf potansiyeline ilişkin üst limitleri hesaplamak için yararlı olabilecek ideal bir aydınlatma kontrol mekanizması sağlamaktadır [187].

Yenilenebilir enerji entegrasyonuna ilişkin alınan önlemde ise, referans binanın çatısına fotovoltaik panel sistemi (PV) önerilmiş ve 12 kW_p kurulu güçte, 340W gücünde 40 adet PV'nin enerji tüketimine etkisi değerlendirilmiştir. Paneller çatının güneye bakan bölümüne yerleştirilmiş olup panel verimliliği %19,8 alınmıştır. Fotovoltaik panel sistemine ilişkin veriler Çizelge 3.21'de verilmiştir:

Çizelge 3.21 : Fotovoltaik panel sistemine (PV) ilişkin veriler.

Kurulu çatı alanı (m^2)	65
Sistem boyutu/ kurulu güç (kWp)	12
Panel adedi	40
Panel cinsi	Monokristal
Panel gücü (W)	340
Panel boyutu (m^2)	1,63
Panel verimliliği	%19,8
Panel eğimi	24°

3.4 Enerji Verimliliği Önlemlerinin Enerji Performansının Hesaplanması

Hesaplamanın ilk adımında, yapı kabuğunda alınan tekil önlemlerin yıllık enerji performansının birincil enerji tüketimi cinsinden değeri (kWh/m^{2}y) dinamik simülasyon yöntemi ile *(EnergyPlus)* saatlik bazda (8760 saat) hesaplanmıştır.

Dış duvarda belirlenen dört adet yalıtım önleminden en çok %2 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır (YLTM-D4). Mevcut çatı için planlanan yalıtım önlemlerinin tek başına anlamlı bir tasarruf sağlamadığı görülmüştür (YLTM-Ç). Bodrum kat tavanına yapılan yalıtım uygulamaları, yıllık bazda ısıtma tüketimini azaltmıştır; ancak soğutma tüketimini artırdığından enerji verimliliği bakımından iyileştirme sağlanamamıştır (YLTM-DS). Yapı kabuğunda alınan tekil önlemlere ilişkin enerji tüketim değerleri ve iyileştirme yüzdeleri Çizelge 3.22'de verilmiştir:

Çizelge 3.22 : Yapı kabuğunda ele alınan tekil önlemlerin birincil enerji tüketim değerleri ve iyileştirme yüzdeleri.

EV Önlemi	Birincil Enerji Tüketimi *(kWh/m2y)*	Isıtma *(Doğalgaz)*	Soğutma *(Elektrik)*	Aydınlatma *(Elektrik)*	Sıcak Su *(Doğalgaz)*	Diğer *(Elektrik)*	İyileştirme yüzdesi *(%)*
REF-Bina	165.71	23.82	29.62	29.38	22.31	60.59	-
Dış Duvar							
YLTM-D1	163.39	19.60	31.51	29.38	22.31	60.59	1.40
YLTM-D2	162.65	17.75	32.62	29.38	22.31	60.59	1.85
YLTM-D3	163.15	19.33	31.54	29.38	22.31	60.59	1.55
YLTM-D4	162.42	17.72	32.42	29.38	22.31	60.59	1.99
Çatı							
YLTM-Ç1	165.39	23.57	29.54	29.38	22.31	60.59	0.19
YLTM-Ç2	165.23	23.41	29.54	29.38	22.31	60.59	0.29
YLTM-Ç3	165.37	23.55	29.54	29.38	22.31	60.59	0.21
YLTM-Ç4	165.19	23.37	29.54	29.38	22.31	60.59	0.32
Döşeme							
YLTM-DS1	168.14	22.48	33.38	29.38	22.31	60.59	-1.46
YLTM-DS2	168.94	22.02	34.64	29.38	22.31	60.59	-1.94
YLTM-DS3	168.32	22.41	33.63	29.38	22.31	60.59	-1.57
YLTM-DS4	169.10	21.95	34.88	29.38	22.31	60.59	-2.05
Cam sistemi							
C1 (DB-LOE-A)	163.55	18.42	32.85	29.38	22.31	60.59	1.31
C2 (DB-LOE-AR)	162.97	17.42	33.27	29.38	22.31	60.59	1.66
C3 (DB-LOE-A)	162.97	17.42	33.27	29.38	22.31	60.59	1.66
C4 (DB- LOE-AR)	162.84	16.73	33.84	29.38	22.31	60.59	1.73

En verimli tekil senaryolar.

Referans binaya göre soğutma yükü arttığından enerji verimliliği sağlanamamıştır.

Oluşturulan tekil önlemlerden yerden ısıtma sistem önerisi (ISITMA-DS), ısıtma, soğutma ve sıcak su sistemleri (HVAC + DHW) için fan ve pompa kullanımından kaynaklı elektrik tüketimini artırmış olsa da, yıllık birincil enerji tüketimini 24,21 kWh/m^2 azaltmış ve referans binaya oranla %14,61 oranında iyileştirme sağlamıştır. Isıtma sistemi ile ilgili alınan önleme ilişkin birincil enerji tüketim değerleri ve iyileştirme yüzdesi Çizelge 3.23'te verilmektedir:

Çizelge 3.23 : Yerden ısıtma sistemine ilişkin önlemin enerji performansı.

Senaryo/ Önlem	Birincil Enerji Tüketimi *(kWh/m^2)*	Isıtma	Sıcak Su	Soğutma	Aydınlatma	Diğer *(Elektrik)*	İyileştirme yüzdesi *(%)*
REF-Bina	165.71	23.82	22.31	29.62	29.38	60.59	
Isıtma sistemi		75.75 (HVAC + DHW toplam)					
ISITMA-DS	141.50	51.53 (HVAC + DHW toplam)			29.38	60.59	14.61

Çalışılan tekil önlemde kurgulanan günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi (AYD- KONTROL) ile referans binada aydınlatma için harcanan enerji 11.116,23 kWh'ten 7721,23 kWh'ye, 11.201.45 kWh olan soğutma enerjisi de 10.117,14 kWh'ye düşürülmüştür. Aydınlatma önlemine ilişkin birincil enerji tüketimi ve iyileştirme yüzdesi Çizelge 3.24'te verilmektedir:

Çizelge 3.24 : Aydınlatma sistemi ile ilgili alınan tekil önlemin enerji performansı.

Senaryo/ Önlem	Birincil Enerji Tüketimi *(kWh/m^2)*	Isıtma	Sıcak Su	Soğutma	Aydınlatma	Diğer *(Elektrik)*	İyileştirme yüzdesi (%)
REF-Bina	165.71	23.82	22.31	29.62	29.38	60.59	
AYD-KONTROL	155.07	25.01	22.31	26.75	20.41	60.59	6.42

Yenilenebilir enerji sistemine ilişkin alınan önlemde, referans binanın çatısına entegre edilen fotovoltaik panel sistemi ile, 45.160,30 kWh olan yıllık elektrik enerji tüketiminin 15.917,031 kWh'i (yaklaşık %35'i) fotovoltaik panellerden karşılanabilmektedir. Alınan tekil önlem sonucunda %14 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır (Çizelge 3.25).

Çizelge 3.25 : Yenilenebilir enerji entegrasyonuna ilişkin tekil önlemin enerji performansı.

Senaryo/Önlem	Birincil Enerji Tüketimi *(kWh/m^2)*	Isıtma	Sıcak Su	Soğutma	Aydınlatma	Diğer *(Elektrik)*	İyileştirme yüzdesi (%)
REF-Bina	165.71	23.82	22.31	29.62	29.38	60.59	
PV *PV enerji üretimi*	142.51 23.04	23.86	22.31	29.42 +	29.38 +	60.59 +	14.00

Hesaplamanın ikinci adımında, çalışılan en verimli tekil önlemlerin kombinasyonları oluşturulmuştur. Bu kapsamda, öncelikli olarak yapı kabuğu özelinde (dış duvar, çatı ve cam sistemlerinde) çalışılan tekil önlemler birleştirilmiştir (S1–S8). Bodrum kat tavanına yapılan yalıtım uygulaması iyileştirme sağlamadığından bu uygulama önlem paketine dahil edilmemiştir.

Yapı kabuğu özelinde oluşturulan kombinasyonlara ilişkin birincil enerji tüketimi, ısıtma, soğutma, aydınlatma ve sıcak su sistemleri enerji tüketimleri ve iyileştirme yüzdeleri Çizelge 3.26'da verilmektedir:

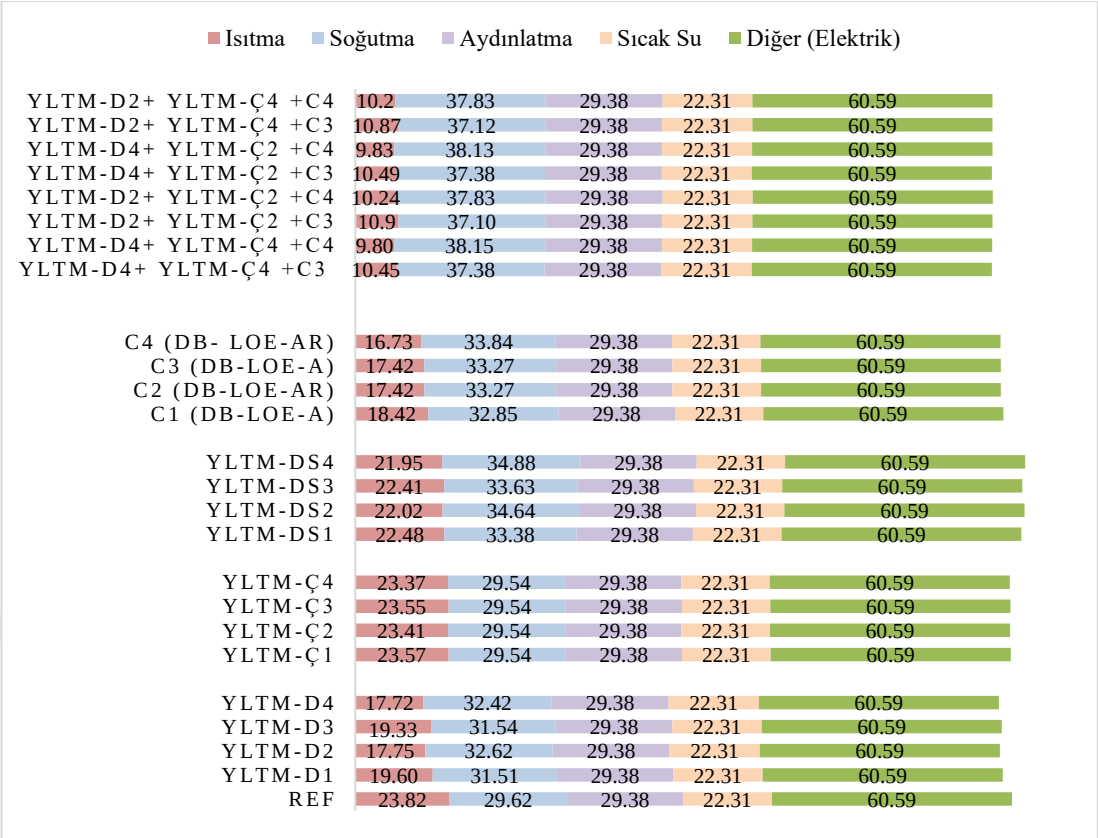
Çizelge 3.26 : Yapı kabuğu kombinasyonlarının birincil enerji tüketim değerleri ve iyileştirme yüzdeleri.

Senaryo/ Önlem		Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m^2)	İyileştirme yüzdesi (%)
REF-Bina		165.71	
S1	YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C3	160.66	3.05
S2	YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C4	160.78	2.98
S3	YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C3	160.83	2.95
S4	YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C4	160.90	2.90
S5	YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C3	160.70	3.03
S6	YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C4	160.79	2.97
S7	YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C3	160.82	2.95
S8	YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C4	160.86	2.93

En verimli kombinasyonlar.

YLTM-D2 : Mevcut dış duvara 10cm EPS uygulaması
YLTM-D4 : Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç2 : Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç4 : Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması
C3 : 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C4 : 4mm cam + 16mm argon + 4mm cam kombinasyonu

Çalışılan senaryoların iyileştirme yüzdeleri birbirine oldukça yakın olmakla birlikte, en verimli kombinasyonlar sırasıyla S1 (%3,05) ve S5 (%3,03) senaryolarıdır (Çizelge 3.26). Yapı kabuğu özelinde çalışılan tekil önlemler ve kombinasyonların enerji performanslarına (ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su ve diğer) bakıldığında, yalıtım ve cam sistemi önlemlerinin neredeyse tamamında ısıtma tüketiminin azaldığı ve soğutma tüketiminin arttığı gözlenmiştir; ancak binanın yıllık birincil enerji tüketimi bazında iyileştirme sağlandığı görülmektedir. Yapı kabuğunda çalışılan önlemlerin birincil enerji tüketimi (kWh/m^{2}y) cinsinden değeri Şekil 3.22'de verilmektedir:



YLTM-D1: Mevcut dış duvara 5cm EPS uygulaması
YLTM-D2: Mevcut dış duvara 10cm EPS uygulaması
YLTM-D3: Mevcut dış duvara 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-D4: Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç1: Mevcut çatıya 5cm EPS uygulaması
YLTM-Ç2: Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç3: Mevcut çatıya 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç4: Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması
C1 : 4mm cam + 12mm hava + 4mm cam komb.
C2 : 4mm cam + 12mm argon + 4mm cam komb.
C3 : 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam komb.
C4 : 4mm cam + 16mm argon + 4mm cam komb.

Şekil 3.22 : Yapı kabuğunda ele alınan tekil önlemler ve kombinasyonların enerji performansı.

Bir sonraki adımda, yapı kabuğunda en verimli kombinasyonlara (S1 ve S5) yerden ısıtma sistemi (ISITMA-DS), aydınlatma kontrol sistemi (AYD-KONTROL) ve fotovoltaik sistem (PV) önlemleri entegre edilerek hesaplamalar tekrarlanmıştır (S9-S22).

S9 ve S12 senaryoları, yapı kabuğundaki önlemlere yerden ısıtma sisteminin eklenmesi ile yıllık bazda birincil enerji tüketimini 43,39 kWh/m^2 ve 43,34 kWh/m^2 azaltmış ve yaklaşık %26 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır (Çizelge 3.27).

S10 ve S13 senaryolarında, yapı kabuğunda ele alınan önlemlere ek olarak aydınlatma kontrol sistemi eklenmiştir. Yıllık birincil enerji tüketimi sırasıyla 17,12 kWh/m^2 ve 17,15 kWh/m^2 azaltılmış ve %10 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır.

S11 ve S14 senaryoları ise yapı kabuğunda ele alınan önlemlere ek olarak çatıya uygulanan PV sistem önerisini içermektedir. Yıllık birincil enerji tüketimi sırasıyla

28,21 kWh/m^2 ve 28,19 kWh/m^2 azaltılmış ve %17 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. S15- S20 arası senaryolar yapı kabuğunda ele alınan önlemlere ek olarak oluşturulan ikili kombinasyonları içermektedir. Yapılan çalışmada en çok %31,63 oranında iyileştirme sağlanmıştır.

S21 ve S22 senaryoları yapı kabuğu önlemleri, yerden ısıtma sistemi, aydınlatma kontrol sistemi ve PV sistem uygulamasını kapsamakta olup yıllık birincil enerji tüketimi 75 kWh/m^2 azaltılarak %45 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Çalışılan önlem paketlerinin enerji performansı ve iyileştirme yüzdeleri Çizelge 3.27'de verilmektedir:

Çizelge 3.27 : S9-S22 senaryolarının birincil enerji tüketimi ve iyileştirme yüzdeleri.

No	Enerji Verimliliği Önlemi	Birincil Enerji Tüketimi kWh/m2y	İyileştirme Yüzdesi %
	REF- Bina	165.71	
S9	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3][1] + ISITMA-DS	122.32	26.19
S10	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3][1] + AYD-KONTROL	148.59	10.33
S11	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3][1] + PV	137.50	17.03
S12	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3][2] + ISITMA-DS	122.37	26.16
S13	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3][2] + AYD- KONTROL	148.56	10.35
S14	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3][2] + PV	137.52	17.01
S15	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3][1] + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL	113.30	31.63
S16	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3][1] + ISITMA-DS + PV	122.32	26.19
S17	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3][1] + AYD-KONTROL + PV	125.42	24.32
S18	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3][2] + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL	113.34	31.61
S19	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3][2] + ISITMA-DS + PV	122.37	26.16
S20	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3][2] + AYD-KONTROL + PV	125.45	24.30
S21	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3][1] + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV	90.26	45.53
S22	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3][2] + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV	90.30	45.51

[1] YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + YLTM-DS1 +C3 =S1

[2] YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + YLTM-DS1 +C3 =S5

YLTM-D4 : Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç2 : Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç4 : Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması
C3 : 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam kombinasyonu
ISITMA-DS : Yerden ısıtma sistemi
AYD-KONTROL : Günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi
PV : Mevcut çatıya 40 adet, 12 kWp gücünde fotovoltaik sistem önerisi

3.5 Enerji Verimliliği Önlemlerinin Finansal Performansının Hesaplanması: Küresel Maliyet Hesabı *(Global Cost Analysis)*

2010 yılında yayımlanan Bina Enerji Performans Direktifi'ne göre, binalardaki enerji verimliliği uygulamaları üye devletlerin maliyet-optimum seviyelerine göre belirlenmelidir. Direktifin uyumlu eylem raporuna göre, maliyet optimum seviyelerinin belirlenmesi üç farklı perspektiften gerçekleştirilebilmektedir [198, 199]:

1. İklim değişikliği ve CO_2 emisyonları gibi toplumsal faydaları içeren ancak vergileri ve sübvansiyonları göz ardı eden toplumsal "makro" ekonomik perspektif.
2. Mal sahibinin ve bina sahibinin bakış açısından maliyet ve faydaları içeren, vergiler ve sübvansiyonları içeren bireysel son kullanıcı perspektifi.
3. Farklı son kullanıcıların farklı etkilerini önlemek için tipik bir kullanıcı tanımını içeren ve pazar engellerini göz ardı eden bireysel son kullanıcı perspektifinin temel versiyonu olan idealleştirilmiş son kullanıcı "mikro" ekonomik perspektifi.

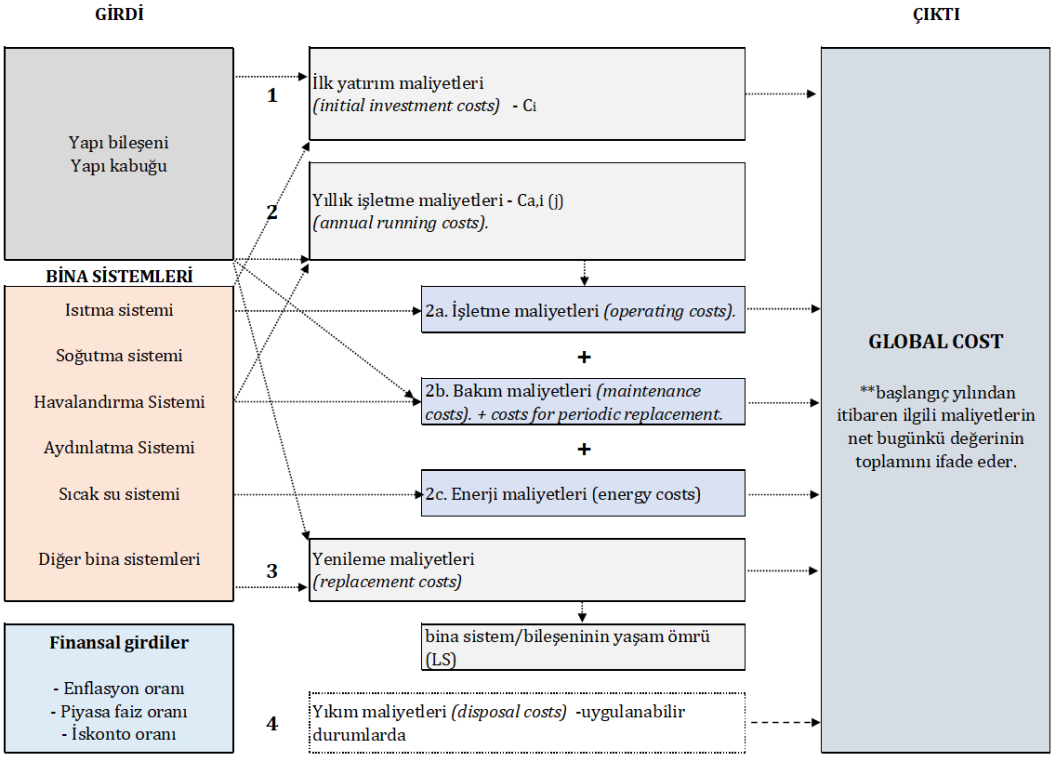
Bu çalışmada finansal hesaplamalar bireysel son kullanıcı perspektifi ile yapılmıştır. Bu perspektifte, tüm vergiler (KDV), sübvansiyonlar ve faiz oranı hesaplamalara dahil edilmelidir [196].

Küresel maliyet hesabı, EN 15459 standardındaki metodoloji ile belirlenmiştir. BS EN 15459-1:2017 Binaların enerji performansı: Binalardaki enerji sistemleri için finansal hesaplama prosedürü – Bölüm I: Hesaplama Prosedürleri standardı, binalarda enerji tasarruf seçeneklerinin finansal hesaplamasında gerekli olan girdileri, çıktıları, hesaplama formüllerini ve binaların enerji performansı ile ilişkili enerji sistem tiplerini standardize etmeyi amaçlamaktadır [200].

Standartta küresel maliyet *(global cost),* ilk yatırım maliyetleri[1] *(initial investment costs),* yıllık işletme maliyetleri[2] *(annual running costs)* ve yenileme maliyetlerinin[3] *(replacement costs)* başlangıç yılından itibaren net bugünkü değerinin *(net present value)* toplamıdır. Uygulanabilir durumlarda yıkım maliyetleri *(disposal costs)* de bu hesaba dahil edilebilir.

31455 sayılı Kamuda Enerji Performans Sözleşmelerinin Uygulanmasına İlişkin Tebliğ'de belirtildiği şekliyle "Net Bugünkü Değer (NBD): Tasarruf konusu yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağladığı gelirin bugünkü değerinden, proje giderlerinin bugünkü değerinin düşülmesi ile elde edilen farkı" ifade etmektedir [201].

EN 15459 standardındaki küresel maliyet analizi hesaplama metodolojisine ilişkin girdi ve çıktılar Şekil 3.23'te özetlenmektedir:



Şekil 3.23 : Küresel maliyet analizine ilişkin girdi ve çıktılar.

2010 yılında yayımlanan Bina Enerji Performans Direktifi'nde tanımlanan küresel maliyet hesaplama metodolojisi, enerji dışındaki maliyetleri içermediğinden (su kullanım maliyetleri vb.) binanın yaşam döngüsü boyunca tüm çevresel etkileri ele alan yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) ile tam olarak uyumlu değildir. Ancak bu metodolojiyi genişleterek yaşam döngüsü maliyetine (LCC) dönüştürmek üye devletlere bırakılmıştır [172].

İlk yatırım maliyetleri *(initial investment costs)*, binanın ya da bina elemanının son kullanıcıya teslimine kadar geçen sürede oluşan maliyetlerdir. Bu çalışmada ilk yatırım maliyeti olarak binaya uygulanacak önlemlerin yatırım maliyetleri hesaplanacaktır.

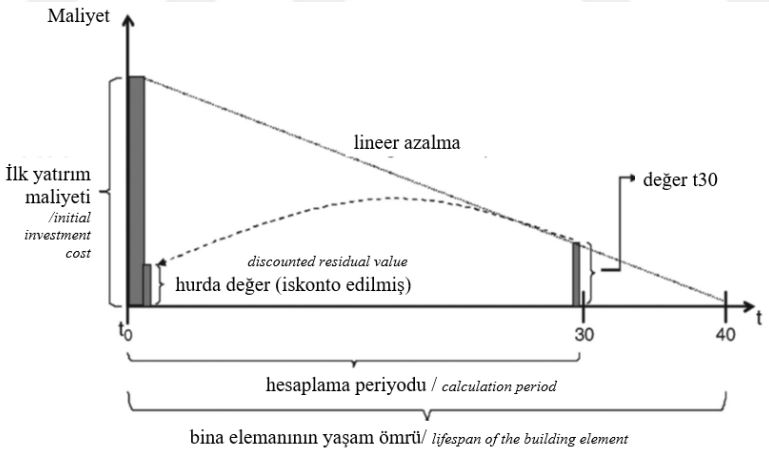
Yıllık işletme maliyetleri *(annual costs)*, hesaplama periyodu boyunca bakım maliyetleri *(maintenance cost)*, işletme maliyetleri *(operational cost)* ve enerji maliyetlerinin *(energy costs)* toplam maliyetidir. Bakım maliyetleri, binada yıllık olarak alınan önlemleri de kapsar (temizlik, önleyici bakım kapsamında onarım). Enerji maliyetleri, hesaplanan yıllık enerji tüketim değerleri (ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su vd. sistemler) ve enerji birim fiyatları ile ilişkilidir. Enerji fiyatlarının yıllık artış oranları da bu hesaba dahil edilir.

Yenileme maliyetleri *(replacement costs),* hesaplama dönemi boyunca bina elemanının/sisteminin tahmini servis ömrüne göre yapılan maliyetleri kapsamaktadır. Ürünlerin/sistemlerin yenileme maliyetleri**;** ilk yatırım maliyeti**,** ürün fiyat artış hızı, ürün/sistemin yaşam ömrü ve yaşam ömrü süresine karşılık gelen iskonto oranı ile çarpılarak denklem 3.2 ile hesaplanmaktadır.

$$A_1 = A_0 * \left(1 + RAT_{\mathrm{pr}}\right)^{LS} * D_f_{LS} \tag{3.2}$$

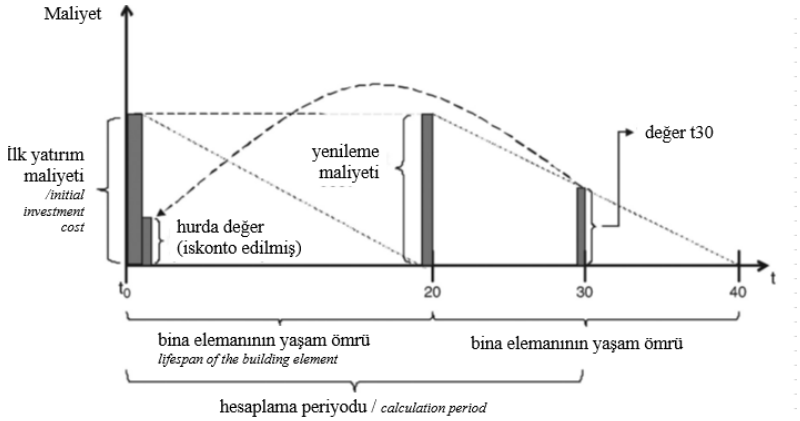
A_1: İskonto edilmiş yenileme maliyeti
A_0: İlk yatırım maliyeti
RAT_{pr}: ürün fiyat artış hızı (enflasyona eşit kabul edilmiştir = %17.83)**
LS: ürünün yaşam ömrü
D_f_{LS}= yaşam ömrü süresindeki iskonto oranı.

Hesaplama periyodundan daha uzun yaşam ömrüne sahip olan bina bileşenleri için hurda değer hesabı *(residual value)* yapılmaktadır. Bu hesaplamada lineer azalma kabul edilir ve ilgili yıldaki iskonto faktörü *(discount factor)* ile çarpılır (Şekil 3.24). Örneğin, yaşam ömrü 40 yıl olan bir bina elemanının, 30 yıllık hesaplama periyodu sonunda yaşam ömrü henüz bitmediği için artık değeri 30. yıl karşılığına gelen iskonto oranı ile çarpılarak hesaplanmalıdır [172].



Şekil 3.24 : Hesaplama periyodundan daha fazla yaşam ömrüne sahip bina bileşeninin/ elemanının hurda değer hesabı [172].

Yaşam ömrü hesaplama periyodundan daha kısa olan bir bina elemanı ele alındığında, öncelikle yaşam ömrü sonunda bir yenileme maliyeti hesaplanmalıdır. Hesaplama periyodundan daha kısa yaşam ömrüne sahip bina bileşenleri için yenileme maliyetinin ilk yatırım maliyeti ile aynı olduğu varsayılmaktadır [202]. Hesaplama periyodu sonunda hurda değer, iskonto edilmiş yenileme maliyetinin %50'si olacaktır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 : Hesaplama periyodundan daha az yaşam ömrüne sahip bina bileşeninin/ elemanının hurda değer hesabı [172].

Bireysel son kullanıcı perspektifi ile yapılan finansal hesaplamada toplam maliyet hesaplanırken, müşteri tarafından ödenen KDV ve harçlar dahil tüm vergiler hesaba dahil edilmekte ve denklem 3.3 ile hesaplanmaktadır [39]:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \tag{3.3}$$

τ : hesaplama periyodu *(calculation period)*
$C_g(\tau)$: hesaplama periyodu boyunca oluşacak toplam maliyet
C_i : ilk yatırım maliyeti *(initial investment costs)*
$Ca,_i(j)$: j bileşeni için i yılındaki yıllık maliyetler (enerji maliyetleri, işletme maliyetleri ve periyodik/ bakım maliyetlerini içerir) *(annual costs year i for energy related component j)*
$R_d(i)$: i yılı için indirim/ iskonto oranı. *(Discount rate for year i)*
$V_{f,\tau}(j)$: binanın hesaplama periyodu sonunda kalan değeri/bedeli. *(Final value of component j at the end of the calculation period – referred to the starting year τ 0)*

Özellikle, yenileme maliyetleri ve nihai değer için iskonto oranı (R_d) kullanılırken işletme maliyetleri için mevcut değer faktörü f_{pv} kullanılmaktadır. İskonto oranı *(discount factor)* denklem 3.4 ile hesaplanmaktadır:

$$R_d = \left(\frac{1}{1 + R_R} \right)^p \tag{3.4}$$

R_d: iskonto oranı
R_r: gerçek iskonto oranı *(reel discount rate)*
p: başlangıç döneminden itibaren yıl sayısı.

Gerçek iskonto oranı R_r ise enflasyon oranı ve piyasa faiz oranı ile ilişkili olup denklem 3.5 ile hesaplanmaktadır:

$$R_R = \frac{R - Ri}{1 + R_i} \tag{3.5}$$

R_r: gerçek iskonto oranı *(real discount rate)*
R_i: enflasyon oranı *(inflation rate)*
R: piyasa faiz oranı *(market interest rate)*

Örneğin, 20 yıllık ömre sahip olan bir bina bileşeninin yenileme maliyeti hesaplanırken i=20 alınmalıdır. Bina bileşenlerinin ömürleri farklı olabileceğinden aynı hesaplama içinde farklı iskonto oranları olabilir; ancak binanın tümü reel iskonto oranı (R_r) üzerinden hesaplanır.

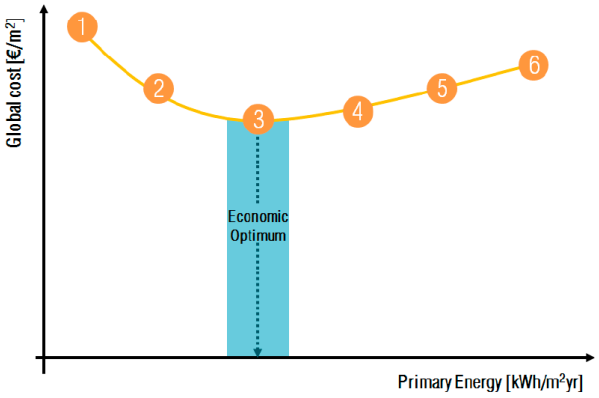
Bugünkü değer faktörü (fpv), birden fazla yıl için eşit olarak meydana gelen; ancak yıldan yıla sabit bir yükselme oranında gerçekleşen maliyetleri hesaplamak için kullanılır. Bu maliyetler genellikle bina ömrünün hizmet süresi boyunca her yıl ortaya çıkmaktadır [203,204]. Fpv hesabında reel iskonto oranı (Rr) kullanılır ve n yıl sayısının bir fonksiyonu olarak denklem 3.6 ile ifade edilir [200].

$$f_{pv}\,(n) = \frac{(1 + R_r) - 1}{R_r \cdot (1 + R_r)^n} \tag{3.6}$$

R_r: gerçek iskonto oranı *(real discount rate)*

Finansal hesaplamaların yapılabilmesi için hesaplama periyodu, enflasyon oranı, piyasa faiz oranı, enerji fiyat artış oranları gibi birtakım ekonomik girdilere ihtiyaç duyulmaktadır. Avrupa Birliği'nin güncel mevzuatında, maliyet hesaplama süresi konut ve kamu binaları için 30 yıl ve ticari, konut dışı binalar için 20 yıl olarak tanımlanmıştır [39]. Enflasyon oranı ve piyasa faiz oranı için ülkenin ilgili resmi kurumlarının yayınladığı ekonomik veriler baz alınabilir. Enerji fiyat artış oranları *(rate of development of energy prices)* enflasyon oranına eşit kabul edilebilir veya ilgili enerji kuruluşlarından temin edilebilir [200, 205].

Enerji verimliliğine yönelik uygulanan önlemlerin, enerji performansı ve küresel maliyet hesaplamaları üzerinden karşılaştırılabilmesi için maliyet-optimum grafiği çizilmelidir (Şekil 3.26). Maliyet optimum grafiğinde x aksı yıllık birincil enerji tüketimini, y aksı ise küresel maliyeti ifade etmektedir. Maliyet optimum seviye bu grafikteki en düşük noktadır, ve buna karşılık gelen nokta ise maliyet optimumdaki enerji performansını ifade eder. nSEB tanımına yaklaşılabilmesi için çeşitli politikalar ile bu noktanın sola doğru kaydırılması gerekmektedir [206].



Şekil 3.26 : Maliyet - optimum grafiği [206].

3.5.1 Ekonomik girdilere ilişkin varsayımlar

Bu bölüm, küresel maliyet hesabında girdi olarak ele alınan hesaplama periyodu, enflasyon oranı, piyasa faiz oranı, reel iskonto oranı ve enerji fiyatlarına ilişkin varsayımları içermektedir.

- Hesaplama periyodu *(calculation period):* Çalışma kapsamında bir konut binasının iyileştirmesi yapıldığından hesaplama periyodu 30 yıl olarak seçilmiştir. Hesaplama başlangıç yılı olarak 2022 alınmıştır (2022- 2051).

- Enflasyon oranı *(inflation rate):* Enflasyon oranı belirlenirken Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası'nın (TCMB) 2013-2022 yılları arasındaki 10 yıllık ortalama verileri alınmıştır [207]. Buna göre ortalama enflasyon oranı %17,83 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.28).

Çizelge 3.28 : TCMB 2013- 2022 yılları arasındaki enflasyon verileri.

Dönem	TÜFE yıllık değişim
2013	% 7.49
2014	% 8.85
2015	% 7.67
2016	% 7.79
2017	% 11.13
2018	% 16.22
2019	% 15.46
2020	% 12.26
2021	% 19.42
2022	% 71.98
Ortalama	**% 17.83**

- Piyasa faiz oranı *(market interest rate):* Piyasa faiz oranı belirlenirken TCMB'nin 2013-2022 yılları arasındaki 10 yıllık ortalama verileri alınmıştır [208]. Buna göre ortalama piyasa faiz oranı %10,14 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.29).

Çizelge 3.29 : TCMB 2013- 2022 yılları arasındaki piyasa faiz oranı verileri [208].

Dönem	Faiz Oranı % (Borç alma)
2013	% 4.04
2014	% 7.67
2015	% 7.25
2016	% 7.25
2017	% 7.25
2018	% 19.06
2019	% 14.06
2020	% 10.28
2021	% 14.90
2022	% 9.63
Ortalama	**% 10.14**

- Reel iskonto oranı *(real discount rate):* Reel iskonto oranı hesaplanırken enflasyon ve piyasa faiz oranları kullanılmaktadır. EN 15459 standardında belirtilen formül ile reel iskonto oranı %6,53 olarak hesaplanmıştır.

- Enerji fiyatları *(energy prices):* Hesaplamalarda elektrik birim fiyatı olarak EPDK'nin yayınlamış olduğu elektrik tarifelerinden Ocak - Aralık 2022 tarifesinin ortalaması alınmıştır [209]. Doğalgaz birim fiyatı için ise İGDAŞ Ocak – Aralık 2022 tarifesinden yararlanılmıştır [210]. Finansal hesaplamalar bireysel son kullanıcı perspektifine göre yapılacağından, kullanıcıya yansıtılan elektrik ve doğalgaz faturasındaki tüm vergi ve fonlar hesaplamaya dahil edilmiştir (Çizelge 3.30 ve Çizelge 3.31). Doğal gaz birim fiyatı vergi dahil 0,43110109 TL/kWh, elektrik birim fiyatı vergi ve fonlar dahil 1,423488 TL/kWh alınmıştır.

Çizelge 3.30 : Elektrik tüketim bedeli (Vergiler ve fonlar dahil).

Bedel	Yüzde	Birim fiyat (TL/ kWh)
Aktif enerji bedeli (Ocak- Aralık 2022 ortalama)	-	0.938092
Dağıtım bedeli (Ocak- Aralık 2022 ortalama)	-	0.333048
Aktif enerji + dağıtım bedeli (Ocak- Aralık 2022 ortalama) (tek terimli, tek zamanlı, mesken 8 kWh/gün ve altı)	-	1.271140
Enerji Fonu (aktif enerji tüketim tutarı üzerinden)	% 0.7	0.00656664 (0.938092x 0.007)
TRT Payı (aktif enerji tüketim tutarı üzerinden)**	% 2	0.01876184 (0.938092x 0.02)
Elektrik ve Havagazı Tüketim Vergisi (aktif enerji tüketim tutarı üzerinden)	% 5	0.0469046 (0.938092x 0.05)
KDV (matrah: aktif enerji bedeli + elk.ve hava tüketim vergisi)	% 8	0.10544357
TOPLAM (Vergiler ve fonlar dahil)		**1.423488**

**01.01.2022 tarihi itibarıyla oluşan faturalarda Enerji Fonu ve TRT payı faturaya yansıtılmamaktadır [211].

Çizelge 3.31 : Doğalgaz tüketim bedeli (Vergiler dahil).

Bedel	Yüzde	Birim fiyat (TL/ kWh)
Doğalgaz satış bedeli (Ocak- Aralık 2022)	-	0.36533991
KDV	% 18	0.06576118
TOPLAM (Vergi dahil)		**0.43110109**

Enerji fiyatlarının artış hızı *(rate of development of energy prices):* Küresel maliyet hesaplarındaki bir diğer önemli girdi de enerji fiyatlarının artış hızıdır. TÜİK istatistiklerine göre, 2013-2022 yılları arasındaki enerji fiyatlarındaki artış oranları Çizelge 3.32'de verilmiştir [212]:

Çizelge 3.32 : Enerji fiyatlarındaki artış oranı (2013-2022) [212].

Yıl	Elektrik birim fiyatında bir önceki yıla göre artış oranı (%)	Doğalgaz birim fiyatında bir önceki yıla göre artış oranı (%)
2013	% 13.50	% 4.15
2014	% 5.95	%3.22
2015	% 4.01	% 6.06
2016	% 6.17	% 1.21
2017	0 (artış yok)	% -6.68
2018	%8.96	% 4.49
2019	%19.55	% 19.05
2020	%32.34	% 34.66
2021	%11.66	% 5.31
2022	%74.96	% 53.56
Ortalama	**%17.71**	**% 12.50**

Enerji fiyat artış oranı yıllara göre incelendiğinde, elektrik birim fiyatındaki 10 yıllık artış ortalaması %17,71, doğalgazda ise %12,50'dir. Değerlerin çalışmada belirlenen enflasyon oranına yakın olması nedeniyle, küresel maliyet hesaplamalarında enerji fiyatlarının artış hızı enflasyon oranına eşit kabul edilmiştir (%17,83).

Hesaplama başlangıç yılı 2022 kabul edildiğinden, döviz kuru hesabında 2022 yılı ortalaması alınmıştır. TCMB verilerine göre her ayın 14-15.günü alınan döviz kurunun ortalaması 1$= 16,58 TL ve 1€=17,40 TL olarak belirlenmiştir [213]. Maliyet hesaplamalarında kullanılan veriler Çizelge 3.33'te belirtilmiştir:

Çizelge 3.33 : Küresel maliyet hesaplamalarında kullanılan veriler.

Enflasyon oranı	%17,83 (10 yıllık ortalama)	[207]
Piyasa faiz oranı	%10,14 (10 yıllık ortalama)	[208]
Gerçek iskonto oranı	%6,53 (0.0653)	
Döviz kuru ($)	16,58 TL (1$ karşılığı)	[213]
Döviz kuru (€)	17,40 TL (1$ karşılığı)	[213]
Doğal gaz birim fiyatı	0,43110109 TL/kWh	[210]
Elektrik birim fiyatı	1,423488 TL/kWh	[209]

Ekonomik girdilere ilişkin veri toplama süreci tamamlandığında, DesignBuilder programında veri girişleri yapılmış ve her bir enerji verimliliği önleminin küresel maliyeti hesaplanmıştır.

Finansal hesaplamalarda, tüm senaryolar için aynı olan ve/veya bina enerji performansını etkilemeyen bina eleman veya bileşenlerine ilişkin maliyetler hesaplamaya dahil edilmemiş; ilk yatırım maliyetleri, yenileme maliyetleri, enerji maliyetleri ve hurda değerler hesaplanmıştır.

3.5.2 İlk yatırım maliyetlerinin hesaplanması *(initial investment costs)*

Çalışma kapsamındaki tekil önlem ve önlem paketlerinin ilk yatırım maliyetlerinin hesaplanması sürecinde 2022 yılı piyasa fiyatlarından yararlanılmış ve her bir ürün ya da sistem için üç adet firmanın fiyat ortalaması alınmıştır. Fiyat bilgisine ulaşılamayan malzeme ve sistemler için T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yayınladığı 2022 Yılı İnşaat Birim Fiyat Analizleri raporu kullanılmıştır [214].

Finansal hesaplamalar bireysel son kullanıcı perspektifinden gerçekleştirildiğinden, hesaplamalardaki birim fiyatlar, müşteri tarafından ödenen vergiler dahil piyasa fiyatlarıdır (KDV ve harçlar dahil). Birim fiyatlara %25 oranında genel gider eklenmiş ve ürün ve sistemlerin ilk yatırım maliyetleri hesaplanmıştır.

Yapı kabuğunda alınan önlemlerde ilk yatırım maliyeti en yüksek olan tekil önlem dış duvar yalıtımıdır. Cam sistemleri, bodrum kat tavan döşemesi yalıtımı ve çatı yalıtımı için gereken ilk yalıtım maliyetleri bunu takip etmektedir (Çizelge 3.34).

Tekil önlemlerde, binanın ısıtma sistemi için alınan önlem (ISITMA-DS) 574.28 TL/m^2 birim maliyet ile ilk yatırım maliyeti en yüksek olan uygulama olmaktadır. Bunu takip eden tekil önlemler, 390.49 TL/m^2 birim maliyet ile fotovoltaik sistem uygulaması (PV) ve 282.12 TL/m^2 birim maliyet ile günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi uygulamasıdır (AYD-KONTROL).

Yapı kabuğunda ele alınan önlem paketlerinden (S1- S8) ilk yatırım maliyeti en yüksek olan S1 ve S2 senaryoları olup bunları S5 ve S6 takip etmektedir (Senaryo açılımları için bkz. Çizelge 3.19 ve Çizelge 3.26). S21 ve S22 senaryolarında pasif önlemlere ek olarak yerden ısıtma sistemi, aydınlatma kontrol sistemi ve fotovoltaik sistem eklenmiştir (Çizelge 3.27). Bu nedenle ilk yatırım maliyeti en yüksek olan bu iki senaryodur (en düşük yıllık birincil enerji tüketimi).

Çizelge 3.34 : EV önlem/önlem paketlerine ilişkin ilk yatırım maliyetleri.

	Birincil enerji tüketimi (kWh/m² y)	Birim Fiyat (Malzeme+ İşçilik) m²/TL	Genel Giderler %25	Maliyet m²/TL	Toplam Maliyet TL	Birim maliyet (TL/m²) /690.77
REF-BİNA	165.71	-	-	-	-	-
Dış duvar						
YLTM-D1	163.39	220.00 ₺	55.00 ₺	275.00 ₺	200,640.00 ₺	290.46 ₺
YLTM-D2	162.65	279.00 ₺	69.75 ₺	348.75 ₺	254,448.00 ₺	368.35 ₺
YLTM-D3	163.15	340.00 ₺	85.00 ₺	425.00 ₺	310,080.00 ₺	448.89 ₺
YLTM-D4	162.42	400.00 ₺	100.00 ₺	500.00 ₺	364,800.00 ₺	528.11 ₺
Çatı						
YLTM-Ç1	165.39	105.00 ₺	26.25 ₺	131.25 ₺	41,377.88 ₺	59.90 ₺
YLTM-Ç2	165.23	145.00 ₺	36.25 ₺	181.25 ₺	57,140.88 ₺	82.72 ₺
YLTM-Ç3	165.37	165.00 ₺	41.25 ₺	206.25 ₺	65,022.38 ₺	94.13 ₺
YLTM-Ç4	165.19	245.00 ₺	61.25 ₺	306.25 ₺	96,548.38 ₺	139.77 ₺
Döşeme						
YLTM-DS1	168.14	180.00 ₺	45.00 ₺	225.00 ₺	48,150.00 ₺	69.70 ₺
YLTM-DS2	168.94	255.00 ₺	63.75 ₺	318.75 ₺	68,212.50 ₺	98.75 ₺
YLTM-DS3	168.32	320.00 ₺	80.00 ₺	400.00 ₺	85,600.00 ₺	123.92 ₺
YLTM-DS4	169.10	380.00 ₺	95.00 ₺	475.00 ₺	101,650.00 ₺	147.15 ₺
Cam sistemi						
C1 (DB-LOE-A)	163.55	759.78 ₺	189.95 ₺	949.73 ₺	91,809.92 ₺	132.91 ₺
C2 (DB-LOE-AR)	162.97	799.90 ₺	199.98 ₺	999.88 ₺	96,657.92 ₺	139.93 ₺
C3 (DB-LOE-A)	162.97	768.04 ₺	192.01 ₺	960.05 ₺	92,808.03 ₺	134.35 ₺
C4 (DB- LOE-AR)	162.84	808.75 ₺	202.19 ₺	1,010.94 ₺	97,727.33 ₺	141.48 ₺
ISITMA-DS	141.50			1,983.47 ₺	396,694.75 ₺	574.28 ₺
AYD-KONTROL	155.07				194,880.00 ₺	282.12 ₺
PV	142.51			4,149.78 ₺	269,735.88 ₺	390.49 ₺
S1- YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C3	160.66				554,156.41 ₺	802.23 ₺
S2- YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C4	160.78				559,075.70 ₺	809.35 ₺
S3- YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C3	160.83				404,396.91 ₺	585.43 ₺
S4- YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C4	160.90				409,316.20 ₺	592.55 ₺
S5- YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C3	160.70				514,748.91 ₺	745.18 ₺
S6- YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C4	160.79				519,668.20 ₺	752.30 ₺
S7- YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C3	160.82				443,804.41 ₺	642.48 ₺
S8- YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C4	160.86				448,723.70 ₺	649.60 ₺
S9- [S1] + ISITMA-DS	122.32				950,851.16 ₺	1,376.51 ₺
S10- [S1]+ AYD-KONTROL	148.59				749.036,41 ₺	1084.35 ₺
S11- [S1] + PV	137.50				823,892.29 ₺	1,192.72 ₺
S12- [S5] + ISITMA-DS	122.37				911,443.66 ₺	1,319.46 ₺
S13- [S5] + AYD- KONTROL	148.56				709.628,91 ₺	1027.30 ₺
S14- [S5] + PV	137.52				784,484.79 ₺	1,135.67 ₺
S15- [S1] + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL	113.30				1.145.731,16 ₺	1,658.63 ₺
S16- [S1] + ISITMA-DS + PV	99.28				1,220,587.04 ₺	1,766.99 ₺
S17- [S1] + AYD-KONTROL + PV	125.42				1.018.772,29 ₺	1.474,84 ₺
S18- [S5] + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL	113.34				1.106.323,66 ₺	1.601,58 ₺
S19- [S5] + ISITMA-DS + PV	99.33				1,181,179.54 ₺	1,709.95 ₺
S20- [S5] + AYD-KONTROL + PV	125.45				979.364,79 ₺	1.417,79 ₺
S21- [S1] + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL + PV	90.26				1.415.467,04 ₺	2.049,11 ₺
S22- [S5] + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL + PV	90.30				1.376.059,54 ₺	1.992,07 ₺

YLTM-D1: Mevcut dış duvara 5cm EPS uygulaması
YLTM-D2: Mevcut dış duvara 10cm EPS uyg.
YLTM-D3: Mevcut dış duvara 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-D4: Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uyg.
YLTM-Ç1: Mevcut çatıya 5cm EPS uygulaması
YLTM-Ç2: Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç3: Mevcut çatıya 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç4: Mevcut çatıya 10cm taşyünü uyg.
YLTM-DS1: Bodrum kat tavanına 5cm EPS* uygulaması
YLTM-DS2: Bodrum kat tavanına 10 cm EPS
YLTM-DS3: Bodrum kat tavanına 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-DS4: Bodrum kat tavanına 10 cm taşyünü
C1: 4mm cam + 12mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C2: 4mm cam + 12mm argon + 4mm cam komb.
C3: 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C4: 4mm cam + 16mm argon + 4mm cam komb.
ISITMA-DS : Yerden ısıtma sistemi
AYD-KONTROL : Günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi
PV: Mevcut çatıya 40 adet, 12 kWp gücünde fotovoltaik sistem önerisi

3.5.3 Yenileme maliyetlerinin hesaplanması *(Replacement costs)*

Yenileme maliyetlerinin hesaplanmasında, bina sistemlerinin/bileşenlerinin yaşam ömrü için EN 15459 standardından yararlanılmıştır [200]. Bina bileşenlerinin yaşam ömrü sonunda yenileneceği kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan bina bileşenlerine ilişkin yaşam ömürleri Çizelge 3.35'te verilmektedir:

Çizelge 3.35 : Bina bileşenlerinin/ sistemlerinin yaşam ömrü [200].

Bileşen	Yaşam Ömrü (Yıl)	Yıllık Bakım Maliyeti (ilk yatırım maliyetine göre yüzdesi %)
Yalıtım (EPS, taş yünü)	50	-
Kombi (yoğuşmalı)	20	1-2
Radyatör	30-40	1-2
Yerden ısıtma sistemi (sulu)	50	2
Plastik boru (yerden ısıtma sistemleri için)	50	1
Klima ünitesi	15	4
Fotovoltaik panel	25	0.5
Pencereler /Cam	30	0.5
LED	15	-
Günışığı sensörleri	15	-

Mevcut konut binasının çatısına planlanan 40 adet fotovoltaik panel sisteminin servis ömrü olan 25. yılın sonunda yenileneceği kabul edilmiştir. İskonto edilmiş yenileme maliyeti, PV tekil önlemi ile S11, S14, S16, S17, S19, S20, S21 ve S22 nolu senaryolara eklenmiştir.

Kombi sisteminin 20 yıl sonunda yenileneceği kabul edilmiştir. İlgili maliyet tüm senaryolara eklenmiştir.

Günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sisteminde sensörlerin 15 yıllık servis ömrü olduğu kabul edilmiştir [215]. Buna göre 15. yıl sonunda sensörlerin yenileneceği varsayılmıştır. LED armatürler tüm senaryolarda aynı olacağından yenileme maliyeti hesabına dahil edilmemiştir.

Binada soğutma sistemi olarak kullanılan klima ünitesinin yıllık bakım-onarım (ilk yatırım maliyetinin %4'ü) ve yenileme maliyeti (yaşam ömrü:15 yıl) tüm senaryolarda aynı olacağından küresel maliyet hesabına dahil edilmemiştir. Benzer şekilde, tüm senaryolarda aynı olan PVC pencere sisteminin yıllık bakım-onarım ve yenileme maliyeti (yaşam ömrü:30 yıl) küresel maliyet hesabına dahil edilmemiştir.

3.5.4 Yıllık bakım maliyetlerinin hesaplanması *(Maintenance costs)*

Yıllık bakım maliyetleri, her yıl tekrarlanan maliyetleri *(recurring costs)* kapsamaktadır. EN 15459 standardında yıllık bakım maliyetlerinin ürün ve sistemler için ilk yatırım maliyetine göre yüzdesi verildiğinden hesaplamalarda bu değerler kabul edilmiştir. Bu kapsamda kombi, kalorifer tesisatı, yerden ısıtma sistemi ve fotovoltaik sistemin yıllık bakım maliyetleri hesaplanmıştır.

Referans binada ve diğer senaryolarda bulunan kombinin yıllık bakım maliyeti, ilk yatırım maliyetinin %2'si olarak hesaplanmıştır. Referans binada ve yerden ısıtma önerisinin bulunmadığı tüm senaryolarda kalorifer tesisatının (radyatör) yıllık bakım maliyetinin, ilk yatırım maliyetinin %1-2'si oranında olduğu kabul edilmiştir [200]. İlgili maliyet, yerden ısıtma sistemi (ISITMA-DS) uygulanan senaryolar haricindeki tüm senaryolara eklenmiştir.

Yerden ısıtma sistemi için yıllık bakım maliyeti, ilk yatırım maliyetinin %2'si olarak kabul edilmiştir [200]. İlgili maliyet, ISITMA-DS tekil önlemi ile S9, S12, S15, S16, S18, S19, S21, S22 nolu senaryolara eklenmiştir.

Fotovoltaik sistem için yıllık bakım maliyeti, ilk yatırım maliyetinin %0,5'i olarak kabul edilmiştir [200. İlgili maliyet, PV tekil önlemi ile S11, S14, S16, S17, S19, S20, S21 ve S22 nolu senaryolara eklenmiştir.

3.5.5 Yıllık enerji maliyetlerinin hesabı *(energy cost)*

Çalışma kapsamındaki tekil önlem ve önlem paketlerinin yıllık enerji maliyetlerinin hesaplama sürecinde elektrik birim fiyatı olarak EPDK'nin yayınlamış olduğu elektrik tarifelerinden Ocak- Aralık 2022 tarifesinin ortalaması olarak tüm vergiler dahil birim fiyat 1.423488 TL/kWh değeri alınmıştır [209]. Doğalgaz birim fiyatı için ise İGDAŞ Ocak – Aralık 2022 tarifesinin ortalaması olarak birim fiyat 0.43110109 TL/kWh değeri hesaplamalarda kullanılmıştır [210]. Bu değerler DesignBuilder programına girilerek 30 yıllık hesaplama periyodu boyunca oluşan enerji maliyetleri hesaplanmıştır. Çalışma kapsamındaki senaryoların 2022 yılı için hesaplanan yıllık enerji maliyeti Çizelge 3.36'da verilmiştir:

Çizelge 3.36 : Çalışma kapsamındaki enerji verimliliği önlemlerinin yıllık enerji maliyetleri (2022 yılı baz alınmıştır).

Enerji Verimliliği Önlemi	Nihai Elektrik (kWh)	Nihai Doğalgaz (kWh)	Yıllık Enerji Maliyeti (TL)
REF-BİNA	45236.78	31861.85	**78,129.69 ₺**
YLTM-D1	45,148.31	28593.33	76,594.69 ₺
YLTM-D2	44,792.78	27030.03	75,414.66 ₺
YLTM-D3	45,207.24	28322.57	76,561.85 ₺
YLTM-D4	44,864.29	26738.85	75,390.93 ₺
YLTM-Ç1	45,215.32	31691.72	78,025.80 ₺
YLTM-Ç2	45,213.73	31578.2	77,974.60 ₺
YLTM-Ç3	45,213.73	31673.96	78,015.88 ₺
YLTM-Ç4	45,211.52	31554.68	77,961.31 ₺
YLTM-DS1	46,661.08	30939.83	79,759.68 ₺
YLTM-DS2	47,137.21	30618.19	80,298.79 ₺
YLTM-DS3	46,761.87	30888.08	79,880.85 ₺
YLTM-DS4	47,227.64	30572.69	80,407.90 ₺
C1 (DB-LOE-A)	46,323.65	28135.97	78,070.61 ₺
C2 (DB-LOE-AR)	46,621.71	27443.29	78,196.28 ₺
C3 (DB-LOE-A)	46,621.71	27443.29	78,196.28 ₺
C4 (DB- LOE-AR)	46,838.40	26967.81	78,299.75 ₺
ISITMA-DS	38752.91	26979.14	66,795.04 ₺
AYD-KONTROL	40,757.47	32682.45	72,107.21 ₺
PV	29,243.27	31887.56	55,374.20 ₺
S1- YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C3	46,701.23	22214.14	76,055.18 ₺
S2-YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C4	46,977.10	21776.73	76,259.31 ₺
S3- YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C3	46,600.77	22513.73	76,041.33 ₺
S4- YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C4	46,863.11	22069.68	76,223.34 ₺
S5- YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C3	46,701.16	22236.86	76,064.88 ₺
S6- YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C4	46,975.96	21798.82	76,267.21 ₺
S7- YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C3	46,602.01	22491.01	76,033.30 ₺
S8- YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C4	46,864.12	22047.29	76,215.12 ₺
S9- [S1] + ISITMA-DS	38064.51	12324.78	59,497.60 ₺
S10- [S1] + AYD-KONTROL	41,892.54	22912.02	69,510.92 ₺
S11- [S1] + PV	30,730.54	22231.71	53,328.67 ₺
S12- [S5] + ISITMA-DS	38065.43	12356.82	59,512.72 ₺
S13- [S5] + AYD- KONTROL	41,894.52	22890.43	69,504.44 ₺
S14- [S5] + PV	30,718.20	22254.55	53,320.95 ₺
S15- [S1] + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL	34283.52	13189.42	54,488.15 ₺
S16- [S1] + ISITMA-DS + PV	22132.899	12350.36	36,830.17 ₺
S17- [S1] + AYD-KONTROL + PV	25,913.08	22930.5	46,772.32 ₺
S18- [S5] + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL	34284.71	13221.31	54,503.59 ₺
S19- [S5] + ISITMA-DS + PV	22133.099	12382.84	36,844.46 ₺
S20- [S5] + AYD-KONTROL + PV	25,911.72	22953.93	46,780.49 ₺
S21- [S1] + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV	18352.229	13216.42	31,821.79 ₺
S22- [S5] + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV	18352.659	13249.05	31,836.47 ₺

YLTM-D1: Mevcut dış duvara 5cm EPS uygulaması
YLTM-D2: Mevcut dış duvara 10cm EPS uyg.
YLTM-D3: Mevcut dış duvara 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-D4: Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uyg.
YLTM-Ç1: Mevcut çatıya 5cm EPS uygulaması
YLTM-Ç2: Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç3: Mevcut çatıya 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç4: Mevcut çatıya 10cm taşyünü uyg.
YLTM-DS1: Bodrum kat tavanına 5cm EPS* uygulaması
YLTM-DS2: Bodrum kat tavanına 10 cm EPS
YLTM-DS3: Bodrum kat tavanına 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-DS4: Bodrum kat tavanına 10 cm taşyünü
C1: 4mm cam + 12mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C2: 4mm cam + 12mm argon + 4mm cam komb.
C3: 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C4: 4mm cam + 16mm argon + 4mm cam komb.
ISITMA-DS : Yerden ısıtma sistemi
AYD-KONTROL : Günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi
PV: Mevcut çatıya 40 adet, 12 kWp gücünde fotovoltaik sistem önerisi

3.5.6 Hurda maliyetlerin hesabı *(Salvage costs)*

Çalışmada, 30 yıllık hesaplama süresi sonunda servis ömrü dolmayan sistemlerin kalan servis ömürlerinin net bugünkü değer (NBD) üzerinden hurda maliyetleri hesaplanmış ve küresel maliyetten çıkartılmıştır (negatif değer).

Fotovoltaik sistem (PV) 25. yılın sonunda yenilendikten sonra hesaplama periyodunun (30 yıl) sonuna kadar 5 yıl daha işletilmektedir. Servis ömrü 25 yıl olan sistemin kalan 5 yıl için hurda değer hesabı yapılmıştır. Hurda maliyet, PV önlemi ile S11, S14, S16, S17, S19, S20, S21 ve S22 nolu senaryolarda negatif değer olarak eklenmiştir.

Yalıtımın servis ömrü 50 yıl olduğu için, hesaplama periyodunun sonunda kalan 20 yıl için yalıtım önerilen tüm senaryolarda hurda maliyet değeri hesaplanmalıdır. Hurda değer hesabı her bir yalıtım senaryosu için tekrarlanmış ve küresel maliyet hesaplarına negatif değer olarak eklenmiştir.

Kombi sistemi, 20. yılın sonunda yenilendikten sonra hesaplama periyodunun sonuna kadar 10 yıl daha işletilmektedir. Servis ömrü 20 yıl olan sistemin kalan 10 yıl için hurda değer hesabı yapılmıştır. İlgili hurda maliyeti, tüm senaryolarda negatif değer olarak eklenmiştir.

Yerden ısıtma sisteminin (ISITMA-DS) servis ömrü 50 yıl, hesaplama periyodu 30 yıl olduğundan, kalan 20 yıl için hurda değer hesabı yapılmıştır.İlgili hurda maliyeti, ISITMA-DS tekil önlemi ile S9, S12, S15, S16, S18, S19, S21, S22 nolu senaryolarda negatif değer olarak eklenmiştir.

Bodrum kat tavan döşemesine yapılan yalıtım uygulamaları (YLTM-DS) binanın birincil enerji tüketimini artırdığından -enerji verimliliğine olumsuz katkısı nedeniyle- küresel maliyet hesaplamalarına dahil edilmemiştir.

Küresel maliyet hesabında, ilk yatırım maliyetleri *(initial investment costs)* ile hesaplama periyodu süresinde oluşacak yenileme maliyetleri *(replacement costs),* yıllık bakım ve onarım maliyetleri *(operation and maintenance costs),* yıllık enerji maliyetleri *(annual costs)* ve hesaplama periyodu sonundaki hurda maliyetleri *(salvage costs)* dikkate alınmıştır (Ek D).

3.5.7 Küresel maliyet analizleri *(Global cost analyses)*

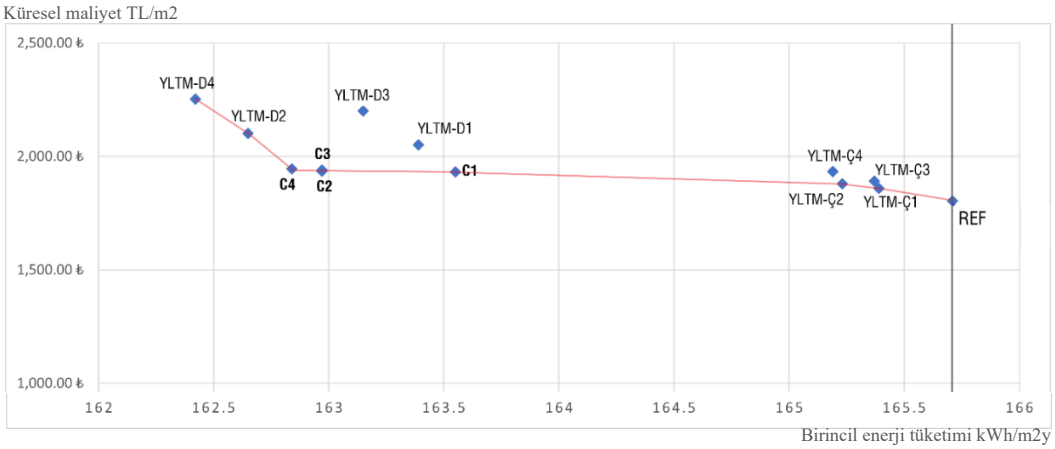
Yapılan hesaplamalar sonucunda, mevcut durumun 30 yıllık hesaplama periyodu için küresel maliyeti 1.675,46 TL/m^2 olarak hesaplanmıştır.

İlk olarak, bina kabuğunda ele alınan tekil önlemlerin enerji verimliliğine ve küresel maliyete olan etkileri incelenmiştir. Mevcut konut binasına uygulanacak 5 cm'lik EPS dış duvar yalıtımı uygulaması (YLTM-D1) enerji verimliliğinde %1,40 oranında iyileştirme sağlarken, küresel maliyeti %14,72 oranında artırmaktadır. 10 cm'lik bir taş yünü uygulaması (YLTM-D4) ise enerji verimliliğinde %1,99 oranında fayda sağlarken, küresel maliyeti %26,82 oranında artırmaktadır.

Mevcut konut binasının çatısına önerilen 5 cm'lik bir EPS yalıtım uygulaması (YLTM-Ç1) enerji verimliliğinde %0,19 oranında iyileştirme sağlarken, küresel maliyeti %3,28 oranında artırmaktadır. 10 cm'lik bir taş yünü yalıtım uygulaması ise enerji verimliliğini %0,32 artırırken, küresel maliyeti %7,74 oranında artırmaktadır.

Bodrum kat tavan döşemesine yapılan yalıtım uygulamaları (YLTM-DS), enerji verimliliğine olumsuz etkisi olması nedeniyle küresel maliyet hesaplarına dahil edilmemiştir.

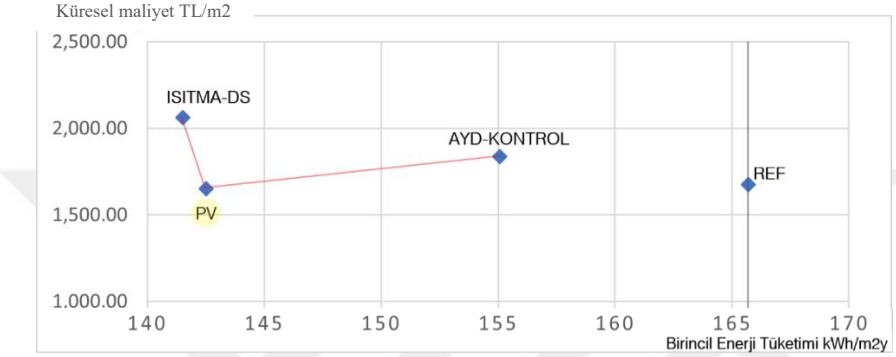
Mevcut binada olduğu kabul edilen 4+6+4mm standart çift cam uygulaması, 4mm+12mm hava+4mm ısı kontrol kaplamalı low-e cam ile değiştirilmesi durumunda (C1) enerji verimliliğine katkısı %1,31 oranında olurken, küresel maliyeti %7,62 oranında artırmaktadır. 4mm+16mm argon+4mm low-e cam uygulaması (C4) enerji verimliliğinde %1,73 oranında iyileştirme sağlarken, küresel maliyeti %8,38 oranında artırmaktadır. Yapı kabuğunda ele alınan tekil önlemlerin birincil enerji tüketimi ve küresel maliyetleri Şekil 3.27'de verilmiştir:



YLTM-D1: Mevcut dış duvara 5cm EPS uygulaması
YLTM-D2: Mevcut dış duvara 10cm EPS uygulaması
YLTM-D3: Mevcut dış duvara 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-D4: Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç1: Mevcut çatıya 5cm EPS uygulaması
YLTM-Ç2: Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç3: Mevcut çatıya 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç4: Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması
C1 : 4mm cam + 12mm hava + 4mm cam komb.
C2 : 4mm cam + 12mm argon + 4mm cam komb.
C3 : 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam komb.
C4 : 4mm cam + 16mm argon + 4mm cam komb.

Şekil 3.27 : Yapı kabuğunda ele alınan önlemlerin birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.

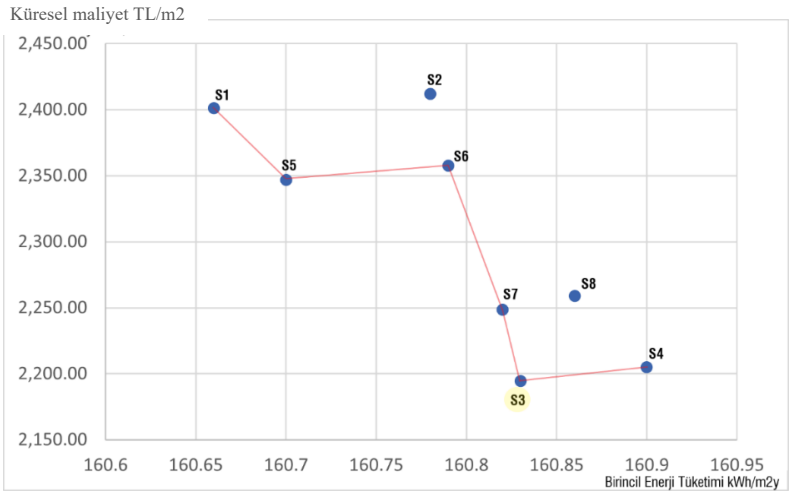
Bir sonraki adımda, tekil önlem olarak uygulanan yerden ısıtma sistemi (ISITMA-DS), günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi (AYD-KONTROL) ve fotovoltaik sistem (PV) uygulamalarının küresel maliyete etkisi incelenmiştir. ISITMA-DS senaryosu enerji verimliliğinde %14,61 oranında bir iyileştirme sağlarken, küresel maliyeti %23,19 oranında artırmaktadır. AYD-KONTROL senaryosu enerji tüketimini %6,42 oranında azaltırken, küresel maliyetleri %9,61 oranında artırmaktadır. PV senaryosu ise, enerji verimliliğinde %14 oranında iyileştirme sağlarken, küresel maliyeti %1,34 oranında azaltmaktadır (Şekil 3.28).



ISITMA-DS : Yerden ısıtma sistemi
AYD-KONTROL : Günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi
PV : Mevcut çatıya 40 adet, 12 kWp gücünde fotovoltaik sistem önerisi

Şekil 3.28 : Isıtma, aydınlatma ve yenilenebilir enerji sistemlerinin birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.

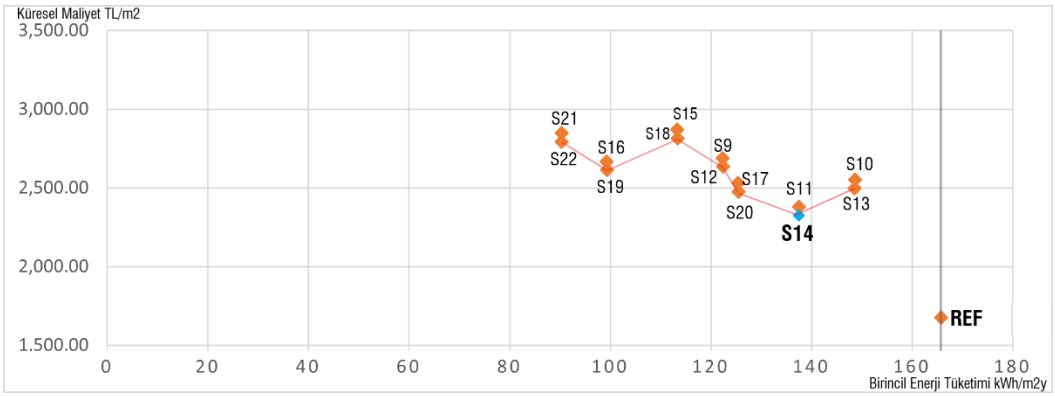
Bir sonraki adımda, yapı kabuğunda ele alınan tekil önlemlerin kombinasyonlarının denendiği S1-S8 senaryolarının küresel maliyetleri incelenmiştir. Kombinasyonlar oluşturulurken, enerji etkinlik bağlamında en verimli tekil önlemler bir araya getirilmiştir. İncelenen senaryolar arasında S3 senaryosu, sağladığı enerji verimliliğine göre küresel maliyeti en az artıran senaryo olarak öne çıkmaktadır. Enerji verimliliğinde %2,95 oranında fayda sağlarken, küresel maliyeti %30,97 oranında artırmaktadır. S1 ve S5 senaryoları, mevcut duruma göre sırasıyla %3.05 ve %3.03 enerji tasarrufu sağlarken, %43,30 ve %40,07 oranında küresel maliyeti artırmaktadırlar (Şekil 3.29).



S1: YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C3
S2: YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C4
S3: YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C3
S4: YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C4
S5: YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C3
S6: YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C4
S7: YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C3
S8: YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C4

Şekil 3.29 : S1- S8 senaryolarının birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.

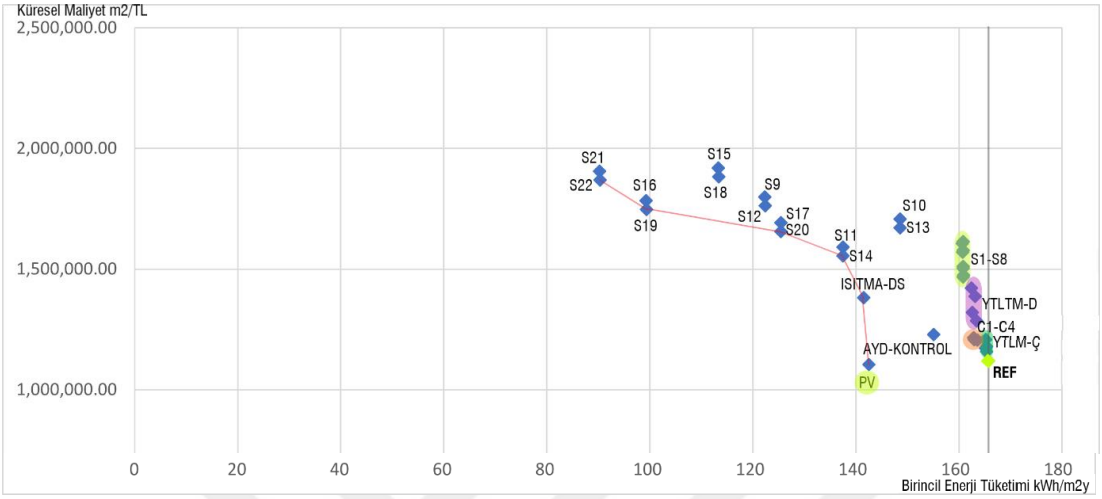
Bu çalışmada enerji etkinliğin öncelikli olması nedeniyle, en enerji etkin pasif önlemler olan S1 ve S5 senaryolarına ISITMA-DS, AYD-KONTROL ve PV senaryoları eklemlenmiş ve S9-S22 senaryoları oluşturulmuştur. Bu önlemler içerisinde küresel maliyeti en düşük senaryo S14'tür (Şekil 3.30). Bina kabuğunda; dış duvarda 10 cm taş yünü yalıtım uygulaması, çatıda 10 cm EPS yalıtım uygulaması, camlarda 4+16+4mm ısıcam uygulamasına ek olarak fotovoltaik sistem (PV) önerisi yapılan bu önlem, enerji verimliliği bakımından referans binaya kıyasla %17,01 oranında fayda sağlarken, küresel maliyeti %38,74 oranında artırmaktadır.



S9 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS
S10: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + AYD-KONTROL
S11: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + PV
S12: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS
S13: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + AYD- KONTROL
S14: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + PV
S15: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL
S16: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + PV
S17: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + AYD-KONTROL + PV
S18: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + AYD.
S19: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + PV
S20: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + AYD-KONTROL + PV
S21: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + AYD + PV
S22: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + AYD. +PV
YLTM-D4 : Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç2: Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç4 : Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması
C3 : 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam kombinasyonu
ISITMA-DS : Yerden ısıtma sistemi
AYD-KONTROL : Günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi
PV : Mevcut çatıya 40 adet, 12 kWp gücünde fotovoltaik sistem önerisi

Şekil 3.30 : S9-S22 senaryolarının yıllık birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.

Tüm tekil önlem ve önlem paketleri karşılaştırıldığında, referans binaya kıyasla küresel maliyeti en düşük olan senaryo PV senaryosu olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan EV önlemlerinin birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri Şekil 3.31'de verilmektedir:



YLTM-D1 : Mevcut dış duvara 5cm EPS uygulaması
YLTM-D2 : Mevcut dış duvara 10cm EPS uygulaması
YLTM-D3 : Mevcut dış duvara 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-D4 : Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç1 : Mevcut çatıya 5cm EPS uygulaması
YLTM-Ç2 : Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç3 : Mevcut çatıya 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç4 : Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması
C1 : 4mm cam + 12mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C2 : 4mm cam + 12mm argon + 4mm cam kombinasyonu
C3 : 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C4 : 4mm cam + 16mm argon + 4mm cam kombinasyonu
ISITMA-DS : Yerden ısıtma sistemi
AYD-KONTROL : Günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi
PV : Mevcut çatıya 40 adet, 12 kWp gücünde fotovoltaik sistem
S1 : YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C3
S2 : YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C4
S3 : YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C3
S4 : YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C4
S5 : YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C3
S6 : YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C4
S7 : YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C3
S8 : YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C4
S9 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS
S10 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + AYD-KONTROL
S11 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + PV
S12 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS
S13 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + AYD- KONTROL
S14 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + PV
S15 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL
S16 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + PV
S17 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + AYD-KONTROL + PV
S18 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL
S19 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + PV
S20 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + AYD-KONTROL + PV
S21 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV
S22 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV

Şekil 3.31 : Çalışılan tüm senaryoların birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında, 2007-2019 yılları arasında yapı ruhsatı aldığı ve İstanbul'da (2. İklim bölgesi) olduğu kabul edilen 4 katlı bir mevcut konut binasını temsil eden referans binaya ilişkin gerekli tüm istatistiksel veriler toplanmış ve *DesignBuilder* programına aktarılarak modellenmiştir. Referans binanın nihai ve birincil enerji tüketimi cinsinden enerji performansı dinamik simülasyon yöntemi ile saatlik bazda hesaplanmıştır *(EnergyPlus).*

Bir sonraki adımda, referans binanın enerji performansını iyileştirmeye yönelik tekil önlemler (Çizelge 3.19) ve önlem paketlerinden (Çizelge 3.26 ve Çizelge 3.27) oluşan toplamda 41 adet senaryo belirlenmiştir. Önlemler ve önlem paketlerinin her biri aşağıdaki kriterler üzerinden değerlendirilmiştir:

- Enerji verimliliği
- İlk yatırım maliyetleri
- Yıllık enerji maliyetleri
- Küresel maliyetler (30 yıl)

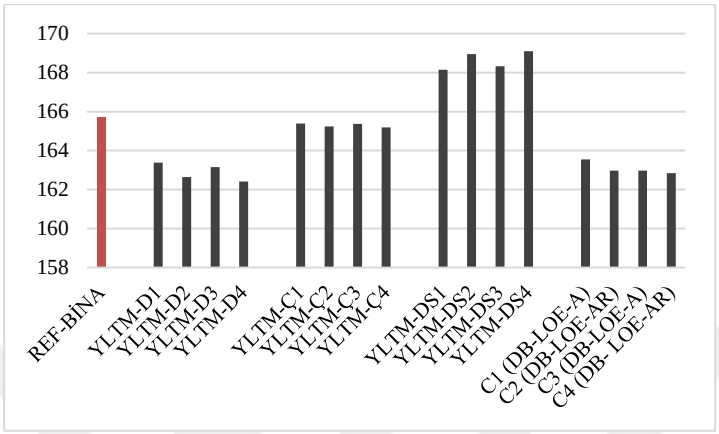
4.1 Enerji Verimliliği Bakımından Değerlendirmeler

Çalışma kapsamında oluşturulan referans binanın yıllık birincil enerji tüketimi 165,71 kWh/m^{2}y olup, bu tüketimin 23,82 kWh/m^{2}y'si ısıtma, 29,62 kWh/m^{2}y'si soğutma, 29,38 kWh/m^{2}y'si aydınlatma, 22,31 kWh/m^{2}y'si sıcak su, 60,59 kWh/m^{2}y'si ise elektrikli ev aletleri/ekipman kullanımından kaynaklanmaktadır.

Referans binanın dış duvarında halihazırda 5 cm'lik EPS yalıtım uygulaması ile çatısında 8 cm'lik taş yünü uygulaması olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle, yalıtıma ilişkin alınan önlemlerde (YLTM-D ve YLTM-Ç) mevcut dış duvara ek olarak uygulanan önlemlerin, enerji verimliliğine düşük oranda fayda sağladığı görülmektedir (%1,40- 1,99). Benzer şekilde, referans binada kabul edilen standart çift cam (4+6+4 mm – kuru hava dolgulu) uygulaması yerine önerilen kuru hava/argon

dolgulu low-e cam uygulamalarına (4+12/16+4mm) ilişkin önlemlerin (C1-C4) enerji tüketimine etkisi yine düşük oranda olmuştur (%1,31 – 1,73).

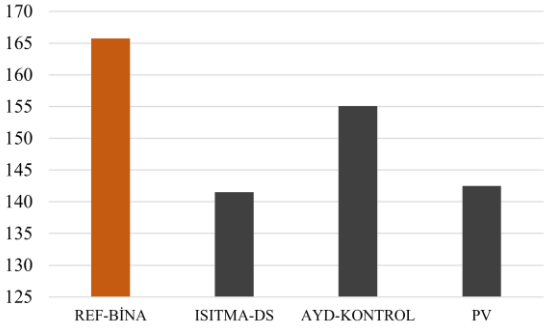
Bodrum kat tavan döşemesine yapılan uygulamalar, ısıtma enerjisi tüketimini azaltırken soğutma enerjisi tüketimini artırmış, bu nedenle yıllık bazda enerji tüketimini olumsuz yönde etkilemiştir (Şekil 4.1).



YLTM-D1 : Mevcut dış duvara 5cm EPS uygulaması
YLTM-D2 : Mevcut dış duvara 10cm EPS uygulaması
YLTM-D3 : Mevcut dış duvara 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-D4 : Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uyg.
YLTM-Ç1 : Mevcut çatıya 5cm EPS uygulaması
YLTM-Ç2 : Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç3 : Mevcut çatıya 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç4 : Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-DS1 : Bodrum kat tavanına 5cm EPS* uygulaması
YLTM-DS2 : Bodrum kat tavanına 10 cm EPS uyg.
YLTM-DS3 : Bodrum kat tavanına 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-DS2 : Bodrum kat tavanına 10 cm taşyünü uyg.
C1 : 4mm cam + 12mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C2 : 4mm cam + 12mm argon + 4mm cam
C3 : 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C4 : 4mm cam + 16mm argon + 4mm cam

Şekil 4.1 : YLTM-D, YLTM-Ç, YLTM-DS ve C1-C4 önlemlerinin yıllık birincil enerji tüketimleri (kWh/m^{2}y).

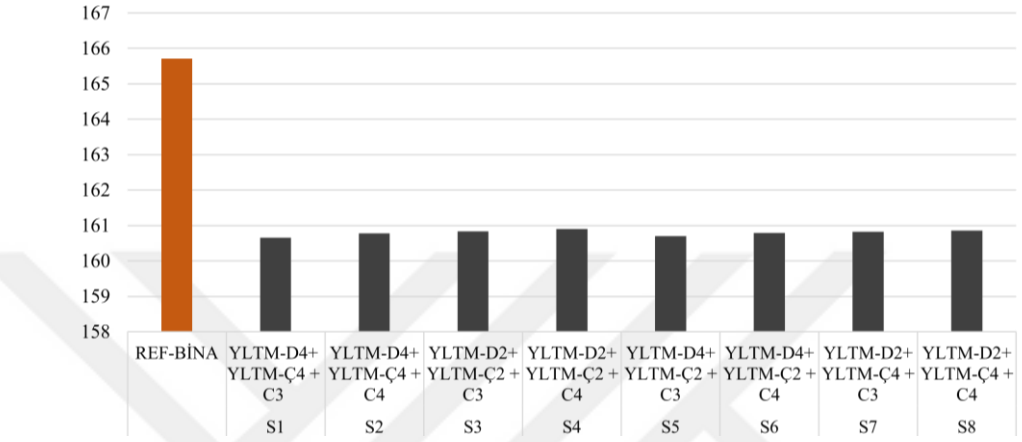
Isıtma, aydınlatma sistemi ve yenilenebilir enerji entegrasyonuna ilişkin çalışılan tekil önlemlerde enerji tüketiminin azaltılmasına en çok fayda sağlayan enerji verimliliği önlemi ISITMA-DS (%14,61) ve PV (%14) senaryoları olmuştur (Şekil 4.2). Özellikle PV senaryosunda, referans binanın elektrik enerjisi ihtiyacının %31,1'inin PV sisteminden karşılanabildiği görülmüştür.



ISITMA-DS : Yerden ısıtma sistemi
AYD-KONTROL : Günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi
PV : Mevcut çatıya 40 adet, 12 kWp gücünde fotovoltaik sistem önerisi

Şekil 4.2 : ISITMA-DS, AYD-KONTROL VE PV önlemlerinin yıllık birincil enerji tüketimleri (kWh/m^{2}y).

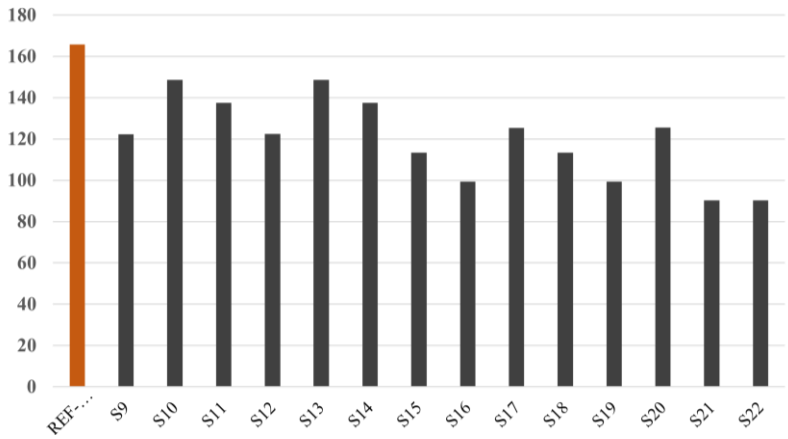
Yapı kabuğunda çalışılan tekil önlemlerin kombinasyonlarının denendiği S1-S8 senaryolarında enerji verimliliğinde en fazla %3,05 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Enerji verimliliğinde düşük oranda fayda sağlanmasının nedeninin, tekil senaryolarla benzer şekilde, referans binanın mevcut durumdaki donanımı olduğu düşünülmektedir (Yalıtımlı duvar, çatı ve çift cam uygulaması). S1- S8 senaryolarının yıllık birincil enerji tüketimleri Şekil 4.3'te verilmektedir:



YLTM-D4 : Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç4 : Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması
C4 : 4mm cam + 16mm argon + 4mm cam kombinasyonu
YLTM-Ç2 : Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
C3 : 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam kombinasyonu

Şekil 4.3 : S1- S8 senaryolarının yıllık birincil enerji tüketimleri (kWh/m^{2}y).

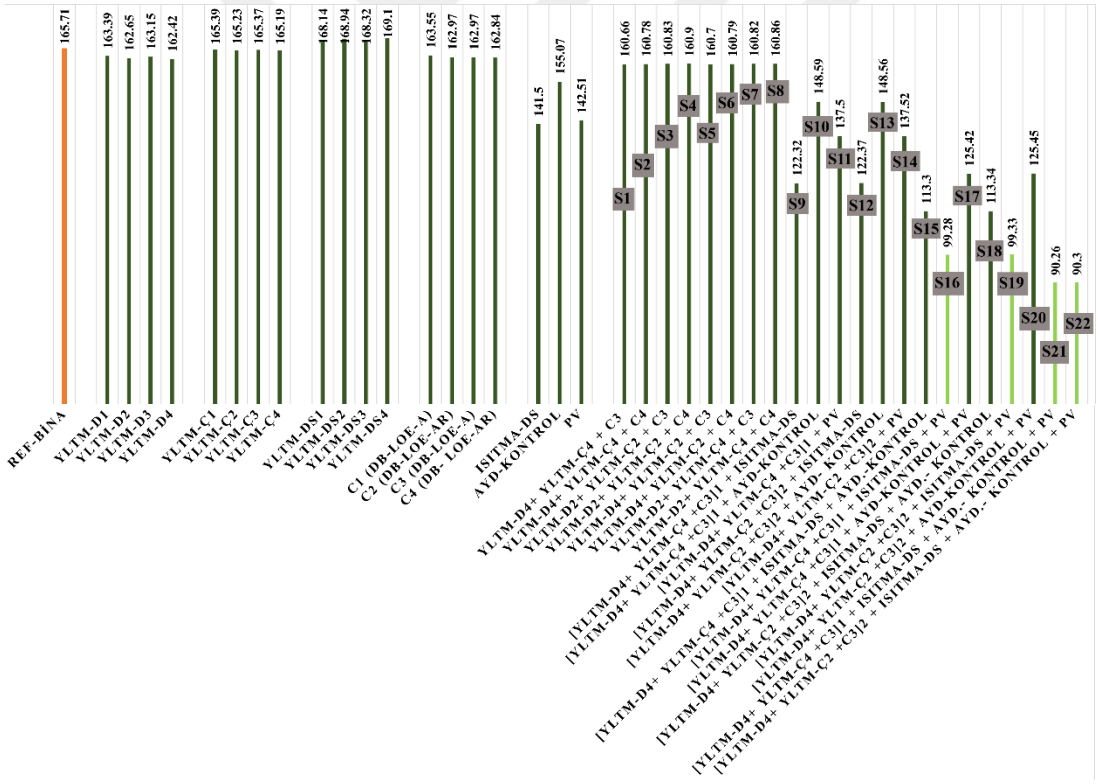
Yapı kabuğunda ele alınan tekil önlemlere ek olarak ısıtma, aydınlatma sistemlerindeki iyileştirme ve yenilenebilir enerji entegrasyonlarının denendiği S9-S22 senaryolarında enerji verimliliğinde mevcut duruma oranla en fazla %45,53 oranında iyileştirme sağlanmıştır (Şekil 4.4).



S9 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS
S10: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + AYD-KONTROL
S11: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + PV
S12: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS
S13: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + AYD- KONTROL
S14: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + PV
S15: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL
S16: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + PV
S17: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + AYD-KONTROL + PV
S18: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL
S19: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + PV
S20: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + AYD-KONTROL + PV
S21: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV
S22: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV

Şekil 4.4 : S9- S22 senaryolarının yıllık birincil enerji tüketimleri (kWh/m^{2}y).

Çalışılan senaryolarda yıllık birincil enerji tüketimi cinsinden enerji performans değeri en iyi olan senaryolar, 90,26 kWh/m^{2}y ile S21 ve 90,30 kWh/m^{2}y ile S22 senaryolarıdır. Bu senaryolarda, yapı kabuğundaki yalıtım önlemlerine (duvar, çatı, cam) ek olarak, yerden ısıtma sistemi (ISITMA-DS), aydınlatma kontrol sistemi (AYD-KONTROL) ve yenilenebilir enerji entegrasyonu olarak fotovoltaik panel (PV) önlemleri birlikte çalışılmış ve referans binaya oranla yaklaşık %45 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Bunları takip eden senaryolar ise metrekare başına düşen yıllık birincil enerji tüketimi 99,28 kWh/m^{2}y ile S16 ve 99,33 kWh/m^{2}y ile S19 senaryolarıdır. İlgili senaryolarda, enerji verimliliği önlemi olarak; yapı kabuğunda yalıtım uygulamaları, yerden ısıtma sistemi (ISITMA-DS), ve yenilenebilir enerji entegrasyonu olarak fotovoltaik panel (PV) sistemi kullanılmış ve referans binaya oranla yaklaşık %40 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Çalışılan enerji verimliliği senaryolarının birincil enerji tüketimi cinsinden değeri Şekil 4.5'te verilmektedir:



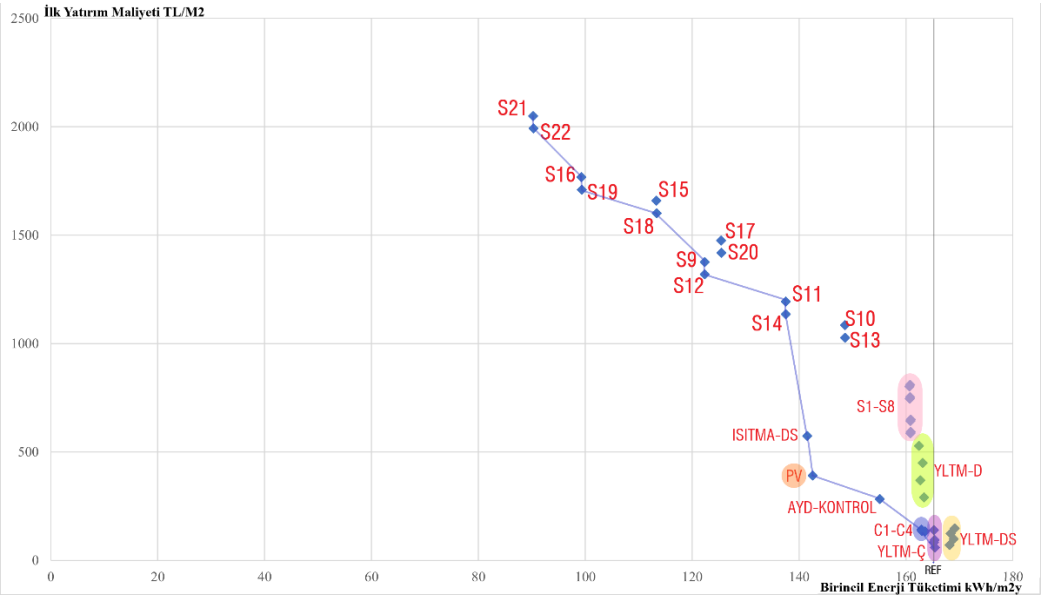
YLTM-D1 : Mevcut dış duvara 5cm EPS uygulaması
YLTM-D2 : Mevcut dış duvara 10cm EPS uygulaması
YLTM-D3 : Mevcut dış duvara 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-D4 : Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç1 : Mevcut çatıya 5cm EPS uygulaması
YLTM-Ç2 : Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç3 : Mevcut çatıya 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç4 : Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-DS1 : Bodrum kat tavanına 5cm EPS uygulaması
YLTM-DS2 : Bodrum kat tavanına 10 cm EPS uygulaması
YLTM-DS3 : Bodrum kat tavanına 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-DS2 : Bodrum kat tavanına 10 cm taşyünü uygulaması
C1 : 4mm cam + 12mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C2 : 4mm cam + 12mm argon + 4mm cam kombinasyonu
C3 : 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C4 : 4mm cam + 16mm argon + 4mm cam kombinasyonu
ISITMA-DS : Yerden ısıtma sistemi
AYD-KONTROL : Günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi
PV : Mevcut çatıya 40 adet, 12 kWp gücünde fotovoltaik sistem önerisi

Şekil 4.5 : Çalışılan enerji verimliliği senaryolarının birincil enerji tüketimi cinsinden değeri (kWh/m^{2}y).

4.2 İlk Yatırım Maliyeti Bakımından Değerlendirmeler

Yapı kabuğunda ele alınan tekil önlemlerin ilk yatırım maliyetleri karşılaştırıldığında, en maliyetli uygulamanın dış duvar yalıtımı olduğu görülmektedir (290,46 – 528,11 TL/m^2). Tekil önlemler arasında ilk yatırım maliyeti en yüksek olan uygulama ISITMA-DS olarak hesaplanmıştır (574,28 TL/m^2 birim maliyet). Bunu PV önlemi takip etmektedir (390,49 TL/m^2 birim maliyet). İlk yatırım maliyeti en yüksek olan senaryo 2.049,11 TL/m^2 birim maliyet ile S21 senaryosu olmuştur. İlk yatırım maliyeti en düşük olan senaryo ise 59,90 TL/m^2 birim maliyet ile YLTM-Ç1 senaryosudur; ancak enerji verimliliğinde sadece %0,19 oranında iyileştirme sağlamaktadır.

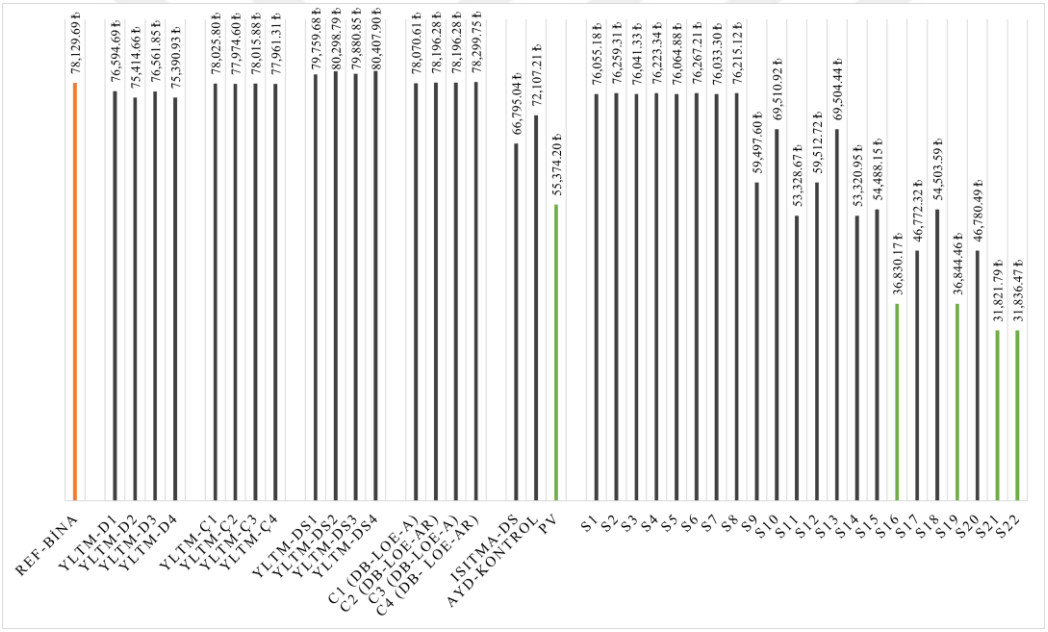
Çalışma kapsamında incelenen EV önlem/önlem paketlerinin, ilk yatırım maliyeti açısından en verimli olanını belirleyebilmek için, önlemlerin yıllık birincil enerji tüketimleri ve ilk yatırım maliyetlerinin grafiği çizilmiştir. Bu grafikteki en düşük nokta, sağladığı enerji performans seviyesine göre ilk yatırım maliyeti en düşük olan senaryoyu göstermektedir. Buna göre, ilk yatırım maliyeti açısından en iyi senaryo tekil bir önlem olan PV senaryosudur. İlgili senaryo, referans binaya 390,49 TL/m^2 ek maliyet getirirken, enerji verimliliğinde tek başına %14'lük bir iyileştirme sağlamaktadır. Yerden ısıtma sistemi (ISITMA-DS) önerisi de PV senaryosundan sonra ilk yatırım maliyeti/birincil enerji tüketimi açısından ikinci en iyi senaryodur. Çalışma kapsamında incelenen EV önlem/önlem paketlerinin ilk yatırım maliyetleri ve enerji performansı Şekil 4.6'da gösterilmektedir:



Şekil 4.6 : EV önlem/önlem paketlerinin ilk yatırım maliyetleri (m^2/TL) ve enerji performansı (birincil enerji tüketimi cinsinden – kWh/m^{2}y).

4.3 Yıllık Enerji Maliyetleri Bakımından Değerlendirmeler

2022 yılı elektrik ve doğalgaz birim fiyatları baz alınarak yapılan değerlendirmede, referans binanın yıllık enerji maliyeti 78.129,69 ₺ olarak hesaplanmıştır. En verimli tekil önlem, elektrik tüketimini azaltması nedeniyle %29'luk bir tasarruf oranı ile PV senaryosudur. Önlem paketlerinde, S21 senaryosu 31.821,79 TL yıllık enerji maliyeti ile %59,27 oranında, S22 senaryosu ise 31.836,47 TL yıllık enerji maliyeti ile %59,25 oranında enerji tasarrufı sağlamaktadır. Bunları sırasıyla, yıllık enerji maliyeti 36.830,17 TL ile S16 (%52,86) ve yıllık enerji maliyeti 36.844,46 TL ile S19 (%52,84) senaryoları takip etmektedir (Şekil 4.7). C2-C4 ve YLTM-DS senaryoları soğutma yükünü artırdığından ve elektrik birim fiyatı doğalgaz birim fiyatına göre daha yüksek olduğundan, senaryoların yıllık enerji maliyetlerine negatif yönde etkisi olmuştur.



YLTM-D1 : Mevcut dış duvara 5cm EPS uygulaması
YLTM-D2 : Mevcut dış duvara 10cm EPS uygulaması
YLTM-D3 : Mevcut dış duvara 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-D4 : Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç1 : Mevcut çatıya 5cm EPS uygulaması
YLTM-Ç2 : Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç3 : Mevcut çatıya 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç4 : Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-DS1: Bodrum kat tavanına 5cm EPS* uygulaması
YLTM-DS2: Bodrum kat tavanına 10 cm EPS* uygulaması
YLTM-DS3: Bodrum kat tavanına 5cm taşyünü uygulaması
YLTM-DS2: Bodrum kat tavanına 10 cm taşyünü uygulaması
C1 : 4mm cam + 12mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C2 : 4mm cam + 12mm argon + 4mm cam kombinasyonu
C3 : 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam kombinasyonu
C4 : 4mm cam + 16mm argon + 4mm cam kombinasyonu
ISITMA-DS : Yerden ısıtma sistemi
AYD-KONTROL : Günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi
PV : Mevcut çatıya 40 adet, 12 kWp gücünde fotovoltaik sistem önerisi
S1: YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C3
S2: YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C4
S3: YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C3
S4: YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C4
S5: YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C3
S6: YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C4
S7: YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C3
S8: YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C4
S9 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS
S10: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + AYD-KONTROL
S11: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + PV
S12: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS
S13: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + AYD- KONTROL
S14: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + PV
S15: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL
S16: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + PV
S17: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + AYD-KONTROL + PV
S18: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + AYD.
S19: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + PV
S20: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + AYD-KONTROL + PV
S21: [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV
S22: [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + AYD. + PV

Şekil 4.7 : EV önlem paketlerinin yıllık enerji maliyetleri açısından değerlendirilmesi (2022 yılı).

Yıllık enerji maliyetleri açısından en verimli senaryoların yıllık elektrik ve doğalgaz tüketimleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : En verimli senaryoların referans binaya kıyasla enerji tüketimleri.

Senaryo	Elektrik kWh/m^2	Doğalgaz kWh/m^2
REF	119.58	46.13
S21	70.51	19.76
S22	70.51	19.80
S16	80.82	18.46
S19	80.82	18.51

S16 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + PV
S19 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + PV
S21 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]1 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV
S22 : [YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]2 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV
YLTM-D4 : Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması
YLTM-Ç2 : Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması
YLTM-Ç4 : Mevcut çatıya 10cm taşyünü uygulaması
C3 : 4mm cam + 16mm hava + 4mm cam kombinasyonu
ISITMA-DS : Yerden ısıtma sistemi
AYD-KONTROL : Günışığı sensörlü aydınlatma kontrol sistemi
PV : Mevcut çatıya 40 adet, 12 kWp gücünde fotovoltaik sistem önerisi

4.4 Küresel Maliyet Bakımından Değerlendirmeler

Çalışılan 37 adet (YLTM-DS hariç tutulmuştur) enerji verimliliği önleminin 30 yıllık hesaplama periyodu için küresel maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda, ilk yatırım maliyetleri *(initial investment costs)* ile hesaplama periyodu süresinde oluşacak yenileme maliyetleri *(replacement costs),* yıllık bakım-onarım maliyetleri *(maintenance costs),* yıllık enerji maliyetleri *(energy costs)* ve hesaplama periyodu sonundaki hurda maliyetleri *(salvage costs)* dikkate alınmıştır.

Küresel maliyet hesabında mevcut durumu temsil eden ve enerji verimliliği iyileştirmesi yapılmadığı (servis ömrü dolan sistemlerin yenilemesi hariç) kabul edilen referans binanın küresel maliyeti 1675,46 TL/m^2 olarak hesaplanmıştır. Yapı kabuğunda ele alınan tekil önlemlerden referans binaya oranla küresel maliyeti en yüksek olan 2.124,80 TL/m^2 birim maliyet ile YLTM-D4'tür (%26,82). Bunu 2.072,19 TL/m^2 birim maliyet ile YLTM-D3 (%23,68) ve 2.064,02 TL/m^2 birim maliyet ile ısıtma sistemi önlemi olan ISITMA-DS (%23,19) takip etmektedir.

Yapılan hesaplamalarda küresel maliyeti referans binaya oranla düşük olan tek önlem 1652,94 TL/m2 ile PV senaryosudur (Küresel maliyeti %1,34 oranında daha düşük).

Tez kapsamında enerji verimliliği önlemi olarak uygulanan 41 adet senaryonun, enerji etkinlik açısından referans binaya kıyasla en fazla % 45 oranında ve maliyet etkinliği

açısından en fazla %1,34 oranında iyileştirme sağlamasının nedeni, çalışma kapsamında seçilen referans binanın 2007 sonrasında yapı ruhsatı almış olması, dolayısıyla eski yapı stokuna kıyasla daha donanımlı olması olabilir (Dış duvar ve çatı yalıtımlı, çift cam sistemi olması). 2007 öncesi inşa edilmiş, yalıtımsız ve çift cam uygulaması olmayan mevcut konut binalarında yapılacak enerji verimliliği önlemlerinin daha enerji ve maliyet etkin olacağı düşünülmektedir.

4.5 Çalışmadaki Kabuller ve Kısıtlamalar /Finansal Bariyerler

Duyarlılık analizleri bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Ancak, enerji fiyat artış hızı, reel iskonto oranı ve hesaplama periyoduna yönelik genel değerlendirmeler aşağıda aktarılmaktadır:

- Enerji fiyat artış hızı, küresel maliyet analizinde yıllık enerji maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Enerji fiyat artış hızı yükseldikçe, yıllık bazda tekrarlanan maliyetler artmakta ve dolayısıyla küresel maliyetler de yükselmektedir. Bu durum, enerji verimliliği oranı yüksek olan senaryoların küresel maliyet açısından etkinliğini öne çıkarmaktadır. Çalışma kapsamında enerji fiyatlarının artış hızı için son 10 yılın ortalaması alınmış ve yakın bir sonuç verdiği için enflasyon oranına (%17,83) eşit kabul edilmiştir. Ancak; elektrik ve doğalgaz birim fiyatlarının bir önceki yıla göre artış hızları 2020 yılı için sırasıyla %32 ve %34, 2022 yılı sırasıyla %74,96 ve %53,56'dır [212]. Yıllık bazda enerji fiyatlarındaki düzensiz yükseliş, 30 yıllık bir hesaplama periyodu için maliyet analizi yapmayı zorlaştırmaktadır.
- Çalışma kapsamında gerçek/reel iskonto oranı (Rr), piyasa faiz oranı (R) ve enflasyon oranını (Ri) içeren formül ile hesaplanmış ve %6,53 bulunmuştur. Piyasa faiz oranı ile enflasyon oranı arasındaki fark arttıkça gerçek iskonto oranı artmaktadır (R-Ri/1+Ri). Gerçek faiz oranı arttıkça da yıllık olarak tekrarlanan maliyetler düşmekte (Bkz. fpv) ve enerji verimliliği oranı yüksek senaryoların maliyet etkinliği azalmaktadır.
- Avrupa Komisyonu, 2012 yılında yayımladığı bir belgede yüksek iskonto oranının yatırımların değerlemesinde tamamen ticari, kısa vadeli bir yaklaşımı yansıtacağını, enflasyon hariç tipik olarak %2 ila %4 arasında değişen daha düşük bir oranın ise, enerji verimliliği yatırımlarının tüm yatırım ömrü boyunca

bina sakinlerine sağladığı faydaları daha yakından yansıtacağını belirtmiştir [172]. Buna göre, Türkiye'deki gerçek iskonto oranının %6,53 olduğu bir durumda yapılan küresel maliyet analizinde, mevcut duruma göre maliyet etkin tek bir senaryo olması (PV) olası bir durumdur. Daha maliyet etkin senaryoların oluşabilmesi için reel iskonto oranının daha düşük oranlarda olması gerekmektedir.

- Ürün fiyat artış hızına (price development rate) yönelik kapsamlı bir istatistiksel çalışma bulunamamıştır. Bu nedenle çalışma kapsamında, ürün fiyat artış hızı (RAT_{pr}) enflasyona eşit kabul edilmiştir (%17,83). Başka bir deyişle, ürün fiyat artış hızı "0" olarak alınmıştır (RAT_{pr}=0). Bu durumda yenileme maliyetleri hesaplanırken, ilk yatırım maliyetleri ile yenileme yapılan yıldaki iskonto oranı çarpılmaktadır (Bkz. denklem 3.2).
- Çalışmadaki küresel maliyet analizlerinde, EPBD'nin konut ve kamu binaları için belirlediği hesaplama periyodu olan 30 yıl kullanılmıştır [39]. Hesaplama periyodu boyunca, enerji verimliliği anlamında fayda sağlayacağı düşünülen birçok sistemin/ürünün hem ilk yatırım maliyetleri hem de servis ömrü 30 yıldan az olan ürün ve sistemlerin yenileme maliyetleri küresel maliyete eklenmiştir. Bu durum, enerji etkinliği yüksek olan senaryoların küresel maliyetlerinin mevcut duruma göre yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, 10 yıl – 15 yıl gibi daha kısa vadeli küresel maliyet analizlerinde, maliyet etkin senaryoların artabileceği düşünülmektedir.
- Küresel maliyet analizlerinde teşviklerin etkisi değerlendirilmemiştir. Ancak; konut binasının (referans bina), enerji verimliliği iyileştirmelerine yönelik mevcutta var olan daire başına 50.000 TL'ye kadar 60 ay vadeli %0,99 faiz oranlı ısı yalıtım kredi paketinden yararlanıldığı kabul edildiğinde, yalıtım önlemlerine yönelik ilk yatırım maliyetinin yaklaşık 400.000 TL'si kredi ile karşılanabilmektedir. Ancak bu kredi geri ödemelidir (ticari kredi) ve tüm finansal yük nihai kullanıcı üzerindedir.

Çalışma kapsamında yapılan analizlerde, 2. İklim bölgesindeki mevcut konut binalarını temsil eden referans binaya uygulanan enerji verimliliği önlemlerinin yüksek maliyetli uygulamalar olduğu görülmüştür. Bu uygulamaların, bina sahiplerine

ya da son kullanıcıya yüklendiği ve herhangi bir teşvik/hibe ile desteklenmediği senaryolarda, yatırımın finanse edilmesi oldukça zorlaşmaktadır.

Bu uygulamaların yaygınlaştırılabilmesi için, mevcut bina stokunda önemli bir paya sahip olan konut binalarının enerji verimliliği uygulamalarına yönelik finansal araçların geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

5. TÜRKİYE'DEKİ KONUT BİNALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI İÇİN FİNANSAL MODEL UYARLAMASI

Binalarda enerji performansının iyileştirilmesine yönelik dünya ülkelerinin hazırlamış olduğu yol haritalarında, hedeflerin, strateji ve eylem planlarının hazırlanması, mevzuat altyapısının oluşturulması, uygulamalara ilişkin finansal araçların tasarımı ve nihai olarak pazar uyarlaması gibi bir işleyiş bulunmaktadır.

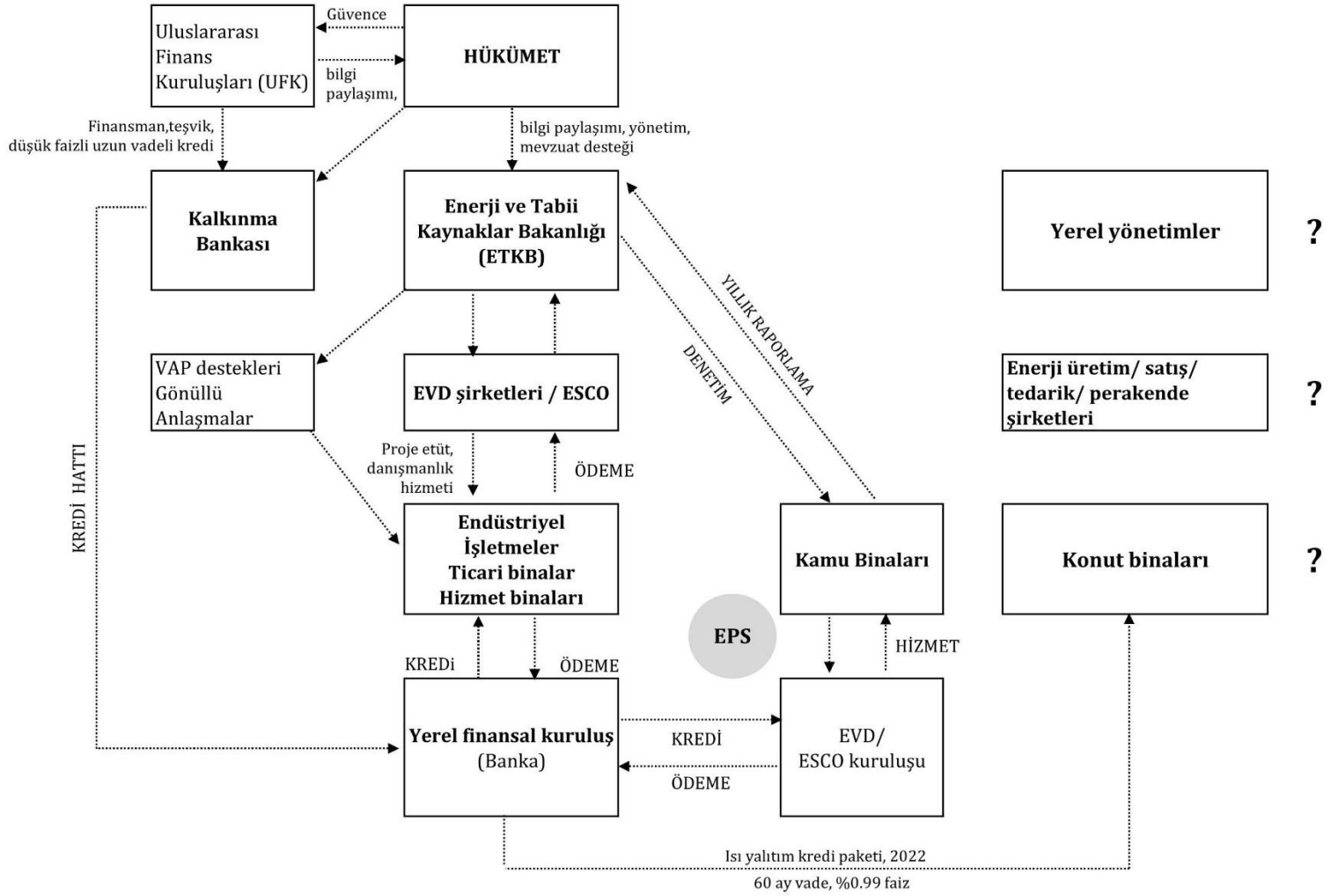
Benzer şekilde, AB direktifinde nSEB'lerin ülke çapında yaygınlaştırılması için ulusal planlarda belirlenen stratejilerin ve bunlara yönelik mevzuatın mutlaka finansal araçlarla desteklenmesi gerektiği belirtilmiştir [2].

Bölüm 2.6'da da detaylı olarak aktarıldığı üzere, Avrupa'da enerji verimliliği projelerinin finansmanının ağırlıklı olarak EV fonları, ESCO modeli (EPS ile), imtiyazlı krediler ve risk paylaşım mekanizmalarından kamu garanti fonları ile sağlandığı görülmektedir. Buna ek olarak, piyasa temelli politika mekanizması araçlarından Enerji Verimliliği Yükümlülük Sistemi (EVYS) ve karbon vergilendirme sisteminin halihazırda birçok ülkede yürürlükte olduğu bilinmektedir.

AB'de güncel durumda uygulanmakta olan finansal araçlar incelendiğinde ise, nihai kullanıcılar için binalarında yapacakları enerji verimliliği iyileştirme uygulamalarına yönelik devlet destekli hibe ve kredi paketleri, vergi indirimleri ve muafiyeti ile çeşitli sübvansiyonlar sağlandığı görülmektedir [149]. Türkiye'de enerji verimliliğine yönelik yürütülen faaliyetler ise aşağıda özetlenmektedir:

- Türkiye hükümeti/devletinin halihazırda enerji verimliliğine yönelik iki çeşit finans desteği bulunmaktadır. Bunlar VAP ve gönüllü anlaşma uygulamaları olup, daha çok enerji yoğun sektördeki endüstriyel işletmelere yöneliktir. Binalar (ticari) ve hizmet sektörü, 2021 yılında yapılan mevzuat değişikliği ile VAP desteklerine dahil edilmiştir [152,153].
- Proje desteği başvuru süreçlerinde görev alan EVD'ler, etüt ve proje danışmanlığı hizmeti vermekte; ancak projelere ilişkin finansal performans riskini üstlenmemektedirler (ESCO hizmeti vermemektedir).

- Kredi ve hibeler, Kalkınma ve Yatırım Bankası üzerinden oluşturulan kredi hattı ile yerel finans kuruluşlarına aktarılmaktadır.
- ETKB, enerji verimliliğine yönelik mevzuat altyapısı oluşturma ile VAP ve gönüllü anlaşma projelerine ilişkin başvuru süreçlerinde görev almaktadır. Aynı zamanda, enerji yöneticisi ve etüt proje sertifikalandırma eğitimlerini düzenlemekte ve EVD şirketlerinin yetkilendirme süreçlerini yürütmektedir.
- Kamu binalarında enerji verimliliği uygulamaları 2019 yılında yayımlanan Cumhurbaşkanlığı Genelgesi ile ivme kazanmış [110] ve 2020 yılında yayımlanan karar [111] ile kamu binalarındaki EV uygulamalarında EPS düzenleme imkanı tanınmıştır.
- Mevcut konut binalarının enerji verimli dönüşümüne yönelik devlet destekli finansal araçların oldukça kısıtlı olduğu görülmektedir. 2022 yılında hükümet tarafından açıklanan Isı Yalıtım Kredisi Paketi desteği dışında konut binalarına sağlanan bir finansal destek bulunmamaktadır.
- Bina sahibi/son kullanıcı ile bakanlık arasında köprü görevi gören yerel yönetimlerin EV kapsamındaki yetki ve faaliyetleri oldukça sınırlıdır. Enerji verimliliği tadilatlarına ilişkin bir yol haritası oluşturulmasının ve nSEB gibi yüksek performanslı binaların ülke çapında yaygınlaştırılması açısından yerel yönetimlerin rolünün oldukça kritik olduğu düşünülmektedir.
- Piyasa temelli politika mekanizması araçlarından olan EVYS sisteminin Türkiye'de uygulanmasına ilişkin ulusal eylem planında bir hedef bulunmasına rağmen [3], 2023 yılı itibariyle enerji sektörünü doğrudan etkileyen enerji dağıtım ve tedarik şirketlerinin herhangi bir yükümlülüğü bulunmamaktadır.
- Benzer şekilde, 2021 yılında Avrupa Komisyonu'nun açıkladığı Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'na (SKDM) [166] paralel olarak, Türkiye'de hazırlanan Yeşil Mutakabat Eylem Planı'nda enerji ve kaynak yoğun sektörlerden başlanarak karbon vergilendirme mekanizmasının nasıl uygulanabileceğine ilişkin araştırma ve raporlamalar yapılacağı belirtilmiştir [73]. Ancak, 1 Ekim 2023 yılı itibarıyla geçiş sürecinin başlayacağı SKDM'ye ilişkin bir mevzuat düzenlemesi bulunmamaktadır. Türkiye'de mevcut durumdaki enerji verimliliği finansmanı, paydaşlar ve aralarındaki ilişki ağı üzerinden Şekil 5.1'de özetlenmektedir:



Şekil 5.1 : Enerji verimliliği paydaşları: Türkiye'deki mevcut durum.

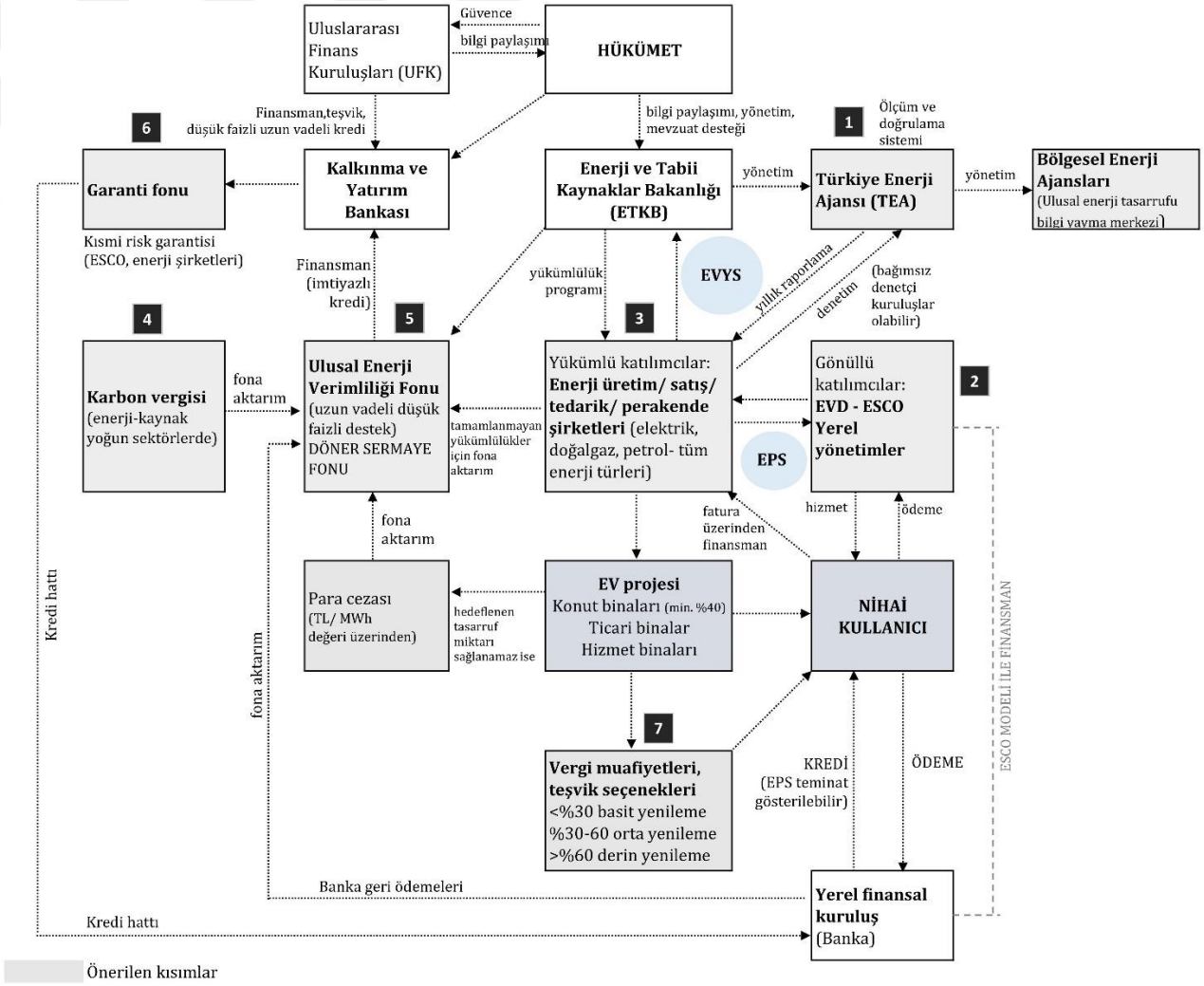
Tüm dünyada binalarda enerji performans iyileştirmelerinin konuşulduğu, nSEB uygulamaya geçtiği düşünüldüğünde, AB'deki gibi bir major yenileme dalgasının hayata geçirilebilmesi için farklı enstrümanlar ile teşvik mekanizmalarının oluşturulması gerektiği açıktır. Özellikle, Türkiye'deki bina stokunun yaklaşık %84'ünü oluşturan konut binalarına ilişkin EV iyileştirme süreçlerinin ve işleyişin hükümet nezdinde açık bir şekilde tanımlanması ve desteklenmesi gerekmektedir.

Bu kapsamda çalışmada ilk olarak, güncel enerji verimliliği mevzuatında konut binalarına yönelik kapsamlı bir boşluk analizi yapılmış ve Ek-E'de verilmiştir. Bir sonraki adımda, Türkiye'de halihazırda mevcut binalardaki enerji verimliliği iyileştirmelerini kapsamayan finansman sistemine bir öneri getirilmiş, -Avrupa'daki öne çıkan uygulama örneklerinden de yararlanılarak- Türkiye şartları için finansal bir model uyarlaması yapılmıştır. Bu uyarlama yapılırken, mevcut literatürdeki tekil önerilerden beslenilmiş ve bütünleşik bir yaklaşım ile mevcut binaların nSEB kriterleri doğrultusunda enerji verimli dönüşümünün sağlanması hedeflenmiştir.

Mevcut konut binalarının enerji verimliliği iyileştirmelerinde kullanılmak üzere, entegre çalışması önerilen finansal araçlar aşağıda belirtilmiştir:

1. Türkiye Enerji Ajansı'nın (TEA) kurulması.
2. Enerji Hizmet Şirketi (ESCO) modeli ile finansman.
3. Enerji Verimliliği Yükümlülük Sistemi (EVYS) uygulaması.
4. Karbon vergisi uygulaması.
5. Ulusal Enerji Verimliliği Fonu (UEVF) kurulması.
6. Garanti fonunun aktifleştirilmesi (EPS teminatlarında)
7. Vergi indirim- muafiyetleri, teşviklerin sağlanması.

Önerilen finansal model uyarlamasındaki finansal araçlar ile paydaşlar arası öneri ilişki ağı Şekil 5.2'de özetlenmiştir. Bir sonraki adımda önerilen araçların modeldeki işlevi gerekçeleri ile birlikte aktarılmıştır.



Şekil 5.2 : Finansal model uyarlamasındaki finansal araçlar ve paydaşlar arası öneri ilişki ağı.

Türkiye Enerji Ajansı'nın (TEA) kurulması (1): ETKB bünyesinde bir ulusal enerji ajansının kurulmasının getireceği avantajlar daha önceki çalışmalarda da aktarılmıştır [130,138,139]. Gerekli mevzuat düzenlemeleri yapıldıktan sonra işler hale gelecek olan kurumun, ESCO piyasasının gelişimine katkı sağlayıp oluşturulacak olan EVYS'nin yöneticisi konumunda olabileceği düşünülmektedir. Böylece TEA'nın, yıllık raporlama, ölçüm ve doğrulama *(measurement&verification)* takibi ile izleme *(monitoring)* prosedürlerinde etkin rol üstlenecek bir denetleyici görevi görebileceği öngörülmektedir. Aynı zamanda TEA, il bazında kurulacak olan bölgesel enerji ajanslarının da denetiminden sorumlu olacaktır.

ESCO modeli ile finansman (2): Dünya'da enerji verimliliği yatırımlarında kilit rol oynayan ESCO'ların, gerekli mevzuat düzenlemeleri ile Türkiye'de mevcut finansman sistemine entegre edilmesi gerekliliği üzerine vurgu yapılmıştır [130,138,139]. ESCO'ların özellikle küçük ve orta ölçekli projelerdeki başarısı bilinmektedir. Çok katlı konut binalarının mülkiyet durumunun karmaşıklığı ve yapılacak iyileştirmelerin uzun dönemdeki etkisi gibi konular, ilk uygulamalar için konut binalarının çok elverişli olmadığını gösterse de [138], hükümet tarafından desteklenecek pilot projeler ile bu problemin aşılabileceği öngörülmektedir.

ESCO'ların mevcut sisteme entegre edilmesinin, enerji performans sözleşmelerinin (EPS) kamu binaları haricindeki bina türlerinde de yaygınlaşmasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir. EVD ve ESCO'lar, binalarda enerji verimliliği yatırımlarında nihai kullanıcılar ile EPS yapabileceği gibi, EVYS modelinde tasarrufların garanti edilmesi sürecinde de gönüllü katılımcı olarak devreye girerek yükümlü tarafların finansal yükünü hafifletebilir.

Enerji verimliliği yükümlülük sistemi- EVYS (3): Ulusal Eylem Planı'nda 'Y11: Enerji Dağıtım ve Perakende Şirketlerine Yönelik Yükümlülük Programı' başlığı altında EVYS mekanizmasından bahsedilmekte ve yükümlü taraflar enerji dağıtım veya tedarik şirketleri, sorumlu kurum ise ETKB olarak anılmaktadır [3]. 2020-2022 yılları arasında yükümlülük programının uygulamaya geçirileceği aktarılmıştır. Ancak 2023 yılı itibariyle EVYS'ye ilişkin bir mevzuat düzenlemesi olmadığı görülmektedir.

Eylem planında belirlenen hedefler doğrultusunda, EVYS mekanizması ile Türkiye'de enerji dağıtım ve tedarik şirketlerinin yükümlülüğü artırılarak belirlenen tasarruf hedeflerine ulaşılabilir. Oluşturulacak olan EVYS'nin, ödül-ceza mekanizmaları ve

ölçme-doğrulama gereklilikleri ile desteklenmesi ve cezai yaptırım uygulamalarının EV projelerinde kullanılmak üzere tahsis edilecek ulusal enerji verimliliği fonuna aktarılması, enerji verimliliği projelerine bir ivme kazandırabilir.

Türkiye'de uygulanabilecek bir EVYS'de yer alacak aktörler (yükümlü katılımcılar, sorumlu kurumlar ve sistem yöneticileri) ile Avrupa ülkelerinde uygulanan başarılı EVYS örnekleri, Cin'in (2018) tez çalışmasında detaylı olarak irdelenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan anket sonucunda, yükümlü katılımcıların tüm enerji türlerinde hizmet veren enerji dağıtıcıları ve tedarikçileri olması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, sorumlu kurumun ETKB, sistem yöneticisinin ise yeni kurulacak bir ulusal enerji ajansı olması gerektiği aktarılmıştır [143].

2022 yılında SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi tarafından yayımlanan raporda da EVYS sisteminin Türkiye'de uygulanabilirliğine ilişkin detaylı bir inceleme ve paydaş görüşlerini içeren bir değerlendirme yer almaktadır. Raporun, bu bağlamda önemli bir kaynak olduğu düşünülmektedir [216].

Bu çalışmada, incelenen literatürle uyumlu olarak; sorumlu kurumun ETKB ve yükümlü tarafların ise tüm enerji türlerindeki (elektrik, doğalgaz, petrol) enerji dağıtım ve enerji üretim, satış, tedarik, perakende şirketleri ve sistem yöneticisinin yeni kurulacak bir ulusal enerji ajansı olduğu bir EVYS mekanizması önerilmiştir [3,130,138,139,143].

Karbon vergisi uygulaması (4): Uygulanan teşvik ve hibelerin yanısıra, idari yaptırım/ceza politikası uygulamalarının da finansal anlamda itici bir güç olabileceği önceki bölümlerde tartışılmıştır.

2021 yılında yayımlanan Yeşil Mutakabat Eylem Planı'nda da, Avrupa Komisyonu'nun Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'nın (SKDM) Türkiye'ye nasıl entegre edileceği konusunda gerekli araştırma ve raporlamaların yapılacağı aktarılmıştır [73]. Türkiye'de bu vergi sisteminin ilk etapta enerji ve kaynak yoğun sektörlerde uygulanması, bina ve diğer sektörlerin kademeli bir biçimde bu uygulamaya dahil edilmesi daha anlamlı olacaktır. Karbon vergisinden elde edilen gelirlerin, çalışma kapsamında önerilen Ulusal Enerji Verimliliği Fonu'na (UEVF) aktarılması planlanmıştır.

Ulusal enerji verimliliği fonu- UEVF (5): Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP) raporunda da benzer bir fonun varlığı tartışılmıştır. Raporda, EVYS'deki

yükümlü tarafların yükümlülüklerini karşılamakta eksik kaldığı noktalarda fona destek sağladığı bir finansman mekanizmasından bahsedilmektedir [3].

Bu çalışmada, EVYS sisteminden gelen gelirlere ek olarak, entegre edilecek karbon vergisi ile çeşitli yaptırımlar sonucu (yükümlülüklerin sağlanamaması, fazla CO_2 tüketimi gibi) uygulanacak para cezalarının da bu fona kaynak sağlaması planlanmıştır. UEVF'ten Kalkınma Bankası'na verilecek imtiyazlı krediler EV projelerinde kullandırılabilecek, banka geri ödemeleri ise tekrar fona aktarılacaktır. Böylelikle enerji verimliliğine yönelik bir döner sermaye fonu oluşturulabileceği düşünülmektedir.

Türkiye'de halihazırda yürürlükte bir fon olan ve 2022 yılına kadar 'enerji fonu' adı altında elektrik faturalarına yansıtılan %0,7 oranındaki katkı payının yasal dayanağı, 3096 sayılı Türkiye Elektrik Kurumu Dışındaki Kuruluşların Elektrik Üretimi, İletimi, Dağıtımı ve Ticareti ile Görevlendirilmesi Hakkında Kanun'dur [217]. Fonun yasal çerçevesi, 1995 yılında yayımlanan Elektrik Enerjisi Fonu Yönetmeliği ile çizilmiştir [218]. Enerji fonu tutarı, faturalarda görünmemekle beraber katkı payı olarak alınmaya devam edilmektedir. Cin (2018), yapılacak mevzuat düzenlemeleri ile bu fonun önerilen ulusal enerji verimliliği fonuna entegre edilebileceğini belirtmiştir [143].

Garanti fonu (6): Enerji verimliliği yatırımlarının devlet tarafından garanti edilmesi, yatırım risklerinin azaltılması ve henüz yeni olan bir sistem için kamuoyunda güven oluşumu adına önemli bir adımdır. Risk paylaşım mekanizmaları altında incelenen garanti fonu, enerji verimliliği projelerinde taahhüt edilen enerji tasarruf miktarının sağlanamaması durumunda devreye girebilir. Bu durum, ülkedeki ESCO gelişimini de destekleyecek nitelikte bir uygulama olabilir.

Türkiye'de halihazırda teminat yetersizliği nedeniyle kredi alamayan işletmelere yönelik oluşturulmuş olan Kredi Garanti Fonu'nun (KGF) şimdiye kadar enerji verimliliği yatırımlarına yönelik bir çalışması bulunmamaktaydı. Ancak, 12 Kasım 2023 tarihinde açıklanan "Yeşil Dönüşüm ve Enerji Verimliliği Destek Paketi" ile, enerji verimliliği konusundaki yatırımların finanse edilmesine yönelik bir adım atılmış; enerji performans sözleşmeleri için kullanılacak krediler de -bu çalışmada da önerildiği gibi- Kredi Garanti Fonu kapsamına alınmıştır [219].

Vergi indirimleri-muafiyetleri, teşvikler (7): Önerilen finansal model uyarlamasında, vergi muafiyet oranları ile teşvik seçeneklerinin bina yenileme

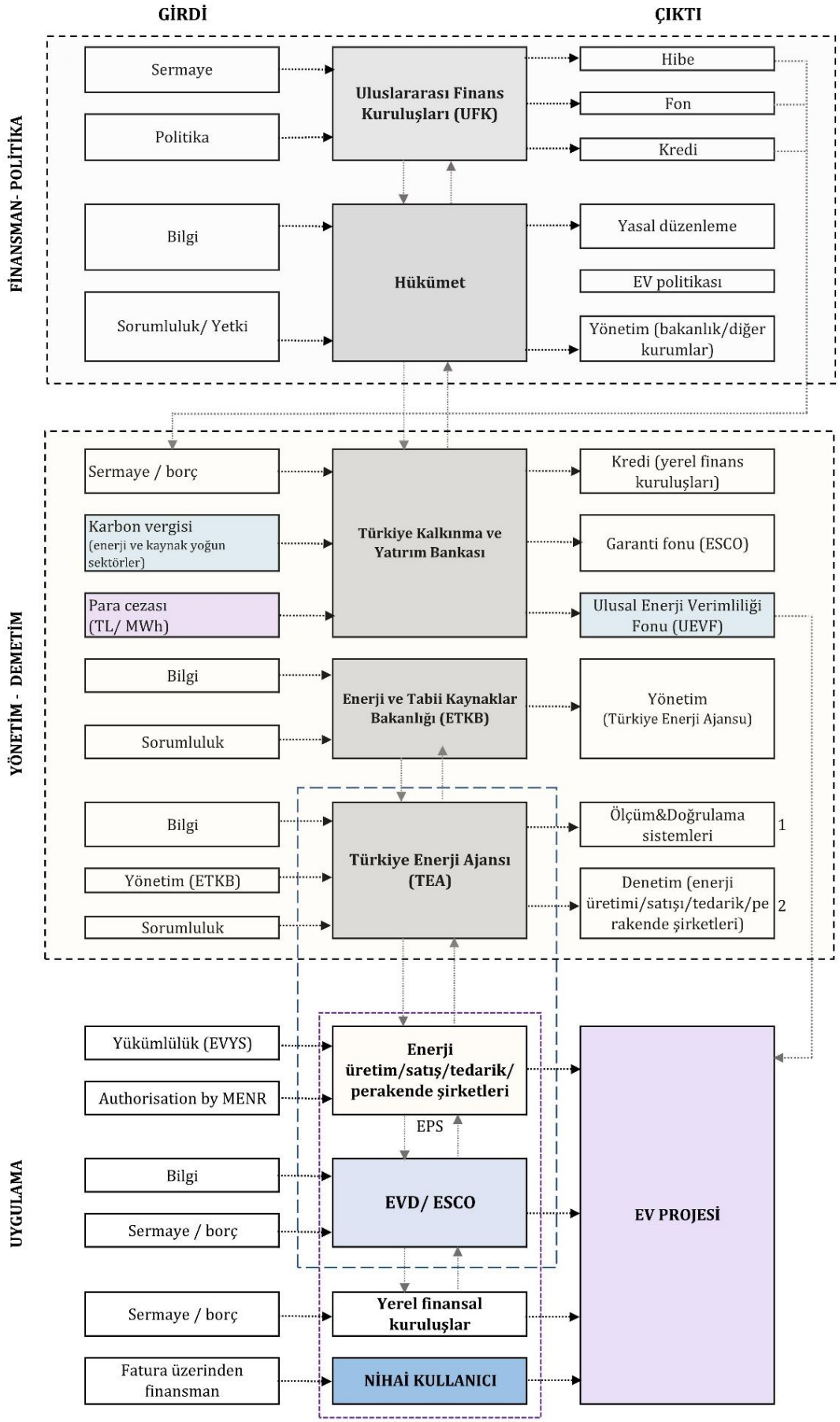
oranlarına (enerji tasarruf oranı) göre değişebileceği düşünülmüştür. Bu kapsamda, Avrupa Komisyonu'nun belirlediği yenileme oranları dikkate alınmış [42]; enerji verimliliğinde %30 oranında iyileştirme basit yenileme *(light renovation),* %30-60 orta yenileme *(medium renovation)* ve %60 üzeri iyileştirme ise derin yenileme *(major renovation)* uygulaması olarak kabul edilmiştir. Konut binalarının enerji verimliliği iyileştirmelerinde yapılacak vergi indirimlerinin, yenileme oranları ile doğru orantılı bir şekilde artabileceği düşünülmektedir. Derin yenilemeleri yaygınlaştırmak için %100 oranında vergi muafiyeti seçeneği de değerlendirilebilir.

Mevcut bina iyileştirmelerinde bina sahipleri, binalarında yapacakları ısı yalıtımı, kazan değişimi, yalıtımlı pencere-cam sistemleri vb. uygulamalar için KDV/gelir vergisinin bir bölümünden ya da tamamından muaf tutulabilir. Dünyada buna benzer pek çok uygulama örneği mevcuttur [149]. Bina kabuğu yalıtımı, mevcut ısıtma-soğutma sistemlerinin enerji verimli dönüşümü ve binada yenilenebilir enerji entegrasyonları gibi enerji verimliliği uygulamaları için, vergi indirimi/muafiyeti modelinin AB ülkelerinde olduğu gibi devlet desteği ile uygulanması, yatırımcı ve son kullanıcılara yönelik finansal yükün paylaşılarak daha teşvik edici olması sağlanabilir.

Çalışma kapsamında önerilen finansal modelin uyumlu bir şekilde çalışabilmesi için aşağıdaki paydaşların süreçte etkin rol üstlenmeleri gerekmektedir:

1. Uluslararası Finans Kuruluşları (UFK)
2. Hükümet
3. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)
4. Türkiye Enerji Ajansı (TEA)
5. Bölgesel enerji ajansları
6. Enerji Dağıtım Şirketleri
7. EVD- ESCO
8. Finans kuruluşları (Banka)
9. Yerel yönetimler (belediye, STK)
10. Yatırımcı / son kullanıcı (mülk sahibi, kiracı)

Önerilen finansal model uyarlamasında sürece dahil olan paydaşların sisteme olan katkıları girdi-çıktı ilişkisi üzerinden Şekil 5.3'te aktarılmıştır.



Şekil 5.3 : Finansal model uyarlaması: girdi, süreç ve çıktı ilişkisi.

Önerilen modelde, uluslararası finans kuruluşları (UFK), hükümet ile sürekli olarak bilgi paylaşımı içerisinde olmalı ve ihtiyaç duyulan vadede ve miktarda destek sağlamak için çalışmalarını yürütmelidir. Hükümet, yatırımların finansmanı konusunda UFK'lara güvence vermelidir; ayrıca enerji verimliliği konusunda gerekli mevzuat düzenlemeleri için başta ETKB olmak üzere, ilgili bakanlıklara bilgi paylaşımında bulunmalı ve kamuoyunu bilinçlendirme faaliyetlerini yürütmelidir.

ETKB, TEA'nın yönetiminden sorumludur. Aynı zamanda, önerilen EVYS modelindeki sorumlu kurum konumunda olup, enerji şirketlerinin yükümlülüklerini tanımlamaktadır. TEA, sistem yöneticisi olarak enerji şirketlerinin yıllık olarak takibinden ve denetiminden sorumludur. Bölgesel enerji ajansları, yönetimsel olarak TEA'ya bağlı olup il bazında 'bilgi yayma merkezi' olarak görev almalıdır.

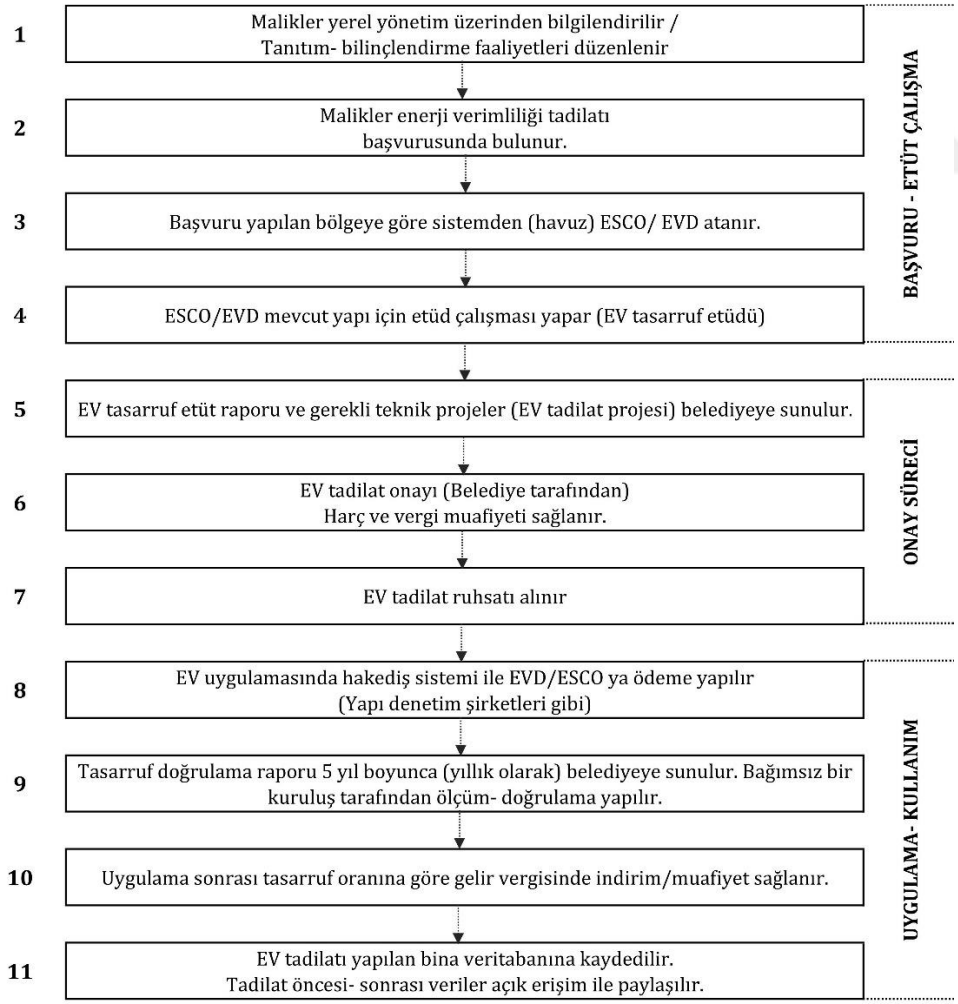
Enerji dağıtım ve tedarik şirketleri, ulusal eylem planında da belirtilen EVYS modelinin yükümlü taraflarını tanımlamakta ve önerilen modelde kritik bir rol oynamaktadır. ETKB tarafından tanımlanan yükümlülükleri yerine getirmek üzere EV projesi üstlenen enerji şirketlerinin, konut binalarında yapacağı enerji verimliliği uygulamaları, yıllık bazda yapacağı EV uygulamalarının en az %40'ını oluşturmak zorundadır. Şirketler, yükümlülüklerini tamamlayamaması durumunda eksik kalan kısma karşılık gelecek kadar UEVF'ye ödeme yapmalıdır. Aynı zamanda, EV projesinde garanti edilen tasarruf miktarının sağlanamaması durumunda uygulanacak cezai yaptırımlar için de fona aktarım yapılacaktır.

Gerekli mevzuat düzenlemesi yapıldıktan sonra, enerji şirketleri ile nihai kullanıcı arasında yapılacak EPS ile, binalardaki enerji verimliliği iyileştirme uygulamaları fatura üzerinden finansman modeli *(on-bill financing)* ile enerji şirketlerine aylık elektrik faturası üzerinden yansıtılabilecektir. EVD ve ESCO'lar nihai kullanıcılar ile EPS yapabilir, ya da EVYS modelinde gönüllü katılımcı olarak yer alabilir.

UEVF ile UFK'dan gelen ve Türkiye Kalkınma ve Yatırım Bankası üzerinden aktarılan imtiyazlı krediler, bir kredi hattı üzerinden yerel finans kuruluşlarına aktarılmaktadır. EPS'lerin teminat olarak gösterilmesine yönelik gerekli mevzuat düzenlemelerinin yapılması durumunda, enerji verimliliği yatırımlarının tasarruflarla ödenmesi mümkün olabilir. Garanti fonu sayesinde de ESCO'ların riskleri hafifletilmekte ve finansal yük paylaşılmaktadır.

Önerilen finansal modelin uygulanabilir olması için, ilk etapta (1-3 yıl) gerekli mevzuat düzenlemeleri yapılarak Türkiye Enerji Ajansı (TEA), Ulusal Enerji Verimliliği Fonu (UEVF) ve garanti fonunun kurulması önerilmektedir. UEVF'ye kaynak sağlayacak karbon vergilendirme sisteminin, 2021 yılı Yeşil Mutabakat Eylem Planı'nda da belirtildiği gibi enerji ve kaynak yoğun sektörlerden uygulamaya başlanması için eş zamanlı çalışmalar yürütülebilir.

Kamu binalarında enerji verimliliğine yönelik hazırlanan CB genelgesinin konut binalarına uyarlanması için hükümet ve ETKB nezdinde mevzuat düzenlemeleri yapılmalıdır. Bu kapsamda, merii Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'ndeki 'esaslı tadilat' tanımının enerji verimliliği iyileştirmelerini de kapsayacak şekilde 'enerji verimliliği tadilatı' olarak yeniden düzenlenmesinin, enerji verimliliği iyileştirmelerine yönelik süreci hızlandıracağı öngörülmektedir. Bu kapsamda, belediyelerde uygulanacak enerji verimliliği tadilatlarına ilişkin bir işleyiş önerisi Şekil 5.4'te verilmektedir:



Şekil 5.4 : Belediyelerde enerji verimliliği tadilatlarına ilişkin bir işleyiş önerisi.

İkinci etapta (3-5 yıl), karbon vergilendirme sisteminin binalar için de geçerli olması için gerekli mevzuat düzenlemelerinin yapılması ve yürürlüğe konması öngörülmektedir. Bu kapsamda ilk olarak, binalardaki emisyon salımlarının ölçülmesi için gerekli donanımlar binalara kurulmalı ve 'enerji yöneticisi' tarafından belirli periyotlarla enerji tüketim ve emisyon salım miktarları izlenmeli ve raporlanmalıdır. Güncel durumda, konut binalarda enerji yöneticisi bulunmasına ilişkin bağlayıcı bir madde bulunmamaktadır.

İkinci adımda, Türkiye'deki mevcut konut bina stokunun envanterinin çıkarılması konusundaki çalışmalar hızlandırılmalıdır. Yürütülecek çalışmada ÇŞİDB, TEA, TÜİK ve yerel yönetimlerin koordineli bir şekilde çalışması ile daha hızlı sonuç elde edileceği düşünülmektedir.

Bir başka adım da, ESCO'ların Türkiye piyasasındaki konumunu belirlemek adına gerekli mevzuat düzenlemelerinin yapılması ve ilgili eğitimlerin planlanmasıdır. ESCO piyasası yeterli kapasiteye ulaştığında, EPS'nin konut binalarına adapte edilmesi ile EV çalışmalarının ivme kazanacağı öngörülmektedir. Binada garanti edilen tasarruf miktarının sağlanıp sağlanamadığının belirlenebilmesi için, ölçme-doğrulama ve izleme prosedürlerinin konut binalarına uyarlanması gerektiği düşünülmektedir.

Üçüncü ve son etap, 5-10 yıllık periyodu kapsamakta olup binalarda enerji verimliliğine yönelik izleme prosedürlerinin devamlı olarak uygulandığı bir zaman dilimini öngörmektedir. Bu kapsamda, mevcutta var olan ENVER portalının konut binalarına entegre edilmesi, bina bazında yapılacak ölçüm ve raporlamaların sisteme aktarılarak kayıt altına alınması mümkün olabilir. Böylelikle, diğer binalar gibi mevcut konut binalarının da enerji tüketim ve emisyon salım değerleri veritabanına işlenebilir. Gelecek yıllarda bu portalın, her bir mevcut konut binası için uygulanabilecek enerji verimliliği önlemlerini içerecek şekilde kapsamının genişletilebileceği düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında önerilen finansal model uyarlaması için gerekli eylemler, vadeleri ile sorumlu kurumlar Çizelge 5.1'de aktarılmaktadır:

Çizelge 5.1 : Finansal model uyarlaması için gerekli eylemler, vadeleri ve sorumlu kurumlar.

Eylem adı	İlgili / Sorumlu kurum
BİRİNCİ ETAP (1-3 yıl)	
Türkiye Enerji Ajansı'nın (TEA) kurulması.	Hükümet (gerekli mevzuat düzenlemeleri)
Ulusal Enerji Verimliliği Fonu'nun (UEVF) kurulması.	Hükümet, ETKB
Garanti fonunun kurulması	Hükümet, Kalkınma ve Yatırım Bankası
Karbon vergisinin yürürlüğe konması (enerji-yoğun sektörlerden başlayarak)	Hükümet (mevzuat düzenlemeleri)
Konut binalarının enerji verimliliğine yönelik mevzuat düzenlemeleri yapılması (yönetmelik, genelge)	Hükümet, ETKB
EVYS'nin uygulamaya geçmesi. Tüm enerji türlerinde enerji dağıtım/ tedarik firmaların sisteme dahil edilmesi.	Hükümet (mevzuat düzenlemeleri) ETKB , TEA
EV hedefini uygulamakla yükümlü enerji şirketlerinin EV projesi uygulayacağı pilot bölgelerin belirlenmesi ve uygulaması.	ÇŞİDB, Yerel Yönetimler, TEA
İKİNCİ ETAP (3-5 yıl)	
Karbon vergisinin yürürlüğe konması (bina sektörü)	Hükümet (mevzuat düzenlemeleri)
Bina envanteri- veri tabanı oluşturulması	
Türkiye'deki mevcut konut bina stokunun envanterinin çıkarılması (TABULA projesi örneği)	ÇŞİDB, TEA, TÜİK, yerel yönetimler.
ESCO'lara yönelik birincil önlemler	
ESCO'ların finansal olarak desteklenebilmesi için gerekli mevzuat düzenlemelerinin yapılması	Hükümet, ETKB
EVD'lerin ESCO'ya dönüştürülmesi sürecinde gerekli eğitimlerin düzenlenmesi (ESCO bünyesinde bulunması zorunlu personellerin eğitimleri).	ETKB
EPS'nin konut binaları için de uygulanması	Hükümet, ETKB.
Ölçme- doğrulama prosedürleri	
Bağımsız denetçi kuruluşların yürüteceği ölçme-doğrulama prosedürleri için gerekli teknolojik altyapıya erişebilmesine ilişkin finansal teşvik düzenlemeleri.	ETKB, TEA
Ölçüm ve doğrulama prosedürlerinin konutlar dahil tüm EV projelerinde uygulamaya dahil edilmesi (zorunlu)	TEA, ETKB
ÜÇÜNCÜ ETAP (5-10 yıl)	
ENVER portalına konut binalarının entegre edilmesi (ölçme doğrulama yapılan/ raporlanan binaların veritabanına aktarılması.	TEA, ÇŞB.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kentlerde sanayileşme sonrasında dramatik seviyelerde artış gösteren enerji ihtiyacı, çevre tahribatı ve antropojenik emisyonların dengelenmesi konusunda şimdiye kadar ulusal ve uluslararası literatürde pek çok çalışma yürütülmüştür. Özellikle kentlerdeki binaların enerji tüketiminde ve küresel emisyonlarda önemli bir paya sahip oluşu, binalarda enerji performansının iyileştirilmesine yönelik çalışmalara ivme kazandırmıştır. Bu kapsamda, 2010 yılında yayımlanan AB direktifi ile 'neredeyse sıfır enerjili bina' kavramı literatüre girmiş ve enerji performansının iyileştirilmesi sürecinde maliyet etkin çözüm önerilerine odaklanılması istenmiştir. Türkiye'de gelişen AB mevzuatına uyumlu olarak, 2007 yılı itibarıyla enerji verimliliğine yönelik çalışmalar yürütülmüş ve bu kapsamda stratejiler, eylem planları ve mevzuat altyapısı hazırlanmıştır.

İstatistiksel verilere göre, Türkiye'deki mevcut bina stokunun yaklaşık %84'ünü konut binaları oluşturmaktadır. Bu binaların yaklaşık %50'si 2. İklim bölgesindeki çok haneli konut binalarıdır. Bu nedenle, konut binalarında yapılacak enerji performans iyileştirmelerinin genele daha hızlı etki edeceği öngörülmüştür.

Bu çalışmada, Türkiye'deki mevcut konut binalarının yapılacak enerji verimliliği iyileştirmeleri ile nSEB'e dönüştürülmesi hedefiyle yola çıkılmış ve bu kapsamda alınabilecek teknik ve finansal önlemler değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda, İstanbul ilinde (2. İklim bölgesi) 2007- 2019 yılları arasında yapı ruhsatı aldığı kabul edilen 4 katlı bir konut binası referans bina olarak kabul edilmiş ve *DesignBuilder* programında modellenerek binaya ilişkin tüm veri girişleri tamamlanmıştır. Mevcut durumdaki binanın enerji performansı yıllık birincil enerji tüketimi cinsinden hesaplanmasının ardından, referans binanın enerji performansını iyileştirme amacıyla toplamda 41 adet enerji verimliliği önlemi/önlem paketi oluşturulmuş ve senaryoların enerji ve maliyet hesaplamaları yapılmıştır (3. Bölüm). Çalışmada belirlenen önlemler, enerji verimliliği, ilk yatırım maliyetleri, yıllık enerji maliyetleri ve 30 yıllık küresel maliyetleri üzerinden değerlendirilmiştir (4. Bölüm).

Yapı kabuğunda (dış duvar, çatı ve döşeme yalıtımları ile pencere sistemleri) çalışılan tekil önlemlerin kombinasyonlarnın denendiği senaryolarda (S1-S8), enerji verimliliği bakımından en fazla %3 oranında iyileştirme sağlanmıştır. En verimli tekil önlemler, %14,61'lik iyileştirme oranı ile yerden ısıtma sistemi (ISITMA-DS) ve %14 iyileştirme oranı ile fotovoltaik sistem (PV) senaryolarıdır. Yapı kabuğunda ele alınan önlemlere ek olarak ısıtma, aydınlatma sistemleri ile yenilenebilir enerji entegrasyonlarının çalışıldığı senaryolarda ise (S9-S22), referans binaya oranla en fazla %45,53 oranında iyileştirme sağlanmıştır.

İlk yatırım maliyetleri açısından yapılan değerlendirmelerde, yapı kabuğunda ele alınan önlemlerden en maliyetli uygulamanın metrekare başına 290,46 – 528,11 TL arası birim maliyet ile dış duvar yalıtımı olduğu görülmüştür (YLTM-D). Tekil önlemler arasında ilk yatırım maliyeti en yüksek uygulama 574,28 TL/m^2 ile ISITMA-DS senaryosudur. Çalışılan tüm önlemler arasında ilk yatırım maliyeti en yüksek olan uygulama, yapı kabuğu, ısıtma ve aydınlatma sistem iyileştirmeleri ile yenilenebilir enerji entegrasyonlarını içeren S21 senaryosu olarak belirlenmiştir (2049,11 TL/m^2). Sağladığı enerji performans seviyesine göre ilk yatırım maliyeti en düşük olan senaryo ise PV senaryosudur (ilk yatırım maliyeti açısından optimum senaryo).

Türkiye'de elektrik birim fiyatının doğalgaz birim fiyatına göre daha yüksek olması nedeniyle, yıllık enerji maliyetleri açısından yapılan değerlendirmelerde elektrik enerjisi tüketimlerinde yüksek oranda verimlilik sağlayan önlemlerin öne çıktığı görülmüştür. Buna göre, yıllık enerji maliyeti referans binaya oranla en düşük olan tekil önlem PV senaryosudur (%29 daha az enerji maliyeti). S21 ve S22 senaryoları, tüm senaryolar içinde yıllık enerji maliyetleri en düşük olan iki senaryodur (%59,27 ve %59,25 daha az enerji maliyeti).

30 yıllık hesaplama periyodu için yapılan küresel maliyet hesaplamalarında ise, maliyeti referans binaya oranla düşük olan tek önlem PV senaryosudur (%1,34 daha düşük maliyetli – maliyet-optimum seviyesi). Diğer tüm senaryoların küresel maliyetleri referans binaya göre daha yüksek hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında seçilen referans binanın 2007 sonrasında yapı ruhsatı almış olması, dolayısıyla eski yapı stokuna kıyasla daha donanımlı olması (yalıtımlı dış duvar ve çatı ile çift cam sistemli) sağlanan tasarruf oranlarını doğrudan etkilemektedir. 2007 öncesi inşa edilmiş, yalıtımsız ve çift cam uygulaması olmayan

mevcut konut binalarında yapılacak enerji verimliliği önlemlerinin daha enerji ve maliyet etkin olacağı düşünülmektedir. Ancak, 2007 yılından önce inşa edilmiş binalar, 26454 sayılı 'Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik' mevzuatına tabi olmadığından ve depreme dayanıklılık açısından detaylı bir inceleme gerektirdiğinden bu araştırmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, referans binada yapılacak enerji verimliliği iyileştirme uygulamalarının önündeki en önemli engellerden biri, bu uygulamaların finanse edilmesidir. Özellikle, enerji performansını artıran ürünlerin ve sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, geri ödeme sürelerini uzatmakta ve mevcut finansman yöntemleri ile bu iyileştirmelerin yapılabilmesini zorlaştırmaktadır.

Bir diğer engel, ülkedeki enflasyon oranıdır. Enflasyon oranındaki düzensiz artış, hesaplama periyodu boyunca düşünülmesi gereken yıllık bakım ve yenileme maliyetlerini önemli oranda artırmaktadır. Benzer şekilde, döviz kurundaki dalgalanmalar da -çoğunlukla döviz cinsinden yapılan- enerji verimliliği yatırımlarını olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu nedenle, çalışma kapsamında Türkiye'de mevcut konut binalarının enerji verimliliği iyileştirmelerinde uygulanabilecek bir finansal model uyarlaması yapılmış ve 5. Bölüm'de detaylı olarak aktarılmıştır. Bu uyarlama yapılırken, dünyada öne çıkan finansal model örnekleri ile literatürdeki tekil önerilerden beslenilmiştir.

Önerilen finansal model uyarlaması, EV'nin finanse edilmesinde görev alacak kurum ve paydaşlar ile birbirleri arasındaki ilişki ağını ortaya koymakta ve uygulanacak finansal araçların belirlenmesi ile bütünleşik bir bakış açısı sunmaktadır.

Yapılan değerlendirme sonucunda, binalarda enerji verimliliğine yönelik uygulamalarda finansal teşviklerin kritik bir öneme sahip olduğu görülmüştür. Türkiye'nin içinde bulunduğu mevcut ekonomik koşullar göz önüne alındığında, konut binalarındaki enerji verimliliği uygulamalarının ülke çapında özendirilmesi için, yatırımcıya ve son kullanıcıya (bina sahibi/kiracı veya işletmeci) yönelik devlet desteklerinin artırılarak/çeşitlendirilerek finansal yükün paylaşılması gerektiği düşünülmektedir. Bu durumun, kamuoyunun enerji verimliliği konusunda bilinç kazanmasına da katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Finansal yükün paylaşılması sürecinde, yerel finans kuruluşlarının enerji verimliliği uygulamaları konusunda bilinçlendirilmesi oldukça önemlidir. Halihazırda, kamu

harici binalarda yapılacak enerji performans iyileştirmelerinde enerji performans sözleşmeleri (EPS) kredi teminatı olarak görülmemekte ve bu durum ödemelerin tasarruflar yoluyla yapılmasını engellemektedir. Hükümet tarafından yapılacak mevzuat düzenlemeleri ile tüm bina türleri için EPS'lerin kredi teminatı olarak kabul edilmesi, EVD ve ESCO'lara yönelik oluşturulacak garanti fonu uygulamaları ile birlikte finans kuruluşlarının üzerindeki risk algısının azaltılması ve bertaraf edilmesi açısından kilit bir rol üstlenmektedir.

Şimdiye kadar yapılan araştırmalar, binaların enerji performansının değerlendirilmesine yönelik yapılacak analiz çalışmaları için birinci ve en önemli adımın, mevcut binaya ilişkin veri toplama süreci olduğunu göstermektedir. Bu veriler ne kadar çok detaylandırılırsa, planlanan EV önlemlerinin gerçeği yansıtma oranı da bir o kadar artacaktır. Örneğin, enerji kimlik belgesinde C sınıfı olarak sisteme kayıtlanmış bir konut binasının gerçekte ne kadar enerji tükettiğine ilişkin bir veri bulunmamaktadır. Bakanlık tarafından bu verilerin belirli periyotlarla izlenmesi, denetlenmesi ve kayıt altına alınması, ulusal eylem planında da belirtilen '*Türkiye genelinde mevcut binaların enerji tüketim verilerini içeren envanterin oluşturulması'* hedefine yönelik önemli bir adım olacaktır. Bu bağlamda, ilk etapta enerji yoğun sektörler için geliştirilen ölçme-doğrulama ve izleme prosedürlerinin konut binaları özelinde de uygulanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan finansal model uyarlamasının detaylandırılabilmesi için disiplinlerarası bir çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekteki çalışmalar için, binalarda enerji verimliliğinde uygulanabilecek finansal araçların (ESCO, EVYS ve devlet teşvikleri gibi) küresel maliyete etki oranlarının, nicel analiz yöntemi ile incelenmesi ve önem derecelerinin belirlenmesi önerilmektedir. Buna ek olarak, kurgulanan finansal modelin mevcut konut binalarındaki EV uygulamalarına uyarlanması sürecinde, tekil örnekler üzerinden değerlendirme yapılması önerilmektedir. Bu kapsamda, bina kullanıcılarına yönelik bir yol haritası oluşturma hedefiyle; mevcut binalar için ölçümlere dayalı enerji tüketim verilerinin, bina bakım onarım planlarının, alınabilecek EV önlemlerinin (basit, orta, derin yenileme), uygulamalara ilişkin maliyet verilerinin ve yararlanılabilecek finansal araçlar ve teşvik seçeneklerinin yer aldığı 'bina yenileme pasaportlarının' bina bazında (gerçek binalar üzerinden) oluşturulması için envanter çalışması yapılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Url-1** <*https://www.iea.org/topics/buildings*>, erişim tarihi 11.08.2023.

[2] **Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Birliği Konseyi** (2010). Directive 2010/31/EU of The European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Official Journal of the European Union, 18.6.2010, L153/13.

[3] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2018). *Enerji Verimliliği Ulusal Eylem Planı 2017-2023*. https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1/Belgeler/UEVEP.pdf.

[4] **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2020). *Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar İçin RehberKitap*. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kasım 2020. https://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/icerikler/nseb_rehber--20201117075919.pdf.

[5] **Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik.** (2022). *T.C. Resmî Gazete,* 31755, 19 Şubat 2022.

[6] **Attia, S.** (2018). *Net zero energy buildings (nzeb).* Cambridge, MA: Elsevier.

[7] **Korbee, H., Smolders, B., Stofberg, F.** (1979). Millieu voorop bij uitwerking van een global bestemmings plan. TH Delft, afd. Bouwkunde, BOUW, no. 22, 27 Oktober 1979.

[8] **Shurcliff, W.A.** (1988). *Super Insulated Houses; And, Air-to-Air Heat Exchangers*. Andover: Brick House Publishing Company.

[9] **Url-2** <*https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_definition*> erişim tarihi 21.09.2023.

[10] **Uluslararası Enerji Ajansı.** (2017). The IEA SHC Task 40/ECBCS Annex 52 'Towards Net Zero Energy Solar Buildings (NZEB). http://task40.iea-shc.org/. erişim tarihi 21.09.2023.

[11] **Uluslararası Enerji Ajansı.** (2015). *SHC Task 40 (EBC Annex 52) – Towards Net Zero Energy Solar Buildings SHC Position Paper*. https://www.nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/iea_shc_task40_towards_net_zero_energy_solar_buildings_position_paper_2015.pdf.

[12] **Garde, F., Ayoub, J., Aelenei, D., Aelenei, L., & Scognamiglio, A. (Ed.).** (2017). *Solution sets for net zero energy buildings: Feedback from 30 Net ZEBs worldwide*. Ernst & Sohn.

[13] **Lu, Y., Zhang, X.-P., Huang, Z., Lu, J., & Wang, C.** (2019). Definition and Design of Zero Energy Buildings. Içinde D. Enescu (Ed.), *Green Energy Advances*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.80708.

[14] **Aelenei, L., Aelenei, D., Gonçalves, H., Lollini, R., Musall, E., Scognamiglio, A., Cubi, E., & Noguchi, M.** (2012). Design Issues for Net Zero-Energy Buildings. *Open House International, 38.* https://doi.org/10.1108/OHI-03-2013-B0002.

[15] **Pless, S., & Torcellini, P.** (2010). *Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options*. https://doi.org/10.2172/983417.

[16] **Torcellini, P., Pless, S., Deru, M. & Crawley, D.** (2006) Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, National Laboratory of the US Department of Energy. *ACEEE Summer Study*, California: Pacific Grove, 14-18 August 2006. http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf.

[17] **Kurnitski, J., Allard, F., Braham, D., Goeders, G., Heiselberg, P., Jagemar, L., Kosonen, R., Lebrun, J., Mazzarella, L., Railio, J., Seppanen, O., & Schmidt, M.** (2012). How to define nearly net zero energy buildings nZEB. *REHVA J.*, 6-12.

[18] **Pittakaras, P.** (2013). Zero Energy Buildings Theoretical Investigation and Applied Analysis for the Design of Zero Energy Building in Hot Climate Countries (Doktora tezi). Manchester Üniversitesi, Mühendislik ve Fizik Bilimleri Fakültesi, Manchester.

[19] **Hernandez, P., & Kenny, P.** (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings, 42(6), 815-821*. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.001.

[20] **Wallin, E.** (2023). Self-sufficient buildings: The advantages of autonomous buildings. *ProptectOS.* Erişim tarihi 22.09.2023. https://proptechos.com/autonomous-buildings/.

[21] **Hawila, A. A. W., Pernetti, R., Pozza, C., & Belleri, A.** (2022). Plus energy building: Operational definition and assessment. *Energy and Buildings*, *265*, 112069. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112069.

[22**] M. Wronowski.** (2013). Conceptual design of plus energy single family house in Warsaw, Poland. *REHVA J.*, pp. 58-62.

[23] **Mariottini, F., & Arcipowska, A.** (2015). *Nearly Zero Energy Buildings Definitions across Europe*. BPIE Factsheet. https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2015/09/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf.

[24] **Voss, K., Musall, E., Sartori, I., & Lollini, R.** (2013). Nearly Zero, Net Zero, and Plus Energy Buildings—Theory, Terminology, Tools, and Examples. Içinde *Transition to Renewable Energy Systems*, 875-889. https://doi.org/10.1002/9783527673872.ch41.

[25] **Aelenei, L., Gonçalves, H., & Aelenei, D.** (2013). The nZEBs in the near Future—Overview of definitions and guidelines towards existing plans for increasing nZEBs. *Portugal SB13 - Contribution of sustainable building to meet EU 20-20-20 targets,* (ss.879-886). Portugal: Universidade do Minho, 30 October – 1 November 2013.

[26] **Sartori, I., Napolitano, A., & Voss, K.** (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings, 48*, 220-232. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.032.

[27] **Voss, K., & Musall, E.** (2013). *Net zero energy buildings: International projects of carbon neutrality in buildings* (new edition). Munich: Institut fur internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG.

[28] **D'Agostino, D., Zangheri, P., Cunibertİ, B., Paci, D., & Bertoldi, P. (**2016). *Synthesis report on the national plans for nearly zero energy buildings (NZEBs): Progress of Member States towards NZEBs.* EUR 27804 EN. Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2790/659611.

[29] **Kurnitski, J. (Ed.).** (2013). *Cost Optimal and Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB): Definitions, Calculation Principles and Case Studies* (1st ed. 2013). Springer London : Imprint: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5610-9.

[30] **Pagliano, L., Hermelink, A., Schimschar, S., Boermans, T., Zangheri, P., Armani, R., Voss, K., & Musall, E.** (2013). *Towards nearly zero-energy buildings. Definition of common principles under the EPBD.* https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1170.4482.

[31] **Kugel, D.** (2007). *Lebenszyklusbetrachtungen als ökonomisches und ökologisches Einsparpotential in der Gebäudeplanung und Bewirtschaftung* [Bina planlama ve yönetiminde ekonomik ve ekolojik tasarruf potansiyeli olarak yaşam döngüsü hususları]. (Yüksek Lisans Tezi). Wuppertal Üniversitesi, Almanya.

[32] **Url-3** <*https://iklim.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-33*> erişim tarihi 30.08.2023.

[33] **Url-4** <*https://iklim.gov.tr/kyoto-protokolu-i-35*> erişim tarihi 30.08.2023.

[34] **İktisadi Kalkınma Vakfı.** (2014). *Avrupa 2020 Stratejisi* (s. 34). https://www.ikv.org.tr/images/files/2020stratejisi.pdf.

[35] **Avrupa Komisyonu.** (2010). *EUROPE 2020 A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*.

[36] **Url-5** <*https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa*> erişim tarihi 22.08.2023.

[37] **Avrupa Komisyonu.** (2019). *The European Green Deal*. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF.

[38] **Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Birliği Konseyi.** (2002). Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings (recast), Official Journal of the European Union, 4.1.2003, L1/65.

[39] **Commission Delegated Regulation (EU)** No 244/2012 of 16 January 2012 Supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings by Establishing a Comparative Methodology Framework for Calculating Cost-Optimal Levels of Minimum Energy Performance Requirements for Buildings and Building Elements, 2012.

[40] **Avrupa Komisyonu.** (2012, Nisan 19). *Notıces From European Unıon Instıtutıons, Bodıes, Offices And Agencıes*. 19.4.2012, C 115/1. https://eurex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2012:115:0001:0028:EN:PDF.

[41] **Avrupa Komisyonu.** (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, Official Journal of the European Union, L 156/75, 19 Haziran 2018.

[42] **Avrupa Komisyonu.** (2019). Commission Recommendation (EU)2019/786 of 8 May 2019 on building renovation. notified under document C(2019) 3352 L (127/34), 16.05.2019. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4a4ce303-77a6-11e9-9f05-01aa75ed71a1/language-en.

[43] **Avrupa Komisyonu.** (2020). A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives. COM(2020)662 Final, 14 Ekim 2020, Brüksel.

[44] **Fabbri, M., Groote, M. D., & Rapf, O.** (2016). *Building Renovation Passports: Customised roadmaps towards deep renovation and better homes*. Building Performance Institute Europe; ISBN: 9789491143175.

[45] **Url-6** <*https://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/t40a52-dc-tr1-30-net-zebs.pdf*> erişim tarihi 05.09.2023.

[46] **Url-7** <*https://episcope.eu/iee-project/tabula/*> erişim tarihi 05.09.2023.

[47] **Url-8** <*https://webtool.building-typology.eu/#bm*> erişim tarihi 27.03.2021.

[48] **Url-9** <*https://cordis.europa.eu/project/id/696186*> erişim tarihi 05.09.2023.

[49] **Url-10** <*https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/e-0-desirable-warm-affordable-homes-for-life/*>erişim tarihi 05.09.2023.

[50] **Url-11** <*https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/mustbe0-multi-storey-building-e-0-refurbishment/*> erişim tarihi 05.09.2023.

[51] **Url-12** <*https://cordis.europa.eu/project/id/633477*> erişim tarihi 05.09.2023.

[52] **Url-13** <*https://cordis.europa.eu/project/id/696126*> erişim tarihi 05.09.2023.

[53] **Url-14** <*https://zebra-monitoring.enerdata.net/*> erişim tarihi 05.09.2023.

[54] **Url-15** <*https://cordis.europa.eu/project/id/314473*> erişim tarihi 05.09.2023.

[55] **VOSviewer** (Versiyon 1.6.18) [Bilgisayar yazılımı]. Hollanda; Leiden Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Araştırmaları Merkezi.

[56] **Van Eck N.J. & Waltman L.** (2023). VOSviewer Manual. (Version 1.6.19.) https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.19.pdf.

[57] **De Luca, G., Ballarini, I., Paragamyan, A., Pellegrino, A., & Corrado, V.** (2021). On the improvement of indoor environmental quality, energy performance and costs for a commercial nearly zero-energy building. *Science and Technology for the Built Environment*, *27*(8), 1056–1074. https://doi.org/10.1080/23744731.2021.1940275.

[58] **De Luca, G., Ballarini, I., Paragamyan, A., Pellegrino, A., & Corrado, V.** (2019). Optimized Solutions For Thermal And Visual Comfort In The Design Of A Nearly Zero-Energy Building. *16th IBPSA International Conference and Exhibition.* (ss. 5037–5044). İtalya: Roma, 2-4 Eylül. https://doi.org/10.26868/25222708.2019.210747

[59] **Ballarini, I., De Luca, G., Paragamyan, A., Pellegrino, A., & Corrado, V.** (2018). Integration of Thermal and Visual Comfort in the Retrofit of Existing Buildings. *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, (ss.1–6). İtalya: Palermo, 12-15 Haziran. https://doi.org/10.1109/EEEIC.2018.8493671.

[60] **Ballarini, I., De Luca, G., Paragamyan, A., Pellegrino, A., & Corrado, V.** (2019). Transformation of an Office Building into a Nearly Zero Energy Building (nZEB): Implications for Thermal and Visual Comfort and Energy Performance. *Energies*, *12*(5), 895. https://doi.org/10.3390/en12050895.

[61] **De Luca, G., Ballarini, I., Lorenzati, A., & Corrado, V. (**2020). Renovation of a social house into a NZEB: Use of renewable energy sources and economic implications. *Renewable Energy*, *159*, 356–370. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.170.

[62] **Corrado, V., Ballarini, I., Paduos, S., & Tulipano, L.** (2017). A new procedure of energy audit and cost analysis for the transformation of a school into a nearly zero-energy building. *Energy Procedia*, *140*, 325–338. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.146.

[63] **Lorenzati, A., Ballarini, I., De Luca, G., & Corrado, V.** (2019). Social Housing In Italy: Energy Audit And Dynamic Simulation Towards A nZEB Policy. *16th IBPSA International Conference and Exhibition.* (ss.4990-4997). İtalya: Roma, 2-4 Eylül. https://doi.org/10.26868/25222708.2019.210428.

[64] **Asdrubali, F., Ballarini, I., Corrado, V., Evangelisti, L., Grazieschi, G., & Guattari, C.** (2019). Energy and environmental payback times for an NZEB retrofit. *Building and Environment*, *147*, 461–472. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.047.

[65] **Ballarini, I., Primo, E., & Corrado, V.** (2018). On the limits of the quasi-steady-state method to predict the energy performance of low-energy buildings. *Thermal Science*, *22*(Suppl. 4), 1117–1127. https://doi.org/10.2298/TSCI170724133B.

[66] **Corrado, V., Ballarini, I., Paduos, S., & Primo, E.** (2016). Refurbishment of the Residential Building Stock toward the Nearly-Zero Energy Target Through the Application of the Building Typology. *Energy Procedia*, *101*, 208–215. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.027.

[67] **Angelotti, A., Martire, M., Mazzarella, L., Pasini, M., Ballarini, I., Corrado, V., De Luca, G., Baggio, P., Prada, A., Bosco, F., & Cornaro, C.** (2018). Building Energy Simulation for Nearly Zero Energy Retrofit Design: The Model Calibration. *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, (ss.1–6). İtalya: Palermo, 12-15 Haziran. https://doi.org/10.1109/EEEIC.2018.8493777.

[68] **Penna, P., Prada, A., Cappelletti, F., & Gasparella, A.** (2015). Multi-objective optimization for existing buildings retrofitting under government subsidization. *Science and Technology for the Built Environment*, *21*(6), 847–861. https://doi.org/10.1080/23744731.2015.1028867.

[69] **Penna, P., Prada, A., Cappelletti, F., & Gasparella, A.** (2015). Multi-objectives optimization of Energy Efficiency Measures in existing buildings. *Energy and Buildings*, *95*, 57–69. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.003.

[70] **Prada, A., Gasparella, A., & Baggio, P.** (2018). On the performance of meta-models in building design optimization. *Applied Energy*, *225*, 814–826. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.129.

[71] **Teso, L., Dalla Mora, T., Romagnoni, P., & Peron, F.** (2019). European projects on district energy-renovations and Italian best practices. *E3S Web of Conferences*, *111*, 03004. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911103004.

[72] **Mora, T. D., Pinamonti, M., Teso, L., Boscato, G., Peron, F., & Romagnoni, P.** (2018). Renovation of a School Building: Energy Retrofit and Seismic Upgrade in a School Building in Motta Di Livenza. *Sustainability*, *10*(4), 969. https://doi.org/10.3390/su10040969.

[73] **Mora, T. D., Righi, A., Peron, F., & Romagnoni, P.** (2017). Cost-Optimal measures for renovation of existing school buildings towards nZEB. *Energy Procedia*, *140*, 288–302. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.143.

[74] **Cappelletti, F., Mora, T. D., Peron, F., Romagnoni, P., & Ruggeri, P.** (2015). Building Renovation: Which Kind of Guidelines could be Proposed for Policy Makers and Professional Owners? *Energy Procedia*, *78*, 2366–2371. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.189.

[75] **Rose, J., Thomsen, K. E., Domingo-Irigoyen, S., Bolliger, R., Venus, D., Konstantinou, T., Mlecnik, E., Almeida, M., Barbosa, R., Terés-Zubiaga, J., Johansson, E., Davidsson, H., Conci, M., Mora, T. D., Ferrari, S., Zagarella, F., Sanchez Ostiz, A., San Miguel-Bellod, J., Monge-Barrio, A., & Hidalgo-Betanzos, J. M.** (2021). Building renovation at district level – Lessons learned from international case studies. *Sustainable Cities and Society*, *72*, 103037. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103037.

[76] **Guerra-Santin, O., Bosch, H., Budde, P., Konstantinou, T., Boess, S., Klein, T., & Silvester, S.** (2018). Considering user profiles and occupants' behaviour on a zero energy renovation strategy for multi-family housing in the Netherlands. *Energy Efficiency*, *11*(7), 1847–1870. https://doi.org/10.1007/s12053-018-9626-8.

[77] **Escandón, R., Silvester, S., & Konstantinou, T.** (2018). Evaluating the environmental adaptability of a nearly zero energy retrofitting strategy designed for Dutch housing stock to a Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, *169*, 366–378. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.079.

[78] **Guerra-Santin, O., Boess, S., Konstantinou, T., Romero Herrera, N., Klein, T., & Silvester, S.** (2017). Designing for residents: Building monitoring and co-creation in social housing renovation in the Netherlands. *Energy Research & Social Science*, *32*, 164–179. https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.03.009.

[79] **Ferreira, M., Almeida, M., & Rodrigues, A.** (2017). Impact of co-benefits on the assessment of energy related building renovation with a nearly-zero energy target. *Energy and Buildings*, *152*, 587–601. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.066.

[80] **Ferreira, M., Almeida, M., & Rodrigues, A.** (2016). Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target. *Energy and Buildings*, *133*, 724–737. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.017.

[81] **Ferreira, M., Almeida, M., Rodrigues, A., & Silva, S. M.** (2016). Comparing cost-optimal and net-zero energy targets in building retrofit. *Building Research & Information*, *44*(2), 188–201. https://doi.org/10.1080/09613218.2014.975412.

[82] **Ferreira, M., Almeida, M., & Rodrigues, A.** (2014). Cost optimality and net-zero energy in the renovation of Portuguese residential building stock – Rainha Dona Leonor neighbourhood case study. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, *5*(4), 306–317. https://doi.org/10.1080/2093761X.2014.979268.

[83] **Pihelo, P., Kuusk, K., & Kalamees, T.** (2020). Development and Performance Assessment of Prefabricated Insulation Elements for Deep Energy Renovation of Apartment Buildings. *Energies*, *13*(7), 1709. https://doi.org/10.3390/en13071709.

[84] **Kuusk, K., Pihelo, P., & Kalamees, T.** (2019). Renovation of apartment buildings with prefabricated modular panels. *E3S Web of Conferences*, *111*, 03023. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911103023.

[85] P**ihelo, P., Kalamees, T., & Kuusk, K.** (2017). NZEB Renovation with Prefabricated Modular Panels. *Energy Procedia*, *132*, 1006–1011. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.708.

[86] **Ascione, F., Bianco, N., Iovane, T., Mastellone, M., & Mauro, G. M.** (2021). Conceptualization, development and validation of EMAR: A user-friendly tool for accurate energy simulations of residential buildings via few numerical inputs. *Journal of Building Engineering*, *44*, 102647. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102647.

[87] **Ascione, F., Bianco, N., Mauro, G. M., Napolitano, D. F., & Vanoli, G. P.** (2021). Comprehensive analysis to drive the energy retrofit of a neighborhood by optimizing the solar energy exploitation – An Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, *314*, 127998. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127998.

[88] **Ascione, F., Bianco, N., Mauro, G. M., Ferdinando Napolitano, D., & Vanoli, G. P.** (2020). Optimization of solar energy exploitation for a neighborhood towards nearly zero energy buildings. *2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, (ss.1–7). Crotia: Split, 23-26 Eylül. https://doi.org/10.23919/SpliTech49282.2020.9243839.

[89] **Mauro, M., Zuzana, P., Umberto, B., Silvana, F. L., Felipe, P.-A., & Teresa, B.** (2019). The energy retrofit of building façades in 22@ innovation district of Barcelona: Energy performance and cost-benefit analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *609*(7), 072067. https://doi.org/10.1088/1757-899X/609/7/072067.

[90] **Ascione, F., Bianco, N., Iovane, T., Mastellone, M., & Mauro, G. M.** (2021). The evolution of building energy retrofit via double-skin and responsive façades: A review. *Solar Energy*, *224*, 703–717. https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.06.035.

[91] **Ascione, F., Bianco, N., De Masi, R. F., Mauro, G. M., & Vanoli, G. P.** (2017). Cost-Effective Refurbishment of Italian Historic Buildings. In *Cost-Effective Energy Efficient Building Retrofitting* (pp. 553–600). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101128-7.00019-8.

[92] **Ascione, F., Bianco, N., Mauro, G. M., & Napolitano, D. F.** (2021). Knowledge and energy retrofitting of neighborhoods and districts. A comprehensive approach coupling geographical information systems, building simulations and optimization engines. *Energy Conversion and Management*, *230*, 113786. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113786.

[93] **Semprini, G., Ferrante, A., Cattani, E., & Fotopolulou, A.** (2017). New strategies towards nearly zero energy in existing buildings: The ABRACADABRA project. *Energy Procedia*, *140*, 151–158. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.131.

[94] **Ferrante, A., Ungaro, F., Semprini, G., Dragonetti, L., Agliardi, E., & Fotopoulou, A.** (2019). *Deep renovation up to zero energy through Add-ons: The ABRACADABRA Project*. 252–262. https://doi.org/10.2749/newyork.2019.0252.

[95] **Ferrante, A., Mochi, G., Predari, G., Badini, L., Fotopoulou, A., Gulli, R., & Semprini, G.** (2018). A European Project for Safer and Energy Efficient Buildings: Pro-GET-onE (Proactive Synergy of inteGrated Efficient Technologies on Buildings' Envelopes). *Sustainability*, *10*(3), 812. https://doi.org/10.3390/su10030812.

[96] **Ascione, F., De Masi, R. F., de Rossi, F., Ruggiero, S., & Vanoli, G. P.** (2017). NZEB target for existing buildings: Case study of historical educational building in Mediterranean climate. *Energy Procedia*, *140*, 194–206. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.135.

[97] **Assimakopoulos, M.-N., De Masi, R. F., Fotopoulou, A., Papadaki, D., Ruggiero, S., Semprini, G., & Vanoli, G. P.** (2020). Holistic approach for energy retrofit with volumetric add-ons toward nZEB target: Case study of a dormitory in Athens. *Energy and Buildings*, *207*, 109630. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109630.

[98] **Assimakopoulos, M.-N., De Masi, R. F., de Rossi, F., Ferrante, A., Fotopoulou, A., Papadaki, D., Ruggiero, S., & Vanoli, G. P.** (2021). Application of light shelves in a refurbished student dormitory: Energy, lightings and comfort aspects. *Energy Reports*, *7*, 253–258. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.06.043.

[99] **Ruggiero, S., Assimakopoulos, M.-N., De Masi, R. F., de Rossi, F., Fotopoulou, A., Papadaki, D., Vanoli, G. P., & Ferrante, A.** (2021). Multi-Disciplinary Analysis of Light Shelves Application within a Student Dormitory Refurbishment. *Sustainability*, *13*(15), 8251. https://doi.org/10.3390/su13158251.

[100] **5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu.** (2007). *T.C. Resmî Gazete, 26510*, 2 Mayıs 2007.

[101] **Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği.** (2008). *T.C. Resmî Gazete*, *27075*, 5 Aralık 2008.

[102] **Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik.** (2017). *T.C. Resmî Gazete*, *30051*, 27 Nisan 2017.

[103] **Türk Standartları Enstitüsü.** (2008). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.* Ankara, Mayıs 2008.

[104] **Türk Standartları Enstitüsü.** (2013). *TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları* [Thermal Insulation Requirements for Buildings]. Ankara, Aralık 2013.

[105] **Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik.** (2011)**.** *T.C. Resmî Gazete,* 28097, 27 Ekim 2011.

[106] **Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023**. (2012). *T.C. Resmî Gazete*, *28215*, 20 Şubat 2012.

[107] **T.C. Kalkınma Bakanlığı.** (2013). *Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu_Kalkinma_Plani-2014-2018.pdf.

[108] **Avrupa Komisyonu.** (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, Official Journal of the European Union, L 315/1, 14.11.2012.

[109] **T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı.** (2019). *On Birinci Kalkınma Planı*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Plani-2019-2023.pdf.

[110] **Kamu Binalarında Enerji Tasarrufu Konulu Cumhurbaşkanlığı Genelgesi.** (2019). *T.C. Resmî Gazete, 30860,* 16 Ağustos 2019. 2019/18.

[111] **2850 sayılı Kamuda Enerji Performans Sözleşmelerine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Karar.** (2020). *T.C. Resmî Gazete, 31220,* 20 Ağustos 2020.

[112] **Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu.** (2019). *T.C. Resmî Gazete, 30666,* 25 Ocak 2019.

[113] **EVÇED.** (2020). *Ulusal Enerji Verimlilği Eylem Planı 2019 yılı Gelişim Raporu* (15/V02).

[114] **Url-16** <*https://www.csb.gov.tr/binalarda-yenilenebilir-enerji-zorunlulugu-1-ocakta-basliyor-bakanlik-faaliyetleri-37361*> erişim tarihi 21.08.2023.

[115] **Binalar ve Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği.** (2022). *T.C. Resmî Gazete, 31864,* 12 Haziran 2022.

[116] **EVÇED.** (2023). *Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2022 yılı Gelişim Raporu* (47/V01).

[117] **Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun.** (2021). *T.C. Resmî Gazete, 31621*, 7 Ekim 2021.

[118] **Url-17** <*https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp*> erişim tarihi 24.08.2023.

[119] **Acar, U.** (2023). *Net sıfır enerjili binaların Türkiye iklim koşullarında uygulanabilirliğinin araştırılması.* (Doktora Tezi). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye.

[120] **Çelik, A.** (2022). *Soğuk iklim bölgelerinde yaklaşık sıfır enerji bina (nZEB) konseptinin bir eğitim binası için çok kriterli karar verme yöntemleriyle incelenmesi.* (Doktora Tezi). Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

[121] **Arıkan, C. N.** (2021). *AB'nin 20/20/20 hedeflerinin Türkiye'de uygulanabilirliği üzerine bir inceleme: Neredeyse sıfır enerjili otel binaları.* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[122] **Sattari, M.** (2021). *Yaklaşık sıfır enerjili binaların (nSEB) Türkiye'de uygulanabilirliği üzerine bir inceleme.* (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

[123] **Yılmaz, M.** (2021). *Sıfır enerjili konut binalarında ısı pompası ve PV uygulamalarının enerji performans yaşam döngüsü ve maliyet analizleri.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

[124] **Moazzen Ferdos, N.** (2020). *Architectural retrofit of educational buildings towards nearly zero energy and cost optimal levels considering the life cycle and occupant comfort.* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[125] **Beyaztaş, H.** (2020). *Redefining building envelope based on different urban texture for the goal of achieving near-zero energy residential building.* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[126] **Çıldır, A. S.** (2019). *Neredeyse sıfir enerji" ofis yapılarında yapı elemanlarının ortam konforuna etkisinin yapı enerji simülasyonu yardımıyla araştırılması.* (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

[127] **Kalaycıoğlu, E.** (2017). *A new approach to evaluate the nearly zero energy concept of EPBD recast at district scale*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[128] **Ganiç Sağlam, N.** (2017). *A new approach to identify achievable nearly-zero energy building targets for existing building retrofits.* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[129] **Avrupa Komisyonu.** (2014). *Financing the energy renovation of buildings with Cohesion Policy funding, Final Report* [Technical Guidance]. ISBN:978-92-79-35999-6. https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/studies/financing_energy_renovation.pdf.

[130] **Taranto, Y., Sarı, A. C., Künar, A., Düşmez Tek, E., Çakmak, M. Y., Seefeldt, F., & Langreder, N.** (2020). *Enerji Verimliliği Çözümü: Finansman Mekanizmaları*. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi.

[131] **Acar A., Sarı A.C., Düşmez Tek E., Çakmak M. Y., Seefeldt F., Langreder N.** (2020). *Enerji Verimliliği Çözümü: Mevzuat*. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi.

[132] **Sarı, A. C., Düşmez Tek, E., Çakmak, M. Y., Seefeldt, F., & Langreder, N.** (2020). *Enerji Verimliliği Çözümü: Piyasa Temelli Politika Mekanizması Araçları*. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi.

[133] **UNEP/SEFI.** (2008). Public Finance Mechanisms to Mobilise Investment in Climate Change Mitigation.

[134] **Frankfurt School UNEP Collaborating Center.** (2012). Case Study: the Thai Energy Efficiency Revolving Fund.

[135] **Uluslararası Enerji Ajansı.** (2018). Energy Service Companies (ESCOs), IEA, Paris. https://www.iea.org/reports/energy-service-companies-escos-2 , License: CC BY 4.0.

[136] **Url-18** <*https://clean-energy-islands.ec.europa.eu/assistance/financing-corner/finance-opportunities/bill-financing*> erişim tarihi 06.09.2023.

[137] **Url-19** <*https://www.gov.uk/green-deal-energy-saving-measures*> erişim tarihi 06.09.2023.

[138] **ETKB.** (2017). *ESCO Gelişim Yol Haritası.* Avrupa Birliği / Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı (IPA) Enerji Sektörü Teknik Yardım Projesi. TF 016532 -TR, Ankara. https://docplayer.biz.tr/134062473-Esco-gelisim-yol-haritasi.html.

[139] **EYODER.** (2020). Enerji Verimliliği Paydaşları Arasında İletişim ve Veri Paylaşım Ağının Geliştirilmesi Projesi: Enerji Verimliliği, Enerji Yönetimi, Enerji Etütleri ve Enerji Performans Sözleşmeleri Öneri Raporu. Yıldız Matbaa ve Dijital Baskı.

[140]. **Climate Investment Fund & Carbon Trust.** (2018). Lessons from the CIF Experience in Scaling Up Energy Efficiency: Case Study Report.

[141] **Ecofys.** (2018). The Energy Transition Tax in France (CITE) Fact Sheet.

[142] **Stavins, R.** (2003). Experience with Market-Based Environmental Policy Instruments. *Handbook of Environmental Economics 1*, pp. 355–435.

[143] **Cin, R.** (2018). *Türkiye'de Enerji Verimliliği Yükümlülükleri Sistemi'nin Yapılandırılması Analizi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

[144] **Özbilgin, M.** (2017). Küresel Isınmaya Karşı Karbon Vergisi Çözümü ve Türkiye'deki Çevreci Vergilerin Etkinliği. *Verginet-Deloitte*. 28 Haziran, 2021, https://www.verginet.net/dtt/1/karbon-vergisi.aspx.

[145] **Eroğlu, B.** (2021). *Teoride ve Uygulamada Karbon Vergisi ve Türkiye'de Uygulanabilirliği* (Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

[146] **Hotunluoğlu, H. & Tekeli, R.** (2007). Karbon Vergisinin Ekonomik Analizi ve Etkileri: Karbon Vergisinin Emisyon Azaltıcı Etkisi Var Mı?. *Sosyoekonomi*, 6(6), Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/sosyoekonomi/issue/21066/226821.

[147] **Dünya Bankası.** (2020). *State and Trends of Carbon Pricing 2020.* Washington DC: Dünya Bankası. DOI: 10.1596/978-1-4648-1586-7. https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33809/9781464815867.pdf?sequence=4&isAllowed=y.

[148] **Johansson, B.** (2000). *Carbon Tax in Sweden*, Innovation and the Environment, OECD: Paris.

[149] **Url-20** <*https://www.iea.org/policies?sector=Buildings*> erişim tarihi 14.02.2021.

[150] **EVÇED**. (2020) *Enerji Verimliliği Destekleri Hakkında Uygulama Usul ve Esasları.* Ankara: ETKB. https://www.yatirimadestek.gov.tr/pdf/assets/upload/dosyalar/uygulama_usul_ve_esaslari_enerji_verimliligi_destekleri.pdf.

[151] **Url-21 <***https://enerji.gov.tr/kurumsal-tarihce***>** erişim tarihi 10.09.2023.

[152] **Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun.** (2021). *T.C. Resmî Gazete, 31700* (Kanun No:7346), 25 Aralık 2021.

[153] **Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik.** (2022). *T.C. Resmî Gazete, 31888,* 6 Temmuz 2022.

[154] **Url-22** <*https://evcedyetkilendirme.enerji.gov.tr/verimlilik/y_yetki_b_a_d_sirketler.aspx*> erişim tarihi 11.09.2023.

[155] **Url-23** <*https://ebrdgeff.com/turkiye_facilities/*> erişim tarihi 11.09.2023.

[156] **Url-24** <*https://www.sekerbank.com.tr/bireysel/bireysel-krediler/eko-kredi*> erişim tarihi 07.09.2023.

[157] **Url-25** <*https://www.garantibbvamortgage.com/yesil-mortgage-ozellikler.aspx*> erişim tarihi 07.09.2023.

[158] **Url-26** <*https://www.garantibbva.com.tr/isim-icin/krediler/gunes-enerjisi-kredisi*> erişim tarihi 07.09.2023.

[159] **Url-27** <*https://www.ziraatbank.com.tr/tr/bireysel/krediler/genel-ihtiyaclar/bireysel-enerji-verimliligi-kredisi*> erişim tarihi 07.09.2023.

[160] **Url-28** <*https://www.halkbank.com.tr/tr/bireysel/krediler/ihtiyac-kredileri/enerji-destek.html*> erişim tarihi 07.09.2023.

[161] **Url-29** <*https://www.vakifbank.com.tr/Default.aspx?pageID=3994&Exc=4350Z*> erişim tarihi 07.09.2023.

[162] **Url-30** <*https://www.qnbfinansbank.com/bireysel/krediler/ev-almak-icin/cevre-dostu-konut-kredisi*> erişim tarihi 07.09.2023.

[163] **Url-31** <*https://www.yapikredi.com.tr/kredi/konut-kredisi/doga-dostu-mortgage*> erişim Tarihi 07.09.2023.

[164] **İMSAD.** (2012). *Binalarda Enerji Verimliliği Finansmanı: Türkiye'nin Yol Haritası, AB'nin Durum Analizi*. https://endekstest.imsad.org/files/fileman/Uploads/Documents/etkinlikler/rehber_ana.pdf.

[165] **Bankaların Kredi İşlemlerine İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik.** (2019). *T.C. Resmî Gazete, 30860,* 16 Ağustos 2019.

[166] **Avrupa Komisyonu.** (2021). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism. COM/2021/564 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0564.

[167] **Yeşil Mutabakat Eylem Planı.** (2021). T.C. Ticaret Bakanlığı.

[168] **Url-32** <*https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/konutlarda-isi-yalitim-kredi-paketi-devrede-691629.html*> erişim tarihi 27.06.2023.

[169] **Keskin, T.** (2009). Enerji Verimliliği Projelerinin Finansmanı. *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi,* (ss. 41-51). İstanbul: MMO, 6-9 Mayıs. http://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2014/12/2009-03.pdf.

[170] **Acuner Türet E., Cin R.** (2022). ESCO ve EPS Sektörünün STK İş Birliği ile Geliştirilmesi Projesi (FACILITEE), ESCO ve EPS Sektörü Politika Öneri Raporu. Ankara. https://eyoder.org.tr/wp-content/uploads/2023/08/FACILITEE_ESCO-ve-EPS-Sekto%CC%88ru%CC%88-Politika-O%CC%88neri-Raporu.pdf.

[171] **Avrupa Bina Performansı Enstitüsü (BPIE).** (2010). Cost-Optimality. Discussing Methodology and Challenges within the Recast Energy Performance of Buildings Directive; BPIE: Brussels, Belgium.

[172] **Avrupa Komisyonu.** (2012). Notices From European Union Institutions, Bodies, Offices And Agencies. *Official Journal of the European Union.* 2012/C 115/01. 19.04.2012. https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2012:115:0001:0028:EN:PDF.

[173] **Ballarini I.,Corgnati S.P., Corrado V., Talà N.** (2011). Building typology brochure–Italy [Fascicolosullatipologiaediliziaitaliana]. *Italian TABULA, report*; october 2011. www.building-typology.eu.

[174] **Corgnati, S. P., Fabrizio, E., Filippi, M., & Monetti, V.** (2013). Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application. *Applied Energy*, *102*, 983-993. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.001.

[175] **Url-33** <*https://biruni.tuik.gov.tr/yapiizin/giris.zul*> erişim tarihi 20.03.2021.

[176] **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2021). *Bina Sektörü Enerji Verimliliği Teknoloji Atlası*. Ankara.

[177] **Pencere ve Kapı Sektörü Derneği.** (2017). *2016 Yılı Türkiye Pencere ve Cam Pazarı Raporu*. İstanbul: PÜKAD, 3 Şubat. http://pukad.org/wp-content/uploads/2017/02/2016-yili-turkiye-pencere-ve-cam-pazari-raporu.pdf.

[178] **İşte Türkiye'nin "Isı Yalıtım Kalınlığı" Haritası.** (2014, 26 Şubat). Erişim: 25.03.2021, http://www.yapi.com.tr/haberler/iste-turkiyenin-isi-yalitim-kalinligi-haritasi_117550.html.

[179] **Url-34** <*https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx*> erişim tarihi 30.09.2023.

[180] **Url-35** <*https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/*> erişim tarihi 30.09.2023.

[181] **İZOCAM.** (2019). 2019 Faaliyet Raporu. Erişim: 25.03.2021. https://www.izocam.com.tr/pdffiles/globalpdf/izocamfaaliyetraporu2019755.pdf.

[182] **Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği- İMSAD.** (2019). *Türkiye İMSAD Yapı Sektörü Raporu 2018.* (ISBN 978-605-81691-2-8). İstanbul: Murat Ofset Matbaacılık, Temmuz 2019. http://imsad.org/Uploads/Files/Turkiye_IMSAD%20_Yapi_Sektoru_Raporu_2018_web.pdf.

[183] **Url-36** <*https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Aile-2021-45632*> erişim tarihi 15.09.2023.

[184] **Url-37** <*https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p= Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2020-37197*> erişim tarihi 19.06.2022.

[185] **DeOreo, W. B., Mayer, P. W., Dziegielewski, B., & Kiefer, J.** (2016). *Residential end uses of water, version 2: Executive report (Version 2). Water Research Foundation.*

[186] **Url-38** <*https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/evde-kullanilan-suyun-yuzde-70i-banyo-ve-tuvalete-gidiyor/2099919*> erişim tarihi 20.06.2022.

[187] **Url-39** <*https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/index.htm*> erişim tarihi 15.09.2023.

[188] **Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ.** (2017). EK: Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi, Bina Enerji Performansı – Isıtma ve Soğutma için Net Enerji İhtiyacının Hesaplanması. *T.C. Resmî Gazete, 30227*, 1 Kasım 2017.

[189] **Rea, M. S., & Illuminating Engineering Society of North America (Ed.).** (2000). *The IESNA lighting handbook: Reference & application* (9. ed). New York: IESNA.

[190] **Sümengen, Ö. & Yener, A. K.** (2015). Konutlarda Aydınlatma Enerjisi Performansı ve Görsel Konfor Koşulları. *7. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu* (pp.184-203). Türkiye: İzmir, 21-24 Kasım.

[191] **Url-40** <*https://www.lighting.philips.com.tr/consumer/p/ledampul/8718699622145/ozellikler*> erişim tarihi 25.05.2022.

[192] **Url-41** <*https://www.lighting.philips.com.tr/consumer/p/ledampul/8718699622220/ozellikler*> erişim tarihi 25.05.2022.

[193] **Url-42** <*https://www.lighting.philips.com.tr/consumer/p/ledampul/8718696770146/ozellikler*> erişim tarihi 25.05.2022.

[194] **Dialux Evo** (Versiyon 10.1) [Bilgisayar yazılımı]. Lüdenscheid, Almanya; DIAL.

[195] **Url-43** <*https://meslekihizmetler.csb.gov.tr/elektrik-enerjisinin-birincil-enerji-ve-sera-gazi-salimi-katsayilari-2021-yilindan-itibaren-kullanilmak-uzere-guncellenmistir-duyuru-411795*> erişim tarihi 25.05.2022.

[196] **Ferrara, M., Monetti, V., & Fabrizio, E.** (2018). Cost-Optimal Analysis for Nearly Zero Energy Buildings Design and Optimization: A Critical Review. *Energies, 11*(6). https://doi.org/10.3390/en11061478.

[197] **Ashrafian, T.** (2016). *A New Approach To Define Economically Applicable Energy Efficient Retrofit Solutions For Residential Buildings In Turkey* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[198] **Aggerholm S., Erhorn, H., Hitchin, R., Erhorn-Kluttig, H., Poel, B., Thomsen, K.E., Wittchen K.B.,** (2010) Cost optimal levels for energy performance requirements, *Concerted Action - Energy Performance of Buildings.*

[199] **Ganiç, N.** (2012) *Calculation of Cost Optimal Levels of Minimum Energy Performance Requirements for Office Building Retrofits* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[200] **EN 15459-1**. (2017). Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings - Part 1: Calculation procedures.

[201] **Kamuda Enerji Performans Sözleşmelerinin Uygulanmasına İlişkin Tebliğ.** (2021). *T.C. Resmî Gazete, 31455,* Ankara, 2021.

[202] **Fernandez-Luzuriaga, J., del Portillo-Valdes, L., & Flores-Abascal, I.** (2021). Identification of cost-optimal levels for energy refurbishment of a residential building stock under different scenarios: Application at the urban scale. *Energy and Buildings, 240, 110880. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110880.*

[203] **Lavappa, P. D., & Kneifel, J. D.** (2019). *Energy price indices and discount factors for life-cycle cost analysis: 2019 annual supplement to NIST handbook 135* (NIST IR 85-3273-34; s. NIST IR 85-3273-34). National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.IR.85-3273-34.

[204] **Kneifel, J., & Webb, D.** (2022). *Life cycle costing manual for the Federal Energy Management Program* (NIST HB 135e2022-upd1; s. NIST HB 135e2022-upd1). National Institute of Standards and Technology (U.S.). https://doi.org/10.6028/NIST.HB.135e2022-upd1.

[205] **EN 15459-2** (2017). Energy performance of buildings. Economic evaluation procedure for energy systems in buildings Part 2: Explanation and justification of EN 15459-1, Module M1-14.

[206] **Boermans, T., Bettgenhäuser, K., Hermelink, A., & Schimschar, S.** (2011). *Cost optimal building performance requirements- Calculation methodology for reporting on national energy performance requirements on the basis of cost optimality within the framework of the EPBD.* Stockholm: European Council for an Energy Efficient Economy-ECEEE.

[207] **Url-44** <*https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Enflasyon+Verileri*> erişim tarihi 01.12.2022.

[208] **Url-45** <*https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Temel+Faaliyetler/Para+Politikasi/Merkez+Bankasi+Faiz+Oranlari/faiz-oranlari*> erişim tarihi 01.12.2022.

[209] **Url-46** <*https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari*> erişim tarihi 01.12.2022.

[210] **Url-47** <*https://igdas.istanbul/tarifeler/tr-tr*> erişim tarihi 01.12.2022.

[211] **Url-48** <*https://www.enerjisa.com.tr/tr/sikca-sorulan-sorular/fatura-kalemleri/faturamda-yer-alan-bedeller-enerji-tuketim-bedeli-enerji-fonu-trt-payi-kdv-ve-elk-ve-hvg-tuk-ver-ne-anlama-geliyor*> erişim tarihi 10.01.2023.

[212] **Url-49** <*https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Elektrik-ve-Dogal-Gaz-Fiyatlari-I.-Donem:-Ocak-Haziran-2022-45567*> erişim tarihi 24.05.2023.

[213] **Url-50** <*https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Doviz+Kurlari/Gosterge+Niteligindeki+Merkez+Bankasi+Kurlarii/*> erişim tarihi 01.12.2022.

[214] **T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.** (2022). *2022 Yılı İnşaat Birim Fiyat Analizleri. Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı,* Ankara.

[215] **Harris, J.** (2014). *Maintenance engineering and management: A guide for designers, maintainers, building owners and operators, and facilities managers CIBSE guide M (B. Craig, Ed.; Second edition). The Chartered Institution of Building Services Engineers.*

[216] **Sarı, A. C., Onaygil, S., Acuner, E., Cin, R., Thomas, S., Santini, M.** (2022). *Türkiye için enerji verimliliğini destekleyen piyasa temelli politika mekanizmalarının tasarımı: Enerji verimliliği yükümlülük sistemleri ve yarışmaları.* SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, Sabancı Üniversitesi. ISBN 978-625-7329-88-0.

[217] **Türkiye Elektrik Kurumu Dışındaki Kuruluşların Elektrik Üretimi, İletimi, Dağıtımı ve Ticareti ile Görevlendirilmesi Hakkında Kanun.** (1984). *T.C. Resmî Gazete, 3096*, 19 Aralık 1984.

[218] **Elektrik Enerjisi Fonu Yönetmeliği.** (1995). *T.C. Resmî Gazete, 22375*, 15 Ağustos 1995.

[219] **Url-51** <*https://www.kgf.com.tr/index.php/tr/urunlerimiz/hazine-destekli-kefaletler/aktif-destek-paketleri-2023/yesil-donusum-ve-enerji-verimliligi-destek-paketi*> erişim tarihi 12.11.2023.

[220] **DesignBuilder** (Versiyon 7) [Bilgisayar yazılımı]. Gloucestershire, UK; Designbuilder Software Limited.

EKLER

EK A : Finansal destek sistemlerine ilişkin engeller ve çözüm önerileri.
EK B : Ulusal ESCO piyasasının oluşumu için gerekli eylemler.
EK C : Yapı kabuğu yalıtım yoğuşma analizleri.
EK D : Küresel maliyet hesabına ilişkin veriler.
EK E : Türkiye'deki enerji verimliliği mevzuatında konut binalarına ilişkin yasal boşluklar.

EK A : Finansal destek sistemlerine ilişkin engeller ve çözüm önerileri.

Çizelge A.1 : Finansal destek sistemlerine ilişkin engeller ve çözüm önerileri [130].

Finansal Destek Sistemleri	Engeller	İhtiyaçlar / Önlemler- Çözüm Önerileri
Enerji Verimliliği Fonları	• Fonlar için yeterli kaynak tahsis edilememesi. (Sınırlı kaynak, küresel ölçekte ihtiyaca cevap veremiyor)	• Fon yapılanması ve destek tasarımı. • İhtiyaca cevap vermesi: Piyasayı olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde, ihtiyaç duyulan vadede ve miktarda destek sağlanması.
ESCO Modeli	• ESCO'ların EV proje finansmanı için yeterli kaynağa sahip olmamaları. • Teknik bilgiye sahip olsalar bile uygun finansman koşullarını sağlayamamaları. • Tasarrufların paylaşımı, anlaşmazlıkların çözümü gibi konularda ESCO ile proje sahibi arasında güven eksikliğinin oluşması.	• ESCO'ların mali yapısını güçlendirici risk paylaşım mekanizmalarının devreye alınması. • Performans sözleşmelerinin hukuki anlamda iyileştirilmesi. • Ölçme-doğrulama sisteminin geliştirilmesi. • Güvenin artması için ESCO'ların yetkilendirilmesi, sertifikalandırılması. • Taraflar arası anlaşmazlıkların çözümü noktasında arabuluculuk mekanizmalarının devreye alınması. • ESCO'ların kamu finansal destek sistemleri ile imtiyazlı fon ve kredilerden yararlanmasının önünün açılması.
Diğer Finansal Destek Sistemleri – İmtiyazlı Krediler	• EV için tahsis edilen kaynakların sınırlı olması. • Uluslararası Finansman Kuruluşlarının daha çok yerel düzeyde EV projelerine yönelik kaynak oluşturması. • Risk paylaşım mek. yetersizliği nedeniyle kredilerin istenilen düzeyde talep görmemesi. • İmtiyazlı kredi başvurularında uygulanan prosedürler, teminat şartları ve proje geliştirme süreçlerinin karmaşıklığı nedeniyle küçük ölçekli projelerde uygulanabilir esneklikte olmaması.	• Gelişmiş ülke devletlerinin EV kapsamında verdiği fonların artırılması. • Küçük ölçekli projelerin toplulaştırılması, ESCO'lar üzerinden kredi kullandırılması. • Risk paylaşım mekanizmalarının devreye alınması.
Diğer Finansal Destek Sistemleri – Ticari Krediler	• EV yatırımlarının ticari bankalar tarafından "riskli" olarak algılanması. • EV projelerinin gelir yerine tasarruf sağlama üzerine kurulu olması. (kredi karşılığında proje dışı teminat isteniyor) EV projesinde ise gelir = tasarruf. • Piyasa koşullarında sağlanan kredilerin yüksek maliyetli kalması.	• EV yatırımları için teminat mekanizmaları geliştirilmesi. • Kamu garanti fonları ve özel sigortalar gibi risk paylaşım mekanizmalarının yaygınlaştırılması.
Kredi dışı finansman mekanizmaları	• EV yatırımlarının gelir sağlayan statüde olmaması (tasarruf yaklaşımı) • Risk sermayesi, girişim sermayesi gibi özsermaye finansman araçlarının EV yatırımlarına yönlendirilememesi (gelir statüsünde olmamasından kaynaklı) • Kurumsal ve yeşil tahvil ihraçlarında deneyim eksikliği.	• Devletlerin ve uluslararası yapıların (AB, BM) tahvil ve özsermaye finansmanı araçlarının EV yatırımları için kullanması sağlanmalı (bu kapsamda yeni politika geliştirme ihtiyacı).
Risk paylaşım mekanizmaları	• Teknik ve finansal risk değerlendirme-ölçümüne yönelik mevzuatın eksikliği. • Bu eksiklik/bilinmezlik EV yatırımları için "yüksek risk" algısı oluşturmakta ve maliyetleri artırmaktadır.	• Garanti mekanizmalarının ESCO vb. yapılarla birlikte bütüncül olarak ele alınması.

EK B : Ulusal ESCO piyasasının oluşumu için gerekli eylemler.

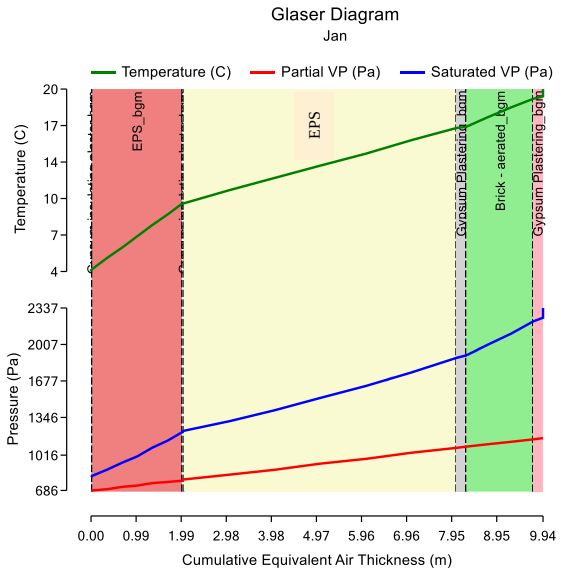
Çizelge B.1 : Ulusal ESCO piyasasının oluşumu için gerekli eylemler [138].

Sıra	Konu	Engel	Çözüm Önerisi	Süre (Yıl)		
				1-2 yıl	3-5 yıl	5+ yıl
1	Yasal mevzuat	Güncel mevzuatın ESCO tanımını içermemesi. Proje tasarım, geliştirme ve uygulama özelliklerine değinmemesi, EVD şirketlerinin sadece etüt-danışmanlık hizmetlerini kapsaması.	ESCO tanımının 5627 sayılı Kanun'a girmesi, enerji performansına dayalı sözleşmeleri uygulayan firmalar olarak. *(garantili tasarruf sağlayıcıları)*	X		
2	EV piyasasında uzmanlaşma	ESCO için gerekli uzman altyapıya sahip olunmaması.	EVD şirketlerinin kapasiye geliştirme faaliyetleri ile başlangıç ESCOları olması. ESCO'ların kendi içinde sürekli eğitim halinde olmaları. ETKB yürütücülüğünde uzmanlaşma, bilinçlendirme faaliyetlerini üstlenmesi.	X		
3	Enerji Performans Sözleşmeleri (EPS)	Halihazırdaki sözleşmelerin karmaşık ve çok uzun bulunması sebebiyle uygulanmaması.	Yapılacak işleme dair temel bilgileri içeren basit sözleşme tipleri oluşturulması. Ölçme-doğrulama prosedürlerinin standardize edilerek uygulamaya konması. (Uluslararası Performans Ölçüm ve Doğrulama Protokolü onaylanmalı)	X		
4	Pilot proje uygulamaları	Daha önce uygulanan EPC'lerin sonuçlarının detaylı olarak tanıtılmaması. Müşterilerin/ yatırımcıların ESCO'lara karşı güven kazanamaması (bilinmezlik)	ESCO modeli ile gerçekleştirilecek pilot projelerin devlet tarafından verilecek hibeler ve garantiler ile teminat altına alınması. Bilgi paylaşımına odaklanan bir yaklaşım benimsenmesi.	X		
5	Küçük ölçekli ESCO projeleri	EV projelerinin karmaşık bir çok prosedüre sahip oluşu yatırımcı ve borç veren kuruluşların teknik anlamda bilgisizliği.	İlk etapta geri ödeme süreleri kısa olan, basit anlaşılır, tek bir teknoloji üzerinde yoğunlaşan EV projelerinin desteklenmesi. ESCO'ların iş portföyünü artıracak. Uygulama konusunda deneyim kazandıracak.	X		
6	Kredi kuruluşları için kapasite geliştirme ve eğitim programları	Kredi kuruluşlarının EV projelerine aşina olmaması. ESCO sözleşmelerini anlayabilecek yeterlilikte olmamaları.	Bankaların çalışan personellerine yönelik eğitim ve bilinçlendirme faaliyetleri gerçekleştirmesi. EV konusunda teknik uzmanlık kazanılmalı.	X		

Çizelge B.1 (devam) : Ulusal ESCO piyasasının oluşumu için gerekli eylemler.

Sıra	Konu	Engel	Çözüm Önerisi	Süre (Yıl)	Sıra	Konu
				1-2 yıl	3-5 yıl	5+ yıl
7	Mevcut destek programlarının geliştirilmesi	Halihazırdaki destek mekanizmaları ESCO modeli için yeterli değildir.	Hibe programları, vergi indirimi/ iadeleri, sübvansiyonlar (KDV indirimi/ muafiyeti vb.), vergi tedbirleri (enerji tüketimi düşük olan kullanıcıların vergi indirimi talep etmesi, yüksek enerji /CO2 tüketimi olanların fazla vergi ödemesi), düşük faizli, faizsiz krediler gibi teşvikler olabilir.	X		
8	Kamuda EPS	2019 yılında CB genelgesi yayınlandı. Bilgi paylaşımı artırılmalı. Süreç şeffaf bir şekilde yürütülmeli.	ESCO- kamu ortaklaşa tanotım projeleri gerçekleştirebilir. EPS'nin nasıl çalıştığına yönelik	X		
9	Piyasa Geliştiricisi Belirleme	EPC bazllı faaliyetler, ESCOlar konusunda sorumlu kurum ETKB. Ancak bir çok ülkedeki EV'ye yatırımı canlandıracak merkezi bir kurumun gerekliliğinden bahsetmekte	ETKB bünyesinde yeni kurulacak Enerji Verimliliği Ajansı, piyasa geliştirici olarak görev alabilir. (Teknik ve finansal konularda bilgi paylaşımı ve destek)		X	
10	Piyasa kolaylaştırısı	_	Halihazırdaki EVD'ler bu danışmanlık hizmetini üstlenebilir. ESCO'ya destek.		X	
11	Anlaşmazlıkların çözümü	Anlaşmazlıkların çözümünde mahkeme süreçlerinin çok uzun olması, yargı sistemine olan güvensizlik.	Mahkeme dışı (bağımsız) özel bir mekanizma oluşturulması. Konu ile ilgili uzmanlar ile istişare edilmesi.		X	
12	ESCOlar için kalite kontrol mekanizması	EV piyasasında herhangi bir kontrol mekanizması olmamaması. (güvence vermemesi)	ESCOlara olan güveni artıracak. ETKB nin kriterleri belirlemesi gerekiyor. Uluslararası sertifikalandırma standartları kullanılabilir.		X	
13	Sanayide EV ağları geliştirme	Sanayide uzun geri ödeme süreleri nedeniyle performans etkisinin kısa vadede anlaşılamaması.	EV ağları sayesinde EPC yatırımları yapmaya ikna edecek gönüllü endüstri gruplarının oluşturulması. Bilgi ve tecrübe paylaşımı için önemli.		X	
14	Piyasa bazlı teşvik	Uzun dönemli uygulamalarda ESCO lar için mevcut teşviklerin yetersiz kalması.	*Alınıp satılabilir beyaz sertifikalar:* enerji tasarrufunun doğrulandığı kuruluşlara verilmekte.			X
15	Konutların ESCO uygulamasını desteklemek	Konut binalarının karmaşıklığı / uzun dönem performansta etkisinin görülmesi ESCO lar için engel. Mülkiyet sorunu (birden fazla hane)	Ev sahipleri ve kiracılar için bağlayıcı/zorunlu hükümleri içeren EV tedbirleri- yeni yönetmelik. Hükümet destekli finansal yardımlar çok önemli.			X
16	ESCO veri tabanı	_	Uygulanan ESCO projelerine yönelik ulusal bir veri tabanı oluşturulması.			X

EK C : Yapı kabuğu yalıtım yoğuşma analizleri.

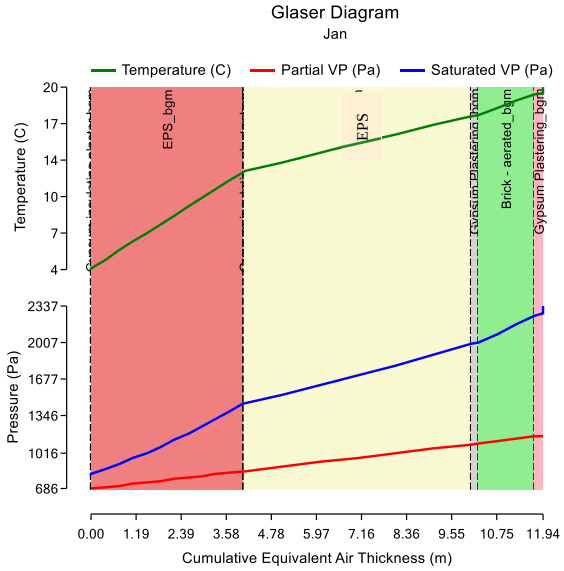


Interstitial Condensation
Structure is free of condensation.

Condensation Interfaces
Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation
Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.1 : YLTM-D1 yoğuşma analiz raporu.

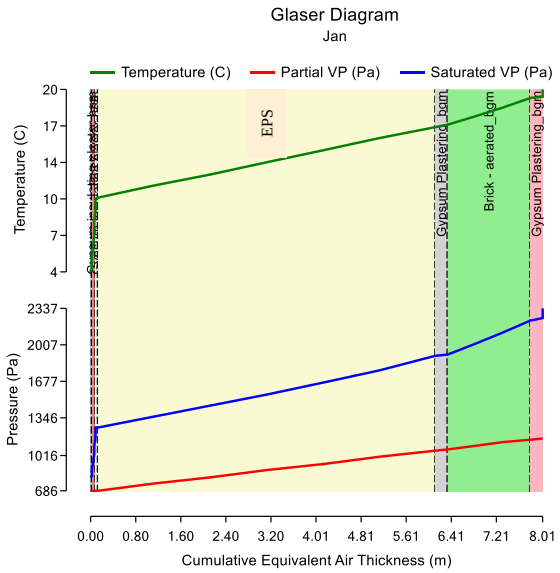


Interstitial Condensation
Structure is free of condensation.

Condensation Interfaces
Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation
Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.2 : YLTM-D2 yoğuşma analiz raporu.

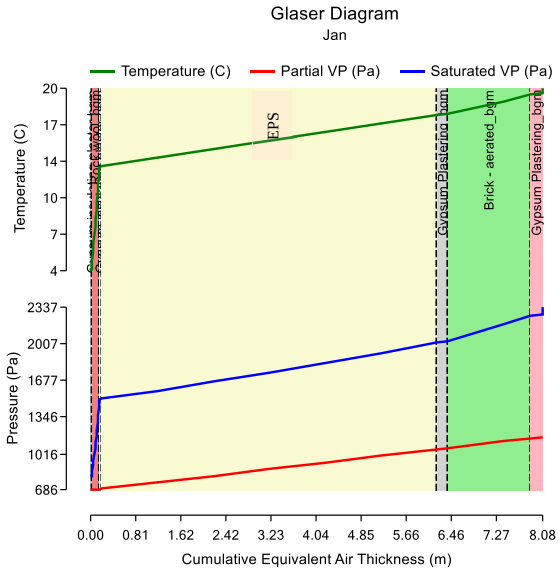


Interstitial Condensation
Structure is free of condensation.

Condensation Interfaces
Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation
Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.3 : YLTM-D3 yoğuşma analiz raporu.

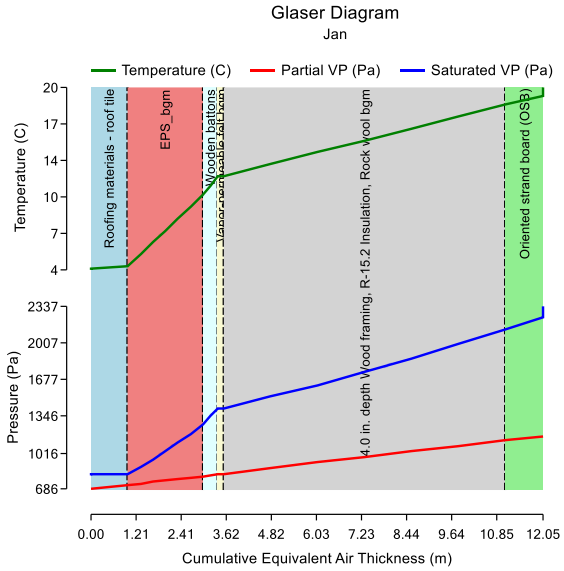


Interstitial Condensation
Structure is free of condensation.

Condensation Interfaces
Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation
Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.4 : YLTM-D4 yoğuşma analiz raporu.

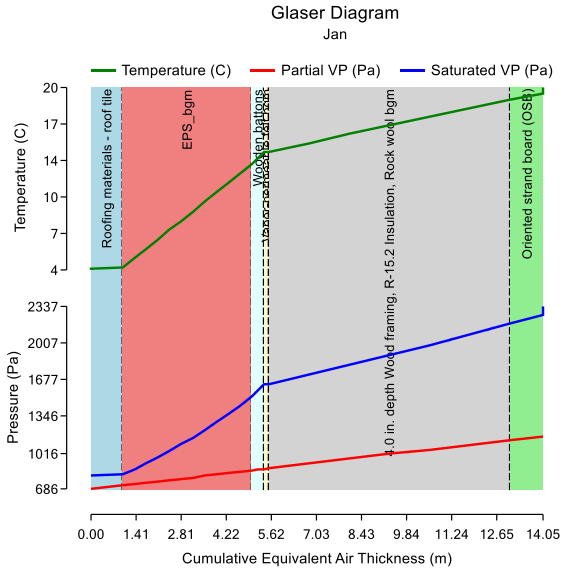


Interstitial Condensation
Structure is free of condensation.

Condensation Interfaces
Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation
Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.5 : YLTM-Ç1 yoğuşma analiz raporu.

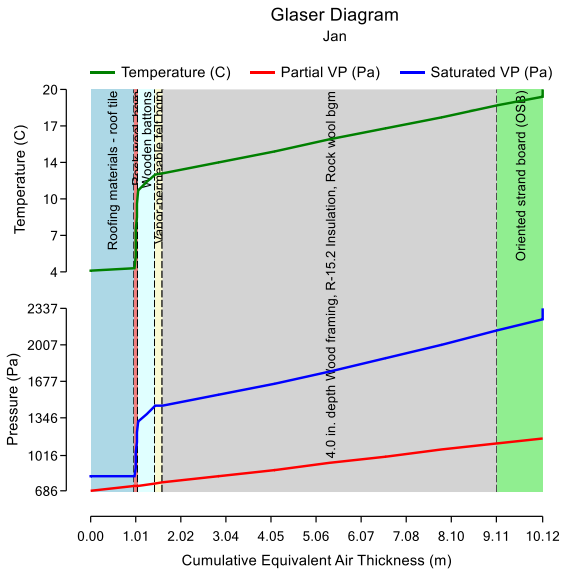


Interstitial Condensation
Structure is free of condensation.

Condensation Interfaces
Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation
Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.6 : YLTM-Ç2 yoğuşma analiz raporu.

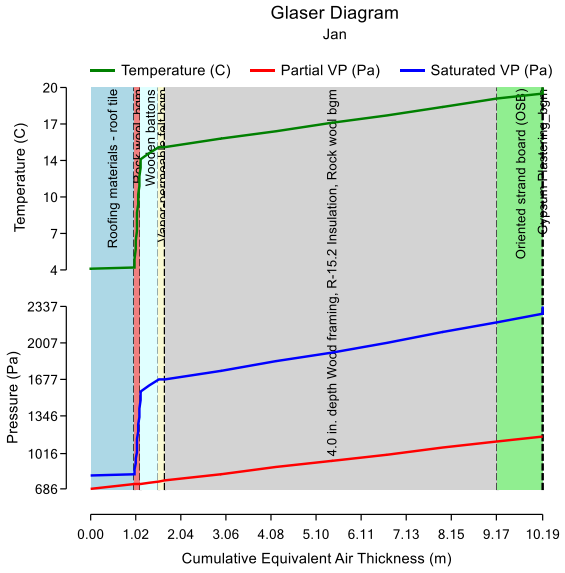


Interstitial Condensation
Structure is free of condensation.

Condensation Interfaces
Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation
Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.7 : YLTM-Ç3 yoğuşma analiz raporu.

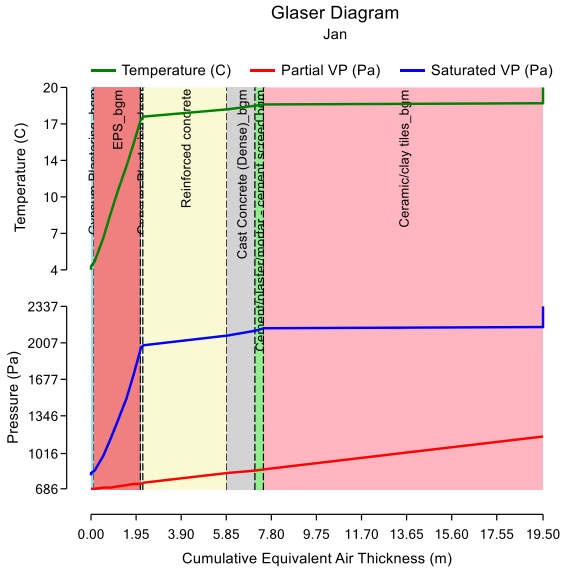


Interstitial Condensation
Structure is free of condensation.

Condensation Interfaces
Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation
Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.8 : YLTM-Ç4 yoğuşma analiz raporu.



Interstitial Condensation

Structure is free of condensation.

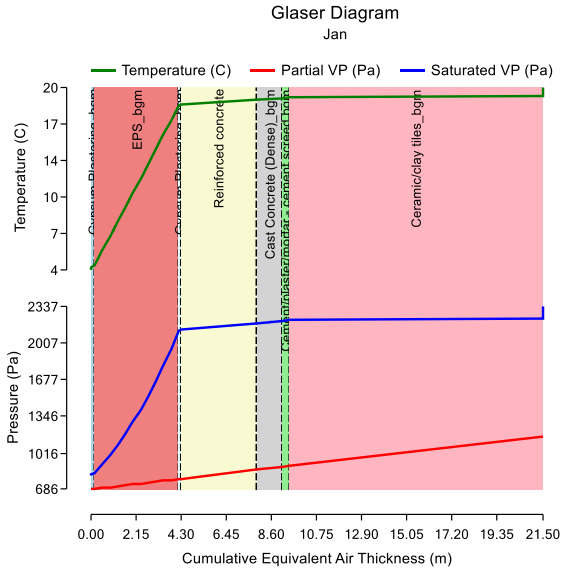
Condensation Interfaces

Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation

Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.9 : YLTM-DS1 yoğuşma analiz raporu.



Interstitial Condensation

Structure is free of condensation.

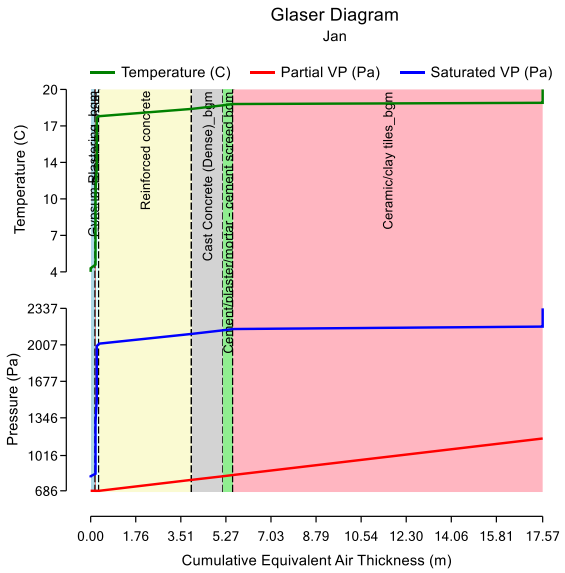
Condensation Interfaces

Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation

Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.10 : YLTM-DS2 yoğuşma analiz raporu.



Interstitial Condensation

Structure is free of condensation.

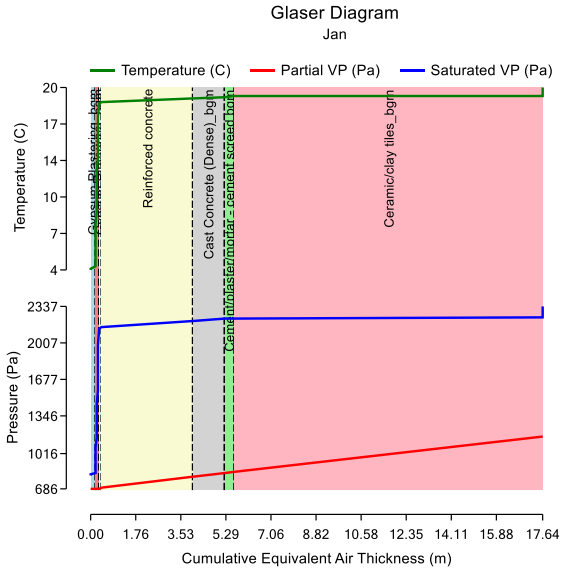
Condensation Interfaces

Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation

Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.11 : YLTM-DS3 yoğuşma analiz raporu.



Interstitial Condensation

Structure is free of condensation.

Condensation Interfaces

Number of condensation interfaces: 0

Surface Condensation

Thermal quality Good. Mould growth unlikely.

Şekil C.12 : YLTM-DS4 yoğuşma analiz raporu.

EK D : Küresel maliyet hesabına ilişkin veriler.

	ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÖNLEMLERİ / SENARYOLAR	Birincil enerji tüketimi (kWh/m2 y)	NON-RECURRING		RECURRING COST	NON-RECURRING		RECURRING COST	NON-RECURRING		RECURRING COST		NON-RECURRING	NON-RECURRING	RECURRING	NON-RECURRING	
			İLK YATIRIM MALİYETİ (TL)	YALITIM (LS:50)	KOMBİ (LS:20)			FOTOVOLTAİK PANEL (PV) - LS:25			KALORİFER TESİSATI (LS:30)	YERDEN ISITMA - ISITMA DS (LS:50)		AYDINLATMA KONTROL SİSTEMİ (sensör LS:15)	TOPLAM MALİYET		
				HURDA DEĞER MALİYETİ	YILLIK BAKIM MALİYETİ (%2)	YENİLEME MALİYETİ	HURDA DEĞER MALİYETİ	YILLIK BAKIM MALİYETİ (%0.5)	YENİLEME MALİYETİ	HURDA DEĞER MALİYETİ	YILLIK BAKIM MALİYETİ (%2)	YILLIK BAKIM MALİYETİ	HURDA DEĞER MALİYETİ	YENİLEME MALİYETİ	TOPLAM BAKIM MALİYETİ	TOPLAM YENİLEME MALİYETİ	TOPLAM HURDA DEĞER MALİYET (NEGATİF DEĞER)
	REF-BİNA	165.71	YOK (DOING NOTHING)		2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺
	YLTM-D1	163.39	200,640.00	3,395.32 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	17,668.14 ₺
	YLTM-D2	162.65	254,448.00	4,305.89 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	18,578.70 ₺
	YLTM-D3	163.15	310,080.00	5,247.32 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	19,520.13 ₺
	YLTM-D4	162.42	364,800.00	6,173.32 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	20,446.13 ₺
	YLTM-Ç1	165.39	41,377.88	700.22 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	14,973.03 ₺
	YLTM-Ç2	165.23	57,140.88	966.96 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	15,239.78 ₺
	YLTM-Ç3	165.37	65,022.38	1,100.34 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	15,373.15 ₺
	YLTM-Ç4	165.19	96,548.38	1,633.84 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	15,906.65 ₺
	C1 (DB-LOE-A)	163.55	91,809.92		2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺
	C2 (DB-LOE-AR)	162.97	96,657.92		2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺
	C3 (DB-LOE-A)	162.97	92,808.03		2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺
	C4 (DB- LOE-AR)	162.84	97,727.33		2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺
	ISITMA-DS	141.5	396,694.75		2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺					7,933.90 ₺	6,713.05 ₺		10,089.10 ₺	107,760.00 ₺	20,985.87 ₺
	AYD-KONTROL	155.07	194,880.00		2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺			8,700.00 ₺	6,875.20 ₺	116,460.00 ₺	14,272.81 ₺
	PV	142.51	269,735.88		2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺	1,348.68 ₺	269735.88	41,668.80 ₺	4,720.00 ₺				8,223.88 ₺	377,495.88 ₺	55,941.61 ₺
S1	YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C3	160.66	554,156.41	7,807.15 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	22,079.96 ₺
S2	YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C4	160.78	559,075.71	7,807.15 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	22,079.96 ₺
S3	YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C3	160.83	404,396.91	5,272.85 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	19,545.66 ₺
S4	YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C4	160.9	409,316.21	5,272.85 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	19,545.66 ₺
S5	YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C3	160.7	514,748.91	7,140.28 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	21,413.09 ₺
S6	YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C4	160.79	519,668.21	7,140.28 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	21,413.09 ₺
S7	YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C3	160.82	443,804.41	5,939.72 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	20,212.54 ₺
S8	YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C4	160.86	448,723.71	5,939.72 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺				6,875.20 ₺	107,760.00 ₺	20,212.54 ₺
S9	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^1 + ISITMA-DS	122.32	950,851.16	7,807.15 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺					7,933.90 ₺	6,713.05 ₺		10,089.10 ₺	107,760.00 ₺	28,793.02 ₺
S10	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^1 + AYD-KONTROL	148.59	749,036.41	7,807.15 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺			8,700.00 ₺	6,875.20 ₺	116,460.00 ₺	22,079.96 ₺
S11	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^1 + PV	137.5	823,892.29	7,807.15 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺	1,348.68 ₺	269735.88	41,668.80 ₺	4,720.00 ₺				8,223.88 ₺	377,495.88 ₺	63,748.76 ₺
S12	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^2 + ISITMA-DS	122.27	911,443.66	7,140.28 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺					7,933.90 ₺	6,713.05 ₺		10,089.10 ₺	107,760.00 ₺	28,126.15 ₺
S13	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^2 + AYD- KONTROL	148.56	709,628.91	7,140.28 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺				4,720.00 ₺			8,700.00 ₺	6,875.20 ₺	116,460.00 ₺	21,413.09 ₺
S14	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^2 + PV	137.52	784,484.79	7,140.28 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺	1,348.68 ₺	269735.88	41,668.80 ₺	4,720.00 ₺				8,223.88 ₺	377,495.88 ₺	63,081.89 ₺
S15	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^1 + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL	113.3	1,145,731.16	7,807.15 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺					7,933.90 ₺	6,713.05 ₺	8,700.00 ₺	10,089.10 ₺	116,460.00 ₺	28,793.02 ₺
S16	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^1 + ISITMA-DS + PV	99.28	1,220,587.04	7,807.15 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺	1,348.68 ₺	269735.88	41,668.80 ₺		7,933.90 ₺	6,713.05 ₺		11,437.77 ₺	377,495.88 ₺	70,461.82 ₺
S17	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^1 + AYD-KONTROL + PV	125.42	1,018,772.29	7,807.15 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺	1,348.68 ₺	269735.88	41,668.80 ₺	4,720.00 ₺			8,700.00 ₺	8,223.88 ₺	386,195.88 ₺	63,748.76 ₺
S18	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^2 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL	113.34	1,106,323.66	7,140.28 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺					7,933.90 ₺	6,713.05 ₺	8,700.00 ₺	10,089.10 ₺	116,460.00 ₺	28,126.15 ₺
S19	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^2 + ISITMA-DS + PV	99.33	1,181,179.54	7,140.28 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺	1,348.68 ₺	269735.88	41,668.80 ₺		7,933.90 ₺	6,713.05 ₺		11,437.77 ₺	377,495.88 ₺	69,794.94 ₺
S20	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^2 + AYD-KONTROL + PV	125.45	979,364.79	7,140.28 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺	1,348.68 ₺	269735.88	41,668.80 ₺	4,720.00 ₺			8,700.00 ₺	8,223.88 ₺	386,195.88 ₺	63,081.89 ₺
S21	[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^1 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV	90.26	1,415,467.04	7,807.15 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺	1,348.68 ₺	269735.88	41,668.80 ₺		7,933.90 ₺	6,713.05 ₺	8,700.00 ₺	11,437.77 ₺	386,195.88 ₺	70,461.82 ₺
S22	[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^2 + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV	90.3	1,376,059.54	7,140.28 ₺	2,155.20 ₺	107,760.00 ₺	14,272.81 ₺	1,348.68 ₺	269735.88	41,668.80 ₺		7,933.90 ₺	6,713.05 ₺	8,700.00 ₺	11,437.77 ₺	386,195.88 ₺	69,794.94 ₺

Şekil D.1 : Küresel maliyet analizine ilişkin veriler.

İlk yatırım maliyetleri

Önlem	Maliyet (TL)
YLTM -D4 : Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması	364,800.00 ₺
YLTM -Ç2 : Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması	57,140.88 ₺
C3: Cam kombinasyonu 4mm + 16mm hava + 4mm	92,808.03 ₺
ISITMA-DS : Yerden ısıtma sistemi	396,694.75 ₺
AYD- KONTROL: Gün ışığı sensörlü aydınlatma kontrol sist.	
kablolama altyapısı (1 daire)	8,700.00 ₺
sensörler	8,700.00 ₺
kontrol modülü	4,350.00 ₺
devreye alma	2,610.00 ₺
1 daire için maliyet	24,360.00 ₺
8 daire için ilk yatırım maliyeti (malzeme+işçilik)	194,880.00 ₺
PV : Mevcut çatıya 40 adet 340 wp gücünde PV panel kurulumu 12kWp	269,735.88 ₺
TOPLAM (ilk yatırım maliyeti)	**1,376,059.54 ₺**

Yıllık bakım -onarım maliyetleri

Önlem	Maliyet (TL)
Bireysel kombi sistemi (tüm senaryolarda)	
1 adet kombi fiyatı (2022 yılı)	13,470.00 ₺
8 adet bireysel kombi fiyatı (REF binada 8 daire olduğu varsayılmıştır)	107,760.00 ₺
yıllık bakım maliyeti (ilk yatırım maliyetinin %2'si -EN15459)	2,155.20 ₺
ISITMA- DS:Yerden ısıtma sisteminin yıllık bakım maliyeti (ilk yatırım maliyetinin %2'si -EN15459)	7,933.90 ₺
PV sisteminin yıllık bakım maliyeti (ilk yatırım maliyetinin %0.5'i -EN15459)	1,348.68 ₺
TOPLAM (yıllık bakım maliyetleri)	**11,437.77 ₺**

Yenileme maliyetleri

Önlem	Maliyet (TL)
Bireysel kombi sistemi (tüm senaryolarda) Yaşam ömrü: 20 yıl. (ilk yatırım maliyetine eşit olarak kabul edilmiştir).	107,760.00 ₺
AYD-KONTROL yaşam ömrü (sensörler): 15 yıl sonunda yenilenecektir.(ilk yatırım maliyetine eşit olarak kabul edilmiştir).	8,700.00 ₺
PV sistemi yaşam ömrü: 25 yıl (ilk yatırım maliyetine eşit olarak kabul edilmiştir).	269,735.88 ₺
ISITMA-DS yaşam ömrü: 50 yıl (EN 15459)olduğundan yenileme maliyeti oluşmamaktadır.	0.00 ₺
YLTM-D ve YLTM -Ç yaşam ömrü: 50 yıl (EN 15459)olduğundan yenileme maliyeti oluşmamaktadır.	0.00 ₺
TOPLAM (yenileme maliyetleri)	**386,195.88 ₺**

*Yenileme maliyetleri DB programında iskonto oranı ile çarpılmaktadır.

Gerçek iskonto oranı hesabı

Ri: enflasyon oranı (inflation rate) 0.1783

R: piyasa faiz oranı (market interest rate) 0.1014

$$R_R = \frac{R - Ri}{1 + R_i} \qquad \frac{[0.1014 - 0{,}1783]}{1 + 0{,}1783}$$

Rr: gerçek iskonto oranı (real discount rate) 0.0653

İskonto oranı hesabı

R_d: iskonto oranı

R_r: gerçek iskonto oranı *(reel discount rate)* $R_d = \left(\frac{1}{1+R_R}\right)^p$ 0.0653

p: başlangıç döneminden itibaren yıl sayısı.

Örnek: 21.yıl için iskonto oranı (kombi hurda hesabında kullanılacak)

$\left(\frac{1}{1+0.0653}\right)^{21}$ 0.2649

Hurda maliyetler hesabı (negatif değer)

Önlem	Maliyet (TL)
YLTM -D4 : Mevcut dış duvara 10cm taşyünü uygulaması 30 yıl sonunda, 20 yıl daha ömrü olacaktır ilk yatırım maliyeti x kalan yaşam ömrü x iskonto faktörü (yaşam ömrü) $364{,}800 \times 2/5 \times \left(\frac{1}{1+0.0653}\right)^{50}$	6,173.32 ₺
YLTM -Ç2 : Mevcut çatıya 10cm EPS uygulaması 30 yıl sonunda, 20 yıl daha ömrü olacaktır ilk yatırım maliyeti x kalan yaşam ömrü x iskonto faktörü (yaşam ömrü) $57{,}140.88 \times 2/5 \times \left(\frac{1}{1+0.0653}\right)^{50}$	966.96 ₺
Ara toplam	**7,140.28 ₺**
Bireysel kombi sistemi (tüm senaryolarda) Yaşam ömrü: 20 yıl 30 yılda 1 kere yenilenecektir. Hesaplama periyodu sonunda 10 yıl daha ömrü olacaktır. ilk yatırım maliyeti x kalan yaşam ömrü x iskonto faktörü (yaşam ömrü) $107{,}760 \times 1/2 \times \left(\frac{1}{1+0.0653}\right)^{21}$	**14,272.81 ₺**
ISITMA-DS yaşam ömrü: 50 yıl, 30 yıl sonunda 20 yıl daha ömrü olacaktır. $396{,}694.75 \times 2/5 \times \left(\frac{1}{1+0.0653}\right)^{50}$	**6,713.05 ₺**
PV sistemi yaşam ömrü: 25 yıl. 30 yılda 1 kere yenilenecektir (25. yıl). Hesaplama periyodu sonunda kalan ömrü 20 yıl. $269{,}735.88 \times 4/5 \times \left(\frac{1}{1+0.0653}\right)^{26}$	**41,668.80 ₺**
TOPLAM (hurda maliyetleri)	**69,794.94 ₺**

DesignBuilder veri girişleri

Gerçek iskonto oranı	0.0653
Hesaplama periyodu	30 yıl
Hesaplama başlangıç yılı	2022

*yıllık enerji maliyetleri *DesignBuilder* yazılımı ile hesaplanmıştır.
Elektrik birim fiyatı : 1.423488 TL/kWh
Doğalgaz birim fiyatı: 0,43110109 TL/kWh

Yıllık olarak tekrarlanan maliyetler
Recurring costs

Yıllık bakım onarım maliyetleri
Enerji maliyetleri

Yıllık olarak tekrarlanmayan maliyetler
Nonrecurring costs

ilk yatırım maliyetleri *(initilal investment costs)*
yenileme maliyetleri *(replacement costs)*
hurda maliyetler *(salvage costs)*

Şekil D.2 : Küresel maliyet hesabı örneği – S22 senaryosu (DesignBuilder veri girişi için hazırlık aşaması).

	ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÖNLEMLERİ / SENARYOLAR	Birincil enerji tüketimi (kWh/m2 y)	Küresel maliyet TL	Küresel Maliyet TL/m2
	REF-BİNA	**165.71**	1,120,880.78	1,675.46
	YLTM-D1	163.39	1,285,843.87	1,922.04
	YLTM-D2	162.65	1,320,081.21	1,973.22
	YLTM-D3	163.15	1,386,295.99	2,072.19
	YLTM-D4	162.42	1,421,492.61	2,124.80
	YLTM-Ç1	165.39	1,157,669.65	1,730.45
	YLTM-Ç2	165.23	1,171,533.11	1,751.17
	YLTM-Ç3	165.37	1,179,335.52	1,762.83
	YLTM-Ç4	165.19	1,207,685.21	1,805.21
	C1 (DB-LOE-A)	163.55	1,206,293.89	1,803.13
	C2 (DB-LOE-AR)	162.97	1,212,480.70	1,812.38
	C3 (DB-LOE-A)	162.97	1,208,866.80	1,806.98
	C4 (DB- LOE-AR)	162.84	1,214,831.56	1,815.89
	ISITMA-DS	141.5	1,380,828.88	2,064.02
	AYD-KONTROL	155.07	1,228,575.58	1,836.44
	PV	142.51	1,105,816.17	1,652.94
S1	**YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C3**	160.66	1,606,255.44	2,400.98
S2	**YLTM-D4+ YLTM-Ç4 + C4**	160.78	1,613,530.59	2,411.85
S3	**YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C3**	160.83	1,468,029.75	2,194.36
S4	**YLTM-D2+ YLTM-Ç2 + C4**	160.9	1,475,016.94	2,204.81
S5	**YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C3**	160.7	1,570,056.65	2,346.87
S6	**YLTM-D4+ YLTM-Ç2 + C4**	160.79	1,577,302.37	2,357.70
S7	**YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C3**	160.82	1,504,250.30	2,248.51
S8	**YLTM-D2+ YLTM-Ç4 + C4**	160.86	1,511,235.06	2,258.95
S9	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^{1} + ISITMA-DS**	122.32	1,798,210.64	2,687.91
S10	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^{1} + AYD-KONTROL**	148.59	1,707,157.59	2,551.81
S11	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^{1} + PV**	137.5	1,591,568.06	2,379.03
S12	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^{2} + ISITMA-DS**	122.37	1,762,082.35	2,633.90
S13	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^{2} + AYD- KONTROL**	148.56	1,670,748.21	2,497.38
S14	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^{2} + PV**	137.52	1,555,142.53	2,324.58
S15	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^{1} + ISITMA-DS + AYD.-KONTROL**	113.3	1,919,093.24	2,868.60
S16	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^{1} + ISITMA-DS + PV**	99.28	1,784,292.28	2,667.10
S17	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^{1} + AYD-KONTROL + PV**	125.42	1,692,312.86	2,529.62
S18	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^{2} + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL**	113.34	1,882,969.12	2,814.60
S19	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^{2} + ISITMA-DS + PV**	99.33	1,748,154.19	2,613.09
S20	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^{2} + AYD-KONTROL + PV**	125.45	1,656,094.19	2,475.48
S21	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç4 +C3]^{1} + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV**	90.26	1,905,188.81	2,847.82
S22	**[YLTM-D4+ YLTM-Ç2 +C3]^{2} + ISITMA-DS + AYD.- KONTROL + PV**	90.3	1,869,054.89	2,793.80

Şekil D.3 : Küresel maliyet analizine ilişkin veriler.

EK E : Türkiye'deki enerji verimliliği mevzuatında konut binalarına ilişkin yasal boşluklar.

Çizelge E.1 : Türkiye'deki enerji verimliliği mevzuatında konut binalarına ilişkin yasal boşluklar.

Tür	Yasal düzenleme	Yılı	İçerik/ Açıklama	İlgili Maddeler (Bina)	Yasal Boşluklar (Konut özelinde)
Strateji Belgesi	Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023	2012	Bina sektörü için: 1 adet SA (stratejik amaç) 2 adet SH (stratejik hedef)	**SA-02:** Binaların enerji taleplerini ve karbon emisyonlarını azaltmaki yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaları yaygınlaştırmak.	Mevcut konut binalarının enerji verimliliği iyileştirmeleri için AB'deki **"RENOVATION WAVE"** stratejisi gibi konut özelinde daha spesifik bir hedef bulunmamakta.
Eylem Planı	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (Bina sektörü) 2017-2023	2017	**B2.** Binalar İçin Enerji Tüketim Verilerini de İçeren Bir Veri Tabanı Oluşturulması **B3.** Kamu binaları için enerji tasarrufu hedefi tanımlanması. **B5.**Mevcut Binaların Rehabilitasyonu ve Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi **B7.** Mevcut binaların EKB sahiplik oranının artırılması. **B11.** Binalarda Yenilenebilir Enerji ve Kojenerasyon Sistemlerinin Kullanımının Yaygınlaştırılması. **B12.** Kobi Niteliğindeki Binalara Yönelik Enerji Verimliliği Etüt Programları ve Etütler için Kaynak Tahsisi	**B2**.Türkiye'de binalara ilişkin başlıca özellikler ile birlikte kentsel ve kırsal alanlardaki binaların sayısı ve tipolojisini içeren bir envanter geliştirilmesi, **belirli ölçekteki binaların gerçek enerji tüketim ve emisyon verilerinin toplanması,** kıyaslama ve binaların enerji verimliliği açısından değerlendirilmesini yapabilecek ulusal bir veri tabanının kurulmasıdır. **B5.** Bina sektöründe ısı yalıtımı ile yüksek verimli pencere, aydınlatma, beyaz eşya, ısı pompası, kazan ve asansör motoru kullanımı gibi alanlarda enerji verimliliğinin artırılması için son kullanıcıların bilinçlendirilmesi, doğrudan ya da dolaylı olarak desteklenmesi ve yükümlülükler getirilmesidir. **B11.** Mevcut binalarda kojenerasyon, ısı pompası ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşmasına yönelik dolaylı ya da doğrudan destek modelleri tanımlanacaktır.	**B2.** EKB'ler üzerinden toplanan verilerin gerçek ölçümlere dayandırılması gerekiyor. C sınıfı tanımlanan bir konut binası gerçekte ne kadar enerji tüketiyor, izlenip raporlanmalı ve veritabanına işlenmeli. Ölçme & doğrulama protokolünün konut binalarına da uygulanması gerekli. **B3.** Kamu binaları için tanımlanan tasarruf hedefi konut binaları için de tanımlanmalı. **B5.** Halihazırda mevcut konut binalarına yönelik bir yükümlülük ve finansal destek bulunmamakta. **B7.** EKB zorunluluğu mevcut binalarda sürekli olarak ertelendi. **Mevcut EKB sınıfını belirlemekten öte, enerji verimliği tadilatları yaygınlaştırılmalı.** **B11.** Konut binalarında enerji verimli sistemler ve YE kullanımına yönelik bir destek modeli bulunmamakta.

Çizelge E.1 (devam) : Türkiye'deki enerji verimliliği mevzuatında konut binalarına ilişkin yasal boşluklar.

Tür	Yasal düzenleme	Yılı	İçerik/ Açıklama	İlgili Maddeler (Bina)	Yasal Boşluklar (Konut özelinde)
Plan	Onuncu Kalkınma Planı	2014 - 2018	**2. Bileşen:** Enerji Verimliliği Çalışmalarının ve Projelerinin Finansmanı İçin Sürdürülebilir Mali Mekanizmaların Geliştirilmesi **4. Bileşen:** Binalarda Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi	**2.1** Uygulanmakta olan mali teşviklerin etkinleştirilmesi ve yaygınlaştırılması. **2.2** Yatırım yapmayı özendirici ilave mali tedbirler alınması, bu alandaki finansman imkânlarının belirli bir disiplin içinde kullanımı için mekanizmalar geliştirilmesi. **4.1** Proje sonrasında sağlanan tasarruflarla geri ödemeye imkân veren enerji performans sözleşmesi (EPS) borçlanma modeli dâhil olmak üzere, çeşitli finansman yöntemleriyle kamu binalarındaki enerji verimliliği yatırımlarının yaygınlaştırılması **4.2** Yalıtımı düşük ve/veya yetersiz yalıtıma sahip eski binalarda, binayı çevreleyen dış yapı zarfının ve ısıtma sistemlerinin yürürlükteki standartları sağlayacak şekilde ısı yalıtımlı niteliğe dönüştürülmesi	2. Konutlarda Isı Yalıtım Kredi Paketi (2022) dışında konut binalarına yönelik finansal teşvikin olmaması. 4. Konut binalarının enerji verimliliği iyileştirmelerine yönelik EPS uygulamasının bulunmaması. EPS'nin kredi teminatı olarak kabul görmemesi. Yalıtım uygulamaları, binaları TS 825 standardı seviyesine getirmek üzere yapılıyor. Ancak nSEB seviyesi için daha farklı hedefler belirlenmeli. (nSEB standardı)
Yönetmelik	Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği	2008	Yeni ve mevcut binalarda ısıtma-soğutma, havalandırma tasarımına dair genel ilkeler, enerji kimlik belgesi, ısı yalıtım proje esasları, yenilenebilir enerji kullanımını içermektedir.	MADDE 9 - a) Binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının TS 825 standardında belirtilen sınır değerden küçük olması gerekir. MADDE 10 - f) Mevcut binaların tamamında veya bağımsız bölümlerinde yapılacak olan esaslı tamir, tadil ve eklemelerdeki uygulama yapılacak olan bölümler için TS 825 standardında ısıtma derece gün bölgelerine göre tanımlanmış tavsiye edilen ısıl geçirgenlik katsayılarına eşit veya daha küçük olduğunun gösterilmesi. MADDE 12 – (1) Binalarda, derzler de dahilolmak üzere, ısı geçişinin olabileceği yüzeylerde, kesitlerde ve/veya şaftlarda sürekli hava geçirmeyecek şekilde sızdırmazlık sağlayacak ve hava geçişine engel olacak uygun malzemeler kullanılır. Binalarda iç hava kalitesini bozmayacak şekilde gerekli asgari hava sirkülasyonu sağlanır.	TS 825 standardında belirtilen değerler nSEB kriterlerini sağlamak için yeterli değil. Isı yalıtımı ve hava sızdırmazlık konusu nSEB olma zorunluluğu olan konut binaları için tanımlanmamış durumda.

Yönetmelik	Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği	2022	nSEB tanımı Yeni binaların nSEB inşa edilme zorunluluğu	**MADDE 23 – "(1)** NSEB niteliğindeki binaların EKB'sindeki enerji performans sınıfının B veya daha üzeri olması ve aynı zamanda binanın birincil enerji ihtiyacının en az %10'u oranında yenilenebilir enerji kullanımına sahip olması zorunludur." **(2)** "Toplam yapı inşaat alanı 2000 m^2 ve üzeri olan binaların NSEB olarak inşa edilmesi zorunludur. **GEÇİCİ MADDE 6 – (1)** yenilenebilir enerji oranı "%10" 1/1/2023 tarihinden 1/1/2025 tarihine kadar %5 olarak uygulanır. **(2)** 2000 m^2 olarak belirtilen toplam yapı inşaat alanı, 1/1/2023 tarihinden 1/1/2025 tarihine kadar 5000 m^2 olarak uygulanır.	1- Yönetmelik, yeni binaların nSEB olma zorunluluğunu getirmekte, ancak mevcut konut binalarının nSEB'e dönüşümü için gerekli çerçeveyi belirlememektedir. **'Enerji verimliliği tadilatı'**na ilişkin bir veri bulunmamaktadır. 2- nSEB'lerde yenilenebilir enerji kullanımını zorunlu tutmakta, ancak bunlara yönelik **finansal araçları** belirlememektedir.
Yönetmelik	Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik	2011	EVD şirketlerinin yetkeilendirilme esasları, enerji yöneticisi görevlendirmesi, VAP destekleri ile ilgili çerçeve yönetmelik. Ölçme-doğrulama	MADDE 8 – 2) Enerji yöneticisi görevlendirmekle yükümlü kamu binaları, (Değişik ibare:RG-6/7/2022-31888) ticari binalar, hizmet binaları, elektrik üretim tesisleri ile endüstriyel işletmeler ve enerji yönetim birimi kurmakla yükümlü organize sanayi bölgeleri ile endüstriyel işletmeler TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemini kurarak belgelendirecektir. Enerji yönetim sisteminin güncel tutulmasından ilgili kurum, kuruluş ve işletmeler sorumludur. MADDE 9- 2) Toplam inşaat alanı en az yirmi bin metrekare veya yıllık toplam enerji tüketimi beş yüz TEP ve üzeri olan **ticari binalar ve hizmet binaları** ile toplam inşaat alanı en az on bin metrekare veya yıllık toplam enerji tüketimi iki yüz elli TEP ve üzeri olan **kamu kesimi binalarının** yönetimleri, bina ve tesislerinde, 8 inci maddede belirtilen enerji yönetimi faaliyetlerinin yürütülmesini temin etmek üzere, binalarındaki çalışanları arasından enerji yöneticisi sertifikasına sahip birisini enerji yöneticisi olarak görevlendirir.	Konut binaları için enerji yöneticisinin **zorunlu olmaması.** Mevcut konut binalarının yıllık olarak enerji tüketim verilerini bakanlığa iletmiyor olması (enerji yöneticisi bulundurma zorunluluğu olan bina ve işletmeler iletiyor) – 2022. VAP destekleri konut binalarını kapsamıyor olması (Bina sektörü olarak geçiyor ancak ticari ve hizmet binalarını kapsıyor)
Yönetmelik	Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik	2022	Enerji yöneticisi eğitimleri, VAP(verimlilik arttırıcı proje) destekleri, gönüllü anlaşmalar. Enerji tüketim bildirimi		

Yönetmelik	Enerji Verimliliği Denetim Yönetmeliği	2018	Enerji verimliliği konusunda mevzuata aykırı bir durumla karşılaşıldığında; kişi ya da kurumlara uygulanacak yaptırımların çerçevesini çizmektedir.	Enerji verimliliği kanunu Madde 10	Son kullanıcılara yönelik cezai yaptırımlar caydırıcı değil/ mevcut ekonomik koşullara uygun olarak güncellenmesi gerekiyor. (para cezaları oluşturulacak fona aktarılabilir).
Standart	TS825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları	2008, 2009, 2013(R?)	Isıl geçirgenlik değerleri Hava sızdırmazlık Yoğuşma		Isıl gerçirgenlik değerleri, binanın nSEB olması için yeterli değil. (ayrı bir nSEB standardı olmalı)
Genelge	Kamu Binalarında Enerji Tasarrufu konulu CB Genelgesi	2019	Yıllık toplam enerji tüketimi 250 TEP ve üzeri veya toplam inşaat alanı 10.000m2 ve üzeri olan kamu binalarında 2023 yılı sonuna kadar en az %15 oranında enerji tasarrufu sağlaması gerekmektedir.		Mevcut konut binalarının enerji verimli dönüşümü için yayımlanmış spesifik bir genelge/karar bulunmaması.
CB Kararı	Kamuda EPS'lere İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Karar	2020	Kamu binalarında enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik EPS düzenleme imkânı getirildi.		Konut binaları için EPS kullanılamaması. EPS'nin yerel finans kuruluşları tarafından kredi teminatı olarak kabul edilmemesi.
Rehber	Kamu Binalarında Tasarruf Hedefi ve Uygulama Rehberi (2019/09)	2019	5627 sayılı EV Kanunu ve 20191/18 Sayılı CB genelgesi uyarınca oluşturulmuş kılavuz. 5 yılını tamamlamış kamu binaları için.		

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Begüm DİKER

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2013, Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü.
- **Yüksek lisans** **:** 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2012- 2013 : MuuM Mimarlık (Stajyer Mimar)
- 2013- 2014 : Form Mimarlık (Proje Koordinatörü)
- 2014- 2019 : Yelken Mimarlık (Kurucu Mimar)

- İzmir Büyükşehir Belediyesi Bir Uygarlık Odağı Olarak Başkanlık ve Şehir Meclisleri Fikir Projesi Yarışması, 2023. (2. Mansiyon Ödülü). *Danışman*.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Diker, B., Yazıcıoğlu F.** 2023. Financial model adaptation for building energy efficiency retrofits in Turkey *A/Z : ITU journal of Faculty of Architecture,* 20(1), 19-34. doi:10.5505/itujfa.2022.46343. (Scopus).
- **Diker, B., Yazıcıoğlu F.** 2022. Bibliometric Analysis of Zero Energy and Building Retrofit Research: A Review Through Co-Authorship and Co-occurrence Analysis. *International Graduate Research Symposium (IGRS'22),* 1-3 Haziran 2022 İstanbul, Türkiye.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Diker, B., Yazıcıoğlu F.** 2020. A research on straw bale and traditional external wall systems: Energy and cost-efficiency analysis. *ITU Journal of Faculty of Architecture*, 17(1), 95-103. https://doi.org/10.5505/itujfa.2019.65882. (Scopus).

- **Diker, B., Yazıcıoğlu F.** 2020. An Assessment of Thermal Performance in Adobe Structures. *8th International Kerpic Conference: KERPIC'20.* 26-27 Kasım 2020, 437-445. İstanbul, Türkiye.
- **Manafvand Ardi S., Diker, B., Kanani Bahri, P.** 2020. Environmental Deterioration Factors in Metal Claddings and GFRC Panels Implemented on Facades: An Assessment through Two Cases in Istanbul. *DBMC'xx2020 XV International Conference on Durability of Building Materials and Components,* 1909-1916., doi: 10.23967/dbmc.2020.060.
- **Diker, B., Yazıcıoğlu F.** 2019. Energy Efficiency and Cost Analysis of Straw Bale Wall: Comparison with Common Wall Types Used in Turkey's Construction Industry. *International Civil Engineering and Architecture Conference 2019 (ICEARC'19),* 17-20 Nisan 2019 Trabzon, Türkiye.
- **Sözer H.**, **Diker, B., Utkucu D.** 2019. Sürdürülebilir Peyzaj Planlama İlkelerinin Uluslararası Değerlendirme Sistemlerine Göre İrdelenmesi. *Türkiye Peyzajları 3. Ulusal Konferansı, 111-119.* 7-9 Kasım 2019 Antalya, Türkiye.
- **Diker, B.** 2019. Kentsel Dönüşümde Çevresel Sürdürülebilirlik Üzerine Bir Araştırma: Fikirtepe Örneği. *İdealkent,* 10 (27), 1-1., doi: 10.31198/idealkent.545058.
- **Diker, B.** 2018. A Research on Environmental Sustainability in Urban Transformation: The Case of Fikirtepe. *3rd. International Urban Studies Conference (ICUS).* 26-28 Ekim 2018 Strazburg, Fransa.
- **Sarıoğlu Erdoğdu G. P., Diker, B., Orhan, H.C.** (Ed.) 2018. Fikirtepe'yi Sevmek Kentsel Dönüşümü Yeniden Düşünmek. *LAP Lambert Academic Publishing*, ISBN:978-613-9-89508-3.