GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

KONUT BİNALARININ NET SIFIR ENERJİ YAKLAŞIMI İLE MİMARİ TASARIM VE UYGULAMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: SOĞUK İKLİM BÖLGESİ

Hikmet ALİM

DOKTORA TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2025

ETİK BEYAN

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

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

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

İmza
Hikmet ALİM
17/01/2025

KONUT BİNALARININ NET SIFIR ENERJİ YAKLAŞIMI İLE MİMARİ TASARIM VE UYGULAMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: SOĞUK İKLİM BÖLGESİ

(Doktora Tezi)

Hikmet ALİM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2025

ÖZET

COVID-19 pandemisiyle birlikte konutlar, barınma işlevinin yanı sıra çalışma, üretme, kişisel gelişim sağlama gibi faaliyetlerin de dahil olduğu, çok daha uzun zamanların geçirildiği çok yönlü bir işleve sahip olmuştur. Bu durum konut hayatının sürekliliğinin sağlanmasına yönelik ihtiyaç duyulan enerji miktarının da artmasına sebep olmuştur. Ekosistemin zarar görmeye başlaması ve bu zararın insan yaşamı için tehdit oluşturması sebebiyle tüm dünyada çevre ile ilgili çalışmalar hızlanmıştır. Bu bağlamda, Avrupa Birliği'nde, 2002 yılında "Binalarda Enerji Performansı Direktifi" (EPBD), 2010 yılında ise revize direktif (EPBD-Recast) yürürlüğe girmiştir. Revize direktif kapsamında "yaklaşık sıfır enerjili bina" ve "net sıfır enerjili bina" kavramları ortaya konulmuştur. Revize direktif ile tüm Avrupa ülkelerinde binalarda enerji verimliliği seviyelerinin hesaplaması zorunlu kılınmıştır. Bu hesaplamaların, Avrupa Komisyonunun 2012 yılında yayınlamış olduğu yönetmelikte belirtilen çerçeve yöntem baz alınarak geliştirilen ulusal yöntemlerle yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda problemlerin çözümüne yönelik olarak konutların enerji performansını etkileyen parametreler ile tasarım değişkenleri dikkate alınarak geliştirilecek NSEB (Net Sıfır Enerjili Bina) çözümlerinin Türkiye'de hâkim olan iklim bölgeleri özelinde konut üretimlerinde kullanılma koşullarının ve yöntemlerinin araştırılması ve NSEB'e doğru optimum konut tasarım yaklaşımının geliştirilmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu bağlamda Türkiye'de hâkim olan beş iklim bölgesinin her biri için pasif tasarım kriterleri, pasif sistemler, aktif sistemler ve elektrik enerjisi üreten sistemlerini içeren tasarım karar adımları oluşturularak, konut yapıları için NSEB standartlarına ulaşabilmek amacıyla bir tasarım kılavuzu hazırlanmıştır. Çalışmanın son aşamasında elde edilen tasarım kılavuzu kullanılarak soğuk iklim bölgesinde bulunan Sivas ilinde bir konut binası tasarımı yapılmıştır. Elde edilen konut tasarımının enerji verimli iyileştirme çalışması yapılmış ve DesignBuilder programı aracılığıyla simüle edilerek enerji tüketim- üretim analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu	:	80130
Anahtar Kelimeler	:	NSEB, konut, DesignBuilder, enerji ekin tasarım, tasarım kılavuzu, Türkiye iklim bölgeleri
Sayfa Adedi	:	108
Danışman	:	Prof. Dr. Figen BEYHAN

ASSESSING THE ARCHITECTURAL DESIGN AND IMPLEMENTATION POTENTIAL OF RESIDENTIAL BUILDINGS WITH NET ZERO ENERGY APPROACH: COLD CLIMATE REGION

(Phd. Thesis)

Hikmet ALİM

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2025

ABSTRACT

With the COVID-19 pandemic, residences have gained a multifaceted function, including activities such as working, producing, and personal development, in addition to their sheltering function, where much longer periods of time are spent. This has also caused the amount of energy needed to ensure the continuity of residential life to increase. Environmental studies have accelerated all over the world due to the damage to the ecosystem and the threat this damage poses to human life. In this context, the "Energy Performance of Buildings Directive" (EPBD) came into force in the European Union in 2002, and the revised directive (EPBD-Recast) in 2010. The concepts of "nearly zero energy building" and "net zero energy building" were introduced within the scope of the revised directive. The calculation of energy efficiency levels in buildings has become mandatory in all European countries with the revised directive. These calculations must be made with national methods developed based on the framework method specified in the regulation published by the European Commission in 2012. In this context, the aim of this study is to investigate the conditions and methods of using NSEB (Net Zero Energy Building) solutions, which will be developed by considering the parameters and design variables affecting the energy performance of the houses, in housing productions in Turkey and to develop an optimum housing design approach towards NSEB. In this context, a design guide was prepared in order to reach NSEB standards for residential buildings by creating design decision steps including passive design criteria, passive systems, active systems and electrical energy generating systems for each of the five climate regions dominant in Turkey. In the last stage of the study, a residential building design was made in Sivas province, which is located in a cold climate region, using the design guide obtained. Energy efficiency improvement study of the obtained residential design was carried out and the energy consumption-production analysis results were evaluated by simulating it through the DesignBuilder program.

Science Code	:	80130
Key Words	:	NSEB, Residential, DesignBuilder, Energy-efficient design, design guide, Turkey climate regions
Page Number	:	108
Supervisor	:	Prof. Dr. Figen BEYHAN

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimden itibaren bilgi ve tecrübelerinden çok şey öğrendiğim, doktora tez sürecim boyunca, her konuda yardımlarını, sevgisini, ilgisini ve özverisini eksik etmeyen, kıymetli ve ufuk açıcı fikirleriyle desteklerini esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Figen BEYHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın ilerlemesi ve gelişmesine yönelik değerli katkılarından dolayı T.İ.K. jüri üyelerim sayın Prof. Dr. H. Güçlü YAVUZCAN ve Prof. Dr. Ç. Belgin DİKMEN hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Lisansüstü eğitim sürecim boyunca her daim yanımda olan, desteklerini esirgemeyen, sıkıntı ve mutlulukları beraber yaşadığımız eşime ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

SİMGELER VE KISALTMALAR xiii

1. GİRİŞ 1

2. TEORİK ALTYAPI 7

2.1. Enerji Verimliliğine Yönelik Yasal Düzenlemeler 7

2.1.1. AB enerji mevzuatı ve politikaları 7

2.1.2. Enerji verimliliği ile ilgili Türkiye'deki kanun ve yönetmelikler 12

2.2. Sıfır Enerjili Binalar ile İlgili Ulusal ve Uluslararası Literatürün Taranması 17

2.2.1. Doktora tezleri 17

2.2.2. Makale çalışmaları 29

2.3. Net Sıfır Enerjili Binalara (NSEB) Dair Genel Bilgiler 32

2.3.1. NSEB tanımı 32

2.3.2. NSEB tasarım özellikleri 33

2.4. Net Sıfır Enerjili Bina Tasarımında Kullanılan Sistemler 35

2.4.1. Pasif tasarım kriterleri 35

2.4.2. Pasif sistemler 47

2.4.3. Aktif sistemler 51

2.4.4. Enerji üretim sistemleri 56

Sayfa

3. TÜRKİYE İKLİM BÖLGELERİ ÖZELİNDE NET SIFIR ENERJİLİ BİNA TASARIM KILAVUZUNUN OLUŞTURULMASI 61

3.1. Pasif Tasarım Kararları 62

3.2. Pasif Sistemler Kullanım Kararları 65

3.3. Aktif Sistemler Kullanım Kararları 67

3.4. Enerji Üretim Sistemleri Kullanım Kararları 68

4. SOĞUK İKLİM BÖLGESİ ANALİZ ÇALIŞMASI: SİVAS İLİ 71

4.1. Genel Bilgiler 71

4.1.1. Konum ve coğrafi özellikleri 71

4.1.2. İklim özellikleri 72

4.1.3. Baz modelin oluşturulması 73

4.2. Tasarım Kılavuzu Parametrelerine Göre Alternatif Senaryoların Oluşturulması 78

4.2.1. Pasif tasarım kararları 78

4.2.2. Pasif sistemler kullanım kararları 88

4.2.3. Aktif sistemler kullanım kararları 94

4.2.4. Enerji üretim sistemleri kullanım kararları 95

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 97

KAYNAKLAR 101

ÖZGEÇMİŞ 108

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. İklim bölgelerine göre optimum bina konumları 36

Çizelge 2.2. İklim bölgelerine göre optimum yönlenme çözümleri 37

Çizelge 2.3. İklim bölgelerine göre bina form özellikleri 38

Çizelge 2.4. Soğuk iklim bölgesi için opak bileşenlerde optimum zaman geciktirme süresi ve yönü ile renk seçimi, saydam bileşenler için öneri çerçeve ve cam türleri 41

Çizelge 4.1. Sivas ili 1930- 2023 arası iklim verileri 73

Çizelge 4.2. Sivas ili 1963- 2023 arası ortalama gün ışığı süreleri (saat) 73

Çizelge 4.3. TS 825'e göre bina kabuğundaki opak ve saydam bileşenlerin maksimum U değerleri 75

Çizelge 4.4. Baz model olarak tasarlanan yapıya ait simülasyon sonuçları özet tablosu 77

Çizelge 4.5. PTK- 2 binanın yönlenmesi kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 79

Çizelge 4.6. PTK- 3 binanın formu kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 79

Çizelge 4.7. Opak bina kabuğu yapı elemanlarının termal özellikleri 80

Çizelge 4.8. PTK- 5C renk kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 81

Çizelge 4.9. Bina kabuğu elemanlarının katmanları ve U değerleri 81

Çizelge 4.10. Bina dış duvar bileşenlerinde U değerleri kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 82

Çizelge 4.11. Bina çatı bileşenlerinde U değerleri kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 82

Çizelge 4.12. Bina kabuğu bileşenlerinde ısı sızdırmazlık değerleri kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 83

Çizelge 4.13. PTK- 6C çerçeve kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 84

Çizelge 4.14. Pencere camı katmanları, U ve SHGC değerleri 84

Çizelge 4.15. PTK- 6D cam kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 84

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.16. PTK- 6A saydam yüzey oranı ve PTK- 6B pencere boyutu kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 85

Çizelge 4.17. Pasif tasarım kararlarına göre nihai enerji tüketim verileri 87

Çizelge 4.18. Baz model ve PTK enerji tüketim verileri karşılaştırması 87

Çizelge 4.19. PSKK- 4 güneş duvarı kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları..... 89

Çizelge 4.20. PSKK- 5 trombe duvar kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları..... 90

Çizelge 4.21. PSKK- 7 güneş odası kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 91

Çizelge 4.22. PSKK- 7 güneş odası ve PSKK- 3 güneş kontrol sistemi kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 91

Çizelge 4.23. PSKK- 10 çift kabuk sistem kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 92

Çizelge 4.24. PSKK- 10 çift kabuk sistem ve PSKK- 3 güneş kontrol sistemi kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 93

Çizelge 4.25. Pasif sistemler kullanım kararları kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları 93

Çizelge 4.26. Baz model, PTK ve PSKK enerji tüketim verileri karşılaştırması..... 94

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Tez akış şeması 6

Şekil 2.1. Kapsalaki, M. (2012) tez akış şeması 18

Şekil 2.2. Thomas, W.D. (2012) tez akış şeması 19

Şekil 2.3. Pittakaras, P. (2013) tez akış şeması 20

Şekil 2.4. Petrichenko, K. (2013) tez akış şeması 21

Şekil 2.5. Alirezaei, M. (2016) tez akış şeması 22

Şekil 2.6. Alghamdi J.K. (2017) tez akış şeması 23

Şekil 2.7. Ganiç Sağlam N. (2017) tez akış şeması 24

Şekil 2.8. Kalaycıoğlu E. (2017) tez akış şeması 25

Şekil 2.9. Yıldız Ö.F. (2017) tez akış şeması 26

Şekil 2.10. Beyaztaş H. (2020) tez akış şeması 27

Şekil 2.11. Çelik A. (2022) tez akış şeması 28

Şekil 2.12. Diker B. (2024) tez akış şeması 29

Şekil 2.13. İklim bölgeleri kapsamında rüzgâr ve güneşe göre binalar arası uzaklıklar ve yerleşim önerileri 39

Şekil 2.14. Türkiye iklim bölgeleri için optimum mekân boyutlandırması 45

Şekil 2.15. Fotovoltaik panel sistem türleri 58

Şekil 3.1. Türkiye iklim bölgeleri özelinde net sıfır enerji odaklı mimari tasarım karar konuları akış şeması 61

Şekil 3.2. Türkiye iklim bölgeleri özelinde pasif tasarım kararları 63

Şekil 3.3. Soğuk iklim bölgesi özelinde pasif tasarım kararları 64

Şekil 3.4. Türkiye iklim bölgeleri özelinde pasif sistemler kullanım kararları 65

Şekil 3.5. Soğuk iklim bölgesi özelinde pasif sistemler kullanım kararları 66

Şekil 3.6. Türkiye iklim bölgeleri özelinde aktif sistemler kullanım kararları 67

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.7. Soğuk iklim bölgesi özelinde aktif sistemler kullanım kararları 68

Şekil 3.8. Türkiye iklim bölgeleri özelinde enerji üretim sistemleri kullanım kararları 69

Şekil 3.9. Soğuk iklim bölgesi özelinde enerji üretim sistemleri kullanım kararları..... 70

Şekil 4.1. Tasarlanan yapıya ait bodrum kat planı..... 75

Şekil 4.2. Tasarlanan yapıya ait zemin ve normal kat planları 76

Şekil 4.3. Baz model olarak tasarlanan yapıya ait 3 boyutlu görünüm..... 76

Şekil 4.4. Baz model olarak tasarlanan yapıya ait yıllık toplam enerji tüketim dağılımı verileri..... 77

Şekil 4.5. Baz model olarak tasarlanan yapıya ait aylık toplam enerji tüketim dağılımı verileri..... 77

Şekil 4.6. NSEB kapsamında enerji verimli iyileştirme yapılan binaya ait yıllık toplam enerji üretim ve tüketim dağılımı verileri 95

Şekil 4.7. NSEB kapsamında tasarlanan yapıya ait 3 boyutlu görünüm 96

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
m	Metre
m²	Metrekare
mm	Milimetre
W/m²K	Isı geçirgenlik katsayısı (U)

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AB	Avrupa Birliği
EKB	Enerji kimlik belgesi
EPBD	Binalarda Enerji Performansı Direktifi
EPBD- Recast	Binalarda Enerji Performansı Revize Direktifi
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
HVAC	Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemi
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NSEB	Net sıfır enerjili bina
PV	Fotovoltaik
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

1. GİRİŞ

Enerji ve enerji kaynakları, sanayileşmenin başlamasından bu yana dünyanın jeopolitik ve ekonomik dengelerini belirleyen en önemli faktörlerden biri olmaya devam etmektedir. Sanayi ve teknolojinin gelişimi, hızlı nüfus artışı ve yaşam standartlarının yükselmesi enerjiye olan ihtiyacın artmasına sebep olmuştur. Bu durum fosil enerji kaynaklarının kullanımının artmasına, dolayısıyla hem küresel ısınma, fosil kaynakların tükenmesi, hava kirliliğinin artması, doğal çevrenin tahrip olması gibi enerji ve çevresel sorunlara yol açmakta hem de enerji kaynakları yetersiz olan ülkeler için ekonomik anlamda önemli bir başlık olmaktadır. Bu nedenle yaşamın sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi amacıyla, fosil kaynakların tüketiminin azaltılması, verimliliğin artırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının geliştirilmesi, temiz, zararsız ve düşük maliyetli enerjinin payının hızla artırılması başlıklarında küresel ölçekte toplantılar yapılmakta, kanun ve yönetmelikler hazırlanmakta ve protokoller yapılmaktadır.

20. yüzyılın son çeyreğinden bu yana süregelen enerji sorunları, son yıllarda yapı teknolojilerinin ve mimarlık sistemlerinin hızlı gelişimiyle yeni bir boyut kazanmıştır. Enerji kaynaklarının mevcut yapı stoğunun ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalması, mimarlık alanında teknolojiye uyum sağlama çabalarını artırırken, çevreye verilen zararlı atıkların da artmasına yol açmıştır. Ekosistem kaynaklarının zarar görmesi ve bunun insan yaşamı üzerindeki olumsuz etkileri, dünya genelinde çevreye yönelik çalışmalara olan ilgiyi artırmıştır. Özellikle Avrupa Birliği ülkeleri, enerji performansı, yenilenebilir enerji kaynaklarının tespiti ve bu kaynakların yapılarda kullanım potansiyelinin belirlenmesi konularında önemli adımlar atmıştır. Enerji verimliliğini artırmaya yönelik standartlar belirlenmiş; yapıların enerji performansını ölçen ve "enerji kimlik kartları" olarak tanımlanabilecek sertifikasyon sistemleri devreye alınmıştır. Bu süreçte, en verimli ve uygun enerji kaynaklarının tespitiyle mevcut yasal düzenlemeler ve uygulamalar bu doğrultuda güncellenmiştir.

Fosil kaynaklı enerji tüketiminin büyük bir bölümünü inşaat sektörü oluşturmaktadır. Binaların inşa edilmesinde kullanılan hammaddelerin çıkarılması, işlenmesi ve uygulanmasında; sonrasında binaların aktif kullanılması ve kullanım ömrünü tamamladığında yıkım için harcanacak enerjinin tamamı bu kategoride

değerlendirilmektedir. Küresel ölçekte enerjinin kullanım alanları incelendiğinde, %36'sının inşaat sektöründe harcandığı ve sanayi, taşımacılık gibi diğer sektörlerle birlikte en büyük paya sahip olduğu görülmektedir. Avrupa'da bu oran yaklaşık %40 seviyelerindedir [1]. Türkiye'de ise Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Ulusal Enerji Raporu'na göre 2020 yılında üretilen enerjinin %40,1 i binalarda kullanılarak en büyük paya sahip olmuştur [2]. Bu bağlamda, Avrupa Birliği'nde, 2002 yılında "Binalarda Enerji Performansı Direktifi" (EPBD) yayınlanmıştır [3]. Bu direktif ile binaların enerji performansını değerlendirmek, sertifikalandırmak ve enerji verimliliğini artırmak amaçlanmıştır. AB yasalarına uyum sürecinde Türkiye'de de 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunu, 2008 yılında ise "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" ile tüm binalara BEP-TR hesaplama yöntemi kullanılarak enerji kimlik belgesi verilmesi zorunlu hale getirilmiştir [4]. 2010 yılında ise AB ülkelerinde EPBD'nin yenilenmesiyle yeni direktif (EPBD-Recast) yürürlüğe girmiştir. Revize direktif kapsamında "maliyet optimum enerji verimliliği", "yaklaşık sıfır enerjili bina" ve "net sıfır enerjili bina" kavramları ortaya konmuştur [5]. Revize direktifte binalarda maliyet optimum enerji verimliliği hesaplamalarının Avrupa Komisyonu tarafından 2012 yılında yayınlanmış olan yönetmelikte bulunan çerçeve yönteme uygun olacak şekilde geliştirilen ulusal yöntemlerle yapılması gerektiği belirtilmektedir. Ancak, mevcut bina sayısının fazlalığından dolayı her bina için ayrı ayrı hesaplama yapılması mümkün olmadığı için, hesaplamaların mevcut ve yeni yapım binaları temsil edebilecek referans binalar üzerinden yapılması gerektiği belirtilmektedir.

Bu kapsamda AB üyesi ve aday ülkeler "maliyet optimum enerji verimliliği", "yaklaşık sıfır enerjili bina" ve "net sıfır enerjili bina" kavramlarının tanımlarını kendi ülke koşullarına göre düzenlemeye başlamışlardır. Türkiye'de de 2018 yılında yayınlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023'te, yaklaşık sıfır enerjili binalara yönelik çalışmaların yapıldığı belirtilmektedir [6]. 2020 yılında ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından "Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (NSEB) İçin Rehber Kitap" oluşturulmuştur.

Problem durumu

Mimari tasarımda yönetimsel süreçlere yönelik, standart yapılarda karşılaşılan problemlere çözüm üretmek, kaliteyi artırmak, yatırım ve işletme maliyetlerini azaltmak vb. üzerine birçok araştırma ve çalışmalar yapılmıştır. Ancak hem literatürde hem de uygulamada sıfır

enerjili binaların tasarım aşamalarının tanımlanması üzerine yapılmış çalışmaların oldukça az sayıda olduğu dikkat çekmektedir. Bu kapsamda, problemlerin çözümüne yönelik olarak Türkiye için, çevresel faktörlerle birlikte, coğrafi, sosyal, ekonomik ve kültürel faktörlerinde ele alındığı sıfır enerjili bina kriterlerinin belirlenmesi ve belirlenen bu kriterlere göre tasarım sürecinin yönlendirilmesine yardımcı olacak bir tasarım kılavuzunun oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Araştırmanın amacı

COVID-19 pandemi koşullarının da bir getirisi olarak konut kavramının değişen kapsamı ile çalışma, üretme, kendini geliştirme, iyileştirme gibi süreçlerin de içinde yer aldığı, çok daha uzun sürelerin geçirildiği konutların mimari tasarım bağlamında yeniden düşünülmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu değişim, konutlarda yaşamın sürdürülebilmesine dair ihtiyaç duyulan enerji miktarının da artmasına neden olmuştur. Artan enerji talebini ülkelerin enerji politikaları doğrultusunda enerji verimli yaklaşımlarla optimize etme gerekliliği, konut tasarımlarının net sıfır enerji yaklaşımı (NSEB) çerçevesinde geliştirilme potansiyelini gündeme getirmiştir. Konutların enerji performansını etkileyen parametreler ile tasarım değişkenlerinin etki hiyerarşisi dikkate alınarak geliştirilecek NSEB (Net Sıfır Enerjili Bina) çözümlerinin Türkiye'deki farklı iklim bölgeleri için konut üretimlerinde kullanılma koşullarının ve yöntemlerinin araştırılması ve NSEB'e doğru optimum konut tasarım yaklaşımının geliştirilmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Bu bağlamda tez kapsamında, öncelikle kapsamlı ve sistematik bir literatür çalışması yürütülmüştür. Değişen konut kültürü incelenerek, enerji performansı bağlamında etkin tasarım parametrelerinin saptanması, AB ve Türkiye'de enerji verimliliğine yönelik yasal düzenlemeler ile yayınlanmış doktora tezleri ve makalelerin analizi kapsamında yürütülen literatür taramasının ardından çalışma aşağıdaki süreçlerle devam etmiştir:

- Saptanan tasarım parametrelerinin tasarım değişkenleri olarak ilişkilerinin kurgulanması ve hiyerarşik etki düzeylerinin belirlenmesi
- Konut tasarım ve uygulamaları süreci için NSEB tasarım yaklaşımı odaklı tasarım kılavuzunun hazırlanması ve bir prototip konut binası tasarlayarak TS 825 kapsamında soğuk iklim bölgesi gerekleri bağlamında NSEB yaklaşımları ile enerji verimli iyileştirilmesi

- Gerçekleştirilen tasarımın enerji etkinlik düzeylerinin EnergyPlus tabanlı DesignBuilder v7.0.2 enerji simülasyon programı aracılığı ile test edilmesi ve değerlendirilmesi
- Prototip konut binası kapsamında NSEB yaklaşımı ile tasarlanan yapının enerji üretim ve tüketim analizlerinin yapılması
- NSEB odaklı konut tasarım yaklaşımının potansiyeli ve uygulanabilirliğinin tartışılması, değerlendirilmesi
- Enerji etkin nihai NSEB Tasarım Kılavuzu'nun oluşturulması

Sınırlılıklar

Tez çalışması kapsamında kabul edilen sınırlılıklar aşağıda verilmiştir.

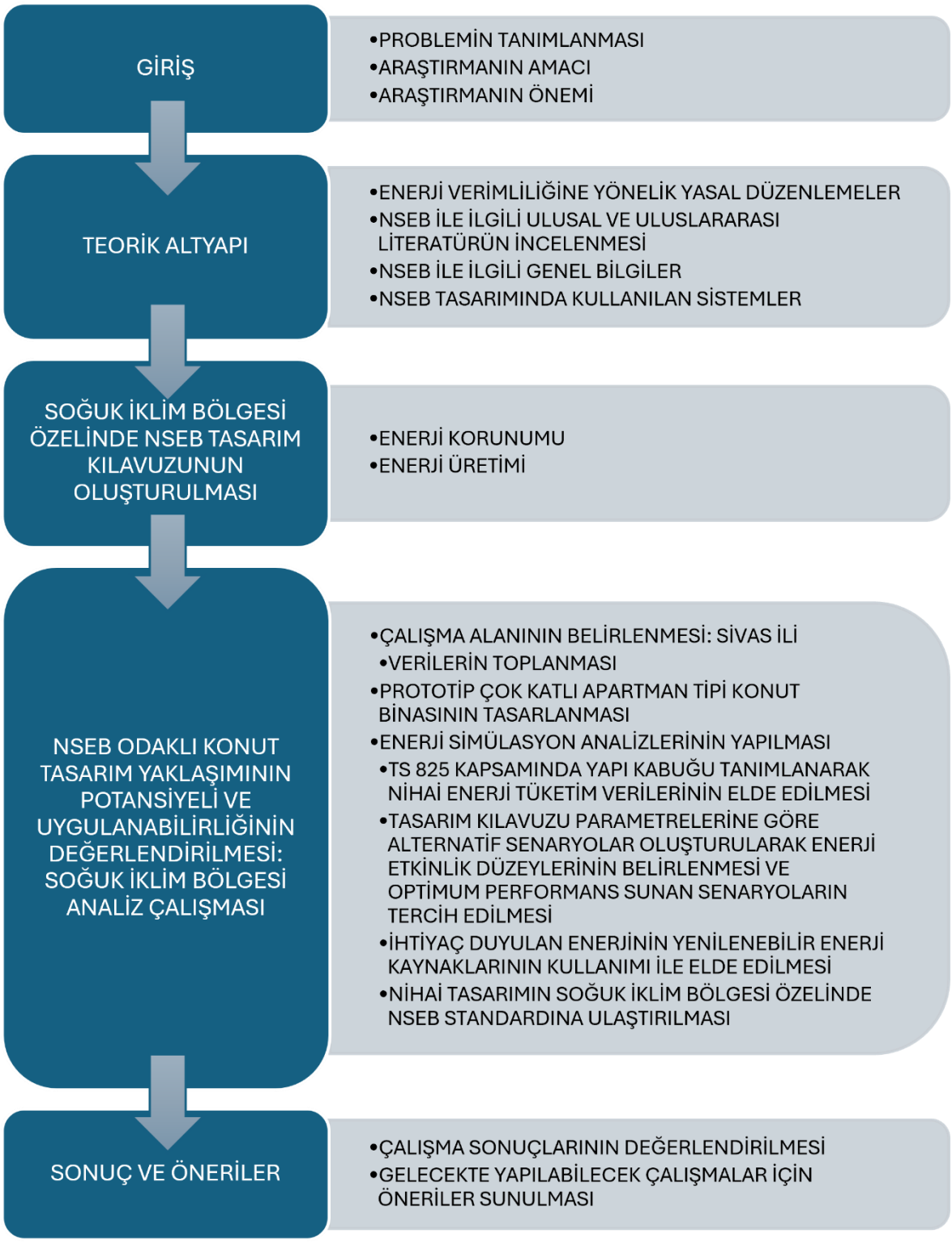
- Simülasyon çalışması soğuk iklim bölgesinde, apartman tipi çok daireli konut işlevli bina tasarımı üzerinden yapılmıştır.
- Tasarlanan yapının referans bina halinde TS 825'e uygun ısı geçirgenlik katsayılarına sahip yapı kabuğu elemanları seçilmiştir.
- Bina yol kotu alınan noktaya göre B+Z+3K, bodrum katta bina girişi, otopark ve teknik hacimler; diğer katlarda, katta 3 oda 1 salon olmak üzere 2 daire, toplamda 8 daire olacak şekilde tasarlanmıştır. Zemin ve normal kat daireler brüt 151,20m2, net 107,40m2'dir. Kat alanı 345 m2, toplam inşaat alanı ise 1725 m2'dir.
- Binada bodrum katın tamamı, diğer katlarda kat holleri ve sirkülasyon alanları ve çatı arası termal hesaplamaların (ısıtma- soğutma) dışında tutulmuştur.
- Oluşturulan her bir senaryoda sadece tasarım kılavuzunda belirtilen karar adımları ayrı ayrı uygulanarak sistem verimlilikleri incelenmiştir.
- Tasarlanan yapının eğimli arazide olduğu varsayılmıştır.
- Tasarlanan yapının çevresinde herhangi bir bina veya peyzaj elemanının bulunmadığı varsayılmıştır.
- Tasarlanan yapıdaki her dairede 4 er kişinin yaşadığı ve aktivite düzeylerinin dinlenme olduğu kabul edilmiştir.
- Binada mekanik havalandırma sistemi bulunmamaktadır.
- Soğuk iklim bölgesinde ısıtma yükünün fazla olması sebebiyle, binanın soğutulmasına yönelik senaryolar oluşturulmamış, ancak simülasyona soğutma yükü dahil edilmiştir.
- Çalışma kapsamında aydınlatma, oda elektriği ve sıcak su ihtiyacına yönelik senaryolar oluşturulmamış, standart değerler kabul edilerek simülasyonlar yapılmıştır.
- Binada aydınlatma sistemi olarak LED armatürler kullanılmıştır. Bodrum katın tamamı ile diğer katlardaki kat holleri ve sirkülasyon alanlarında aydınlatma kontrolünün olduğu varsayılmıştır.
- Binada ısıtma sistemi olarak; yoğuşmalı kazan ile radyatörlü ısıtma sistemi tercih edilmiştir. Enerji kaynağı doğalgaz, CoP değeri ise 0,85 olarak belirlenmiştir.

- Binada her dairede 4 kişinin (anne, baba ve 2 çocuk) yaşadığı varsayılmıştır. Kullanıcıların giysi düzeyleri kış ayları için 1 clo, yaz ayları için 0,50 clo olarak kabul edilmiştir.
- Isıtma dönemi için iç mekân sıcaklığı 22 °C, ısıtma sisteminin iç mekân sıcaklığını sağladığı üst sınır değer ise 18 °C olarak belirlenmiştir.
- Soğutma dönemi için iç mekân sıcaklığı 25 °C, soğutma sisteminin iç mekân sıcaklığını sağladığı üst değer ise 28 °C olduğu varsayılmıştır.
- Binada enerji üretim sistemi olarak fotovoltaik panel tercih edilmiştir. Fotovoltaik panellerde programın sunmuş olduğu standart ayarlar kullanılmıştır.
- Tez çalışması kapsamında maliyet analizi yapılmamış ve sistemlerin maliyet- fayda ilişkisi değerlendirme dışında tutulmuştur.

Araştırmanın önemi

Sıfır enerjili bina kavramı ile ilgili çalışmalar uluslararası düzeyde 2010 yılından sonra, ulusal düzeyde ise 2015 yılından sonra yayınlanmaya başlanmış olup oldukça az sayıdadır. Literatürde yer alan çalışmaların çoğunluğu mevcut ya da yeni yapım binanın NSEB dönüşümüyle alakalıdır. Ancak bu çalışmalar seçilen bina özelinde yapıldığı için genel bir tasarım anlayışı oluşturma konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda hazırlanmış olan bu tez çalışması kapsamında Türkiye iklim bölgeleri özelinde tasarım kılavuzu oluşturularak NSEB odaklı yapılacak tasarımlarda, tasarıma yön verici bir altlık oluşturması bakımından benzer çalışmalardan ayrışmakta ve önem kazanmaktadır.

Bu kapsamda hazırlanmış olan bu tez çalışmasında 2. bölümde tez konusu ile alakalı literatür taraması yapılarak teorik altyapı oluşturulmuştur. 3. bölümde NSEB odaklı tasarım kılavuzu oluşturulmuştur. 4. bölümde oluşturulan tasarım kılavuzu baz alınarak soğuk iklim bölgesinde bulunan Sivas ilinde tasarlanan apartman tipi konut binasının enerji üretim ve tüketim verilerinin farklı senaryolar oluşturularak analizleri yapılmış ve değerlendirilmiştir. 5. Bölümde ise tez çalışması ile ilgili sonuçlar yer almaktadır.



Şekil 1.1. Tez akış şeması

2. TEORİK ALTYAPI

Tez çalışması kapsamında detaylı ve sistematik bir literatür taraması yapılarak teorik altyapı oluşturulmuştur. Bu bağlamda ilk aşamada enerji verimliliğine yönelik yasal düzenlemeler, ikinci aşamada sıfır enerjili binalara yönelik ulusal ve uluslararası alanda hazırlanmış olan doktora tezleri ve makale çalışmaları, üçüncü aşamada NSEB'lere yönelik yapılmış olan tanımlar ve tasarım özellikleri ve son olarak dördüncü aşamada NSEB tasarımında kullanılabilecek sistemlerin inceleme ve analizleri yapılmıştır.

2.1. Enerji Verimliliğine Yönelik Yasal Düzenlemeler

Enerji verimliliğine yönelik yıllar içerisinde çok sayıda kanun, yönetmelik, sözleşme vb. yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bölüm kapsamında AB ve Türkiye özelinde bu alanda hazırlanmış olan yasal düzenlemeler incelenmiş ve analizleri yapılmıştır.

2.1.1. AB enerji mevzuatı ve politikaları

Tüm dünyada hızla artmakta olan enerji sorununa yönelik olarak AB'nin öncelikli hedefi, ihtiyaç duyulan enerjiyi kesintisiz, güvenilir, temiz ve ekonomik yollarla tedarik etmek ve kaynak çeşitliliğini artırmaktır. Bu doğrultuda, çevresel kaygılara, özellikle küresel iklim değişikliğine dikkat çekerek, küresel ekonomik ve teknolojik liderlik elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için tek ve bütünleşmiş bir Avrupa Enerji Pazarı oluşturulmakta ve enerji güvenliği ile iklimin korunmasına yönelik politikalar geliştirilmektedir. Enerji arz güvenliğinin temel unsurları arasında kaynak çeşitliliğinin sağlanması, enerji tasarrufu tedbirlerinin yaygınlaştırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması yer almakta olup, bu unsurlar AB'nin enerji ve çevre politikasının temel taşlarını oluşturmaktadır.

Brundtland Raporu (1987)

Raporda, sürdürülebilir kalkınma kavramı resmi olarak ilk kez yer almış ve bu kavram, bugünün ihtiyaçlarını karşılarken gelecekteki nesillerin ihtiyaçlarını karşılama kapasitesine zarar vermeyen bir yaklaşım olarak tanımlanmıştır. Raporda, doğal kaynakların

kullanımında adalet ve eşitliğin sağlanması ile çevreye duyarlı teknolojilerin geliştirilmesi temel hedefler arasında yer almıştır [7].

BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (1992)

Küresel ısınmanın iklim üzerindeki etkilerine karşı insan kaynaklı faaliyetleri ele alan ilk ve en önemli uluslararası girişim, 1992 yılında Rio de Janeiro'da gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler (BM) Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda imzaya açılan BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi olmuştur. Sözleşmenin temel hedefi, insan kaynaklı sera gazı salınımlarını en aza indirerek iklim üzerindeki olumsuz etkileri belirli bir seviyede tutmaktır. 2004 yılında Türkiye'nin de katılımıyla, sözleşme 195 ülkenin taraf olduğu neredeyse evrensel bir anlaşma haline gelmiştir [8].

Kyoto Protokolü (1997)

Aralık 1997'de OECD üyesi ülkeler tarafından Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin bir uzantısı olan Kyoto Protokolü kabul edilmiştir. Protokol kapsamında sanayileşmiş ülkeler sera gazı emisyonlarını azaltma taahhüdü vermiş ve böylece iklim sistemi üzerindeki zararlı insan etkilerinin önlenmesi hedeflenmiştir [9].

Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD) (2002/91/EC)

Avrupa'da birincil enerji tüketim verilerine bakıldığında, tüketimin yaklaşık %40'ını, CO2 salınımının ise yaklaşık %36'sını yapı endüstrisinin oluşturduğu görülmektedir. Bu kapsamda Kyoto Protokolü'ne göre karbondioksit salınımını azaltmayı hedeflemiş olan AB, bu hedefe ulaşmak için yapılı çevreyi doğrudan etkileyen Binalarda Enerji Performansı Direktifi'ni (2002/91/EC) hazırlamıştır [3].

Bu direktif, binalarda enerji performansını artırmayı hedefleyerek, iç mekân konfor ihtiyaçları, yerel şartlar ve maliyet unsurlarını dikkate alır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğini değerlendirmenin yanı sıra, sera gazı salınımını azaltmayı, performans kriterlerini ve uygulama esaslarını belirlemeyi, enerjinin etkin ve verimli kullanımını teşvik etmeyi ve çevreyi korumayı amaçlar. Ayrıca, yeni ve mevcut binalar için yasal mevzuatta tanımlanan asgari enerji performansı gerekliliklerinin

karşılanması, binaların enerji performansını hesaplamak için ulusal yöntemlerin geliştirilmesi ve tüm binaların bu süreçle sertifikalandırılması öngörülmektedir [3].

Binalarda Enerji Performansı Revize Direktifi (EPBD- Recast) (2010/31/EU)

2010 yılında kabul edilen Binalarda Enerji Performansı Revize Direktifi (EPBD- Recast), Avrupa Birliği'nin bina sektöründe enerji verimliliğini artırmayı ve sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedefleyen stratejisinin temel unsurlarından biridir. Revize direktif kapsamında yeni hedefler (20- 20- 20 hedefleri) ortaya konulmuştur. 20- 20- 20 hedefleri kapsamında AB ülkeleri tarafından 2020 yılına kadar sera gazı emisyonlarında 1990 yılına göre en az %20'lik bir azalma hedefi koymuşlardır. Ayrıca diğer ülkelerin de yasal bağlayıcı olarak sera gazı emisyon miktarlarında benzer bir hedef koyması durumunda AB, hedefini %20'den %30'a arttıracağını ifade etmiştir. 20- 20- 20 hedefleri kapsamında AB, yüksek enerji verimliliği ve düşük karbon salınımına sahip bir ekonomiye geçişi desteklemek amacıyla iki temel hedef daha belirlemiştir. İlk hedef, 2020 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji tüketimindeki payını %20'ye çıkarmaktır. İkinci hedef ise, aynı döneme kadar birincil enerji tüketimini %20 azaltmaktır [5].

EPBD- Recast ile "Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina" ve "Maliyet Optimum Enerji Verimliliği" kavramları tanımlanmıştır. Bu kapsamda revize direktif, tüm yeni binaların 2020 yılına kadar neredeyse sıfır enerji binalar (NSEB) olmasını zorunlu kılarken, kamu binaları için bu hedefin daha erken gerçekleştirilmesini öngörmektedir. Ayrıca, ısıtma ve soğutma sistemlerinin düzenli olarak denetlenmesini ve enerji performans sertifikalarının harmonize bir çerçevede sunulmasını teşvik etmektedir. Revize direktif hem yeni yapıların hem de mevcut bina stokunun enerji performansını iyileştirmeye odaklanırken aynı zamanda optimum maliyet düzeylerinin de belirlenmesine de önem vermektedir. Enerji verimli yapıların maliyet düzeylerinin belirlenmesinde ilk yatırım maliyeti, bakım- onarım maliyetleri ve enerji maliyeti başlıklarında ayrı ayrı ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi beklenmektedir. Dolayısıyla revize direktif, enerji performansı yüksek binalar elde edilmesinde optimum maliyet seviyesinin hesaplanması ve bu hesaplamanın da ülkelerin kendi dinamikleri üzerinden tanımlayacakları ulusal bir yöntemle yapılmasını zorunlu kılmaktadır [5].

Paris Anlaşması (2016)

Paris Anlaşması, 12 Aralık 2015'te Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında kabul edilen ve küresel iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir dönüm noktası olarak değerlendirilen uluslararası bir anlaşmadır. Anlaşma, küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelere kıyasla 2°C'nin oldukça altında tutmayı ve mümkünse 1,5°C ile sınırlamayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, taraf devletlere ulusal katkı beyanları (Nationally Determined Contributions - NDCs) sunma ve bunları periyodik olarak güncelleme yükümlülüğü getirilmiştir [10].

Paris Anlaşması'nın temel ilkeleri arasında, ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve ilgili kapasiteler ilkesi ön plana çıkmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında farklı sorumluluklar öngörülmekle birlikte, her ülkenin iklim değişikliğiyle mücadele için somut adımlar atması beklenmektedir. Ayrıca, finansman, teknoloji transferi ve kapasite geliştirme alanlarında gelişmekte olan ülkelere destek sağlanması hedeflenmektedir. Anlaşma, iklim değişikliğiyle mücadelenin yanı sıra adaptasyon ve dirençlilik konularını da içermektedir. Bu çerçevede, taraflar iklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlamak için ulusal stratejiler geliştirmek ve uygulamakla yükümlüdür. Paris Anlaşması, bağlayıcı niteliği ve küresel kapsayıcılığıyla, sürdürülebilir kalkınma ve yeşil ekonomi hedefleri doğrultusunda önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir [10].

Bina Enerji Performansı Direktifi (2018/844)

Avrupa Birliği'nin enerji verimliliği hedeflerine ulaşmak için mevcut binaların enerji performansını artırmayı ve yeni binalarda sürdürülebilirlik standartlarını geliştirmeyi amaçlayan önemli bir düzenlemedir. Direktif, üye devletlere bina stoklarının enerji tüketimini azaltmak için uzun vadeli yenileme stratejileri geliştirme yükümlülüğü getirmiş ve bu kapsamda "derin yenileme" kavramını öne çıkarmıştır. Derin yenileme, binaların enerji performansını optimize etmek amacıyla kapsamlı ve bütüncül bir yaklaşım benimseyerek enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmayı hedefler. Aynı zamanda, binaların enerji verimliliğini artıracak teknolojilerin, özellikle akıllı bina sistemlerinin kullanımını teşvik etmektedir. Direktif, neredeyse sıfır enerji binalarının (NSEB) yaygınlaştırılmasını, enerji performans sertifikalarının geliştirilmesini, yenilenebilir enerji entegrasyonunun güçlendirilmesini ve yenileme süreçlerinde maliyet verimliliği sağlanmasını zorunlu

kılarak, AB’nin 2030 iklim hedefleriyle uyumlu bir yapı sektörü oluşturmayı hedeflemektedir [12].

Avrupa Yeşil Mutabakatı (2019)

Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal), Avrupa Birliği'nin (AB) 2050 yılına kadar karbon nötr bir kıta olma hedefi doğrultusunda hayata geçirdiği kapsamlı bir politika çerçevesidir. Bu anlaşma, iklim değişikliğiyle mücadele etmek, doğal kaynakları daha sürdürülebilir bir şekilde kullanmak ve ekonomik büyümeyi çevresel sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu hale getirmek amacıyla tasarlanmıştır. Mutabakat, enerji, ulaşım, tarım, sanayi ve biyoçeşitlilik gibi çeşitli alanları kapsayan bir dizi politika ve stratejik hedef içermektedir. Bu bağlamda, temiz enerjiye geçişin hızlandırılması, döngüsel ekonomi uygulamalarının yaygınlaştırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, biyoçeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir gıda sistemlerinin oluşturulması gibi somut adımlar öne çıkmaktadır [11].

AB 2024/1275 Sayılı Yönetmelik (Binaların Enerji Performansı Hakkında Yeniden Düzenleme)

2024/1275 sayılı Yönetmelik, Avrupa Birliği'nin enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemek amacıyla Enerji Performansı Direktifi'ni (EPBD) güncelleyen önemli bir düzenlemedir. Yeni düzenlemeyle, 2030 yılına kadar tüm yeni binaların sıfır emisyonlu olması zorunlu hale gelirken, kamu binaları için bu hedef 2028'e çekilmiştir. Ayrıca, mevcut binaların enerji verimliliğini artırmak için derin yenileme (deep renovation) süreçlerinin hızlandırılması teşvik edilmektedir. 2050 yılına kadar tüm binaların sıfır emisyonlu hale gelmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda, binaların enerji verimliliğini artıracak teknolojilere ve akıllı sistemlere yatırım yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Yönetmelik, binalarda enerji tasarrufu sağlayan yenilikçi çözümler sunmayı amaçlamakta olup, aynı zamanda enerji yoksulluğu ile mücadele etmek için finansal destek mekanizmaları da içermektedir. Yönetmelik, aynı zamanda üye devletlerin, binalarda enerji verimliliği artırmak için uzun vadeli stratejiler geliştirmelerini ve bunları uygulamaya koymalarını zorunlu kılmaktadır [13].

2.1.2. Enerji verimliliği ile ilgili Türkiye'deki kanun ve yönetmelikler

Türkiye'de enerji verimliliğine yönelik çok sayıda kanun, yönetmelik vb. yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bölüm kapsamında Türkiye özelinde bu alanda hazırlanmış olan yasal düzenlemeler incelenmiş ve analizleri yapılmıştır.

5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (2007)

5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu, Türkiye'de enerji verimliliğini artırmak, enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanımını sağlamak ve enerji israfını önlemek amacıyla 2007 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu kanun, enerji yoğunluğunun azaltılması ve sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi doğrultusunda sanayi, bina, ulaştırma ve enerji sektörlerinde enerji verimliliği önlemlerini teşvik etmektedir. Kanun kapsamında, enerji verimliliği etütlerinin gerçekleştirilmesi, enerji yöneticilerinin istihdam edilmesi ve enerji performans sözleşmeleri gibi yenilikçi uygulamalar teşvik edilmektedir. Ayrıca, enerji tasarrufu sağlayacak teknolojilerin kullanımı ve bilinçlendirme faaliyetleri yoluyla kamuoyunun enerji verimliliği konusundaki farkındalığının artırılması hedeflenmiştir. Kanun, enerji verimliliği projelerine mali destek sağlanmasını ve gönüllü anlaşmalar yoluyla enerji tüketiminin azaltılmasını teşvik etmektedir [14].

5627 sayılı kanun, Türkiye'nin ulusal enerji politikalarının sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu bir çerçeve oluştururken, aynı zamanda enerji arz güvenliğini artırmak ve çevresel etkileri azaltmak için stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir. Bu düzenleme, Türkiye'nin uluslararası enerji verimliliği taahhütlerini yerine getirme sürecinde de önemli bir rol oynamaktadır [14].

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (2008- 2010- 2013)

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türkiye'de binaların enerji verimliliğini artırmak ve ısı kayıplarını önlemek amacıyla hazırlanmış bir standardıdır. Bu standart, binaların ısı yalıtımıyla ilgili teknik gereklilikleri ve hesaplama yöntemlerini düzenlemektedir. Amaç, enerji tüketimini azaltarak çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve kullanıcıların enerji maliyetlerini düşürmektir [15].

TS 825, farklı iklim bölgelerine göre binaların yalıtım kalınlıkları, ısı geçiş katsayıları (U-değerleri) ve yalıtım malzemelerinin özelliklerini belirler. Standart, binalarda enerji performansını artırırken, aynı zamanda iç mekân konfor koşullarını iyileştirmeyi hedefler. Bu çerçevede, yapı elemanları (duvar, çatı, döşeme, pencere vb.) için minimum yalıtım değerleri tanımlanmıştır. Ayrıca, binalarda enerji simülasyonları yapılmasını ve yalıtım projelerinin enerji verimliliği açısından değerlendirilmesini teşvik eder. TS 825, Türkiye'nin enerji tasarrufu hedefleri ve uluslararası sürdürülebilirlik taahhütleri doğrultusunda önemli bir referans dokümanıdır. Standart, aynı zamanda 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği gibi düzenlemelerle uyumlu olarak, yapı sektöründe enerji verimliliği uygulamalarının yaygınlaştırılmasına katkı sağlamaktadır [15].

TS 825 standardının güncellenmesine yönelik 2019 yılının sonlarında başlatılan çalışmalar kapsamında standarda soğutma ihtiyacının ilave edilmesi ve enerji limitlerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla TSE tarafından; T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı başkanlığında Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı (EVÇED), Makine Mühendisleri Odası ve İZODER'in de içerisinde yer aldığı STK'ların temsilcilerinden oluşan revizyon komitesi kurulmuştur. Revizyon komitesi tarafından TS 825 standardının güncellenmesine yönelik yürütülen çalışmaların sonucunda hazırlanan tasarı, TSE'nin 21 Ekim 2024 tarihinde gerçekleştirilen teknik kurulda kabul edilmiş ancak henüz resmî gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmemiştir. Oluşturulan tasarı kapsamında standarda soğutma ihtiyacının hesaplanmasına yönelik ilaveler yapılmış, ülkemizde soğutma ihtiyacının da ısıtma ihtiyacı ile birlikte tasarım aşamasında dikkate alınmasına olanak sağlanmıştır. Standartta yapılan değişiklikler sonucunda hem ısıtma hem de soğutmayı ele alacak yeni metodolojiye göre yeni enerji limitleri Bakanlık tarafından yeniden tanımlanmıştır. Yeni standartta iklim bölgesi sayısı 6'ya çıkarılmış ve tavsiye edilen U değerleri iyileştirilmiştir [90].

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEP) (2008)

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Türkiye'de binaların enerji verimliliğini artırmak, enerji kaynaklarını etkin kullanmak ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için yürürlüğe konmuş kapsamlı bir düzenlemedir. Yönetmelik, Avrupa Birliğinin 2002/91/EC sayılı Binalarda Enerji Performansı Direktifi doğrultusunda hazırlanmıştır. Yönetmelik;

yeni binaların enerji tüketim standartlarını belirlerken mevcut binalar için de enerji kimlik belgesi düzenlenmesini zorunlu kılmıştır [4].

Temel Hükümler:

1. Enerji Kimlik Belgesi (EKB): Tüm binaların EKB alması zorunludur. Bu belge, binanın enerji tüketim seviyesi ve sera gazı emisyon sınıfını gösterir. Yeni yapılacak binaların en az "C" enerji sınıfında olması şart koşulmuştur.
2. Yeni ve Mevcut Bina Ayrımı: 2009 sonrası yapı ruhsatı alan binalar yeni bina, öncesi ise mevcut bina olarak sınıflandırılır. Yeni binalar, yönetmelik gerekliliklerine uygun olarak inşa edilmek zorundadır; mevcut binalar ise enerji performanslarını iyileştirme konusunda teşvik edilmektedir.
3. Isı Yalıtımı ve Yenilenebilir Enerji: Yeni binalarda ısı yalıtımı zorunlu kılınmış, enerji verimliliği artırılmış yalıtım malzemelerinin kullanımı teşvik edilmiştir. Ayrıca, belirli büyüklükteki binaların yenilenebilir enerji sistemlerini kullanması gerektiği vurgulanmıştır.
4. Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (NSEB): 2023 yılı itibarıyla büyük binaların enerji tüketiminin bir kısmını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılaması zorunlu hale gelmiştir. 2025 yılına kadar 5.000 m² ve üzeri toplam inşaat alanına sahip binaların enerji performans sınıfının "B" olması ve binanın birincil enerji ihtiyacının en az %5'i oranında yenilenebilir enerji kullanımı zorunlu tutulmuştur. 2025 yılından sonra ise 2.000 m² ve üzeri toplam inşaat alanına sahip binaların enerji performans sınıfının "B" olması ve binanın birincil enerji ihtiyacının en az %10'i oranında yenilenebilir enerji kullanımı zorunlu tutulmuştur.

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi (2012- 2023)

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, Türkiye'nin enerji verimliliği hedeflerini belirlemek ve bu alandaki politikaları yönlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. İlk olarak 2012-2023 dönemini kapsayan belge, enerji yoğunluğunun düşürülmesi, enerji tasarrufu sağlanması ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasını hedeflemiştir. 2023 itibarıyla enerji yoğunluğunda %20,4 azalma sağlanmış, yaklaşık 24,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) enerji tasarrufu gerçekleştirilmiş ve 68 milyon ton CO_2 emisyon azaltımı sağlanmıştır. Bu belge çerçevesinde hazırlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP) ile sanayi, bina,

ulaşım ve tarım gibi sektörlerde yatırımlar ve projeler hayata geçirilmiştir [16].

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017- 2023)

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, Türkiye'nin enerji verimliliği alanındaki hedeflerini gerçekleştirmeye yönelik kapsamlı bir stratejik plandır. 2012 yılında belirlenen hedeflerin yanı sıra, 2017-2023 dönemi için enerji tasarrufu sağlamak, enerji yoğunluğunu azaltmak ve çevresel sürdürülebilirlik sağlamak amacıyla çeşitli eylemler içermektedir. Bu eylem planı, sanayi, bina, ulaşım, tarım gibi sektörlere yönelik spesifik hedefler belirlemektedir.

Plan, Türkiye'nin enerji yoğunluğunu 2023 yılına kadar %20 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Bu hedefe ulaşmak için sanayi sektöründe enerji verimliliği artırılacak, binalarda enerji tasarrufu sağlanacak ve ulaşımda alternatif enerji kullanımı teşvik edilecektir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kullanımı ve enerji verimli teknolojilerin yaygınlaştırılması da planın temel unsurlarındandır.

2017'de başlatılan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, enerji verimliliği yatırımlarını desteklemek için finansal mekanizmaların güçlendirilmesi, enerji etütleri yapılması ve enerji yöneticisi eğitimlerinin arttırılması gibi eylemlerle desteklenmiştir. Eylem planının uygulanması ile 2023 yılına kadar toplamda 23,9 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) tasarrufu sağlanması ve 66,6 milyon ton CO_2 emisyonunun azaltılması beklenmektedir [38].

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (2022)

Yönetmelik kapsamında, ulusal literatüre ilk kez nSEB (Nearly Zero Energy Building - Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina) tanımı kazandırılmış ve bu tanımın yasal bir zemine oturtulması sağlanmıştır. Yönetmelikte nSEB, "yüksek enerji performansına sahip ve belirli bir oranda yenilenebilir enerji kullanan bina" olarak tanımlanmıştır. Bu tanım çerçevesinde, nSEB statüsündeki binaların belirli teknik standartlara uygun olması gerekmektedir. Bu binaların enerji performans sınıfının en az B seviyesinde olması zorunlu kılınmış, ayrıca birincil enerji ihtiyaçlarının %5'inin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması şartı getirilmiştir. Yönetmelik, bu kriterlerin farklı bina türlerine ve

büyüklüklerine aşamalı olarak uygulanmasını öngörmektedir. 1 Ocak 2023 itibarıyla toplam yapı inşaat alanı 5000 m² ve üzeri olan binaların nSEB standartlarına uygun olarak inşa edilmesi zorunlu hale getirilmiştir [39].

Bu düzenleme, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırma, enerji tasarrufunu teşvik etme ve karbon salınımını azaltma hedefleri doğrultusunda önemli bir kilometre taşıdır. Hem yeni yapılacak projelerde hem de mevcut yapılarda sürdürülebilirlik odaklı bir dönüşümü desteklemeyi amaçlayan yönetmelik, bina sektöründe enerji verimliliğini uluslararası standartlara uygun bir seviyeye çıkarmayı hedeflemektedir [39].

Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024- 2030)

Türkiye'nin II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024-2030), enerji verimliliğini artırarak ekonomik kalkınmayı desteklemeyi ve sürdürülebilir enerji kullanımını teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Plan, enerji tüketiminde tasarruf sağlamayı ve karbon emisyonlarını azaltarak çevresel etkileri en aza indirmeyi hedeflemektedir. 2030 yılına kadar birincil enerji tüketiminde %16 oranında bir azalma hedeflenmiş, bunun yanında 100 milyon ton karbondioksit eşdeğerinde emisyon azaltımı öngörülmüştür.

Plan kapsamında sanayi, binalar, enerji üretimi, ulaşım ve tarım gibi farklı sektörlerde kapsamlı eylemler öngörülmektedir. Sanayi ve teknoloji alanında, enerji verimliliğini artıran projelerin desteklenmesi, dijital dönüşüm ve enerji yönetim sistemlerinin yaygınlaştırılması hedeflenmiştir. Ayrıca, binalarda enerji performansını artırmak adına mevcut yapılarda enerji verimliliği dönüşümü yapılması ve yeni binaların "Neredeyse Sıfır Enerjili Bina" standartlarına uygun olarak inşa edilmesi teşvik edilmektedir.

Enerji üretimi ve iletiminde kayıpların azaltılması, yenilenebilir enerji kullanımının optimize edilmesi ve elektrik şebekesinin modernize edilmesi üzerinde durulmaktadır. Ulaşım sektöründe ise toplu taşımanın yaygınlaştırılması, elektrikli araç altyapısının geliştirilmesi ve ulaşımda karbon emisyonlarının azaltılması için çeşitli önlemler alınması planlanmıştır. Tarım sektöründe enerji verimli sulama sistemlerinin kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu teşvik edilmektedir.

Eylem planı, enerji verimliliği bilincini artırmaya yönelik eğitim kampanyalarını ve farkındalık faaliyetlerini içermektedir. Yeşil finansman modellerinin geliştirilmesi, enerji verimliliği projelerine finansal kaynak sağlanması ve yenilikçi enerji teknolojilerinin desteklenmesi de öncelikli konular arasındadır. Tüm bu hedefler doğrultusunda Türkiye'nin enerji yoğunluğunun azaltılması ve net sıfır emisyon hedeflerine ulaşılması amaçlanmaktadır [37].

2.2. Sıfır Enerjili Binalar ile İlgili Ulusal ve Uluslararası Literatürün Taranması

Yapılan literatür taraması kapsamında, sıfır enerjili binalar alanında yapılmış olan bilimsel çalışmaların büyük bir çoğunluğunu uluslararası çalışmalar oluşturmakta olup, ulusal çalışmalar oldukça az sayıda kalmıştır. Sıfır enerjili bina kavramının 2010 yılında yayınlanmış olan EPDB-Recast ile literatüre girmesi sebebiyle bu alandaki çalışmalar uluslararası ölçekte yine 2010 yılında başlamışken, ulusal ölçekteki çalışmaların 2015 yılı itibariyle başladığı görülmektedir.

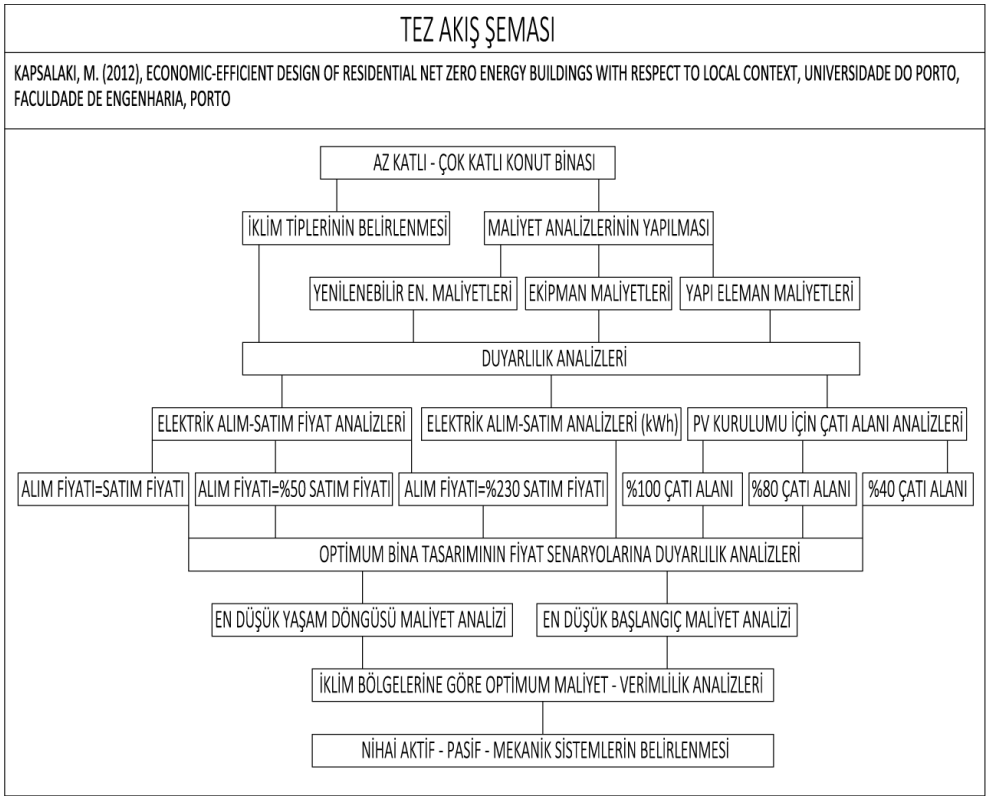
Yapılan çalışmaların içerikleri incelendiğinde, ulusal ile uluslararası çalışmaların içerikleri genel olarak benzerlik göstermektedir. Sıfır enerjili binalara dair yapılan bilimsel çalışmalar, mevcut bir yapının sıfır enerjili binaya dönüşümü, yeni yapım bir yapının sıfır enerjili bina olarak tasarlanması ve bir alanda birden fazla yapının konumlandığı bir yerleşim yerinde yapıların sıfır enerjili olarak tasarlanması başlıklarında yoğunlaşmıştır.

İncelenen bilimsel çalışmalarda sıfır enerjili bina elde etme amacının dışında EPDB-Recast içeriğinde bulunan "maliyet optimum enerji verimliliği" kavramının da etkisiyle sıfır enerjili bina elde etmede maliyeti optimum seviyede tutma arayışı da özellikle çalışmaların büyük bir çoğunluğunda yer almaktadır. Sıfır enerjili binalara dair yapılan bilimsel çalışmalarda araştırılan bir diğer konu da enerjinin depolanmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin daha verimli bir şekilde depolanabilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır.

2.2.1. Doktora tezleri

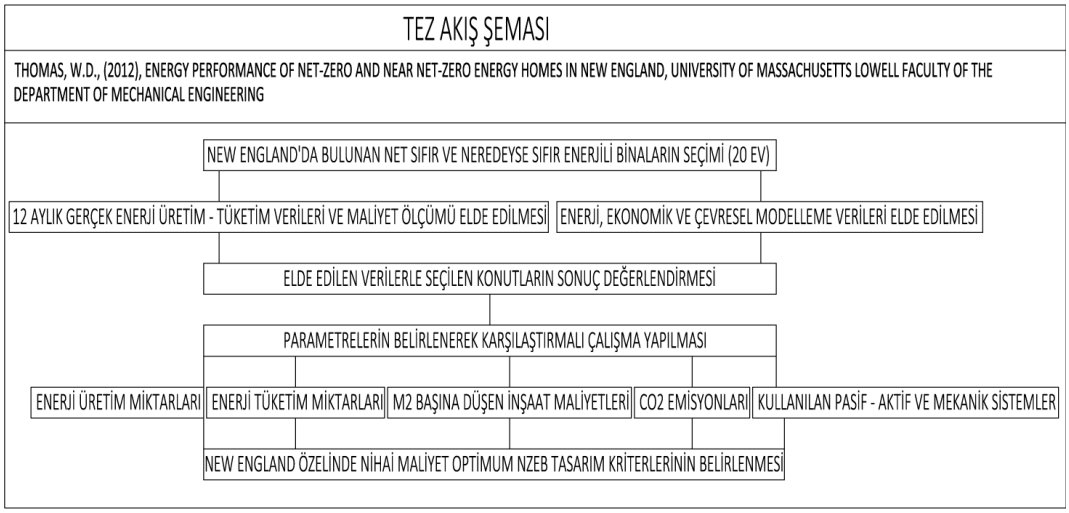
Kapsalaki tarafından 2012 yılında hazırlanmış olan "Yerel Bağlamda Konut Amaçlı Net Sıfır Enerjili Binaların Ekonomik Verimliliği" [40] isimli doktora tezinde yazar, NSEB'ler

için ekonomik-optimum tasarım çözümlerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla öncelikle bir metodoloji geliştirilmiş ve sonrasında optimal en düşük yaşam döngüsü maliyetlerine sahip tasarım değişkenlerinin kombinasyonu, farklı iklim tipleri ve elektrik fiyat senaryoları özelinde başlangıç maliyeti ile yaşam döngüsü maliyetini belirlemek amacıyla bir yazılım geliştirmiştir. Binanın enerji talebini ve arzını büyük ölçüde belirleyen on dört ana tasarım değişkeni tanımlanmıştır. Matlab'da geliştirilen, kabuk özellikleri, bina hizmetleri ekipmanı ve yenilenebilir enerji sistemlerinin tüm olası kombinasyonlarından geçen ve her biri için enerji verimliliği ve maliyet analizi sonuçlarını hesaplayan bir algoritma uygulanmıştır. Geliştirilen araçla, üç iklim için (Stockholm, Lizbon ve Iraklion) bir müstakil ev ve bir yüksek bina olmak üzere iki örnek yapı grubu analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, NSEB çözümlerinde tasarım değişkenlerinin etki hiyerarşileri, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım çeşitleri ve NSEB çözümlerinin maliyeti hakkında fikir edinilmesi sağlanmıştır. Örnek olay incelemelerinin sonuçları ekonomik olarak verimli ve ekonomik olarak verimsiz bir NSEB arasındaki farkların hem başlangıç maliyeti hem de ömür açısından üç kattan fazla olabileceğini gösterdiğinden, sonuçlar pratikte kullanımının büyük önem taşıyabileceğini göstermiştir.



Şekil 2.1. Kapsalaki, M. (2012) tez akış şeması

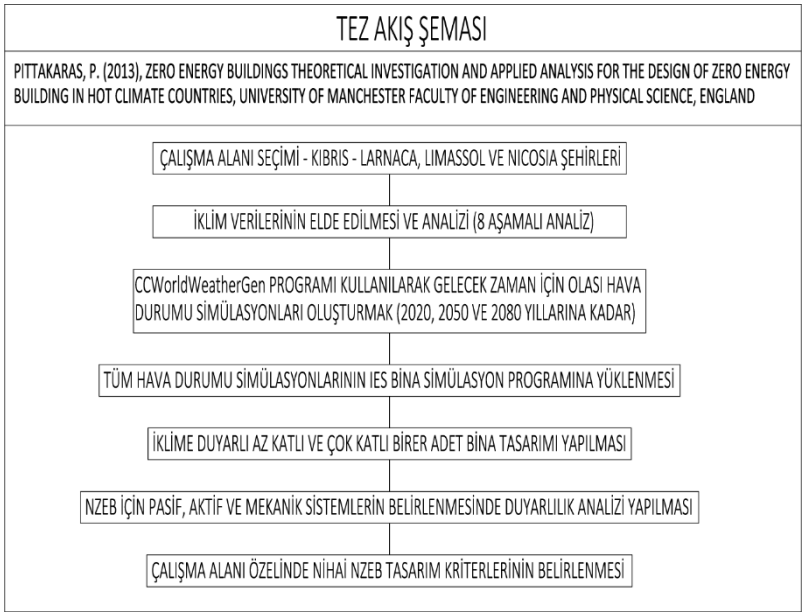
Thomas tarafından 2012 yılında hazırlanmış olan "New England'daki Net Sıfır ve Yaklaşık Sıfır Enerjili Evlerin Enerji Performansı" [41] isimli doktora tezinde yazar, New England'da inşa edilen 19 adet NSEB ve NNSEB'leri inceleyerek ilgili enerji performansı tasarım hedeflerine ulaşıp ulaşmadığını belirlemek için ev sahipleriyle birlikte çalışarak; inşaat ve sistem özellikleri, doluluk bilgileri ve on iki aylık enerji tüketim, üretim ve maliyet ölçümlerini toplayarak analiz ve sentez çalışması gerçekleştirmiştir. Yazar, on NSEB'den altısının net sıfır veya daha iyi enerjiye ulaştığını ve NNSEB'lerin dokuzunun da yine New England'da inşa edilen kontrol evinin en az yarısı kadar düşük bir enerji verimliliğine ulaştığını tespit etmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, yazar, bu tip evlerin analizler sonucunda elde edilen enerji performanslarını karşılayabileceği veya aşabileceği, ekonomik olarak inşa edilebileceği ve geleneksel evlere kıyasla çok düşük enerji maliyetleri ve CO2 emisyonuna sahip olacağı sonucuna varmıştır.



Şekil 2.2. Thomas, W.D. (2012) tez akış şeması

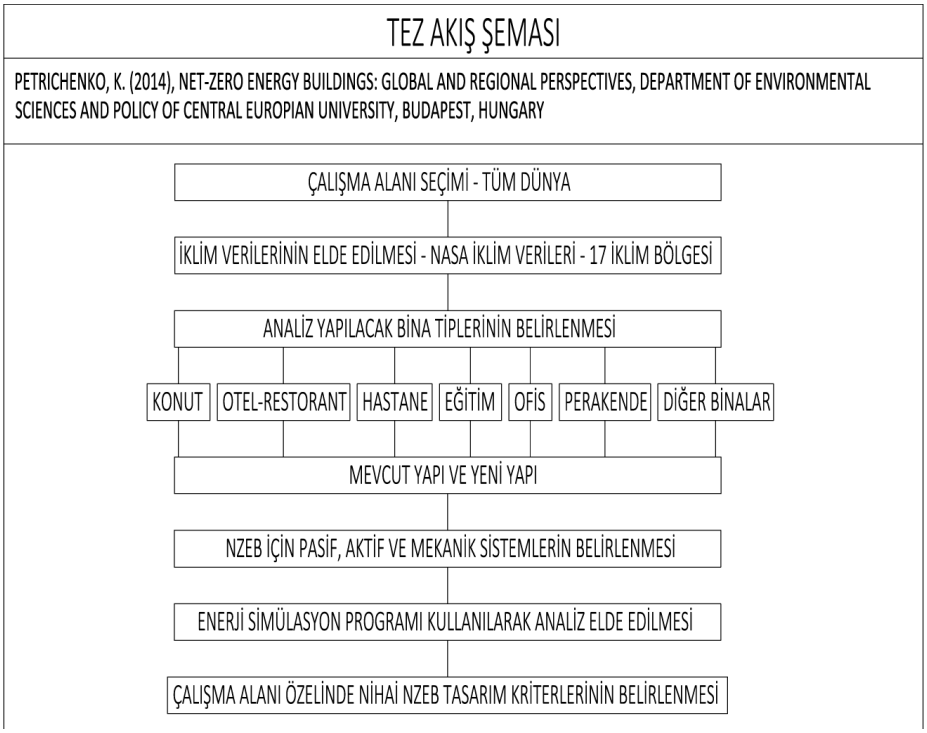
Pittakaras tarafından 2013 yılında hazırlanmış olan "Sıfır Enerjili Binalar: Sıcak İklime Sahip Ülkelerde Sıfır Enerjili Bina Tasarımı İçin Teorik Araştırma ve Uygulamalı Analiz" [42] isim doktora tezinde Kıbrıs adasını bir vaka çalışması olarak ele alan yazar, farklı bina kategorilerini ve tiplerini araştırarak, bina enerji modellerini analiz edip, binaların konfor seviyelerinden ödün vermeden sıcak iklimlerde net sıfır enerjili binalar için tasarım kılavuzları önermektedir. Tez kapsamında yazar, uygun faktör kombinasyonunu bulmak için hava durumu, oryantasyon, gölgeleme yöntemleri, yalıtım yöntemleri, bina malzemeleri, cam, HVAC sistemleri ve bina işletim profilleri gibi çeşitli parametreleri kontrol etmiş ve sıfır enerji bina hedeflerine ulaşmayı amaçlamıştır. Sıfır enerjili binaya

yönelik bu yeni yaklaşım, binanın ve iç ortamın enerji tüketimine yeni bir bakış açısı kazandırırken, yapı sektörünün çevresel etkilerini de hesaba katmaktadır. Yaklaşımdaki bu değişiklik, Sıfır Enerji Binaları nihai hedefine nasıl ulaşılacağına ve binaların nasıl enerji "üreticilerine" dönüştürüleceğine ve dünya enerji sorununun/krizinin çözülmesine nasıl yardımcı olunacağına ilişkin genel sorunun çok önemli bir parçasıdır.



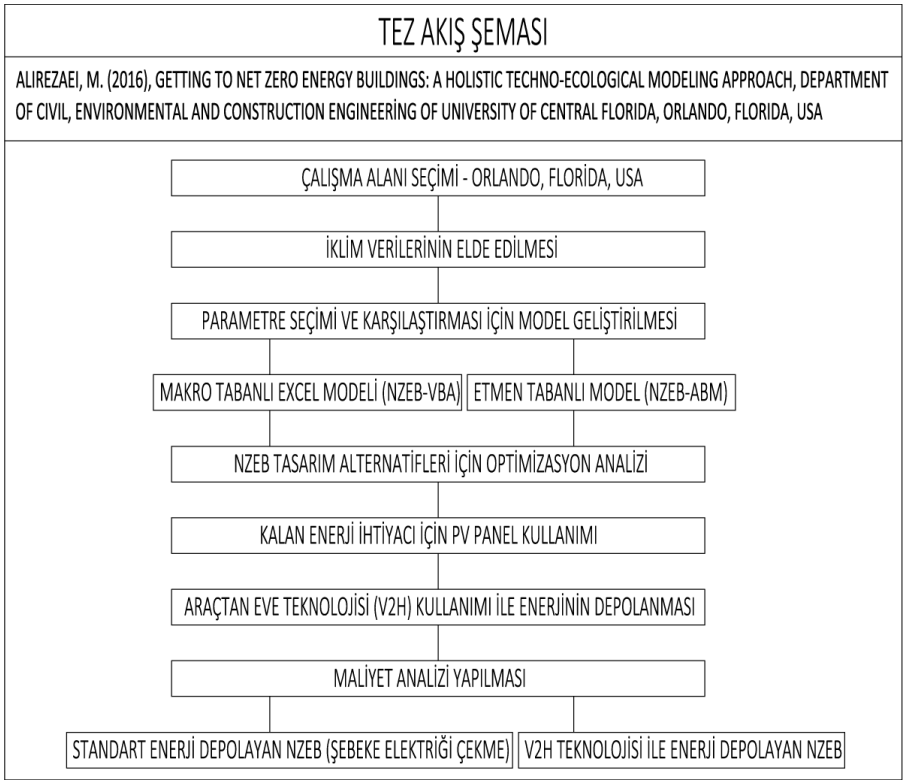
Şekil 2.3. Pittakaras, P. (2013) tez akış şeması

Petrichenko tarafından 2014 yılında hazırlanmış olan "Net Sıfır Enerjili Binalar: Küresel ve Bölgesel Perspektifler" [43] isimli doktora tezinde yazar, bina enerji talebini karşılamada enerji verimliliği önlemleri ile birlikte yerinde üretilen güneş enerjisinin rolünü analiz ederek, küresel ve bölgesel perspektiflerden NSEB kavramı etrafındaki tartışmalara katkıda bulunmayı amaçlamıştır. Bu amaca ulaşmak için, çeşitli coğrafi, mimari, morfolojik ve iklimsel parametreleri dikkate alarak gelişmiş binaya entegre hibrit teknolojilerden elde edilen güneş enerjisi ve elektrik enerjisi çıktısının tahmin edilmesini sağlayan özel bir model – BISE modeli – geliştirilmiştir. Bu model, aşağıdan yukarıya enerji modellemesini jeo-uzamsal analiz ve görselleştirme teknikleri ile birleştiren yeni bir metodolojiye dayanmaktadır. Sonuçlar, enerji verimliliği iyileştirmesiyle birlikte bina sektöründe en son teknolojiye sahip güneş enerjisi teknolojileri için teknik potansiyelin gerçekleştirilmesinin küresel ve bölgesel enerji kullanımını önemli ölçüde azaltacağını ve bir dizi alanda net sıfır enerji hedeflerine ulaşılmasına olanak sağlayacağını göstermektedir.



Şekil 2.4. Petrichenko, K. (2013) tez akış şeması

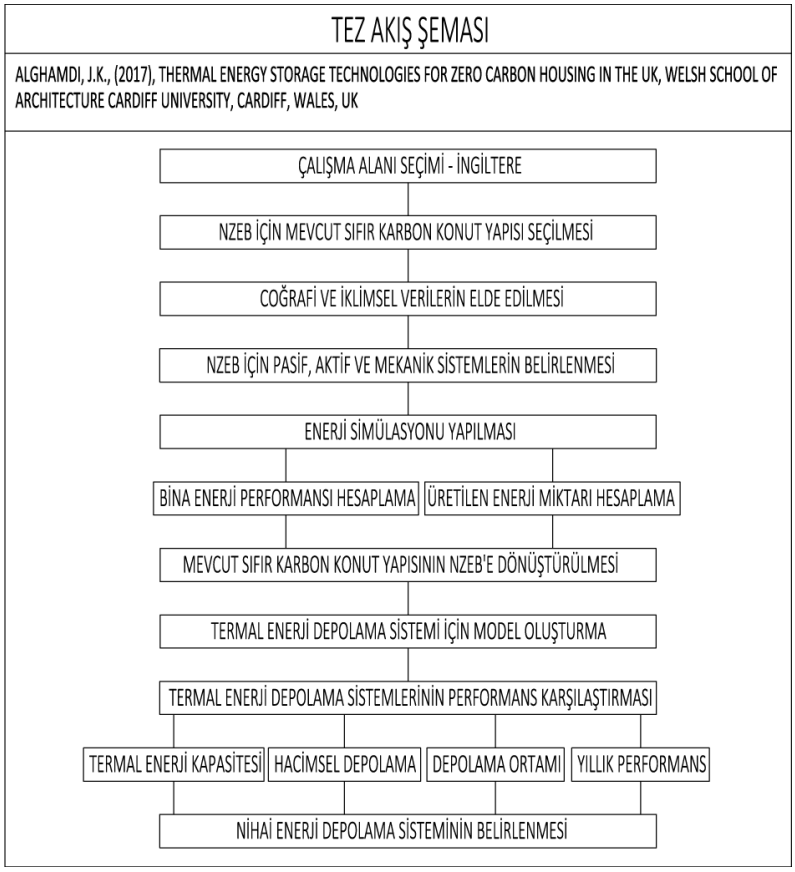
Alirezaei tarafından 2016 yılında hazırlanmış olan "Net Sıfır Enerjili Binalara Ulaşmak: Bütünsel Bir Teknolojik-Ekolojik Modelleme Yaklaşımı" [44] isimli doktora tezinde yazar, iki aşamada iki yeni model geliştirerek NSEB'e ulaşmak için Araçtan Eve teknolojisinin uygulamasını kullanmayı amaçlamaktadır; makro tabanlı excel modeli (NSEB-VBA) ve aracı tabanlı model (NSEB-ABM). İlk adımda, ilgili ekonomik ve çevresel kısıtlamalar altında enerji verimli bir bina için en iyi tasarım alternatiflerini seçmek için önce bir optimizasyon analizi yapılmıştır. Ardından, binanın kalan enerji talebini karşılamak ve böylece binanın şebekeye olan bağımlılığını en aza indirmek için fotovoltaik paneller kullanılmıştır. Son olarak, Araçtan Eve teknolojisi, şebekeden gelen gücün yerine yenilenebilir enerji kaynağı ile birleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, daha çok sistemin farklı bileşenlerinin birbirleriyle dinamik etkileşimi üzerinde durulmuştur. Sonuçlar, enerji verimli tasarım özellikleri ve elektrikli araç ve güneş enerjisinden elektrik çekmek için uygun şekilde geliştirilmiş bir algoritmanın yardımıyla, elektrik şebekesinden gereken elektriği standart bir enerjiye kıyasla %59 oranında azaltmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Bu, elektrik maliyetini, geleneksel şebeke elektriği çekme yönteminin maliyetinin 1,55 katı kadar azaltmaktadır. Yazar, bu tasarruf sayesinde, bir Net Sıfır Enerji Bina için gerekli olan güneş panelleri ve diğer teknolojilerin kurulum maliyetlerini telafi edebileceğini belirtmektedir.



Şekil 2.5. Alirezaei, M. (2016) tez akış şeması

Alghamdi tarafından 2017 yılında hazırlanmış olan "Birleşik Krallık'ta Sıfır Karbon Konutlar İçin Termal Enerji Depolama Teknolojileri" [45] isimli doktora tezinde yazar, İngiltere'nin konut binalarında termal enerji depolama sistemlerinin potansiyel katkısını araştırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, çoklu termal enerji depolama teknolojilerini ve bunların sıfır karbonlu binalara entegrasyonunu araştırmayı amaçlamaktadır. Araştırma süreci iki aşamada gerçekleştirilir: bina enerji simülasyonu ve termal enerji depolama modellemesi. Bina enerji simülasyonu aşaması, Birleşik Krallık'ta bulunan tek ailelik sıfır karbonlu bir evin enerji performansını araştırmaktadır. Bu simülasyon, saatlik termal enerji performansı üretmek ve yerinde yenilenebilir kaynaklardan üretilen potansiyel enerjiyi hesaplamak için gerçekleştirilmektedir. Bu araştırmanın ikinci aşaması, termal enerji depolama sistemi için bir hesaplama modeli oluşturularak gerçekleştirilmiştir. Bu model, sıfır karbonlu evin operasyonel yükleri altında farklı termal enerji depolama sistemlerinin performansını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu adım, yük tepe noktalarını değiştirerek enerji talebinin azaltılmasında termal enerji depolama sisteminin katkısını belirlemektedir. Ayrıca bu adım, farklı depolama teknolojileri arasındaki performansı termal enerji kapasitesi, hacimsel depolama, depolama ortamı ve yıllık performans açısından karşılaştırmaktadır. Bu çalışmadaki son modelleme, farklı termal enerji depolama

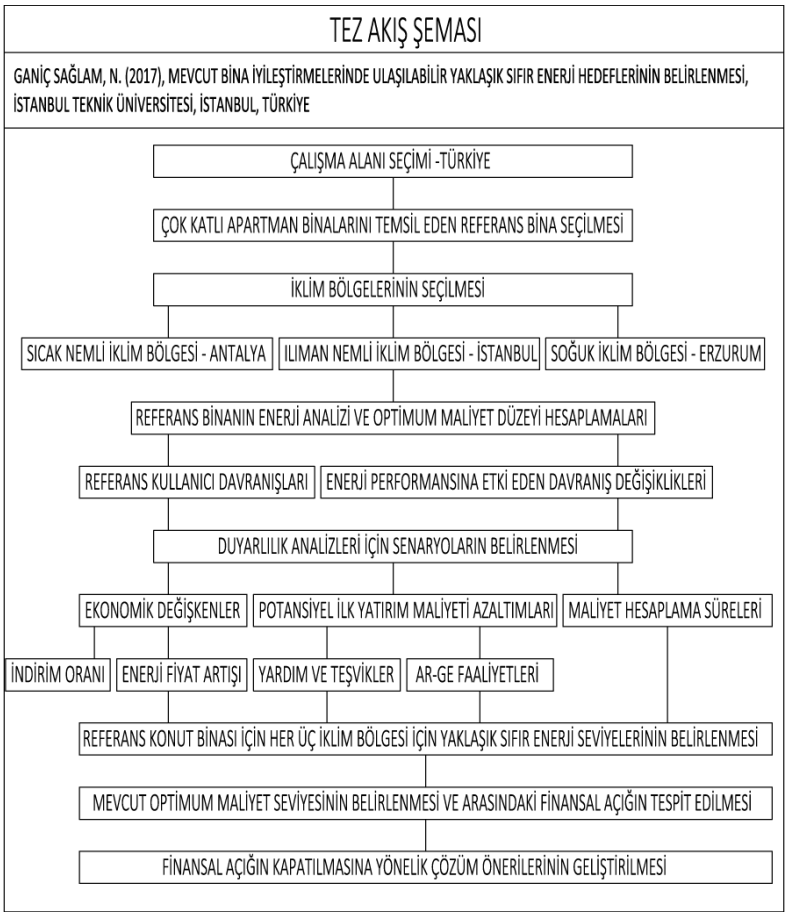
teknolojileri arasındaki performans farkını göstermektedir. Termokimyasal enerji depolama sistemleri, duyulur ısı depolama ve PCM sistemlerine göre daha düşük hacimlerde daha yüksek enerji depolama kapasitelerine ulaşırken, tüm sistemler şebeke enerjisinden gelen talebi azaltabilmiştir.



Şekil 2.6. Alghamdi J.K. (2017) tez akış şeması

Ganiç Sağlam tarafından 2017 yılında hazırlanmış olan “Mevcut Bina İyileştirmelerinde Ulaşılabilir Yaklaşık Sıfır Enerji Hedeflerinin Belirlenmesi” [46] isimli doktora tezinde mevcut binaların yaklaşık sıfır enerji seviyesine erişebilmesi amacıyla bir yaklaşım önerilmektedir. Yaklaşım kapsamında, binalarda optimum maliyet ile yaklaşık sıfır enerji seviyesine erişim üzerine kurulmuştur. Tez çalışması kapsamında, Türkiye’deki çok katlı apartman binalarını temsil eden bir referans bina üç farklı iklim bölgesi (sıcak-nemli, ılıman-nemli ve soğuk) dikkate alınarak belirlenmiştir. Örnek uygulamada öncelikle, ele alınan referans binanın enerji performansı seviyeleri için optimum maliyet düzeyi referans kullanıcı davranışları ve değişken kullanıcı davranışları üzerinden hesaplanarak tespit edilmiştir. Seçilen referans bina ve iklim koşulları için optimum maliyet seviyesinin belirlenmesinin ardından önerilen yaklaşımın ikinci aşamasında uygulanacak duyarlılık

analizi senaryoları belirlenmiştir. Seçilen senaryolar indirim oranı ve enerji fiyat artışı gibi ekonomik değişkenlerin yanı sıra yardım ve teşvikler veya araştırma geliştirme faaliyetleri sonucunda meydana gelebilecek potansiyel ilk yatırım maliyeti azaltımları ve maliyet hesaplama sürelerini de kapsamaktadır. Analizler sonucunda, referans konut binası için her üç iklim koşulu altındaki potansiyel yaklaşık sıfır enerji seviyeleri belirlenmiştir. Potansiyel yaklaşık sıfır enerji seviyelerinin mevcut optimum maliyet seviyesi ile arasındaki finansal açık tespit edilerek, bu açığın kapatılmasına yönelik öneriler geliştirilmiştir.



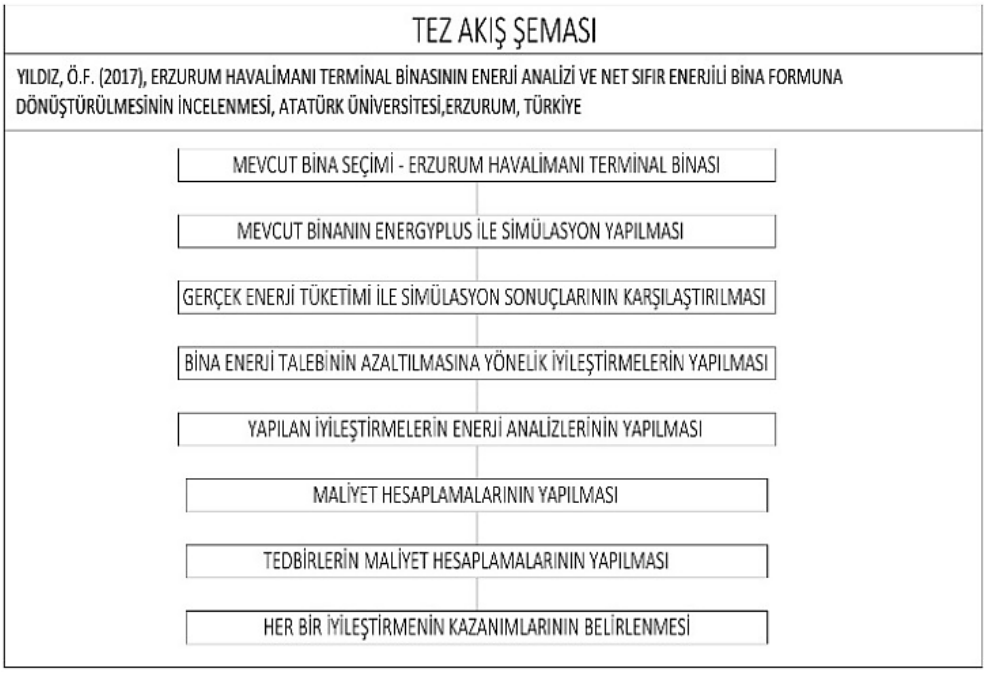
Şekil 2.7. Ganiç Sağlam N. (2017) tez akış şeması

Kalaycıoğlu tarafından 2017 yılında hazırlanmış olan "EPDB Recast'in Belirlediği Yaklaşık Sıfır Enerji Konseptinin Yerleşim Ölçeğinde Değerlendirilmesi İçin Yeni Bir Yaklaşım Önerisi" [47] isimli doktora tezi çalışması kapsamında Eskişehir yakınlarında mevcut yerleşim bulunmayan bir rezerv alan üzerine 34 adet konut, 7 adet ofis ve 1 adet data- center binalarından oluşan örnek bir yerleşim alanı tasarlanmıştır. Her bir bina türü için referans binalar oluşturularak enerji performansları ve maliyet hesabı yapılmıştır.

Sonraki aşamada her referans bina için enerji verimliliği tedbirleri uygulanmış, her bir tedbir ile elde edilen enerji performansı, yıllık birincil enerji tüketim değeri cinsinden belirlenmiştir. Her bir tedbirin ilk yatırım, değişim, bakım-onarım maliyetleri ile ve uzun dönem enerji maliyetleri toplanarak global maliyetler hesaplanmış ve sonuç olarak her bir bina türü için maliyet optimum ve yaklaşık sıfır enerji çözümleri belirlenmiştir.

Şekil 2.8. Kalaycıoğlu E. (2017) tez akış şeması

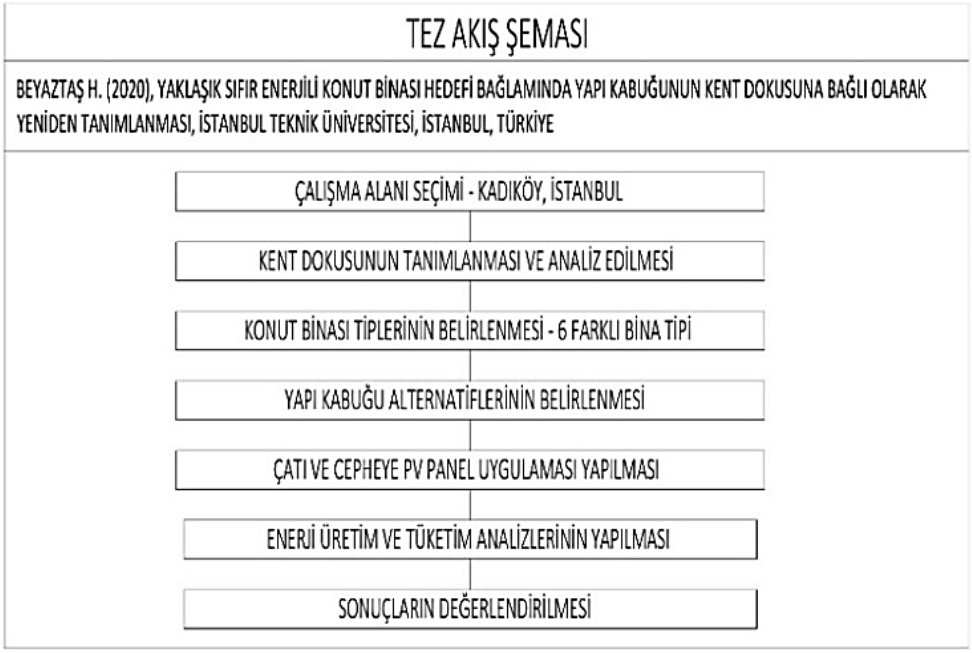
Yıldız tarafından 2017 yılında hazırlanmış olan “Erzurum Havalimanı Terminal Binasının Enerji Analizi ve Net Sıfır Enerjili Bina Formuna Dönüştürülmesinin İncelenmesi” [48] isimli doktora tezi çalışmasında yazar, Türkiye’nin en soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum Havalimanı Terminal Binasının enerji performans karakteristiklerini analiz etmek ve binayı Net Sıfır Enerjili Bina (NSEB) formuna dönüştürmeyi amaçlamıştır. Bina öncelikle mevcut haliyle EnergyPlus bina enerji simülasyon programı kullanılarak simüle edilmiştir. Sonrasında terminal binasının gerçek enerji tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketim verileri karşılaştırılmıştır. Tezin ikinci aşamasında binanın enerji ihtiyacının azaltılması kapsamında iyileştirmeler yapılmış, ardından yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması kapsamında iyileştirmeler yapılarak elde edilen sonuç yapının enerji ve ekonomik değerlendirmesi yapılarak her bir iyileştirmenin kazanımları belirlenmiştir.



Şekil 2.9. Yıldız Ö.F. (2017) tez akış şeması

Beyaztaş tarafından 2020 yılında hazırlanmış olan “Yaklaşık sıfır enerjili konut binası hedefi bağlamında yapı kabuğunun kent dokusuna bağlı olarak yeniden tanımlanması” [49] isimli doktora tezi çalışmasında simülasyon tabanlı sayısal yöntem aracılığıyla kent dokusu, konut bina tipolojisi ve yapı kabuğu değişkenlerine bağlı olarak bina enerji tüketim ve üretim performansları irdelenmiştir. Çalışma kapsamında, planlı kent dokusu kapsamında İstanbul Kadıköy ilçesindeki sokak örnekleri incelenmiş, kent dokusu tanımlanarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda toplamda 6 farklı konut bina tipi ve 3 farklı yapı kabuğu alternatifi değişken olarak belirlenmiştir.

Belirlenen değişkenlerin enerji simülasyonları yapılarak bina enerji üretim ve tüketim performanslarına olan etkileri irdelenmiştir. Seçilen kent dokusu için yapılan çalışmanın sonucunda çatı ve cephede uygulanan güneş panellerinden üretilen enerji ile kent dokusu ve bina tiplerine bağlı olarak binaların enerji tüketimlerinin 20,1% ila 69% oranında karşılanabileceği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar kent dokusunun bina enerji tüketim performansı üzerinde olduğu kadar enerji üretim performansı üzerinde de önemli oranda etkisi olduğunu göstermektedir.

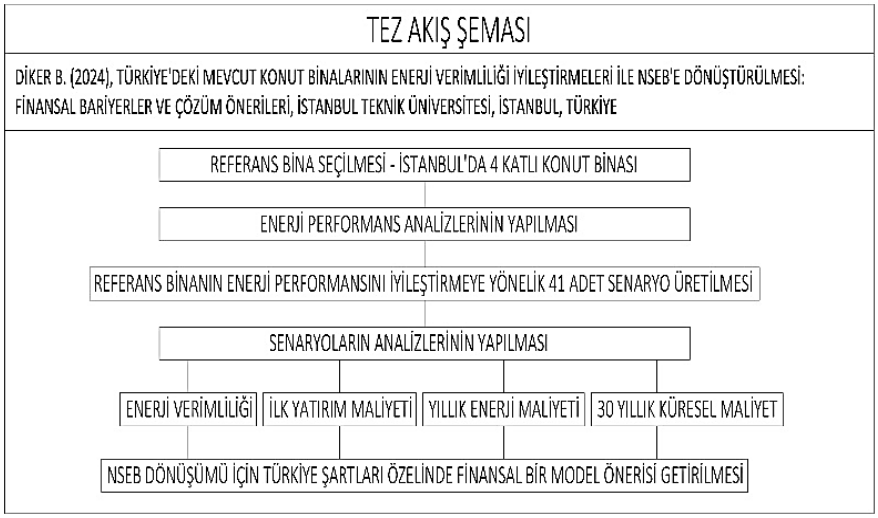


Şekil 2.10. Beyaztaş H. (2020) tez akış şeması

Çelik tarafından 2022 yılında hazırlanmış olan “Soğuk İklim Bölgelerinde Yaklaşık Sıfır Enerji Bina (NSEB) Konseptinin Bir Eğitim Binası İçin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle İncelenmesi” [50] isimli doktora tezi çalışmasında, soğuk iklim bölgesinde bulunan LEED sertifikalı Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Binası referans bina olarak seçilmiş ve enerji performansı analiz edilmiştir. Daha sonra EPBD’ye uygun enerji talebinin azaltılması yönündeki senaryolarla optimum maliyet yaklaşık sıfır enerji bina (NSEB) seviyesi belirlenmiştir. Referans binanın enerji simülasyonları yapılarak, enerji talebinin azaltılması yönündeki senaryolarla EPBD metodolojisine uygun ulusal düzeyde maliyet optimum enerji verimliliği ve yaklaşık sıfır enerji seviyeleri hesaplanmıştır. Her aşamada, enerji verimliliğini artırıcı tedbirlerin enerji etkinliği, ekonomik ve karbon salım analizleri değerlendirilmiştir. Daha sonra çok kriterli karar verme yöntemleri ile en uygun senaryonun tespiti yapılmıştır.

Şekil 2.11. Çelik A. (2022) tez akış şeması

Diker tarafından 2024 yılında hazırlanmış olan “Türkiye’deki Mevcut Konut Binalarının Enerji Verimliliği İyileştirmeleri ile NSEB’e Dönüştürülmesi: Finansal Bariyerler ve Çözüm Önerileri” [51] isimli doktora tezi kapsamında Türkiye’deki konut binalarının, yapılacak enerji verimliliği iyileştirmeleri ile nSEB’e dönüştürülmesi amacıyla alınabilecek teknik önlemlerin belirlenmesi ve dönüşüm için gerekli finansmana dair çözüm önerileri getirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, referans bina olarak İstanbul’da bulunan 4 katlı bir mevcut konut binası seçilerek 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. Bir sonraki adımda, referans binanın enerji performansını iyileştirmeye yönelik tekil önlemler ve önlem paketlerinden oluşan toplamda 41 adet senaryo belirlenmiştir. Senaryolardan her biri enerji verimliliği, ilk yatırım maliyeti, yıllık enerji maliyeti ve 30 yıllık küresel maliyetler üzerinden değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucu, referans binaya uygulanan senaryoların yüksek maliyetli uygulamalar olduğu görülmüştür. 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.



Şekil 2.12. Diker B. (2024) tez akış şeması

2.2.2. Makale çalışmaları

Kang tarafından 2015 yılında hazırlanan “Erken Tasarım Aşamasında NSEB (Neredeyse Sıfır Emisyonlu Bina) İçin Bir Karar Destek Aracının Geliştirilmesi” [52] isimli makale kapsamında, CO2 emisyonlarını ve maliyeti de dikkate alarak binalarda emisyon tasarrufu için en iyi değeri sağlayacak bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamaktadır. İlk olarak, ekonomik analiz de dahil olmak üzere NSEB Tasarım Süreci oluşturulmuş ve karar destek aracının bir algoritması sunulmuştur. İkinci olarak, Seul'deki konut binalarını örnekleyen bir referans bina tasarlanmıştır. Tasarlanan referans binanın CO2 emisyonu ve yaşam döngüsü maliyetinin hesaplanması için bir veri tabanı oluşturulmuştur. Son olarak, dört olgu karar destek araçlarıyla analiz edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Ganiç Sağlam ve Yılmaz tarafından 2015 yılında hazırlanan “Avrupa Birliği Direktifi Doğrultusunda Binalarda Yaklaşık Sıfır Enerji Düzeyinin Akdeniz Ülkesi Olan Türkiye’de Konut Binaları İçin Belirlenmesine Yönelik Uygulama Örneği” [53] isimli makale çalışması kapsamında, konut binalarında enerji performansı iyileştirmeleri yoluyla yaklaşık sıfır enerji binalara ulaşma hedeflerine yönelik olarak bir referans bina üzerinden yapılan örnek hesaplamalar sunulmuştur. Seçilen referans bina mevcut bir apartman binası olup, toplu konut grubu içerisinde yer almaktadır. Referans bina Türkiye’nin sıcak nemli ve ılıman iklim bölgesi için analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Enerji verimliliği tedbirleri, seçilen referans bina için analiz edilmiş ve her biri için potansiyel enerji tasarrufu ve ekonomik tasarruf hesaplanmıştır. Farklı tedbirler için elde edilen sonuçlar detaylı olarak

tartışılmıştır. Optimum maliyet düzeyini veya yaklaşık sıfır enerji düzeyini temsil edebilecek nitelikteki tedbirler vurgulanmıştır. Sonuçlar üzerinde etkili olan parametreler karşılaştırılmış ve Akdeniz ikliminde yaklaşık sıfır enerji bina seviyesine ulaşmada önemli rol oynayan faktörler değerlendirilmiştir.

Konstantinou tarafından 2017 yılında hazırlanan “Entegre, Prefabrik Bir Cephe Modülü Uygulayarak Konut Binaları İçin Sıfır Enerjili Bir Yenileme Çözümü” [54] isimli makale kapsamında, yazar, mevcut yapıların enerji performansını sıfır enerjiye kadar iyileştirme imkânı veren prefabrik ve entegre bir cephe modülü sunmaktadır. Ayrıca çalışma kapsamında, bu dönüşüm finansal açıdan da değerlendirilmektedir. Önerilen yaklaşımda yazar, yüksek enerji tasarrufu sağlayan ve karmaşık bir entegre yenileme sorununu ele alan kurulum hızı yüksek uygulanabilir bir çözüm elde etmeyi amaçlamaktadır.

Mytafides tarafından 2017 yılında hazırlanmış olan "Akdeniz İkliminde Bir Üniversite Binasının Sıfır Enerjili Bina Haline Dönüştürülmesi" [55] isimli makale çalışmasında Akdeniz ikliminde önemli enerji tüketimine sahip bir üniversite binasının enerji tasarrufu yöntemlerini incelemek ve değerlendirmek amaçlanmıştır. Ayrıca, Bina Bilgi Modellemesi (BIM) ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yazılımları kullanılarak, arzu edilen iç mekân termal konfor koşulları doğrultusunda enerji tüketimini en aza indirmek için pasif ısıtma ve soğutma tekniklerinin katkısını değerlendiren çalışmalar yapılmıştır.

Ferrari ve Beccali tarafından 2017 yılında hazırlanmış olan "Bir Kamu Binasının Neredeyse Sıfır Enerjili Bina Hedefine Yönelik Yenileme Stratejilerinin Enerji-Çevresel ve Maliyet Değerlendirmesi" [56] isimli makale çalışmasının amacı, kamu üçüncül stoğundaki binaları temsil eden bir binanın enerji yenilemesini değerlendirerek, enerji performansını neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB) gereksinimlerine uygun şekilde iyileştirmektir. Bina, Politecnico di Milano Üniversitesi (İtalya) kampüsünde yer almaktadır. Bina kabuğu ve tesisatlar ile ilgili çeşitli varsayımsal iyileştirmeler, enerji tasarrufu, maliyetler ve sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, yenileme için piyasada mevcut ve kanıtlanmış teknolojik çözümler benimsenerek birincil enerji talebinin ve ilgili emisyonların mevcut değerlerden %40 oranında azaltılabileceğini göstermektedir.

Ferrara tarafından 2018 yılında hazırlanmış olan "Neredeyse Sıfır Enerjili Binaların Tasarımı ve Optimizasyonu İçin Maliyet-Optimum Analizi: Eleştirel Bir İnceleme" [57] isimli makale çalışması, EPBD revize direktifinin yürürlüğe girmesinden bu yana Avrupa'daki maliyet-optimum analiz uygulamaları temelinde yapılan bilimsel çalışmalar üzerine kapsamlı ve önemli bir inceleme sunmaktadır. Çalışmaların dayandığı varsayımlar ve ortaya çıkan maliyet-optimum performans ile sıfır enerji hedefi arasındaki boşluklar hakkında eleştirel bir tartışma sunulmuş, ayrıca farklı bağlamlarda maliyet-optimum NSEB tasarımı için kullanılacak teknolojilerin maliyet-optimum seti özetlenmiştir. Maliyet-optimum yaklaşımının, Avrupa genelinde NSEB tasarımının geleceğini belirlemek için etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir; aynı zamanda ortaya çıkan kritik sorunlar ve açık araştırma konuları da sunulmuştur.

Mihiel tarafından 2018 yılında hazırlanan “Akdeniz İkliminde Yeni NSEB Tasarım Yöntemlerini Destekleyen Araç ve Teknikler” [58] isimli makale kapsamında, Akdeniz ikliminin hâkim olduğu İtalya’daki Benevento şehri çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Burada pasif ve aktif sistemleri beraber kullanarak, yapılacak yeni yapılar için net sıfır enerjili bina standardında bir tasarım yöntemi geliştirmek amaçlanmıştır. Yazar, binanın şekli, kütlesi, yapı kabuğu tasarımı, malzeme seçimi gibi belirlemelerde bulunarak, öncelikle yapının termal yükünün hafifletilmesi, doğal havalandırma, gölgeleme ve doğal aydınlatma vb. ile yapının enerji ihtiyacını azaltmayı, sonrasında ise aktif sistemler kullanılarak sıfır enerjili bina standardına ulaşabilmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda yazar; bir tasarım önerisi oluşturarak, Smart Case adlı programda enerji analizlerini gerçekleştirmiş ve yapıya entegre ettiği aktif sistemlerle net sıfır enerjili bir yapı elde etmiştir.

Moazzen tarafından 2021 yılında hazırlanmış olan "Okul Binalarında Yaşam Döngüsü Enerjisi ve Termal Konforu Göz Önünde Bulundurarak Neredeyse Sıfır Enerji ve Maliyet Optimum Seviyelerin Tanımı İçin Kapsamlı Parametreler" [59] isimli makale çalışmasının ana hedefi, okul binalarında farklı iklimlerdeki çeşitli bina kabuğu alternatiflerine bağlı enerji kullanımı ve çevresel etkiyi incelemektir. Bu bağlamda, Türkiye'nin üç farklı iklim bölgesinde bulunan bir okul binası referans bina olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonucunda okul binaları özelinde belirlenen iklim bölgeleri için maliyet-optimum ve neredeyse sıfır enerji seviyeleri tanımlanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2.3. Net Sıfır Enerjili Binalara (NSEB) Dair Genel Bilgiler

Bölüm kapsamında ilk aşamada NSEB'lere yönelik yapılmış olan farklı NSEB tanımlarına değinilmiştir. İkinci aşamada ise NSEB tasarım özellikleri anlatılmıştır.

2.3.1. NSEB tanımı

Yapılan literatür taraması sonucunda NSEB'ler için farklı tanımlar yapıldığı görülmüştür. Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından tanımlanan NSEB'ler, net sıfır saha enerjisi, net sıfır kaynak enerjisi, net sıfır enerji emisyonları ve net sıfır enerji maliyeti [17] olmak üzere dört ana tanımdan oluşur. Bu tanımların açıklaması aşağıdaki gibidir:

- Net Sıfır Kaynaklı Enerji- Enerjinin kaynağından üretilmesi ve binaya iletimi de dahil olacak şekilde binanın en az bir yılda kullandığı kadar enerji üretmesidir.
- Net Sıfır Enerji Maliyetleri- Enerji tedarik firmasından bina sahibine, binanın şebekeye ihraç ettiği yenilenebilir enerji için ödediği para miktarı, en azından mal sahibinin yıl boyunca kullanılan enerji hizmetleri ve enerji için hizmete ödediği miktara eşit olmasıdır.
- Net Sıfır Bölge Enerjisi- Binanın en az bir yılda kullandığı kadar enerji üretebilmesini ifade etmektedir.
- Net Sıfır Emisyonlar- Net sıfır emisyonlu bir bina, emisyon üreten enerji kaynaklarından kullandığı kadar emisyonsuz yenilenebilir enerji üretmesidir.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), NSEB'leri fosil yakıtları kullanmayan, bunun yerine enerji ihtiyacının tamamının güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından alan binalar olarak tanımlamaktadır [18].

California Enerji Komisyonu (CEC), net sıfır enerjili binayı; bir binanın azami gereksinimlerini azaltmak için son derece enerji verimli binayı, son teknoloji ürünü cihazları ve aydınlatma sistemlerini ve yüksek performanslı pencereleri birleştirerek kalan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yerinde güneş enerjili su ısıtma sistemleri ve fotovoltaikler gibi yenilenebilir enerji sistemlerini kullanarak, şebekeden enerji çeken ve fazla enerjiyi şebekeye besleyen şebekeye bağlı bir bina olarak tanımlamaktadır [19].

2009 yılında Massachusetts Net Sıfır Enerjili Binalar Görev Gücü, bir NSEB'i optimum düzeyde verimli olan ve bir yıl boyunca, temiz yenilenebilir kaynaklar kullanarak, toplam

enerji miktarına eşit veya daha fazla miktarda yerinde enerji üreten bir bina olarak tanımlamaktadır [20].

Avrupa Parlamentosu üyeleri, enerji verimliliği yüksek olan bir binanın, toplam yıllık birincil enerji tüketiminin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji üretimine eşit veya daha az olduğu binaları net sıfır enerjili bina tanımı olarak kabul etmişlerdir [21]. Net sıfır enerjili bina; klasik binalara göre çok daha az enerji tüketen, bina dışı iklim ve çevre koşullarından etkileşimi minimum düzeye indirilmiş, ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş, rüzgâr, ısı pompası) sağlayan, ulusal enerji dağıtım hatları ile alışveriş yapabilen, çevre dostu, sürdürülebilir ve aynı zamanda sıfır CO2 emisyonu hedefleyen binalardır. Net Sıfır Enerjili Binaları oluşturan özellikler sıralandığında; bina minimum enerji tüketecek ve güneş ışığından daha fazla faydalanacak şekilde uygun yönlerde yerleştirilmeli, enerji verimli pencereler kullanılmalı, ısı yalıtımı yapılarak bina kabuğundan kaynaklanan ısı kayıpları minimize edilmeli, sıcak su için güneş kollektörleri, elektrik enerjisi için fotovoltaik paneller veya rüzgâr türbinleri kullanılmalı, ısı pompası ve ısıl depolama sistemleri kullanılmalı, güneş enerjisi veya atık ısı destekli absorbsiyonlu sistemlerle daha az elektrik tüketen soğutma sistemleri kullanılmalı, mekânik havalandırma ihtiyacı için ısı geri kazanım sistemleri tesis edilmeli, bina ile ulusal elektrik dağıtım hatları arasında alışveriş yapılmasını sağlayacak sistem entegre edilmelidir.

2.3.2. NSEB tasarım özellikleri

Binaların NSEB standardına ulaşabilmesinde birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Aelenei vd. [22], NSEB'lerin tasarlanması için standart bir yaklaşım olmadığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Gandhi vd. [23], NSEB'lerin yaygın hale getirilmesi için mimarların ve mühendislerin özel tasarım yönerge ve stratejilerine sahip olmalarının gerekli olduğunu vurgulamışlardır. Yuehong vd. [14] ise NSEB'lerin tasarımında birkaç ortak tasarım öğesi bulunduğunu belirtmişlerdir.

Aelenei vd. [25] ve Yuehong vd. [24] göre, NSEB'lerin tasarımında uygulanabilecek tasarım yaklaşımlarının üç ana adımı bulunmaktadır. İlk tasarım yaklaşımı, enerji talebini azaltmayı amaçlayan pasif yaklaşımlardır. İkinci tasarım yaklaşımı, enerji verimliliği sisteminin kullanımıdır. Üçüncü tasarım yaklaşımı ise, yenilenebilir enerji üretmek ve

enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamaktır. Bu üç tasarım yaklaşımı ile binaların NSEB standardına ulaşmada başarılı olabileceği belirtilmektedir.

NSEB tasarımında pasif yaklaşımlar, en önemli etkenlerden biridir. Bu yaklaşım, binaların mekanik ve elektrik sistemleri için enerji ihtiyaçlarını doğrudan, yenilenebilir enerji üretimini ise dolaylı olarak etkilemektedir [22]. Benzer şekilde, Alessandra vd. [26], pasif yaklaşımın NSEB tasarımında önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Hootman [27] ise, bir binanın enerji tüketiminin iyileştirilmesinin pasif tasarım stratejileri ile sağlanabileceğini, dolayısıyla bir binanın yüksek çevresel kaliteye ulaşmasının bu şekilde mümkün olabileceğini belirtmektedir.

Bir binada pasif tasarım stratejilerinin kontrol edilmesi binanın enerji performansını etkilemektedir [23,28]. Thalfeldt vd. [29] göre, NSEB'ler tasarlanırken, yapı kabuğu bileşenlerinin ısıtma, soğutma ve aydınlatma üzerinde güçlü bir etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle, bir binada aşırı ısınmayı önlemek için pasif ısıtma çözümlerinin pasif soğutma çözümleriyle birlikte çalışması gerekmektedir [22].

Pasif yaklaşımlar, NSEB'leri tasarlarken binalardaki enerji ihtiyacının azaltılmasını sağlamaktadır. Bina yönlenmesi, gölgeleme cihazları kullanımı, doğal havalandırma, ısı yalıtımı gibi pasif yaklaşımların dikkate alınmasının NSEB standardına ulaşmada oldukça önemli olduğunu göstermektedir.

Enerji verimliliği, bir işlevi yerine getirirken enerji tüketiminin azaltılma düzeyini gösteren bir parametre olarak önemli bir role sahiptir [30]. Bunun yanı sıra, NSEB'lere giden yolda, enerji verimliliği önlemleri aracılığıyla enerji talebini azaldığının farkına varmak önemlidir [31]. Genel olarak, enerji verimliliği, infiltrasyonu önlemek için hava sızdırmazlığı ve klima ve iç mekân hava kalitesini sağlamak için ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemleri dahil olmak üzere çeşitli tasarım stratejileriyle iyileştirilebilir [32]. Bununla birlikte, bir binada enerji verimliliğinin iyileştirilmesi için yüksek verimli teknolojilerin seçimi de çok önemlidir. Örneğin, düşük güçlü aydınlatma, sıcak su bağlantılı çamaşır ve bulaşık makineleri gibi enerji verimli elektrikli ekipmanların kullanılması, eşit bir enerji dengesi planlamasına yönelik stratejilerdir [33]. Ayrıca, birçok araştırmacıya göre, bir binada farklı enerji verimliliği önlemleri uygulanarak, enerji tasarrufu çeşitliliğinin elde edilebilmesi mümkün olmaktadır.

Fotovoltaik paneller ve güneş kollektörleri gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin gerekliliği NSEB'ler için hayati önem taşımaktadır. NSEB'lerin tasarlanması, yalnızca pasif tasarım yöntemleriyle binanın enerji tüketiminin azaltılması veya binalarda enerji verimli sistemin uygulanmasıyla değil, aynı zamanda NSEB'ler, aktif enerji üretim teknikleri ile yenilenebilir teknolojiler arasındaki enerji gereksinimlerini dengeleyerek tasarlanmalıdır [35]. Tia vd. [36], yenilenebilir enerjinin akıllı bir şebeke sistemine entegrasyonunu incelemiş ve yenilenebilir enerji sisteminin, temiz bir enerji kaynağı sağlayabildiğinden, enerji üretmek için eşsiz seçeneklerden biri olduğu sonucuna varmıştır. Ancak, kapsamlı ve ticari olarak kullanılabilmesini sağlamak için sistemin tasarımı, boyutlandırılması ve enerji üretimi için maliyet açısından uygunluğu gibi bazı konuların ele alınması gerektiğini öne sürmüşlerdir.

Özetle, yapılar için NSEB konseptinin eyleme dönüştürülmesini desteklemek için odaklanılması gereken üç kilit tasarım yaklaşımı bulunmaktadır; bunlar, pasif tasarım stratejileri, enerji verimliliği sistemi uygulaması ve yenilenebilir enerji sistemi. Bu tasarım yaklaşımları, yapılarda enerji taleplerinin azaltılmasında ve temiz enerji kaynaklarının üretilmesinde çok önemlidir.

2.4. Net Sıfır Enerjili Bina Tasarımında Kullanılan Sistemler

NSEB tasarımında kullanılan sistemler dört ana başlık altında detaylandırılmıştır. Bunlar; pasif tasarım kriterleri, pasif sistemler, aktif sistemler ve enerji üretim sistemleridir. Her bir başlık altında verilen sistemin veya kriterin, çalışma prensibi, iklim bölgelerine göre kullanım durumu ve kullanım yöntemi belirtilerek anlatılmıştır.

2.4.1. Pasif tasarım kriterleri

Erken tasarım aşamasında alınan tasarım kararları, kullanım aşamasında ise kullanıcıların yaşama alışkanlıkları binanın enerji performansına direkt etki etmektedir. Bu bağlamda, tasarım aşamasında binanın enerji ihtiyacını azaltacak, enerji kazancını artıracak tasarım kararlarının alınması gerekmektedir. Kullanıcılarda ise enerjinin verimli kullanılmasına dair bilinçlendirme yapılmalıdır.

Binalarda iklimsel konfor koşullarının enerji verimli olacak şekilde sağlanabilmesi için iklimsel ve coğrafi veriler dikkate alınarak ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin minimum seviyede tutulması gerekmektedir. Bu kapsamda, tasarımcının yapılı çevreyi pasif iklimlendirme sistemi olarak kurgulaması gerekmektedir. Yapılı çevreye dair tasarım kriterleri şunlardır;

- Binanın konumu
- Binanın yönlenmesi
- Bina formu
- Bina aralıkları
- Bina kabuğunun tanımlanması
- Doğal havalandırma, aydınlatma ve güneş kontrol sistemleri
- Mekân organizasyonu [60]

Binanın konumu

Binaların konumlandırılmasında bölgenin iklim verileri dikkate alınarak, binanın güneşten ve rüzgârdan korunma ya da faydalanma ihtiyacı tespit edilmelidir. Doğru konumlandırma ile binaların en az sıcak devrede oluşacak ısıtma yüklerinin ve en sıcak devrede oluşacak soğutma yüklerinin azaltılması sağlanmaktadır. Bu kapsamda Türkiye'de hâkim olan iklim bölgelerine göre optimum konumlanma ve eğim değerleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. İklim bölgelerine göre optimum bina konumları [60]

İklim bölgesi	Konum	Amaç	Eğim
Soğuk	Güney ve güneydoğuya bakan yamaçların rüzgârdan korunmuş vadi tabanına yakın alt kısımları	Güneş ışınımından yararlanmak, rüzgârdan korunmak	Eğimli (en fazla 22°)
Ilıman-kuru	Güney ve güneydoğuya bakan yamaçların rüzgârdan korunan alt kısımları	Rüzgâr etkisini azaltmak	Eğimli (en fazla 22°)
Ilıman-nemli	Güneydoğuya bakan yamaçların serin rüzgâr alabilecek üst kısımları	Nemden korunmak	Eğimli (en fazla 22°)
Sıcak-kuru	Doğu veya güneydoğuya bakan yamaçların serin rüzgâr alan vadi tabanları (çukurlar)	Rüzgârdan korunmak ve güneş ışınımının etkisini azaltmak	Düz (0- 6°)
Sıcak-nemli	Güneye bakan yamaçların serin rüzgâr alan yüksek kısımları (tepeler) veya kuzey yön	Rüzgârdan yararlanmak, nemden korunmak	Düz (0- 6°)

Binanın yönlenmesi

Güneş ışınlarından ve rüzgârdan faydalanma ya da korunmada binanın yönlenmesi en önemli kriterlerden biridir. Doğru yönlenme sayesinde iklimin olumsuz etkileri minimize edilerek konfor koşulları enerji etkin bir şekilde sağlanmaktadır. Bu kapsamda binaların, en sıcak devrede güneşin ısıtıcı etkisinden korunurken, rüzgârın serinletici etkisinden yararlanması; en az sıcak devrede ise güneşin ısıtıcı etkisinden faydalanırken, rüzgârın serinletici etkisinden korunması gerekmektedir.

Isıtma yükü fazla olan iklim bölgelerinde binanın geniş yüzeyinin güneye yönlenmesi güneşin ısıtıcı etkisinden daha fazla faydalanmayı sağlamaktadır. Soğutma yükü fazla olan iklim bölgelerinde ise rüzgârın serinletici etkisinden daha fazla faydalanmak için geniş yüzey hâkim rüzgâr yönünde konumlandırılmalıdır. Bu kapsamda, iklim bölgelerine göre optimum çözümü oluşturan koşullar Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. İklim bölgelerine göre optimum yönlenme çözümleri [60]

İklim bölgesi	Bina yönlenmesi				
	Optimum güneş yönlenmesi	İyi yönlenme aralıkları	Geçerli yönlenme aralıkları	Güneşe göre yerleşim doğrultusu	Rüzgârdan korunma/ yararlanma
Soğuk	Geniş Yüzey, güney- güneyden 22° güneydoğu	20° güneybatı ile 45° güneydoğu	31° güneybatı ile 86° güneydoğu	Doğu- batı aksı	Rüzgâra kapalı, kuzeydoğu-güneybatı aksında
Ilıman-kuru	Geniş Yüzey, güney- güneyden 27° güneydoğu	10° güneybatı ile 56° güneydoğu	14° güneybatı ile 83° güneydoğu	Doğu- batı aksı	Rüzgâra geniş açıklık vermeyen
Ilıman-nemli	Geniş Yüzey, güney- güneyden 10° güneydoğu	13° güneybatı ile 35° güneydoğu	23° güneybatı ile 49° güneydoğu	Doğu- batı aksı	Rüzgâra geniş yüzey veren
Sıcak-kuru	Geniş Yüzey, güney- güneyden 18° güneydoğu	0° güneybatı ile 40° güneydoğu	8° güneybatı ile 50° güneydoğu	Güneybatı-kuzeydoğu aksı	Rüzgâra geniş yüzey veren
Sıcak-nemli	Geniş Yüzey, güney- güneyden 3° güneydoğu veya kuzey yön	10° güneybatı ile 40° güneydoğu	19° güneybatı ile 30° güneydoğu	Doğu- batı aksı	Rüzgâra açık, zeminden yükseltilmiş

Bina formu

Bina formu, geometrik biçimlenme, bina derinliği/ cephe uzunluğu oran (biçim faktörü), hacim yüzey alanı ilişkisi ve yapı nizamına bağlı olarak, ısı kayıp ve kazançlarında etkili olmaktadır [60]. Binaların biçimlenmesinde ısıtma yükü yüksek olan iklim bölgelerinde yüzey alanını azaltarak ısı kayıplarını en aza indirmek için kareye yakın kompakt formlar tercih edilmelidir. Aynı şekilde yüzey alanını azaltmak amaçlı yapı nizamı olarak bitişik nizam veya sıra ev tercih edilmelidir. Soğutma yükü yüksek olan iklim bölgelerinde ise rüzgârı bina içine alacak şekilde geniş yüzey alanlı serbest formda tasarımlar yapılarak hem binanın serinletilmesi hem de nemin yüksek olduğu iklim bölgelerinde nemliliğin azaltılması sağlanmalıdır. Yapı nizamı olarak yüzey alanını artırmak amacıyla ayrık nizam tercih edilmesi optimum çözüm sunmaktadır. Bu kapsamda, iklim bölgelerine göre optimum çözümü oluşturan bina formu özellikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

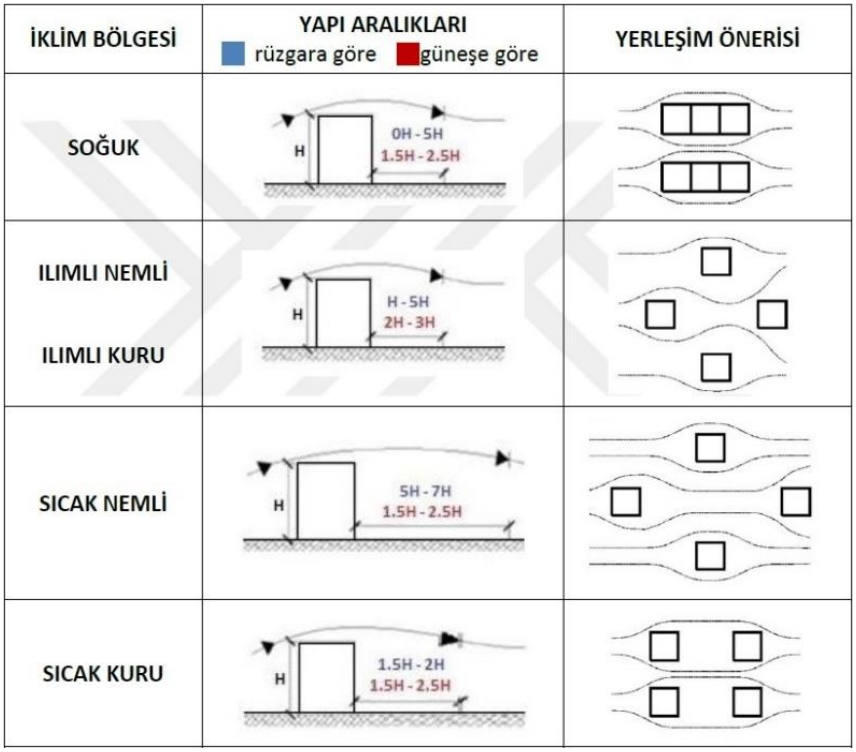
Çizelge 2.3. İklim bölgelerine göre bina form özellikleri [63]

İklim bölgesi	Bina formu			
	Yapı nizamı	Biçimlenme		
		Form	Biçim faktörü (bina derinliği/ cephe uzunluğu)	
			Optimum oran	En fazla oran
Soğuk	Bitişik nizam veya sıra ev	Kompakt	1/1,1	1/1,3
Ilıman- kuru	Bitişik nizam veya sıra ev	Kompakt	1/1,1	1/1,3
Ilıman- nemli	Ayrık nizam	Serbest	1/1,6	1/2,4
Sıcak- kuru	Bitişik nizam, sıra ev veya avlulu yapı grubu	Kompakt, avlulu	1/1,3	1/1,6
Sıcak- nemli	Ayrık nizam	Serbest, zeminden yükseltilmiş	1/1,7	1/3

Bina aralıkları

Binalar, çevrelerinde bulunan yapılarla aralarındaki mesafe, yapı yükseklikleri ve konumlanmalarına göre birbirlerinin güneşten ve rüzgârdan faydalanmalarına veya korunmalarına engel olabilmektedir. Bu kapsamda binaların enerji performanslarını artırmak amacıyla birbirlerine göre konumları belirlenirken iklimsel verilerin dikkate

alınması gerekmektedir. Bu kapsamda ısıtma yükü yüksek olan iklim bölgelerinde güneş ışınlarının komşu binaların birbirlerine gölge atmayacak şekilde konumlandırılarak herhangi bir engelle karşılaşmadan binaya ulaşması ısı kazancı açısından oldukça önemlidir. Soğutma yükü yüksek olan iklim bölgelerinde ise binalar hâkim rüzgârı bina içine alacak ve birbirlerine gölge atacak şekilde konumlandırılarak, soğutma için harcanacak enerji miktarının azaltılması sağlanmalıdır. Ayrıca, yerleşimin bu şekilde yapılması nemli iklim bölgelerinde nemin azaltılmasını da sağlamaktadır [63].



Şekil 2.13. İklim bölgeleri kapsamında rüzgâr ve güneşe göre binalar arası uzaklıklar ve yerleşim önerileri [64]

Bina kabuğu

İç mekân konfor koşullarının sağlanması kapsamında değişken dış iklim koşulları ile sabit iç iklim koşulları arasında filtre görevi gören bina kabuğu ısı kayıp ve kazançlarının belirlenmesinde en yüksek etkinliğe sahip tasarım öğesidir. Bu kapsamda özellikle en büyük yüzey alanını oluşturan cephe yüzeylerinin opak ve saydam yüzeyleri ile çatı bileşeninin tasarım kararları son derece önemlidir. Binalarda konfor koşullarının sağlanmasında ihtiyaç duyulan enerjinin en aza indirilmesi için, bina kabuğu bileşenlerinin bulunduğu iklim bölgesi özelliklerine göre seçilmesiyle mümkün olacaktır.

Bina kabuğunun opak ve saydam bileşenlerinin optik ve termofiziksel özellikleri, bina kabuğunun yüzey alanı ve yüzeylerdeki opaklık/ saydamlık oranı dış ortamdan güneş ışınımı ve rüzgâr etkisiyle kazanılan veya kaybedilen ısı miktarının belirlenmesini sağlamaktadır. Bu kapsamda bina kabuğunun opak ve saydam bileşenlerin yutuculuk (a), yansıtıcılık (r) ve ısı geçirme (U) katsayıları, saydam bileşenlerin geçirgenlik katsayısı (τ), opak bileşenlerin genlik küçültme faktörü (φ) ve zaman geciktirmesi (h) değerleri ve bina kabuğundaki opaklık/ saydamlık oranı enerji performansının belirlenmesinde en önemli parametreler olmaktadır.

Bina kabuğunun dış yüzeyine ulaşan güneş ışınımları, kabuğun yansıtıcılık, yutuculuk ve geçirgenlik katsayılarına bağlı olarak ısı enerjisine dönüşmektedir. Yansıtıcılık, yutuculuk ve geçirgenlik katsayıları, kabuk tarafından yansıtılan, yutulan ve geçirilen güneş ışınım miktarının kabuğa ulaşan güneş ışınımına oranıdır [65]. Yansıtıcılık, yutuculuk ve geçirgenlik değerleri yüzeyin dokusuna ve rengine, gelen ışının dalga boyu ve geliş açısına göre değişmektedir.

Isı geçirme katsayısı, yapı elemanından geçen ısı miktarını ifade eden kabuğun termofiziksel özelliklerinden biridir. Isı geçirme katsayısının düşük olması malzemenin yalıtkanlık özelliğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Genlik küçültme faktörü, kabuk elemanının iç ve dış yüzeyindeki sıcaklık değişim genliklerinin oranını ifade etmektedir. Zaman geciktirmesi ise, kabuk elemanının depoladığı ısı enerjisinin iç mekâna taşıdığı süreyi ifade etmektedir [65].

Opaklık/ saydamlık oranı, yapı kabuğundaki saydam yüzey alanının toplam bina kabuğu alanına oranıdır. Bu oran kabuktaki ısı geçiş miktarına, doğal aydınlatma ve havalandırma performansına etki etmektedir. Bu kapsamda iklim bölgesi özelliklerine ve cephelerin güneşlenme durumlarına göre saydamlık oranı düzenlenerek istenmeyen ısı kayıp ve kazançları engellenmelidir.

İç mekân konfor koşullarının sağlanması amacıyla iklim bölgelerine uygun optik ve termofiziksel özelliklere sahip bina kabuğu tasarımları oluşturulmalıdır. Bu kapsamda iklim bölgelerine göre bina kabuğundaki opak bileşenlerin optimum zaman geciktirme süreleri ve yönleri ile renk seçimi, saydam bileşenlerde önerilen cam ve çerçeve türleri

Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Soğuk iklim bölgesi için opak bileşenlerde optimum zaman geciktirme süresi ve yönü ile renk seçimi, saydam bileşenler için öneri çerçeve ve cam türleri [60,66]

İklim Bölgesi	Opak			Saydam	
	Malzeme Seçimi	Zaman Geciktirme Süresi ve Yönü	Renk	Öneri Çerçeve	Öneri Cam
Soğuk	Isı depolama kapasitesi yüksek	Batı duvarında, 6 saat	Güneş alan yüzeylerde orta, almayan yüzeylerde koyu renkler	PVC ve ahşap	2 veya 3 katmanlı cam. Çift katmanlı cam için; dışta seçici geçirgen, içte düz cam veya dışta düz cam, içte low-e cam. Üç katmanlı cam için; dışta seçici geçirgen içte iki tabaka low-e cam.
Ilıman-kuru	Isı depolama kapasitesi yüksek	Batı duvarında, 6 saat	Duvar yüzeylerine orta tonlu, çatı yüzeylerinde açık renkler	PVC ve ahşap	Çift katmanlı cam (arası iki tabaka ısı aynalı). Dışta seçici geçirgen, içte düz cam. Isı kazanımı ve güneş kontrolü için dışta düz, içte low-e cam
Ilıman-nemli	Isı depolama kapasitesi yüksek	Batı duvarında, 6 saat	Duvar yüzeylerine orta tonlu, çatı yüzeylerinde açık renkler	Serbest	Tek veya çift katmanlı cam. Tek katmanlı cam için; seçici geçirgen kaplamalı veya low-e cam; çift katmanlı cam için; dışta seçici geçirgen, içte düz cam veya dışta düz cam içte low-e cam
Sıcak-kuru	Isı depolama kapasitesi yüksek	Doğu duvarında 0, diğer yönlerde 10 saat	Işınım etkisinden yararlanılacak yüzeyler koyu, diğer yüzeylerde açık renkler	PVC ve ahşap	Çift katmanlı cam. Dışta seçici geçirgen, içte düz cam veya dışta düz, içte low-e cam
Sıcak-nemli	Isı depolama kapasitesi düşük	İstenmez	Tüm yüzeylerde açık renkler	PVC ve ahşap	Isı geçişini azaltmak için çift katmanlı cam. Dışta güneş kontrolü amaçlı mat- yeşil renkli ısı aynalı cam, içte düz cam

Bina kabuğunun bir diğer bileşeni de çatılardır. Doğru katmanlaşma ile çatılar, binanın ısıtılması, soğutulması ve havalandırılmasına katkı sağlayabilmekte veya tampon bölge olarak da kullanılabilmektedir. Çatılar, biçimlenmelerine (eğimli- düz) ve yalıtımın kullanıldığı yere (sıcak- soğuk çatı) göre binanın ısıtılmasına ve soğutulmasına olanak sağlamakta veya tampon bölge olarak kullanılabilmektedir.

Soğuk ve ılıman-kuru iklim bölgelerinde eğimli çatılar, ılıman-nemli iklim bölgelerinde eğimli veya düz çatılar, sıcak-nemli ve sıcak-kuru iklim bölgelerinde ise düz veya eğimli ve gölgelendirilmiş çatılar tercih edilmelidir. Sistem seçimi açısından:

- Tek yüzeyli çatılar (sıcak çatı) soğuk iklim bölgelerinde uygundur.
- Çift yüzeyli çatılar (soğuk çatı) sıcak-nemli ve sıcak-kuru iklimler için idealdir.
- Ilıman-kuru ve ılıman-nemli bölgelerde ise her iki çatı tipi de kullanılabilir [62].

Çift yüzeyli (katmanlı) çatılar sıcak iklim bölgelerinde enerji verimliliği açısından avantajlıdır. Bu tasarımda:

- Dış çatı katmanı, güneş ışınımını engeller ve yalıtımlıdır.
- İki yüzey arasındaki hava boşluğu, havalandırılarak soğutulur ve iç çatıdaki ısı dengesi korunur.
- Soğuk hava girişi, saçak seviyesinde; sıcak hava çıkışı, mahya hizasında bırakılmalıdır.

Ayrıca, iki çatı katmanı arasındaki hava boşluğu, ısı geçişlerini engelleyen tampon bir bölge oluşturur ve bu da hem soğutma hem de ısıtma verimliliğini artırır.

Yalıtım

Binalarda ısı yalıtımı, dış ortam ile iç mekân arasındaki ısı transferini en aza indirgemek ve iç mekân konfor koşullarını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Isı yalıtımı, binanın duvar, döşeme ve çatı elemanlarında genellikle lifli (taşyünü, camyünü) ve köpük (XPS, EPS) malzemeler kullanılarak yapılmaktadır. Isı yalıtım uygulaması binanın hem kabuk elemanlarının ısı değişimlerinden etkilenerek yıpranmasını engellemekte hem de ısı kayıplarının azaltılarak ısı korunumunun yüksek oranda olmasını sağlamaktadır.

Binalarda enerji tüketiminin büyük bir bölümü ısıtma ve soğutma için kullanılmaktadır. Enerji tüketiminin azaltılabilmesi için ısı yalıtımı uygulamaları oldukça önemlidir. Bu kapsamda Türkiye'de TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardı çıkarılmış ve yeni yapım binalarda iklim bölgelerine göre belirtilen ısı geçirme katsayısını (U) sağlayacak şekilde ısı yalıtımı uygulaması yapılması zorunlu tutulmuştur. Binalarda ısı yalıtımı uygulamaları konumlandırıldıkları yerlere göre duvarlarda; dış yüzeye, iç yüzeye ve çift duvar arasına (sandviç duvar), döşemelerde; döşeme üstüne, çatılarda ise; döşeme üstüne

ve kiriş arasına olacak şekilde sınıflandırılmaktadır.

Isı yalıtımı uygulamasının duvarlarda dış yüzeye yapılması, ısı köprülerini tamamen ortadan kaldırması, kabuk bileşenlerinin ısı depolama kapasitesinin kullanılabilmesi ve dış ortam etkilerinden korunması sebebiyle en uygun ve en yüksek performans gösteren uygulama biçimidir. Isı yalıtımının iç yüzeye yapılması durumunda, iç mekândaki kullanım alanı küçülmekte, kabuk bileşenleri dış ortam etkilerine maruz kalarak kullanım ömrü kısalmaktadır. Ayrıca yalıtımın iç yüzeye yapılması kabuk bileşenlerinin ısı depolama özelliğini kısıtlamakta, ancak iç mekânın ısınma- soğuma süresini kısaltmaktadır. İç yüzeye yalıtım uygulamalarında ısı köprülerine ve yoğuşmaya karşı önlemler alınması gerekmektedir. Bir diğer ısı yalıtımı uygulama biçimi ise çift duvar arası (sandviç duvar) yalıtım yapılmasıdır. Bitişik nizam ve blok nizam (sıra ev) imar uygulamalarında yan bina ile bitişik olan duvarlarda çift duvar arası yalıtım uygulaması yapılmaktadır.

Passivhaus ve net sıfır enerji binalarında yalıtım uygulamaları genellikle geleneksel binalara göre çok daha kalındır. Passivhaus standartlarına göre yalıtımın kalınlığı, malzeme türü, iklim koşulları ve bina tasarımına bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 20 ila 40 cm arasında değişir [81]. Net sıfır enerji binalarında da Passivhaus standartlarında olduğu gibi tasarım, iklim ve malzeme faktörlerine bağlı olarak kalınlık değişir ve genellikle 20 ila 30 cm arasında olur. Soğuk iklim bölgelerinde ise yalıtım kalınlığı 40 cm'ye kadar ulaşabilir [82].

Doğal havalandırma, aydınlatma ve güneş kontrol sistemleri

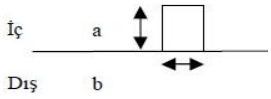
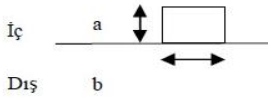
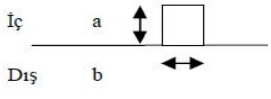
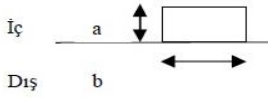
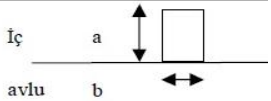
Binanın güneşin ısıtıcı ve rüzgârın serinletici etkisinden korunması veya yararlanması için doğal havalandırma ve güneş kontrol sistemleri oldukça etkilidir. Enerji etkin tasarımlarda binaların doğal yollarla ısıtılması, soğutulması ve aydınlatılması iç mekân konfor koşullarının enerji harcamaksızın sağlanması açısından önemlidir. İklim bölgesi özelliklerine göre mekânlardaki açıklıkların, doğal havalandırma, nem kontrolü ve serinletme için hâkim rüzgâr yönünde, ısıtma için güney- güneydoğu- güneybatı yönlerinde, aydınlatma için ise yön fark etmeksizin boyutlandırma ve katman özelliklerinin doğru tanımlanması enerji etkinliği bakımından oldukça önemlidir. Dolayısıyla tasarımcıların, inşaatın yapılacağı yere ait rüzgâr ve güneş ışınımı verilerini elde ederek

tasarımlarına yön vermeleri gerekmektedir. Özellikle aylık ve yıllık bazda; rüzgârın geliş yönleri, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi ve gün ışığı süreleri verileri dikkate alınarak, açıklıkların boyutlandırma, konumlandırma ve katmanlarının belirlenmesinde rüzgârdan ve güneş ışınlarından yararlanma ve korunmaya yönelik tasarım kararları alınmalıdır.

Bu kapsamda sıcak- nemli ve ılıman- nemli iklim bölgelerinde açıklıkların tasarımında rüzgârın serinletici etkisinden yararlanarak en sıcak devrede binanın hem nem kontrolü sağlanmalı hem de soğutma yükü azaltılmalıdır. Aynı şekilde en sıcak devrede güneş alan açıklıklarda güneş kırıcı, kepenk, jaluzi gibi güneş kontrol elemanları kullanılarak binanın aşırı ısınmasının engellenmesi sağlanmalıdır. Sıcak- kuru iklim bölgelerinde en az sıcak devrede rüzgârdan korunarak ve güneş ışınımından faydalanarak, en sıcak devrede ise güneş ışınlarından korunup rüzgârın serinletici etkisinden faydalanarak binanın ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması gerekmektedir. Soğuk ve ılıman- kuru iklim bölgelerinde ise açıklık tasarımlarının en az sıcak devrede rüzgârdan korunum önceliği dikkate alınarak yapılması gerekmektedir.

Mekân organizasyonu

Mekân organizasyonunun belirlenmesinde, binaların iklim koşullarından etkilenmelerinin azaltılması amacıyla ısı gereksinimi yakın olan mekânlarda zonlama yapılarak ilişkilendirilmeli, uygun cephede konumlandırılmalı ve genişliğin (derinlik=en), uzunluğa (boy) oranı olarak tanımlanan biçim faktörünün de iklim bölgesi verilerine göre belirlenmesi gerekmektedir. Türkiye iklim bölgeleri için optimum mekân boyutlandırması Şekil 2.14’te verilmiştir.

İklim bölgesi	Mekân derinliği	Biçimsel anlatım
Soğuk	Derinlik optimum, en-boy yakın, a >b	
Ilıman-nemli	Derinlik optimum, en-boy yakın, a< b	
Ilıman-kuru	Derinlik optimum, en-boy yakın, a >b	
Sıcak-nemli	Derinlik minimum, boy uzun, a< b	
Sıcak-kuru	Derinlik maksimum, en uzun, a >b	

Şekil 2.14. Türkiye iklim bölgeleri için optimum mekân boyutlandırması [60]

Binalarda kullanım yoğunluğu yüksek, bulunduğu yerin iklimsel özelliklerine göre ısıtma-soğutma ihtiyacı fazla olan yaşama mekânları ile kullanım yoğunluğu düşük, ısıtma-soğutma ihtiyacı az olan veya olmayan tampon mekânlar birbirlerinden ayrı düşünülerek zonlama yapılmalıdır. Oluşturulan her bir zon içindeki mekânlar yatay yerleşimde yan yana düşey yerleşimde ise üst üste getirilerek ısı bölgelemesi yapılmalıdır.

Bu kapsamda ısıtma yükü fazla olan soğuk ve ılıman- kuru iklim bölgelerinde yaşama mekânları güney cephede konumlandırılarak ısıtma gereksinimi yüksek olan mekânların güneş ışınımından faydalanarak ısıtılması sağlanmalıdır. Binaların güney cephelerinde yapılacak şeffaf malzemelerle kapatılmış balkon, kış bahçesi, güneş odası gibi ek mekânlar da ısı kazancını artırmaktadır. Tampon mekânlar ve sirkülasyon alanları ise kuzey cephede veya hâkim rüzgâr yönünde konumlandırılarak ısı korunumu sağlanmalıdır. Binalardaki bodrum katlar ve bina girişlerindeki rüzgârlıklar da tampon mekân görevi görerek ısı kayıplarının azaltılmasında etkin rol oynamaktadırlar. Soğutma yükü fazla olan sıcak-nemli ve ılıman- nemli iklim bölgelerinde yaşama mekanları kuzey veya doğu cephede; tampon mekânların ise batı cephede konumlandırılarak mekânların aşırı ısınması engellenmesi sağlanmaktadır. Ayrıca hâkim rüzgâr yönünde konumlandırılacak açıklıklar sayesinde havalandırma olanakları artırılarak nemin rahatsız edici etkisinin azaltılması sağlanmaktadır. Sıcak- kuru iklim bölgesinde ise gece ile gündüz arasındaki ısı farkının

yüksek olması sebebiyle yaşama mekanlarının avluya bakacak şekilde, tampon mekanların da avlu dış çeperinde konumlandırılması en uygun çözüm olmaktadır.

Bitki örtüsü

Binaların enerji etkinliğinin sağlanmasında bitki örtüsü seçimi de rüzgârdan ve güneş ışınlarından faydalanma veya korunmada önemli bir parametredir. İklim bölgelerine göre seçilecek bitki örtüsü binaların ısıtma ve soğutma için ihtiyaç duydukları enerji miktarını düşürerek enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Bu kapsamda kışın yapraklarını döken ağaçlar en sıcak devrede güneşin ısıtıcı etkisinden korunup en az sıcak devrede güneşin ısıtıcı etkisinden yararlanmayı sağlamaktadır. Kışın yapraklarını dökmeyen ağaçlar ise tüm sıcaklık devrelerinde binanın rüzgârdan korunması amaçlı kullanılmaktadır. Bitki örtüsü tasarımında bir diğer ağaç sınıflandırması ise alçak dallı ve yüksek gövdeli ağaçlardır. Alçak dallı ağaçlar özellikle rüzgârdan korunum amaçlı kullanılmaktadır. Yüksek gövdeli ağaçlar ise güneş kontrolü sağlarken rüzgârdan faydalanmaya olanak sağlamaktadır. Ayrıca bina cephelerinde asma yaprağı gibi sarılıcı bitkilerin kullanımı ısı yalıtımı görevi görerek en sıcak devrede güneş ışınlarını yansıtarak binanın aşırı ısınmasını engellemekte, en az sıcak devrede ise yapraklarını dökerek güneş ışınlarının ısıtıcı etkisinden faydalanmasını sağlamaktadır.

Soğuk iklim bölgesinde bitki örtüsü en az sıcak devrede soğuk rüzgârı engelleyecek ve güneş ışınımlarından faydalanacak şekilde olmalıdır. Bu kapsamda kuzey cephede kışın yaprak dökmeyen alçak dallı ağaçlar, doğu, batı ve güney cephelerde ise kışın yaprak döken alçak dallı ağaçların tercih edilmesi binanın enerji korunumu bakımından en uygun çözümü sunmaktadır.

Ilıman- kuru ve ılıman- nemli iklim bölgelerinde bitki örtüsü en sıcak devrede rüzgârın serinletici etkisinden faydalanacak, güneşin ısıtıcı etkisinden korunacak şekilde, en az sıcak devrede ise soğuk rüzgârı engelleyecek ve güneşin ısıtıcı etkisinden faydalanacak şekilde tasarlanmalıdır. Kuzey cephede kışın yaprak dökmeyen alçak dallı ağaçlar, doğu ve batı cephelerde kışın yaprak döken yüksek gövdeli ağaçlar ve güney cephede kışın yaprak döken alçak dallı ağaçlar tercih edilerek binanın farklı sıcaklık devrelerinde güneşten ve rüzgârdan yararlanması veya korunması sağlanmalıdır.

Sıcak- kuru ve sıcak- nemli iklim bölgelerinde bitki örtüsü en sıcak devrede rüzgârın serinletici etkisinden faydalanacak, güneşin ısıtıcı etkisinden korunacak şekilde, en az sıcak devrede ise ısı korunumu sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Kuzey, doğu ve batı cephede kışın yaprak dökmeyen yüksek gövdeli ağaçlar, güney cephede kışın yaprak döken alçak dallı ağaçlar tercih edilmelidir.

2.4.2. Pasif sistemler

Pasif sistemler ilave mekanik araç gereç kullanılmaksızın ve ilave bir enerji tüketimi söz konusu olmaksızın ısıl konforun sağlanmasında kullanılan sistemlerdir [67]. Pasif sistemler en az sıcak devrede ihtiyaç duyulan ısının yapı içine, yapı bileşenleriyle veya yapı bileşenlerine ilave edilen sistemlerle toplanması, depolanması ve dağıtılması, en sıcak devrede bina içi iklimsel konforun sağlanması için doğal hava dolaşımıyla, ışınım ve buharlaşma etkisiyle mekânın soğutulması sağlamaktadır. Pasif ısıtma- soğutma sistemleri doğrudan ve dolaylı ısıtma- soğutma olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [60].

Doğrudan ısıtma- soğutma

Doğrudan ısıtma yöntemlerinde, güneş ışınları saydam yüzeyler aracılığıyla mekâna girmekte ve burada opak duvarlar veya döşeme bileşenleri tarafından emilerek ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Yüksek ısı depolama kapasitesine sahip bu opak bileşenler, ısı enerjisi fazlasını depolayarak mekân içerisindeki aşırı sıcaklık dalgalanmalarını dengelemektedir. Mekânın sıcaklığı düştüğünde ise depolanan ısı, taşınım ve ışınım yoluyla tekrar ortama salınmaktadır.

Bu sistemin etkin bir şekilde çalışabilmesi için birkaç önemli faktör bulunmaktadır. Öncelikle, güneş ışınlarının mekâna girişini sağlayan saydam bileşenlerin doğru konumlandırılması gereklidir. Güney yönüne bakan ve iyi yalıtılmış bir ortam, maksimum enerji verimliliği için temel gerekliliklerdendir. Bu şekilde, güneş enerjisinden maksimum fayda sağlanırken mekânın termal konforu da korunmaktadır.

Güney penceresi: Binanın güney cephesine yerleştirilen penceredir. Bu pencereler, güneş ışığını maksimum düzeyde almaktadır. Güney penceresi, en az sıcak devrede güneş ışınımlarını iç mekâna ileterek mekânın ısıtılmasını sağlamaktadır. En sıcak devrede

mekânın aşırı ısınmasının engellenmesi için güneş kırıcı, jaluzi, kepenk gibi güneş kontrol elemanları kullanılmalı, ayrıca pencere boyutları belirlenirken yeterli doğal aydınlatma sağlanmalı ve ısı kayıplarının engellenmesine yönelik önlemler alınmalıdır. Güney penceresi, kolay uygulanabilir olması ve tüm iklim bölgelerinde yüksek verimli çalışabilmesi sebebiyle oldukça avantajlı bir pasif ısıtma yöntemidir.

Çatı penceresi: Çatı yüzeylerine farklı şekillerde monte edilebilen bir pencere türüdür. Bu pencereler ısı kazancı bakımından düşük verimlilik göstermeleri sebebiyle özellikle doğal aydınlatma ve havalandırma sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Çatı pencerelerinin açılabilen modelleri ile, en sıcak devrede, mekân içerisindeki ısınan havanın yükselip dışarı çıkmasını sağlarken alt kotta yer alan pencerelerden içeri serin ve temiz hava alınarak mekânın doğal yollarla serinletilmesi, nem dengesinin sağlanması ve havalandırılması sağlanmaktadır. Çatı pencerelerinin özellikle nemin yüksek olduğu ılıman- nemli ve sıcak- nemli iklim bölgelerinde daha yüksek verimle çalışmaktadır. Çatı pencerelerinde, malzeme seçiminde ve montaj uygulamasında sızdırmazlık prensibi dikkate alınarak yapılması gerekmektedir.

Dolaylı ısıtma- soğutma

Dolaylı ısıtma ve soğutma sistemleri, dış ortamdaki yüksek veya düşük ısının, binada bulunan ısı depolama kütleleri tarafından soğurularak iç mekâna verilmesi prensibiyle çalışmaktadır. Isı depolama kütleleri beton, dolu tuğla, taş gibi opak bileşenler olabileceği gibi içi çeşitli sıvılarla dolu bileşenler de olabilmektedir. Güneşten veya rüzgârdan elde edilen ısıtma ya da soğutma enerjisi bu malzemeler tarafından depolanarak iletim, taşınım ve ışınım yoluyla iç mekâna dolaylı olarak aktarılmaktadır. Sistemlerde fan benzeri mekanik destekler kullanılmamaktadır.

Güneş duvarı: Güneş duvarı, güneş ışınlarını doğrudan alan metal bir yüzey ve arkasına konumlandırılmış ısıl depolama kapasitesi yüksek bir duvarın yerleşiminden oluşmaktadır. Depolanan ısı enerjisi belirli bir zaman gecikmesiyle taşınım ve ışınım yoluyla iç mekâna aktarılmaktadır. Enerji verimliliği yüksek olan güneş duvarları, doğal aydınlatma ve havalandırmaya engel olması sistemin en önemli dezavantajı olmaktadır. Güneş duvarları tüm iklim bölgelerinde kullanıma uygundur.

Trombe duvar: Trombe duvar sisteminde, güneye yönlendirilmiş bir cam yüzeyin arkasına ısı depolama kapasitesi yüksek bir duvar yerleştirilmekte ve duvar üzerine konumlandırılmış menfezler ile depolanan ısı enerjisi iç mekâna aktarılmaktadır. Sistem, elde edilen ısı enerjisini hem anlık hem de zaman gecikmesi olacak şekilde iç mekâna verebilmektedir. Isıl kütlenin dış yüzeyinin koyu renge boyanması sistemin verimliliğini artırmaktadır. Sistemde cam ile duvar arasındaki hava boşluğu iç mekândan dış mekâna ısı geçişini engelleyerek tampon bölge görevi de görmektedir. Sistemin en büyük dezavantajı doğal aydınlatma ve havalandırmaya engel olmasıdır. Trombe duvarlar tüm iklim bölgelerinde kullanılabilmekte ancak, soğuk iklim bölgesinde diğer iklim bölgelerine göre daha düşük verimle çalışmaktadır.

Su duvarı: Su duvarı sisteminde, ısıl kütle olarak opak duvar yerine su veya diğer sıvılarla dolu kaplar kullanılarak iç mekâna sürekli ve hemen ısı iletimi sağlanmaktadır. Su duvarının güneş alan cam yüzeyine bakan tarafının koyu renge boyanması, güneş ışınlarının daha yüksek oranda soğurulmasını sağlayacağından dolayı sistemin verimliliği artmaktadır. Hareketli ısı yalıtım elemanları ile en sıcak devrede aşırı ısınmanın ve en az sıcak devrede oluşacak ısı kayıplarının engellenmesi sağlanmaktadır. Su duvarı, güneş duvarı ve trombe duvarda olduğu gibi doğal aydınlatma ve havalandırmaya engel olmaktadır. Sistem, tüm iklim bölgelerinde kullanılabilmektedir. Ancak en az sıcak devrede sıvı malzemenin donma riskinden dolayı soğuk ve ılıman- kuru iklim bölgelerinde kullanımı önerilmemektedir.

Güneş odası: Cephe ve çatısında cam kullanılması sayesinde güneş ışınlarının toplandığı güneş odaları ile binanın ısı toplama kapasitesinin artırılması amaçlanmaktadır. Güneş odaları, mekân olarak kullanılabilmekte ve tampon bölge görevi görerek rüzgâr etkisi ve taşınım yoluyla oluşacak ısı kayıplarını engellemektedir. Güneş odaları, doğru yönlenme, yalıtımlı cam kullanımı ve hareketli yalıtım araçları kullanımıyla birlikte tüm iklim bölgelerinde kullanıma uygun bir sistemdir.

Çatı havuzu: Çatı havuzu, ısıl kütle olarak içi su dolu havuz ya da plastik torbalardan oluşan sistemdir. Sistemin ısı kayıplarını ve aşırı ısınmayı engelleyebilmesi için hareketli yalıtım elemanları ile üzerinin örtülmesi gerekmektedir. Bu kapsamda en az sıcak devrede ısıtma için gündüz saatlerinde sistemin üzeri açılarak ısı enerjisinin suda toplanması sağlanır. Gece saatlerinde ise sistemin üzeri yalıtım elemanları ile kapatılarak ısı

kayıplarının engellenmesi sağlanarak depolanan ısının iç mekâna verilmesi sağlanır. En sıcak devrede ise gece saatlerinde sistemin üzeri açılarak suyun soğutulması sağlanır. Gündüz saatlerinde ise sistemin üzeri kapatılarak hem aşırı ısınmanın engellenmesi hem de iç mekânın serinletilmesi sağlanır. En az sıcak devrede sıvı malzemenin donma riskinden dolayı soğuk ve ılıman- kuru iklim bölgelerinde kullanımı önerilmemektedir. Sistemin bir diğer dezavantajı ise bina taşıyıcı sistemine en yük getirmesidir. Ayrıca çatı havuzu yapılacak binalarda sızıntı olmaması için su yalıtımı uygulamasının dikkatli ve özenli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Termosifon sistem: Termosifon sistemlerde binadan ayrı konumlandırılmış ısı toplayıcı yüzey ile güneş ışınlarının toplanıp ısıl kütle tarafından depolanarak taşınım yoluyla iç mekânın ısıtılması sağlanmaktadır. Sistem, ortamdaki sıcaklık farklarından kaynaklanan taşınıma dayalı bir teknikle çalışmaktadır. Termosifon sistemler tüm iklim bölgelerinde kullanıma uygun sistemlerdir. En az sıcak devrede ısıtma için toplayıcı yüzey ile depolama alanı arasında bağlantı sağlayan hava geçiş kanallarının gündüz hava akışı için açık, gece kapalı olması gerekmektedir.

Çift kabuk cephe sistemleri: Çift kabuk sistemler birbirinden belirli uzaklıkta konumlandırılmış iki saydam yapı elemanından oluşmaktadır. Çift kabuk cephe sistemleri, iç mekân ile dış ortam arasında bir tampon bölge oluşturarak, ısı geçişlerini kontrol etmekte ve enerji verimli şekilde iç mekânda konfor koşullarını sağlamaktadır. Bu sistemler, iç ve dış ortamlar arasında bir hava boşluğu oluşturarak, ısı yalıtımını artırmakta ve doğal havalandırma imkânı sunmaktadır.

Güney cephede konumlandırılan çift kabuk cephe sistemi içerisindeki hava ısınarak bağlantılı olduğu iç mekanların ısıtılmasını sağlayarak binanın en az sıcak devrede ısıtma yükünün azaltılması sağlanmaktadır. En sıcak devrede ise kabuklar arasında hava dolaşımı sağlanarak bina serinletilmekte ve soğutma için harcanacak enerji miktarı azaltılmaktadır. En sıcak devrede aşırı ısınmanın engellenmesi amacıyla çift kabuk sistem üzerinde hareketli gölgeleme elemanlarının kullanılması sistemin daha verimli şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Ayrıca sistem kapsamında gece saatlerinde ısı kayıplarının engellenmesi amacıyla camlarda hareketli yalıtım elemanlarının kullanılması gerekmektedir. Çift kabuk cephe sistemleri tüm iklim bölgelerinde verimli şekilde binaların ısıtılmasını ve serinletilmesini sağlamaktadır [60].

Çift kabuk cephe sistemleri, tasarım prensipleri, hava akışı düzenlemeleri ve uygulama detayları gibi çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, sistemin işlevselliği ve uygulanabilirliğini anlamak açısından önemlidir. Hava akış tipine göre, doğal havalandırmalı, mekanik havalandırmalı ve hibrit sistemler olarak; hava boşluğunun kullanımına göre, tampon bölge, havalandırmalı boşluk ve karma boşluk sistemler olarak; kabuklar arasındaki boşluğun bölümlenme şekline göre de kutu tipi, koridor tipi, çok katlı ve şaft- kutu tipi olarak sınıflandırılmaktadır.

2.4.3. Aktif sistemler

Binaların enerji verimliliği hem çevresel etkileri azaltmak hem de enerji tasarrufu sağlamak amacıyla kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, aktif sistemlerin entegrasyonu, enerji etkin tasarımın temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Aktif sistemlerin entegrasyonu, enerji verimliliğini artırmakta ve çevresel etkileri azaltmaktadır.

Aktif sistemler, kullanıcı konforunu ve enerji etkinliğini artırmak için, fanlar veya diğer mekanik ekipmanları kapsayan sistemlerin bütünüdür. Aktif sistemler, iç mekân konfor koşullarının sağlanabilmesi için az miktarda enerji harcayarak yüksek performans sağlamaktadır.

Isıtma sistemleri

Güneş kollektörleri: Güneş kollektörleri, güneş enerjisinin toplanması ve ısıya dönüştürülmesi amacıyla kullanılan cihazlardır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan güneş enerjisi, çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olması ve çevresel etkilerinin artması, güneş enerjisi gibi alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Güneş kollektörleri, bu bağlamda hem enerji verimliliği sağlamakta hem de çevresel etkileri azaltmaktadır.

Güneş kollektörlerinin performansını artırmak için yapılan araştırmalar, çeşitli tasarım ve uygulama stratejilerini içermektedir. Örneğin, güneş kollektörlerinin optik optimizasyonu, ısı kaybını azaltma ve ısı geri kazanımını artırma gibi konular üzerinde durulmaktadır [68]. Ayrıca, güneş takip sistemleri kullanılarak, güneş ışığının en verimli şekilde toplanması

sağlanmaktadır. Bu sistemler, güneşin hareketine göre kollektörlerin açısını ayarlayarak enerji verimliliğini artırmaktadır [69].

Güneş kollektörlerinin kullanımı, Türkiye gibi güneş enerjisi potansiyeli yüksek ülkelerde büyük bir fırsat sunmaktadır. Türkiye'nin coğrafi konumu, güneş enerjisi üretimi için elverişli bir ortam sağlamaktadır. Yapılan araştırmalar, Türkiye'nin farklı bölgelerinde benzer güneş radyasyon yoğunluklarının bulunduğunu göstermektedir [70]. Bu kapsamda güneş kollektörleri tüm iklim bölgelerinde kullanılabilmekte olup, soğuk ve ılıman- kuru iklim bölgelerinde en az sıcak devrede donma olaylarının gerçekleşmemesi için toplayıcılara, borulara ve depolama birimlerine yalıtım yapılması gerekmektedir. Üç çeşit güneş kollektörü bulunmaktadır. Bunlar; düzlemsel yüzeyli, vakum tüplü ve yoğunlaştırıcılı (odaklamalı) kollektörlerdir.

Düzlemsel yüzeyli kollektörleri sıvı akışkanlı ve hava akışkanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kullanımda olan güneş kollektörleri arasında en yaygın olanı tarihçe olarak en eski olması ve üretim maliyetinin düşük olmasından dolayı sıvı akışkanlı düzlemsel yüzeyli güneş kollektörleridir. Akışkan olarak genellikle su kullanılmaktadır. Sistem kullanımında korozyona ve donma olaylarına karşı önlem alınması gerekmektedir. Sistem verimi %55- 80 arasında değişmektedir. Hava akışkanlı düzlemsel yüzeyli güneş kollektörleri, sıvı akışkanlı güneş kollektörleri ile aynı prensipte çalışmakta ancak, akışkan olarak sıvı yerine hava kullanılmaktadır. Sistemde donma problemi bulunmamakta ve korozyon riski ise yok denecek kadar az olmaktadır. Sistemin dezavantajları; veriminin düşük olması ve gürültülü çalışmasıdır.

Vakum tüplü güneş kollektörleri, ısı boruları ile entegre edilerek verimliliği artırma potansiyeline sahiptir. Sistem, iç içe geçmiş ve aralarındaki boşluk vakumlanmış iki tüpten meydana gelmektedir. Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörlerine göre verimleri daha yüksektir. İlk yatırım maliyeti düzlemsel kollektörlere göre daha yüksek, işletme maliyeti ise daha düşüktür.

Yoğunlaştırıcılı (odaklamalı) güneş kollektörleri, doğrusal hat odaklı, noktasal hat odaklı ve merkezi alıcılı odaklı olmak üzere üç çeşittir. Yoğunlaştırıcılı güneş kollektörlerinin kurulumu için diğer güneş kollektörlerine göre daha geniş bir alan gerekmektedir ve binalara entegre şekilde çalışamamaktadır.

Isı pompası: Isı pompası sistemleri, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir alternatif enerji kaynağı olarak son yıllarda giderek daha fazla ilgi görmektedir. Geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine kıyasla, ısı pompaları, düşük sıcaklıkta bulunan ısıyı daha yüksek sıcaklığa taşıma yetenekleri sayesinde enerji tasarrufu sağlamakta ve çevre kirliliğini azaltmaktadır. Bu sistemlerin temel çalışma prensibi, ısıyı bir ortamdan diğerine taşıyabilme yeteneğidir; bu da onları hem ısıtma hem de soğutma uygulamaları için uygun hale getirmektedir [71]. Isı pompaları kullandıkları kaynaklara göre toprak, su ve hava kaynaklı olmak üzere üç çeşittir. Isı pompalarının verimliliği, kullanılan ısı kaynağına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Toprak kaynaklı ısı pompaları, yer altındaki sabit sıcaklıkların avantajını kullanarak hem yaz hem de kış aylarında etkin bir şekilde çalışabilmektedir. En az sıcak devrede ısı toprak altından iç mekanlara, en sıcak devrede ise iç mekân ısısı toprak altına taşınabilmektedir [72]. Toprak kaynaklı ısı pompaları yatay ve dikey tip olmak üzere iki çeşittir. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompasında ısı değiştirici borular toprağın yaklaşık 1,5- 2 mt altında geniş bir alana döşenmektedir. Bu kapsamda sistemin en büyük dezavantajı kazılacak alanın oldukça geniş olması ve bu sebeple ilk yatırım maliyetinin de artmasıdır. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası ise kazı için yeterli alanın olmadığı durumlarda yüzeyin oldukça derin kazılmasıyla oluşturulan bir sistemdir. Toprak altının yılın her döneminde hemen hemen aynı sıcaklıkta olması sebebiyle sistem stabil çalışmakta ve hem ısıtma hem de soğutma için tüm iklim bölgelerinde kullanılabilmektedir.

Hava kaynaklı ısı pompalarında enerji kaynağı olarak dış hava kullanılmaktadır. Sistemde, ilk yatırım maliyetinin diğer ısı pompası çeşitlerine göre daha düşük olmasına rağmen, havada sabit bir sıcaklık değerinin olmaması sebebiyle işletme maliyetlerini artırmaktadır. Sistemin ilk yatırım maliyetinin düşük olması, montaj, servis ve bakımlarının kolay olması ve ısıtma ve soğutmanın yanı sıra kullanım için sıcak su üretebilmesi sebebiyle en çok tercih edilen ısı pompası türüdür. Sistem, tüm iklim bölgelerinde kullanılabilmekle birlikte ılıman- nemli ve sıcak- nemli iklim bölgelerinde daha yüksek verimde çalışmaktadır.

Su kaynaklı ısı pompalarında sistem ısı kaynağı olarak yılın her döneminde genellikle stabil sıcaklık seviyesinin olmasından dolayı yeraltı suyu ve yüzey suları (göl, nehir, deniz vb.) kullanmaktadır. Su kaynaklı ısı pompalarının ilk yatırım maliyeti toprak kaynaklı ısı pompalarına göre düşük olmakla birlikte, kullanımında yerel yönetimler tarafından

birtakım kısıtlamalar, yasaklar ve engellerle karşılaşılabilmektedir. Su kaynaklı sistemlerde yer altı ve yüzey suları kullanımı, kazan suları destekli kullanımlar gibi farklı çözümler bulunmaktadır. Su kaynaklı ısı pompaları açık ve kapalı devre olarak iki şekilde uygulanabilmektedir. Açık devre sistemin dezavantajı, sistem elemanlarının donma ve kirlenme riskinin olmasıdır. Kapalı devre sistemde ise böyle bir risk bulunmamaktadır. Su kaynaklı ısı pompaları her iklim bölgesinde verimli bir şekilde kullanılabilmektedir.

Yoğuşmalı kazanlar: Yoğuşma teknolojisi ile çalışan sistemler, diğer kazan ve kombi cihazlarından enerji verimliliği açısından ayrılan, yüksek performanslı ısıtma çözümleridir. Geleneksel kazan sistemlerine göre daha yüksek verimlilik sunan bu sistemler, özellikle düşük sıcaklıkta çalışan ısıtma uygulamalarında tercih edilmektedir. Yoğuşmalı olmayan ısıtma cihazlarında, yanma sürecinde oluşan su buharının içerdiği gizli enerji, atık gazlarla birlikte atmosfere salınmakta ve böylece kullanılabilir bir enerji kaybı yaşanmaktadır. Buna karşılık, yoğuşmalı sistemlerde, atık gazlardaki su buharı yoğuşturularak içerdiği enerji geri kazanılır ve bu enerji doğrudan kalorifer suyuna iletilir. Bu yöntem, gizli enerjinin kullanımının yanı sıra, hissedilir enerjinin de geleneksel cihazlara kıyasla daha etkili bir şekilde değerlendirilmesini sağlar. Bu süreç, enerji tasarrufu sağlarken, aynı zamanda emisyonları da azaltmaktadır. Yoğuşmalı kazanlar, tasarımlarına göre duvar tipi ve yer tipi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

<u>Soğutma sistemleri</u>

Absorbsiyonlu soğutma sistemleri: Absorbsiyonlu soğutma sistemleri, termal enerjiyi (ısı) kullanarak soğutma işlemini gerçekleştiren, enerji verimliliği yüksek alternatif soğutma teknolojileridir. Absorbsiyonlu soğutma sistemleri, bir soğutucu akışkan (genellikle su) ve bir absorbent (soğurucu madde, örneğin lityum bromür veya amonyak) arasındaki kimyasal etkileşime dayanır. Bu süreç, buharlaşma, absorbsiyon, rejenerasyon ve yoğuşma olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Sistem, elektrik yerine atık ısı, güneş enerjisi veya doğal gaz gibi termal enerji kaynaklarını kullanması, sessiz çalışması ve geleneksel soğutucu gazlar yerine çevreye daha az zarar veren akışkanları kullanması bakımından avantajlıdır. Sistemin dezavantajları ise, verimliliğinin düşük olması, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve kullanım alanının sınırlı olmasıdır. Absorbsiyonlu soğutma sistemleri, özellikle atık ısı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin şekilde kullanıldığı durumlarda sürdürülebilir ve ekonomik bir çözüm sunmaktadır.

Evaporatif soğutma sistemleri: Evaporatif soğutma sistemleri, suyun buharlaşması sırasında çevreden ısı çekmesi prensibine dayanan enerji verimli bir soğutma yöntemidir. Bu sistemler, özellikle kuru ve sıcak iklimlerde etkili olup, düşük enerji tüketimi ve çevre dostu özellikleriyle dikkat çekmektedir. Evaporatif soğutma, suyun sıvı halden gaz haline geçerken çevresindeki ortamdan ısı absorbe etmesine dayanır. Bu süreçte, havanın sıcaklığı düşerken nem oranı artar. Evaporatif soğutma sistemlerinde, dış ortamdan alınan sıcak ve kuru hava bir fan yardımıyla sisteme çekilip, suyla ıslatılmış pedlerden geçirilerek suyun buharlaştırılması sağlanmaktadır. Buharlaşma sırasında çevreden ısı çekildiği için havanın sıcaklığı düşmekte ve ne oranı yükselmektedir. Son olarak, soğutulmuş hava iç mekâna yönlendirilerek ortamın sıcaklığı düşürülmektedir. Sistem, mekanik sistemlere göre daha az enerji kullanması, sera gazı emisyonu oluşturmaması, bakım ve işletiminin kolay olması ve hem ilk yatırım hem de işletme maliyetlerinin düşük olması sayesinde oldukça avantajlıdır. Sistemin dezavantajları ise, yüksek nemli bölgelerde performansının düşmesi, soğutulan havanın nem oranının yüksek olması ve düzenli bakım yapılmadığı takdirde bakteri ve küf oluşabilmesidir. Evaporatif sistemler, sera gibi tarımsal alanların, endüstriyel tesislerin, açık alanların, ev ve ofislerin soğutulmasında kullanılabilmektedir.

HVAC sistemler

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemleri, modern binaların enerji tüketiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, binaların iç ortam konforunu sağlamak için kritik öneme sahiptir ve dünya genelinde enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır [73]. HVAC sistemleri hem enerji verimliliği hem de iç mekân hava kalitesi açısından karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, HVAC sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu hem insan konforunu artırmak hem de enerji tasarrufu sağlamak amacıyla multidisipliner bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu sistemler, binaların yaşam kalitesini artırmanın ötesinde, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Isıtma, soğutma, havalandırma ve nem kontrolü gibi birden fazla işlevi tek bir çatı altında toplayarak hem konut hem de ticari alanlarda geniş bir uygulama alanına sahiptir.

HVAC sistemlerinin ısıtma bileşeni, soğuk havalarda iç mekanların sıcaklığını konfor seviyesine çıkarmak için tasarlanmıştır. Bu amaçla, sıcak hava üreteçleri, kazanlar, radyatörler ve zemin ısıtma sistemleri gibi farklı mekanizmalar kullanılabilir. Isıtma

süreçleri, genellikle fosil yakıtlar, elektrik veya yenilenebilir enerji kaynakları (örneğin güneş enerjisi) ile sağlanır. Soğutma bileşeni, sıcak iklimlerde iç mekanları serinletmek veya endüstriyel süreçlerde belirli sıcaklık aralıklarını korumak için gereklidir. Buhar sıkıştırmalı döngü sistemleri, soğutma kuleleri ve merkezi klima sistemleri yaygın kullanılan soğutma çözümleri arasındadır. Özellikle büyük binalarda kullanılan merkezi sistemler, tüm bina boyunca homojen bir soğutma sağlarken, bireysel klima cihazları daha küçük alanlar için tercih edilir.

Havalandırma sistemleri, fanlar ve hava kanalları kullanarak kontrollü bir hava değişimi gerçekleştirmektedir. Bu sistemler, karbondioksit, uçucu organik bileşikler ve diğer kirleticilerin uzaklaştırılmasını mümkün kılmaktadır. Ek olarak, HEPA filtreleri gibi gelişmiş filtrasyon teknolojileri, özellikle hastaneler ve laboratuvarlar gibi hassas alanlarda hava kalitesini en üst düzeye çıkarmaktadır. Nem kontrolü hem konfor hem de yapı elemanlarının korunması açısından HVAC sistemlerinin kritik bir işlevini oluşturmaktadır. Çok düşük nem seviyeleri cilt ve solunum yollarını kurutabilirken, yüksek nem seviyeleri ise küf oluşumu ve yapı malzemelerinde hasara yol açabilmektedir. HVAC sistemleri, nemi ideal seviyelerde tutarak hem kullanıcıların sağlığını korumakta hem de binanın uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır.

HVAC sistemleri, konut, ticari, endüstriyel ve özel uygulamalar gibi geniş bir kullanım yelpazesinde yer almaktadır. Konutlarda bireysel kullanıcıların konforunu sağlamak için genellikle bağımsız üniteler tercih edilirken, büyük ticari binalarda merkezi HVAC sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel tesislerde ise belirli üretim süreçlerinin hassas sıcaklık ve nem gereksinimlerini karşılamak amacıyla özel tasarlanmış sistemler gereklidir. HVAC sistemler, çok üniteli veya tek üniteli bireysel paket sistemler, havalı sistemler (all air), havalı- sulu sistemler (air- water) ve sulu sistemler (all water) olmak üzere dört çeşittir.

2.4.4. Enerji üretim sistemleri

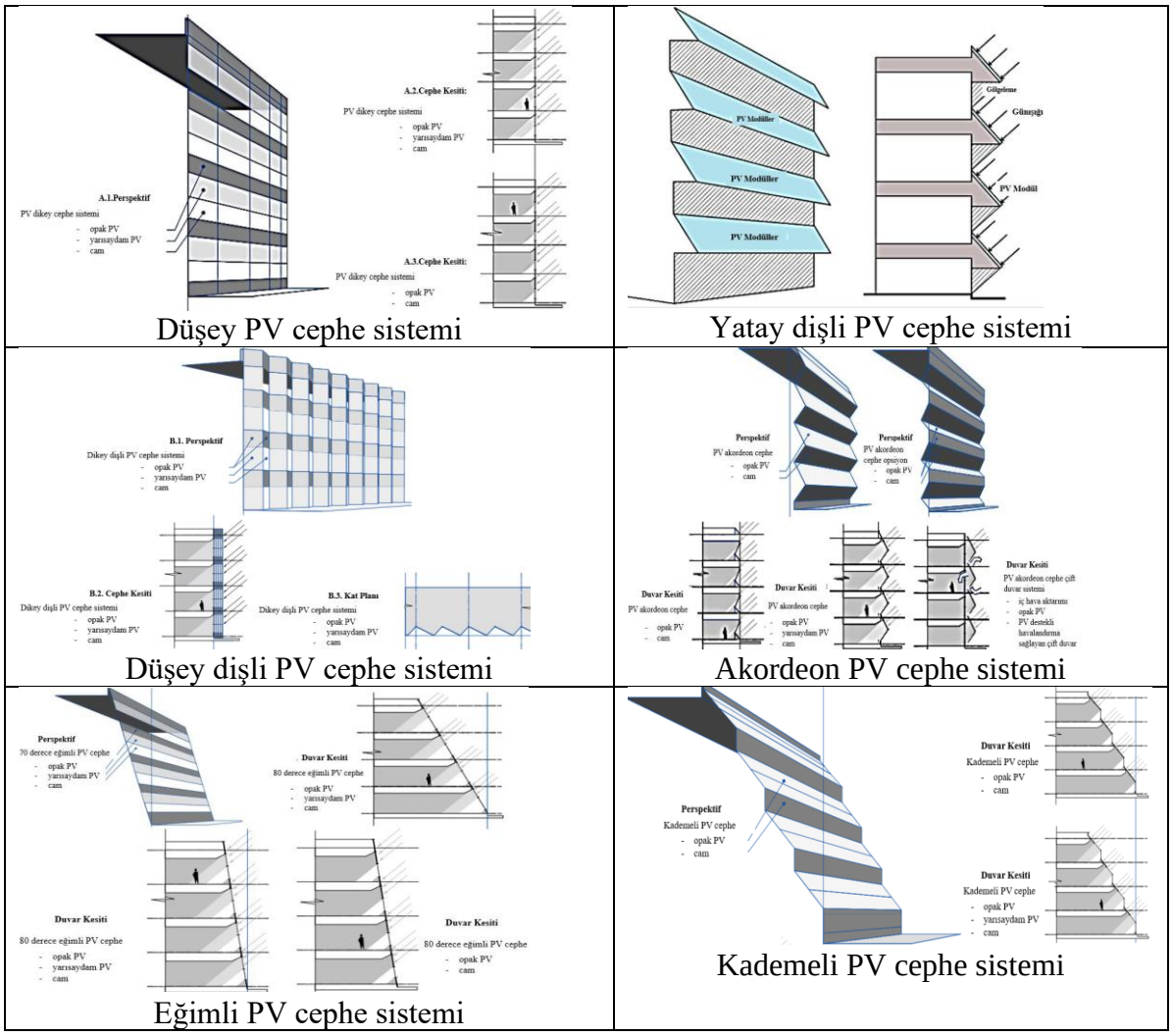
Bölüm kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile enerji üreten sistemler anlatılmıştır. Enerji üretim sistemleri; fotovoltaik panel sistemler, rüzgâr türbinleri ve kojenerasyon ve trijenerasyon sistemler olarak 3 başlıkta ele alınmıştır.

Fotovoltaik panel (PV) sistemler

Fotovoltaik (PV) paneller, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürerek yenilenebilir enerji üretiminde kritik bir rol oynamaktadır. Artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtların çevresel etkilerinin yarattığı endişeler, sürdürülebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarının önemini artırmıştır. Güneş enerjisi, sınırsız erişilebilirliği ve çevre üzerindeki minimum olumsuz etkileriyle en umut verici alternatiflerden biridir. Bu doğrultuda, fotovoltaik teknoloji, güneş enerjisinden elektrik elde etmede verimli ve pratik bir yöntem sunarak enerji dönüşümünde önemli bir araç haline gelmiştir.

Fotovoltaik sistemler, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerden oluşur ve bu dönüşüm süreci, sistemin temel prensibini oluşturur. Güneş ışığını emen fotovoltaik hücreler, güneş radyasyonunu doğrudan elektrik enerjisine çevirerek enerji üretir. Bu hücrelerin etkinliği, güneş ışığının miktarı ve yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Dünya yüzeyine yıllık olarak ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %25,72'si kullanılabilir durumda bulunmaktadır [74]. Bu potansiyel, PV sistemlerin yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki stratejik önemini açıkça ortaya koymaktadır. Binalarda yenilenebilir enerji kaynağı kullanımında en güçlü potansiyele sahip olan enerji güneş enerjisidir. Türkiye'de enerjiye duyulan enerji ihtiyacı ile birlikte yenilenebilir güneş enerjisi potansiyellerinin yüksek enerji tüketimine sahip olan binalar üzerinde de kullanılması büyük bir gereklilik haline gelmektedir. Türkiye'nin elektrik üretiminde güneş enerjisi teknik potansiyeli yaklaşık 190 TWh/ yıl ile ikinci sıradaki İspanya'dan %29 daha fazla olmaktadır. Bu potansiyel ile Türkiye'nin mevcut elektrik ihtiyacının %75'ini güneş enerjisi ile karşılayabileceğini göstermektedir [75].

PV paneller kurulum türü, sistem türü ve kullanım türü olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmıştır. Kurulum türü olarak PV sistemler iki farklı şekilde kurulabilmektedir. Bunlar, şebekeye bağlı sistem (on grid) ve şebekeden bağımsız (off grid) sistemlerdir. Sistem türü başlığı altında; düşey sistemler, düşey ve yatay dişli sistemler, akordeon sistemler ve eğimli ve kademeli sistemler olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır. Kullanım türü başlığı altında ise gölgeleme elemanı, soğuk cephe, sıcak cephe, çift cidarlı cephe ve çatı- atrium-saçak yüzeyi olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır [75].



Şekil 2.15. Fotovoltaik panel sistem türleri [75]

Rüzgâr türbinleri

Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye, ardından elektrik enerjisine dönüştüren yenilenebilir enerji sistemleridir. Türbinler, verimli bir enerji dönüşümü sağlamak için bir dizi temel bileşenden oluşur. Bu bileşenler, kule, rotor kanatları, jeneratör, dişli kutusu (hız dönüştürücü), elektrik-elektronik sistemler ve kontrol mekanizmalarını içerir. Her bir bileşen, türbinin düzgün ve etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak üzere tasarlanmıştır. Rüzgâr türbinlerinin küçük ve orta ölçeklileri binalarda kullanılabilmektedir. Çok katlı yapılarda ise binaya entegre olacak şekilde kullanılabilmektedir [76].

Rüzgâr türbinlerinde enerji iki farklı şekilde değerlendirilmektedir. Türbinlerde üretilen elektrik enerjisi bataryalar aracılığıyla depolanarak ihtiyaç anında kullanılmak üzere saklanabilmektedir. Bu yöntem özellikle rüzgâr hızının değişken olduğu bölgelerde enerji sürekliliğini sağlamaktadır. Diğer yöntemde ise üretilen enerji doğrudan elektrik şebekesine veya alıcı cihazlara yönlendirilebilmektedir. Büyük ölçekli türbinlerde enerji genellikle şebekeye verilerek geniş bir kullanıcı ağına hizmet etmektedir. Rüzgâr türbinlerindeki enerji üretim sürecinin tamamen yenilenebilir bir enerji kaynağından elde edilmesi sayesinde çevreye zarar vermeyen, sürdürülebilir bir enerji üretim çözümü sunar. Rüzgâr türbinlerinin bu özellikleri, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak karbon salınımını önemli ölçüde düşürmektedir. Rüzgâr türbinleri dönme eksenleri açısından yatay eksenli, düşey eksenli ve eğik eksenli olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Yatay eksenli türbinler, rüzgârı önden alan ve arkadan alan olmak üzere ikiye, düşey eksenli türbinler ise Savonious, Darrieus ve H-Darrieus tip olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Enerji üretim verimliliğine bakıldığında en yüksek verim yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde elde edilmektedir.

Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemler

Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri, enerji üretiminde verimliliği artırmak ve maliyetleri optimize etmek için tercih edilen etkili çözümler arasında yer almaktadır. Kojenerasyon, aynı anda hem elektrik hem de ısı enerjisi sağlayarak enerji kaynaklarının daha etkin kullanımını mümkün kılarken, trijenerasyon bu yapıya soğutma enerjisini de ekleyerek daha geniş bir enerji yönetimi sunmaktadır. Her iki sistem de özellikle yüksek enerji ihtiyacı olan tesislerde sürdürülebilir ve ekonomik bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Her iki sistemde de enerji verimliliğinin olmasının yanında egzoz gazlarının da değerlendirilmesi sebebiyle CO2 emisyonunun azalmasına da katkı sağlanmaktadır.

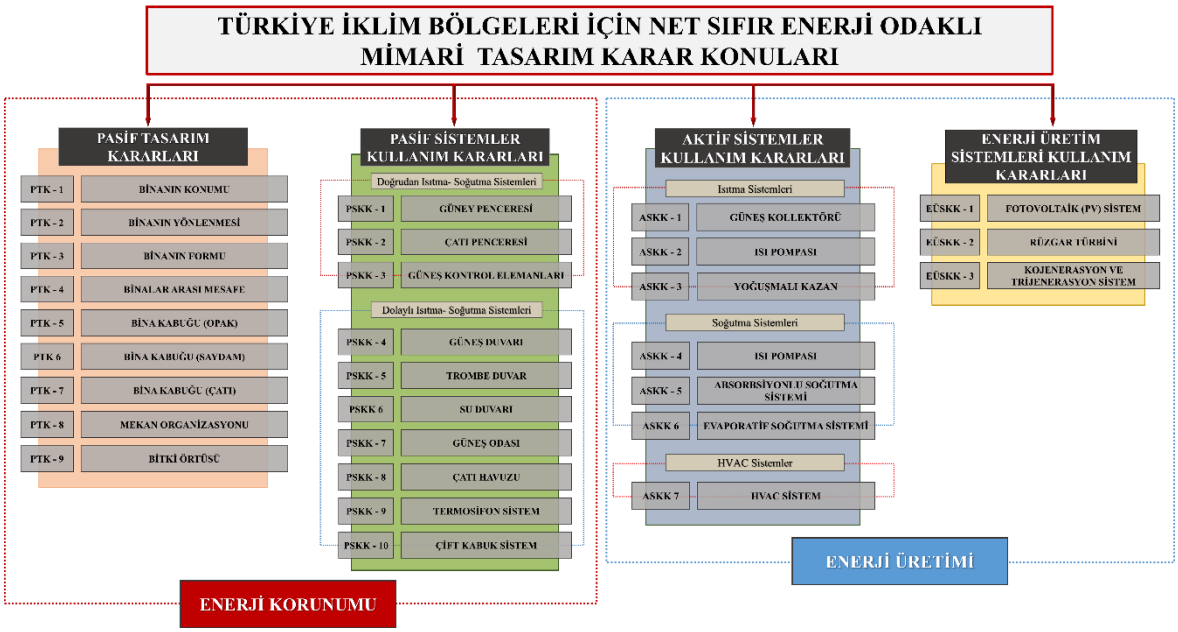
Kojenerasyon sistemlerde yakıt olarak doğal gaz, biyogaz, kömür veya biyokütle gibi birincil enerji kaynakları kullanılarak elektrik üretimi sağlanır. Üretim sırasında açığa çıkan atık ısı geri kazanılarak ısıtma ve sıcak su elde edilmesinde kullanılmaktadır. Trijenerasyon sistemlerde de süreç aynı şekilde ilerlemekte, ek olarak soğutma enerjisi de elde edilmektedir. Sistemlerin başlangıç maliyetlerinin yüksek olması ve altyapısının karmaşık olması en büyük dezavantajları olarak ortaya çıkmaktadır.

3. TÜRKİYE İKLİM BÖLGELERİ ÖZELİNDE NET SIFIR ENERJİLİ BİNA TASARIM KILAVUZUNUN OLUŞTURULMASI

Dünya ülkelerinin öncelikli ortak hedefi olan enerji verimliliği hususunda en büyük paya sahip olan binalarda net sıfır enerji odaklı tasarım yaklaşımlarının Türkiye iklim bölgeleri özelinde uygulanabilirliğini ortaya koymayı hedefleyen bu çalışmada mimari tasarım süreçlerine yön verebilecek bir kılavuz geliştirilmiştir. Mimari tasarımı net sıfır enerjiye ulaştıracak karar adımları dört aşamada incelenmiştir. Bunlar;

- Pasif tasarım kararları
- Pasif sistemlerin kullanımı
- Aktif sistemlerin kullanımı
- Enerji üretim sistemlerinin kullanımıdır.

Belirlenen bu dört ana başlığın her biri alt başlıklara ayrılarak detaylandırılmıştır. Bu bağlamda sistematik bir şekilde geniş kapsamlı yapılan literatür taraması yoluyla ulaşılan mevcut teorik ve uygulamaya dair bilgiler, karar aşamaları ve tasarıma uyarlanma süreçleri odaklı tasnif edilmiştir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Türkiye iklim bölgeleri özelinde net sıfır enerji odaklı mimari tasarım karar konuları akış şeması

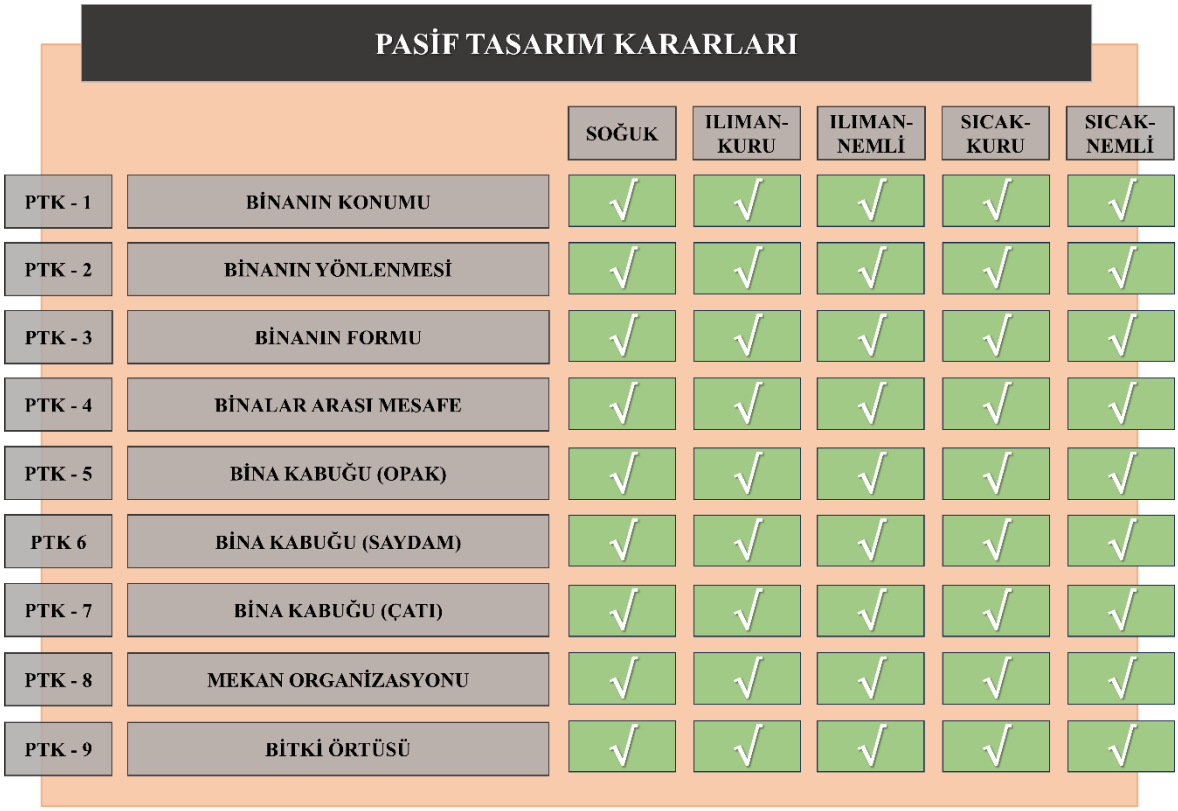
Net sıfır enerji odaklı mimari tasarım süreçlerinde enerji korunumu ve enerji üretimi bağlamında tasarım kararlarının tasarıma dahili ile beklenen performansa ulaşmayı

mümkün kıldığı kabul edilmiş bir gerçekliktir. Bu gerçeğe istinaden geliştirilen tasarım kılavuzu iki kısımda ele alınmıştır. Enerji korunumu odaklı olması gereken performans beklentileri kapsamında öncelikle pasif tasarım karar konularının binanın tasarım alanındaki konumu, yönlenmesi, formu, komşu binalarla arasındaki mesafe, yapı kabuğunda yer alan opak ve saydam yapı elemanlarının özellikleri, çatı tipi ve özellikleri, mekân organizasyonu ve çevresindeki bitki örtüsü ile yakından ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Türkiye iklim bölgelerine ait iklim elemanları ile mevcut yapılı çevre ve doğal çevre arasındaki ilişki dikkate alınarak tasarıma bağlam oluşturan veriler belirlenerek pasif tasarım karar konuları belirlenmiş ve parametrelerin uygulama potansiyeline dair uygunluk durumu ortaya konmuştur. Aynı şekilde, pasif, aktif ve enerji üretim sistemlerine dair parametreler oluşturulmuş ve uygulama potansiyeline dair uygunluk durumu ortaya konmuştur. Ayrıca çalışma alanı olarak seçilen soğuk iklim bölgesi özelinde, oluşturulan tasarım kılavuzunda bulunan pasif tasarım kararları, pasif, aktif ve enerji üretim sistemleri kullanım kararları başlıkları altındaki her bir parametre uygulama yöntemi veya çalışma prensibi ile parametrenin kullanım amacı, avantaj ve dezavantajları tanımlanarak tasarım kılavuzu detaylandırılmıştır. Tasarım kılavuzunda tanımlanmış olan parametrelerin ilgili iklim bölgesi özelinde kullanıma uygunluk durumu şeklin en sağında belirtilen yeşil renkli daire veya dikdörtgen içerisinde onaylama simgesi ile verilmiştir. Sarı daire veya dikdörtgen içerisinde ünlem işareti simgesi ile verilen durum alınan kararın düşük verimle çalışacağını ve ilave önlemlerle beklenen verimin artırılabileceğini, kırmızı daire veya dikdörtgen içindeki soru işareti simgesi ise enerji verimli tasarım stratejileri arasında yer alıyor olsa bile belirtilen iklim bölgesi için verimli olmayacağını ifade etmektedir.

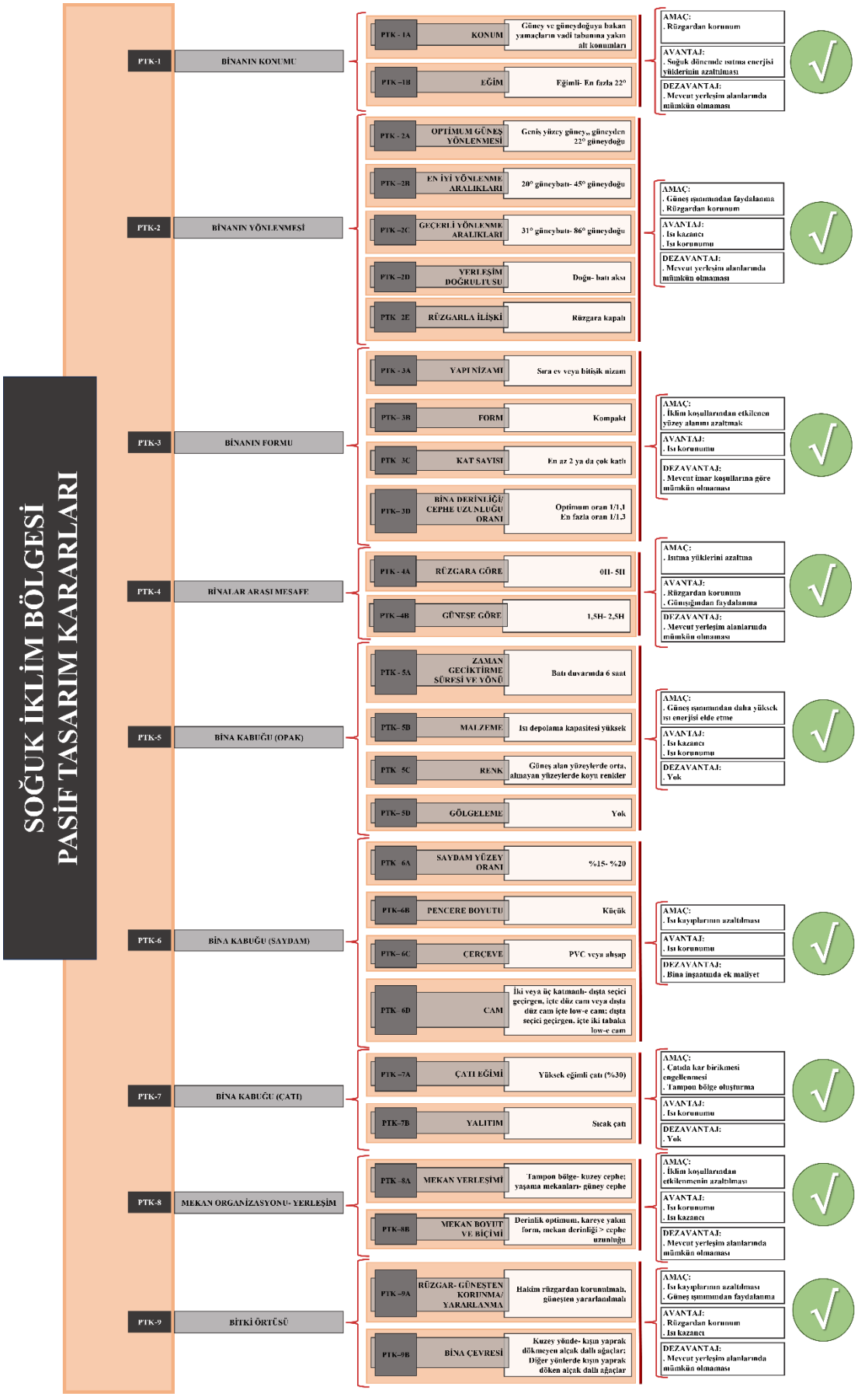
3.1. Pasif Tasarım Kararları

Bölüm kapsamında Türkiye'de hâkim olan 5 iklim bölgesi (soğuk, ılıman- kuru, ılıman-nemli, sıcak- kuru ve sıcak- nemli) özelinde net sıfır enerjili binalara dair pasif tasarım kararlarının ilgili iklim bölgesi özelinde kullanıma uygunluk durumu Şekil 3.2.'de verilmiştir. Soğuk iklim bölgesi özelinde pasif tasarım kararlarında bulunan parametreler alt başlıklara ayırılarak detaylandırılmıştır. Bu kapsamda oluşturulan kılavuz içeriğinde parametrelerin uygulama yöntemi, amaç, avantaj ve dezavantajları ile kullanıma uygunluk durumu ise Şekil 3.3.'de ifade edilmiştir. Pasif tasarım kararları, binanın konumu, yönlenmesi ve formu, binalar arası mesafe, opak, saydam ve çatı bileşenlerinde bina

kabuğu özellikleri, mekân organizasyonu ve yerleşimi ile bitki örtüsü başlıkları altında detaylandırılmıştır.



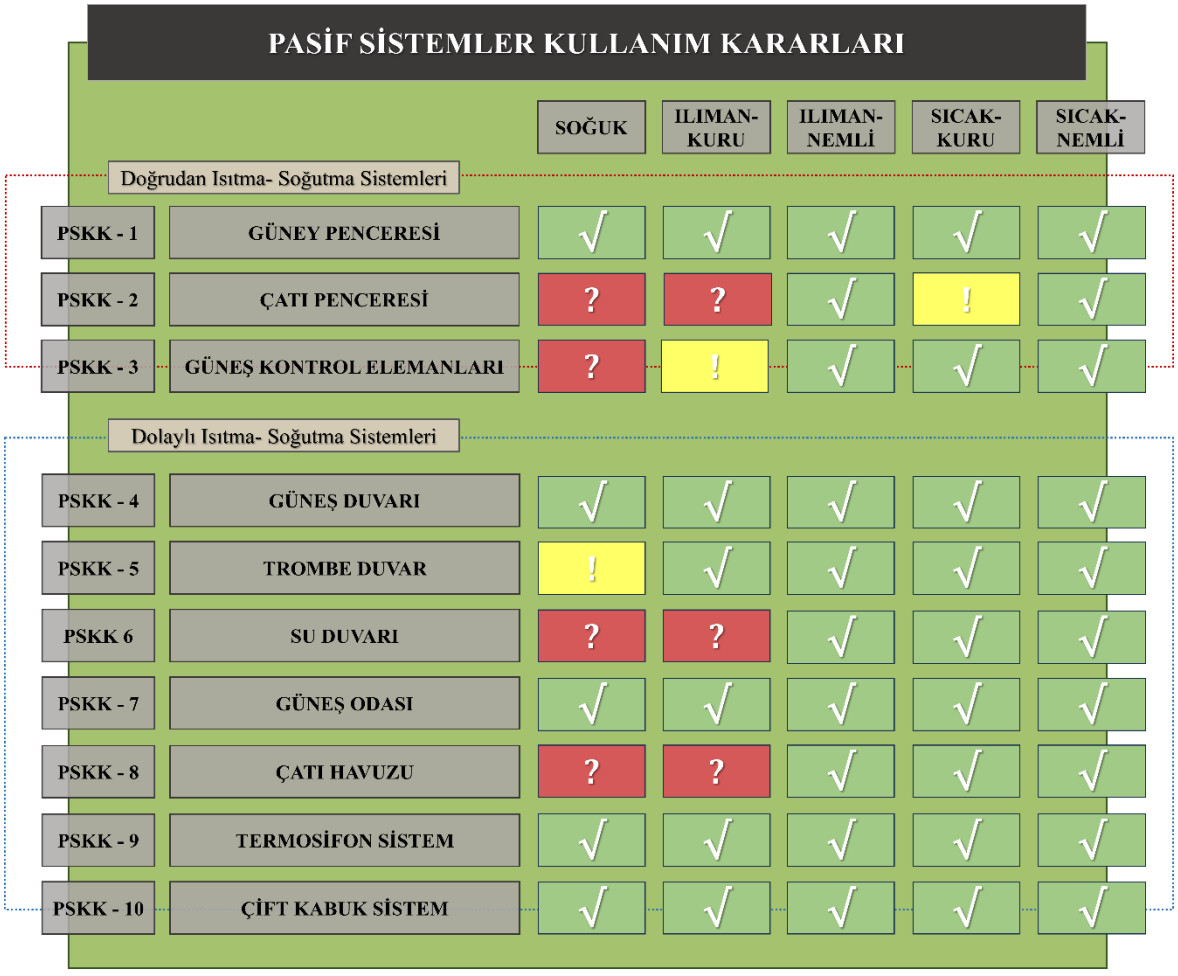
Şekil 3.2. Türkiye iklim bölgeleri özelinde pasif tasarım kararları



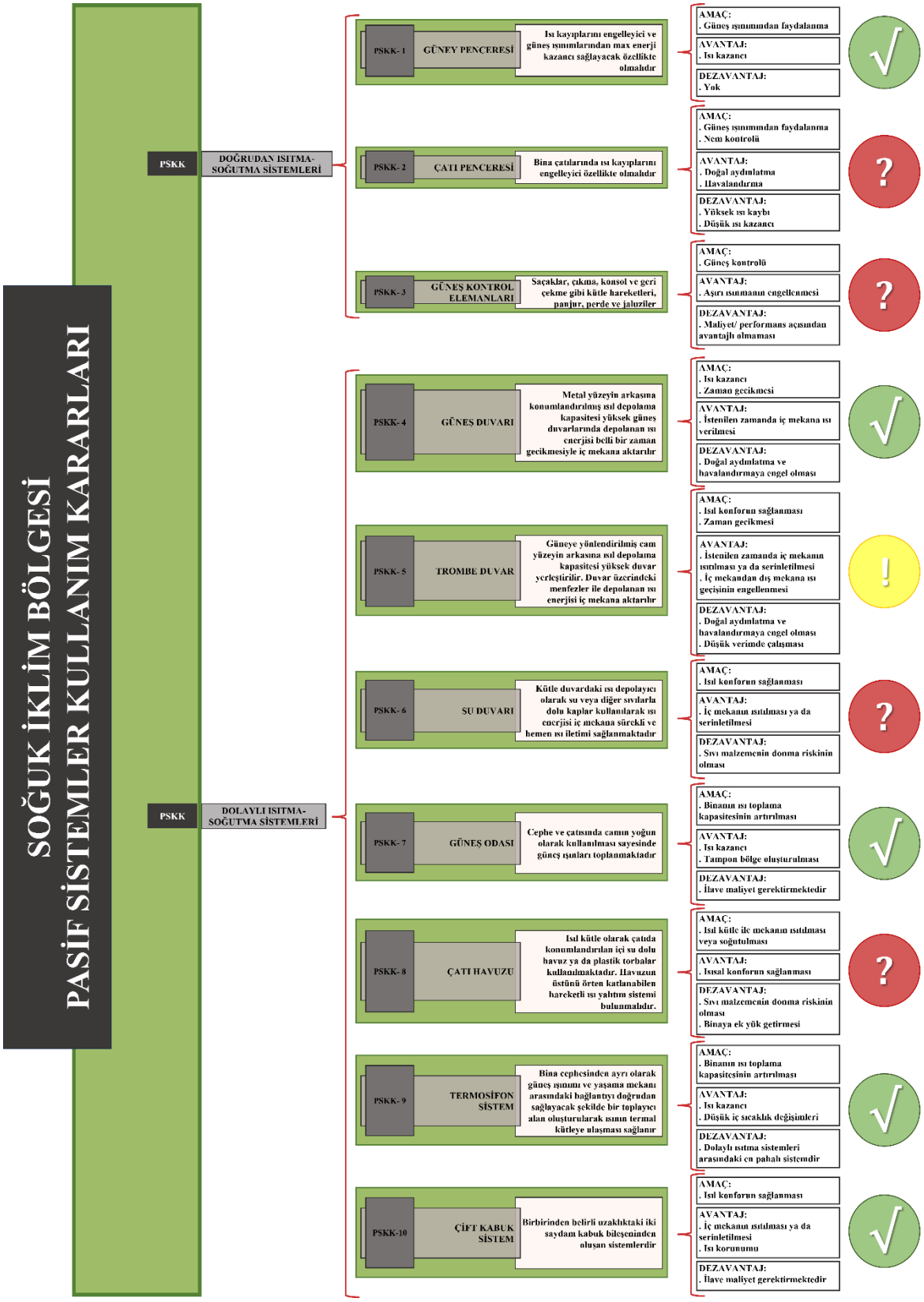
Şekil 3.3. Soğuk iklim bölgesi özelinde pasif tasarım kararları

3.2. Pasif Sistemler Kullanım Kararları

Pasif sistemler, binalarda enerji korunumu ve herhangi bir enerji tüketimi olmadan rüzgârdan ve güneş ışınımlarından ısıtma ve soğutma enerjisi elde edilebilmesi bakımından enerji etkin tasarımda dikkate alınması gereken oldukça önemli bir parametredir. Bu bağlamda, bölüm kapsamında Türkiye'de hâkim olan 5 iklim bölgesi (soğuk, ılıman- kuru, ılıman- nemli, sıcak- kuru ve sıcak- nemli) özelinde net sıfır enerjili binalara dair pasif sistemler kullanım kararlarının ilgili iklim bölgesi özelinde kullanıma uygunluk durumu Şekil 3.4.'de verilmiştir. Soğuk iklim bölgesi özelinde pasif sistemler kullanım kararlarında bulunan parametreler alt başlıklara ayırılarak detaylandırılmıştır. Bu kapsamda oluşturulan kılavuz içeriğinde parametrelerin çalışma prensibi, amaç, avantaj ve dezavantajları ile kullanıma uygunluk durumu ise Şekil 3.5.'de ifade edilmiştir. Pasif sistemler kullanım kararları, doğrudan ve dolaylı ısıtma- soğutma sistemleri başlıkları altında detaylandırılmıştır.



Şekil 3.4. Türkiye iklim bölgeleri özelinde pasif sistemler kullanım kararları

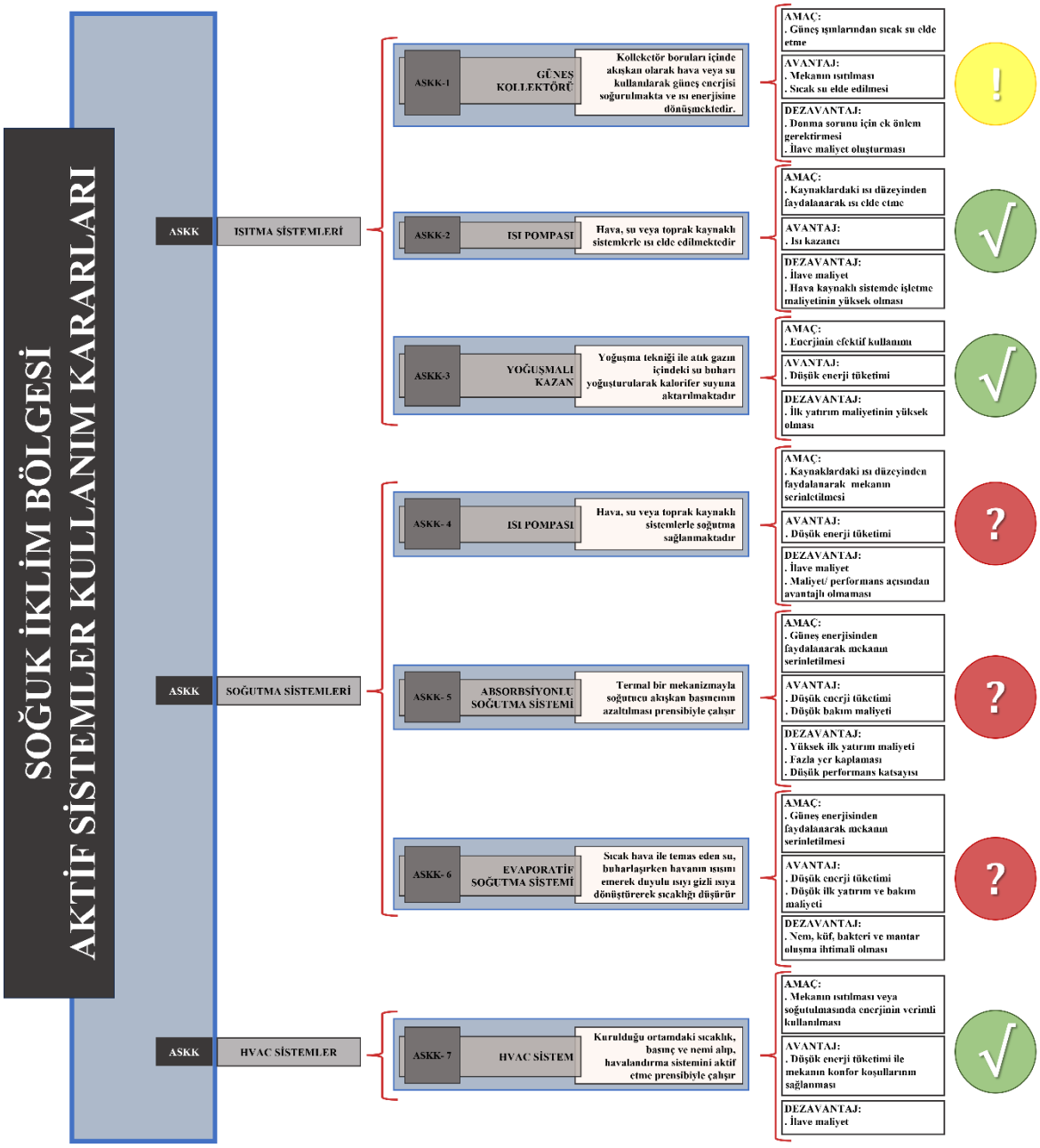


Şekil 3.5. Soğuk iklim bölgesi özelinde pasif sistemler kullanım kararları

3.3. Aktif Sistemler Kullanım Kararları

Aktif sistemler, çeşitli mekanik ekipmanlar kullanılarak kullanıcı konforunun ve enerji etkinliğinin artırılabilmesi için az miktarda enerji harcayarak yüksek performans sağlayan sistemlerdir. Bu bağlamda, bölüm kapsamında Türkiye'de hâkim olan 5 iklim bölgesi (soğuk, ılıman- kuru, ılıman- nemli, sıcak- kuru ve sıcak- nemli) özelinde net sıfır enerjili binalara dair aktif sistemler kullanım kararlarının ilgili iklim bölgesi özelinde kullanıma uygunluk durumu Şekil 3.6.'de verilmiştir. Soğuk iklim bölgesi özelinde aktif sistemler kullanım kararlarında bulunan parametreler alt başlıklara ayırılarak detaylandırılmıştır. Bu kapsamda oluşturulan kılavuz içeriğinde parametrelerin çalışma prensibi, amaç, avantaj ve dezavantajları ile kullanıma uygunluk durumu ise Şekil 3.7.'de ifade edilmiştir. Aktif sistemler kullanım kararları, ısıtma, soğutma ve HVAC sistemler başlıkları altında detaylandırılmıştır.

Şekil 3.6. Türkiye iklim bölgeleri özelinde aktif sistemler kullanım kararları

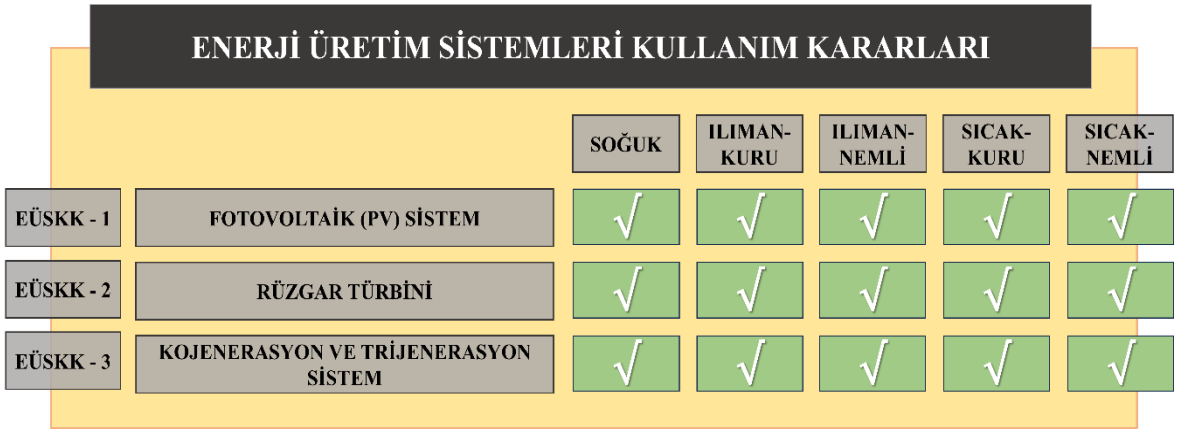


Şekil 3.7. Soğuk iklim bölgesi özelinde aktif sistemler kullanım kararları

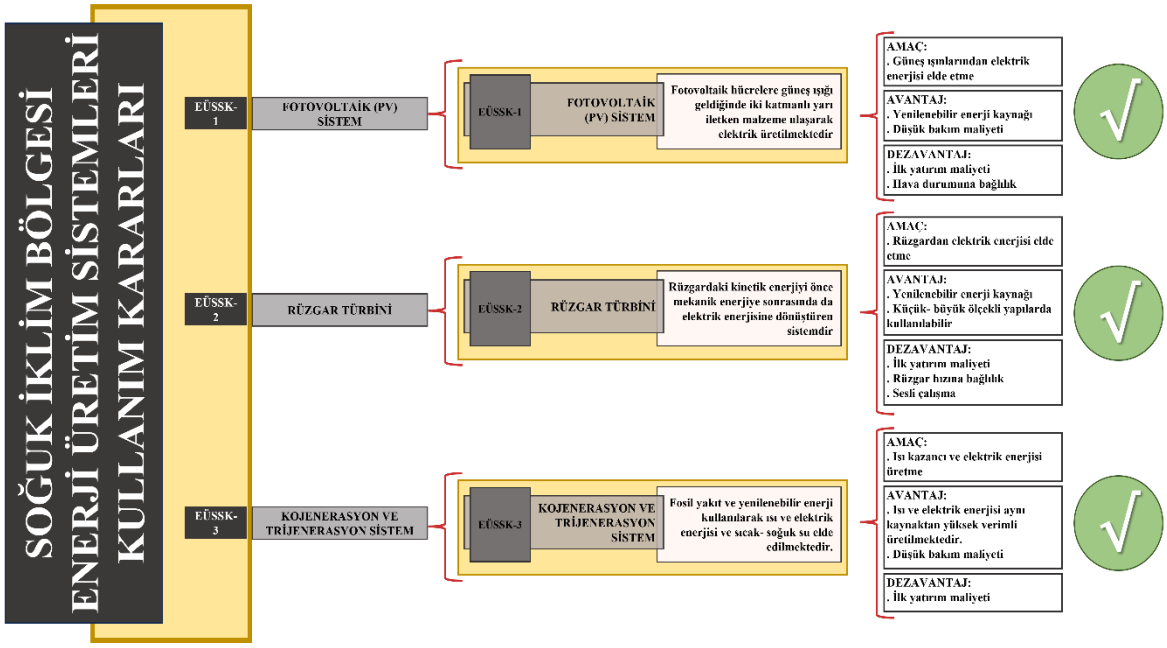
3.4. Enerji Üretim Sistemleri Kullanım Kararları

Enerji üretim sistemleri, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik üreten sistemlerdir. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak çoğunlukla güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve biyokütle enerjisi kullanılmaktadır. Bu sistemler, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak, karbon salınımını düşürmek ve sürdürülebilir enerji sağlamak için önemlidir. Enerji kaynağı seçimi, binanın yapılacağı yerin rüzgâr alma durumu, yıllık gün ışığı ve güneşlenme süresi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının verimlilik durumuna göre

değişmektedir. Dolayısıyla enerji üretim sistemleri her iklim bölgesinde kullanılabilmekte, ancak sistemin verimliliği iklim bölgelerine göre değil, binanın inşa edileceği konumun yenilenebilir enerji kaynaklarına ulaşabilirliğine göre belirlenmektedir. Bu bağlamda, bölüm kapsamında Türkiye'de hâkim olan 5 iklim bölgesi (soğuk, ılıman- kuru, ılıman-nemli, sıcak- kuru ve sıcak- nemli) özelinde net sıfır enerjili binalara dair enerji üretim sistemlerinin kullanım kararlarının ilgili iklim bölgesi özelinde kullanıma uygunluk durumu Şekil 3.8.'de verilmiştir. Soğuk iklim bölgesi özelinde enerji üretim sistemlerinin kullanım kararlarında bulunan parametreler detaylandırılarak oluşturulan kılavuz içeriğinde parametrelerin çalışma prensibi, amaç, avantaj ve dezavantajları ile kullanıma uygunluk durumu ise Şekil 3.9.'de ifade edilmiştir. Enerji üretim sistemleri kullanım kararları, fotovoltaik (PV) sistem, rüzgâr türbini, kojenerasyon ve trijenerasyon sistem başlıkları altında detaylandırılmıştır.



Şekil 3.8. Türkiye iklim bölgeleri özelinde aktif sistemler kullanım kararları



Şekil 3.9. Soğuk iklim bölgesi özelinde enerji üretim sistemleri kullanım kararları

4. SOĞUK İKLİM BÖLGESİ ANALİZ ÇALIŞMASI: SİVAS İLİ

Tez çalışması kapsamında oluşturulmuş olan NSEB tasarım kılavuzu üzerinden soğuk iklim bölgesinde bulunan Sivas ili özelinde DesignBuilder programı kullanılarak enerji simülasyon analizleri yapılacaktır. Bu kapsamda ilk aşamada Sivas iline dair genel bilgiler verilmiştir. İkinci aşamada baz model tasarımı yapılarak Türkiye'de yeni yapılacak binalarda uyulması zorunlu olan TS 825 standardına uygun olacak şekilde yapı kabuğu tanımlanmış ve enerji analizleri yapılmıştır. Üçüncü aşamada tez çalışması kapsamında oluşturulmuş olan tasarım kılavuzu üzerinden senaryolar oluşturularak parametrelerin enerji performansları karşılaştırılmış ve binanın enerji ihtiyacının en az seviyede tutulması amacıyla en yüksek performansı veren parametreler binaya entegre edilmiştir. dördüncü ve son aşamada ise tasarlanan binada ihtiyaç duyulan enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilerek binanın NSEB standardına ulaşabilmesi amaçlanmıştır.

4.1. Genel Bilgiler

Enerji etkin tasarımda alana dair veriler enerji korunumu ve enerji üretimine yönelik yapılacak çalışmalara yön vermektedir. Bu bağlamda bölüm kapsamında Sivas ilinin konumu, coğrafi ve iklim özellikleri verilmiştir.

4.1.1. Konum ve coğrafi özellikleri

Sivas ili 28.488 km^2'lik yüz ölçümü ile Türkiye'nin en büyük ikinci ilidir. İç Anadolu bölgesinde bulunan il, Erzincan, Yozgat, Malatya, Kahramanmaraş, Ordu, Tokat, Giresun ve Kayseri illeri ile komşudur. 35°50' ve 38°14' doğu meridyenleri ile 38°42' ve 40°16' kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. İlin genel olarak topografik yapısına bakıldığında ülkemiz topografyası ile paralel olarak batıdan doğuya doğru bir yükseklik artışı mevcuttur. Deniz seviyesinden yüksekliği 1250 – 2280 m aralığındadır. Çalışma alanı bitki örtüsü açısından değerlendirilecek olur ise bozkır vejetasyonunun hâkim olduğu bölgede doğal bitki örtüsü dâhilinde gözlemlenen türler genellikle boyları 20 – 25 cm'yi geçmeyen kısa ömürlü bitkilerden oluşmaktadır. Bozkır vejetasyonu ilkbahar yağışları ile canlanan ve yağışın az olduğu yaz mevsiminde ise kuru bir görünüme bürünen bitki

türlerinden oluşmaktadır. Aynı zamanda bölgede yüksek kesimlerde görülen orman vejetasyonu için iklimin önemli bir rol oynadığını söylemek mümkündür [77].

4.1.2. İklim özellikleri

İç Anadolu Bölgesi'nin en soğuk ili olan Sivas, çevre illere nazaran kendine has bir iklim karakterine sahiptir. Yazları çok sıcak ve kurak geçen kentte yaz mevsimi oldukça kısa olmakla beraber kış ayları ise soğuk, kar yağışlı ve uzundur. Sivas kenti yıllık sıcaklık ortalaması bakımından Türkiye'nin en soğuk beş ili arasında yer almaktadır. 1970- 2018 yılları aralığında Türkiye için hazırlanmış ortalama sıcaklık dağılımı haritasında Sivas kenti sınırları 9,241 ℃ – 11,06 ℃ arasındaki ortalama sıcaklık değerlerinin tespit edildiği bölgede yer almış ve kent merkezi ise sıcaklık değer ortalaması 5,607 ℃- 7,423 ℃ arasında seyreden bölgede bulunmaktadır. Aynı zamanda 1970- 2018 yılları arasında Türkiye'de ortalama kar örtülü gün sayısı analizi haritası incelendiğinde Sivas kenti il sınırı 17,5 – 35,3 gün arasında kalan periyotta yer almaktadır. Sivas kent merkezinin ise yıllık ortalama 35,4 – 52 gün kar örtüsü ile kaplı olduğu belirtilmiştir. Ortalama sıcaklık değerleri ve kar örtülü gün sayısının fazlalığı da dikkate alındığında kentte kış mevsiminin oldukça soğuk ve çetin geçtiğini söylemek mümkündür [78].

Kente ait sıcaklık değerleri incelendiğinde ortalama en yüksek sıcaklık değeri 15,2 ℃ olarak hesaplanmış ve aynı zamanda haziran, temmuz, ağustos ve eylül ayları boyunca da sıcaklığın 20 ℃ ve üzerinde seyrettiği görülmüştür. Kış aylarının daha uzun ve nispeten soğuk yaşandığı kentte ortalama en düşük sıcaklık değeri 2,8 ℃ olarak hesaplanmıştır ve ocak, şubat, mart, kasım ve aralık aylarında ise bu değerin eksilerde seyrettiği görülmektedir. Kentin ortalama sıcaklık değeri 8,9 ℃ olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda ölçüm periyodu aralığındaki zaman dâhilinde görülmüş en yüksek sıcaklık ve ortalama en yüksek sıcaklıklar karşılaştırıldığında kentte en sıcak geçen ayların temmuz ve ağustos olduğunu söylemek mümkündür ve yine ölçüm periyodu aralığındaki zaman dâhilinde görülmüş en düşük sıcaklık ve ortalama en düşük sıcaklıklar karşılaştırıldığında kentte ocak ayının en soğuk ay olduğu görülmektedir. Kentte ortalama yağışlı gün sayısı yıllık 111,7 gün ve aylık toplam yağış miktarı yıllık ortalaması ise 428,7 mm olarak hesaplanmıştır ve aylara göre bakıldığında hem yağışlı gün sayısı hem de aylık yağış miktarı baz alındığında nisan ve mayıs aylarının diğer aylara nazaran daha yağışlı geçtiğini söylemek mümkündür [78].

Çizelge 4.1. Sivas ili 1930- 2023 arası iklim verileri [79]

	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıl
Ort.sıcaklık (°C)	-3,4	-2,1	2,7	9,0	13,5	17,0	20,0	20,2	16,2	11,0	4,8	-0,6	9,0
Ort. max. Sıcaklık (°C)	0,9	2,6	8,1	15,3	20,1	24,1	27,8	28,6	24,7	18,6	10,9	3,7	15,4
Ort. min. Sıcaklık. (°C)	-7,3	-6,2	-2,1	3,1	6,9	9,6	11,7	11,8	8,1	4,2	-0,2	-4,3	2,9
Ort. güneşlenme süresi(h)	2,6	3,6	4,8	6,3	8,1	10,5	11,9	11,4	9,4	6,5	4,2	2,5	6,8
Ort. yağışlı gün sayısı.	12,9	12,1	13,3	13,3	13,9	8,7	2,4	2,0	4,2	7,7	9,3	12,2	112,2
Top. yağış miktarı ort. (mm)	43,0	39,1	46,1	56,3	60,3	35,2	9,3	6,7	17,8	33,0	40,2	44,1	431,1
En yüksek sıcaklık (°C)	18,6	18,1	25,2	29,0	33,5	35,5	40,0	39,9	37,0	30,5	24,0	19,4	40,0
En düşük sıcaklık (°C)	-31,2	-34,4	-27,6	-11,0	-5,5	-0,6	3,0	3,2	-3,8	-9,0	-24,4	-30,2	-34,4

Çizelge 4.2. Sivas ili 1963- 2023 arası ortalama gün ışığı süreleri (saat) [80]

Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
9,7	10,7	12,0	13,3	14,4	14,9	14,7	13,7	12,4	11,1	10,0	9,4

Soğuk iklim bölgesinde enerji tüketiminde en büyük payı ısıtma yükleri almaktadır. Türkiye özelinde ısıtma için çoğunlukla fosil kaynaklı yakıtların kullanılması sebebiyle çalışmanın soğuk iklim bölgesi özelinde yapılması uygun bulunmuştur. Sivas ilinin iklim verilerine bakıldığında (Bkz. Çizelge 4.1.) soğuk iklim bölgesi özelliklerini yansıtması sebebiyle çalışma alanı olarak tercih edilmiştir. Sivas ilinin yıllık güneşlenme ve gün ışığı sürelerine bakıldığında güneşten elektrik enerjisi üretimi için yeterli potansiyelinin olduğu görülmektedir.

4.1.3. Baz modelin oluşturulması

Çalışma kapsamında baz model olarak tasarlanan bina için aşağıda belirtilen tasarım kararları alınmıştır.

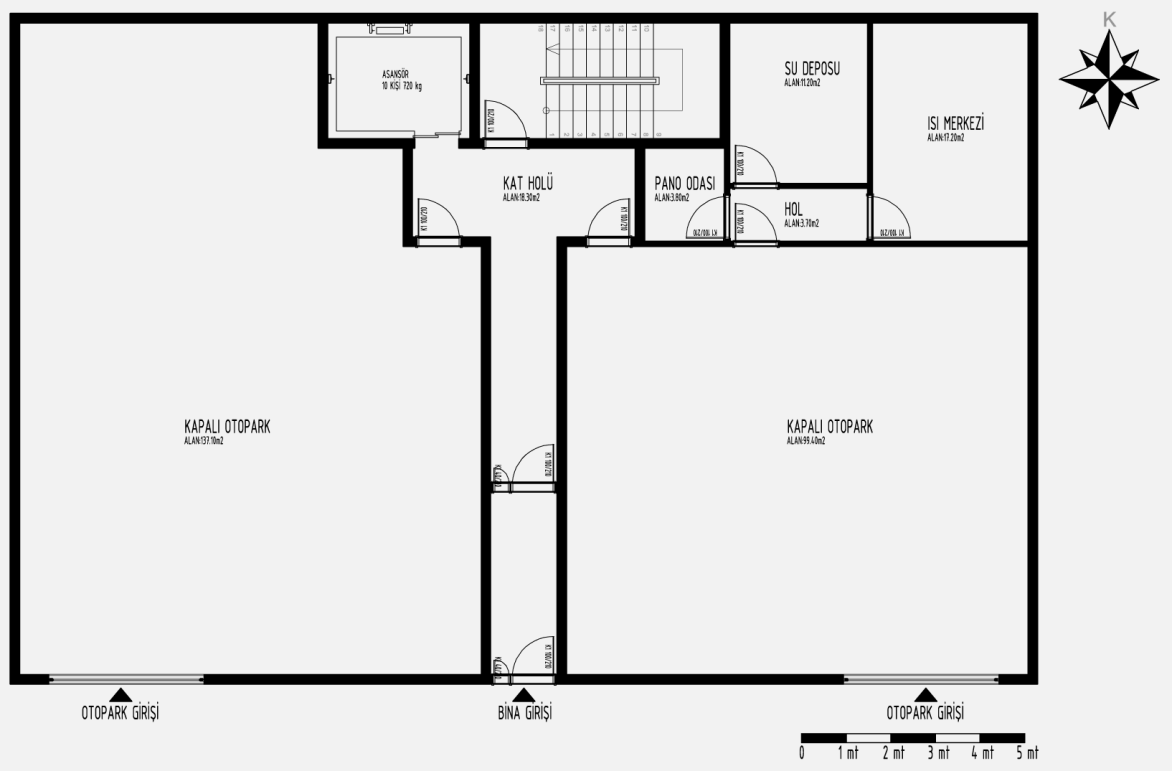
- Bina, eğimli bir arazide, geniş yüzey doğu- batı aksında olacak şekilde konumlandırılmıştır.

- Bina, ayrık nizamda ve kompakt formda tasarlanmıştır.
- Sivas uygulama imar planında 1000 m2'nin altındaki parsellerde çoğunlukla 4 kat imar verilmesi sebebiyle Bina yol kotu alınan noktaya göre B+Z+3K, bodrum katta bina girişi, otopark ve teknik hacimler; diğer katlarda, katta 3 oda 1 salon olmak üzere 2 daire, toplamda 8 daire olacak şekilde tasarlanmıştır.
- Binada zemin ve normal kat daireler brüt 151,20m2, net 107,40m2'dir. Kat alanı 345 m2, toplam inşaat alanı ise 1725 m2'dir. Daire m2'leri Sivas ilinde bulunan standart 3+1 konutlardan referans alınarak belirlenmiştir.
- Bina kabuğunda çatı bileşeninin, opak ve saydam bileşenlerin ısıl geçirgenlik katsayıları TS 825 4. bölge standartlarına uygun olarak tanımlanmıştır (bkz. Çizelge 4.3.).
- Bina kabuğunda hava sızdırmazlık değeri TS 825'te belirtilen değer olan 0,7 ac/h olarak tanımlanmıştır.
- Bina kabuğunda saydam yüzey oranı %20 olarak belirlenmiştir. Saydam yüzeylerin SHGC (güneş ısı kazancı katsayısı) değeri 0,533 olarak belirlenmiştir.
- Binanın çatısı iki yöne %35 eğimli oturtma kırma çatı olarak tasarlanmıştır. Eğim yönünde 50 cm saçak tanımlanmıştır. Çatı kaplama malzemesi olarak marsilya kiremit tercih edilmiştir.
- Mekân organizasyonunda yaşama mekanları olan salon, mutfak ve oturma odası güney cephesinde, yatak odaları ise kuzey cephesinde konumlandırılmıştır. Ayrıca her iki cephede de balkonlar tasarlanmıştır.
- Mekânlar kare veya kareye yakın dikdörtgen formda oluşturulmuştur.
- Binada bodrum katın tamamı, diğer katlarda kat holleri ve sirkülasyon alanları ve çatı arası termal hesaplamaların (ısıtma- soğutma) dışında tutulmuştur.
- Binada aydınlatma sistemi olarak LED armatürler kullanılmıştır. Bodrum katın tamamı ile diğer katlardaki kat holleri ve sirkülasyon alanlarında aydınlatma kontrolünün olduğu varsayılmıştır.
- Binada ısıtma sistemi olarak; yoğuşmalı kazan ile radyatörlü ısıtma sistemi tercih edilmiştir. Enerji kaynağı doğalgaz, CoP değeri ise 0,85 olarak belirlenmiştir.
- Binada her dairede 4 kişinin (anne, baba ve 2 çocuk) yaşadığı varsayılmıştır. Kullanıcıların giysi düzeyleri kış ayları için 1 clo, yaz ayları için 0,50 clo olarak kabul edilmiştir.
- Isıtma dönemi için iç mekân sıcaklığı 22 °C, ısıtma sisteminin iç mekân sıcaklığını sağladığı üst sınır değer ise 18 °C olarak belirlenmiştir.
- Soğutma dönemi için iç mekân sıcaklığı 25 °C, soğutma sisteminin iç mekân sıcaklığını sağladığı üst değer ise 28 °C olduğu varsayılmıştır.
- Binada mekanik havalandırma sistemi bulunmamaktadır.
- Tasarlanan yapının etrafında herhangi bir bina ve peyzaj elemanı bulunmamaktadır.

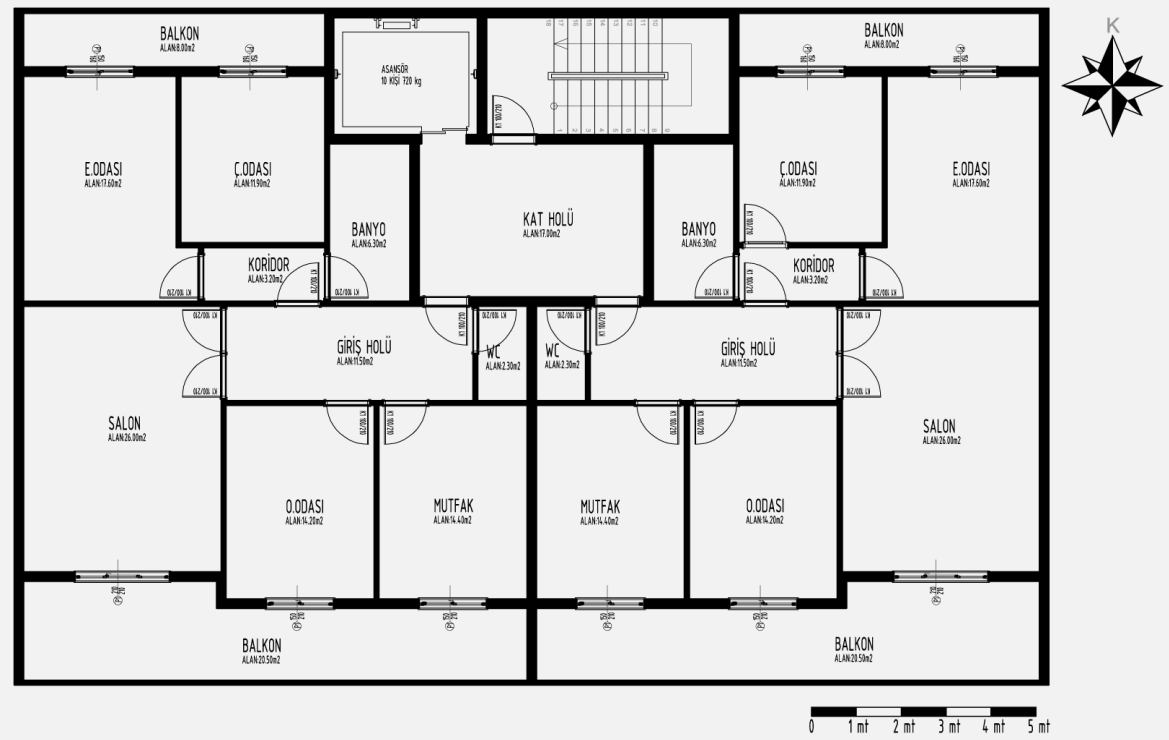
Soğuk iklim bölgesi olarak Sivas ili seçilen çalışmada enerji simülasyonu, EnergyPlus 9.4 tabanlı DesignBuilder v7.0.2 programı ile yapılmıştır. İklim verisi olarak TMYx 2009-2023 paketi kullanılmıştır. Simülasyon için 2023 yılı tercih edilmiştir.

Çizelge 4.3. TS 825'e göre bina kabuğundaki opak ve saydam bileşenlerin maksimum U değerleri [15]

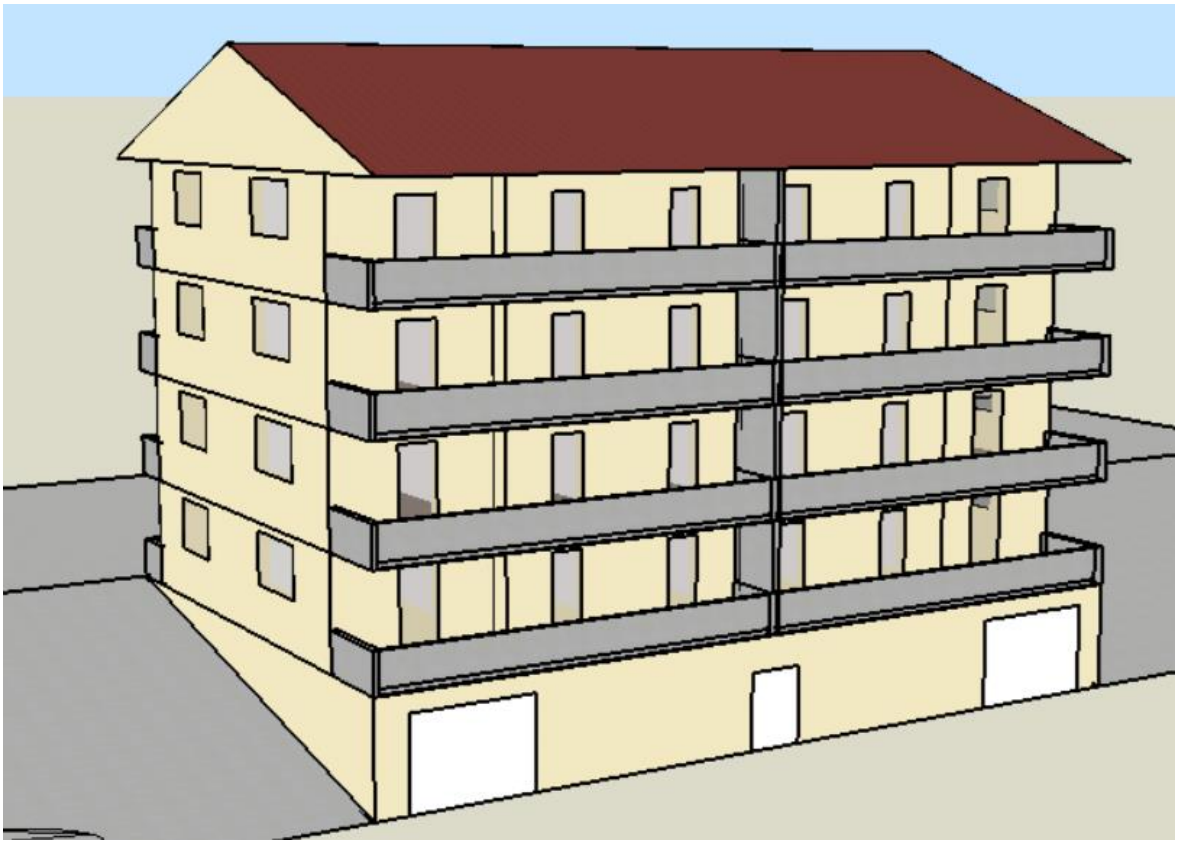
	BİNA KABUĞUNDAKİ OPAK VE SAYDAM BİLEŞENLERİN MAKSİMUM U DEĞERLERİ			
	Duvar- U_D (W/m^2K)	Çatı- U_T (W/m^2K)	Döşeme- U_t (W/m^2K)	Pencere- U_P (W/m^2K)
1. BÖLGE	0,66	0,43	0,66	1,8
2. BÖLGE	0,57	0,38	0,57	1,8
3. BÖLGE	0,48	0,28	0,43	1,8
4. BÖLGE	0,38	0,23	0,38	1,8
5. BÖLGE	0,36	0,21	0,36	1,8



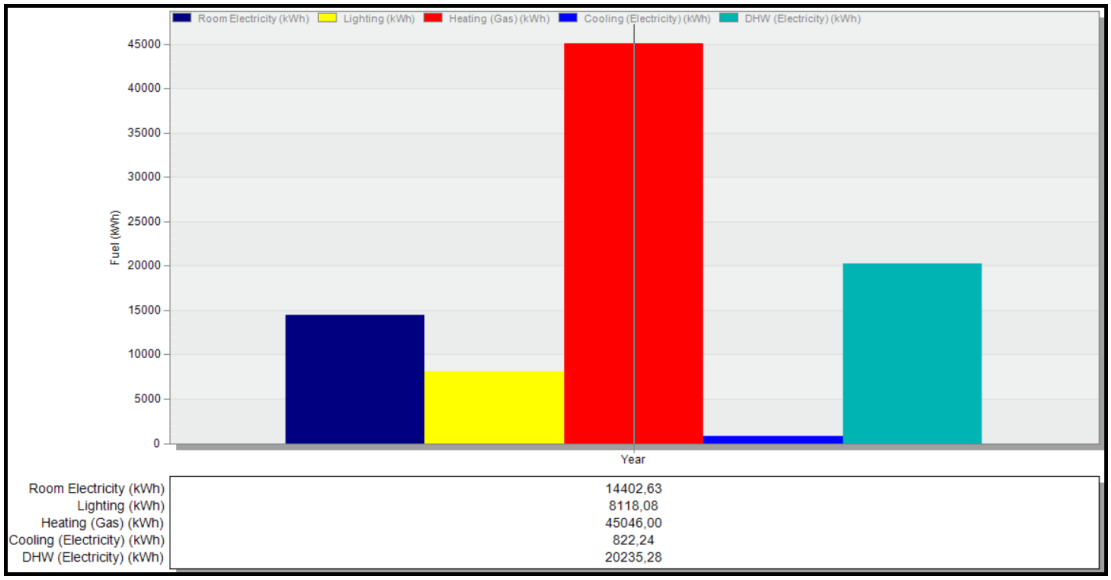
Şekil 4.1. Tasarlanan yapıya ait bodrum kat planı



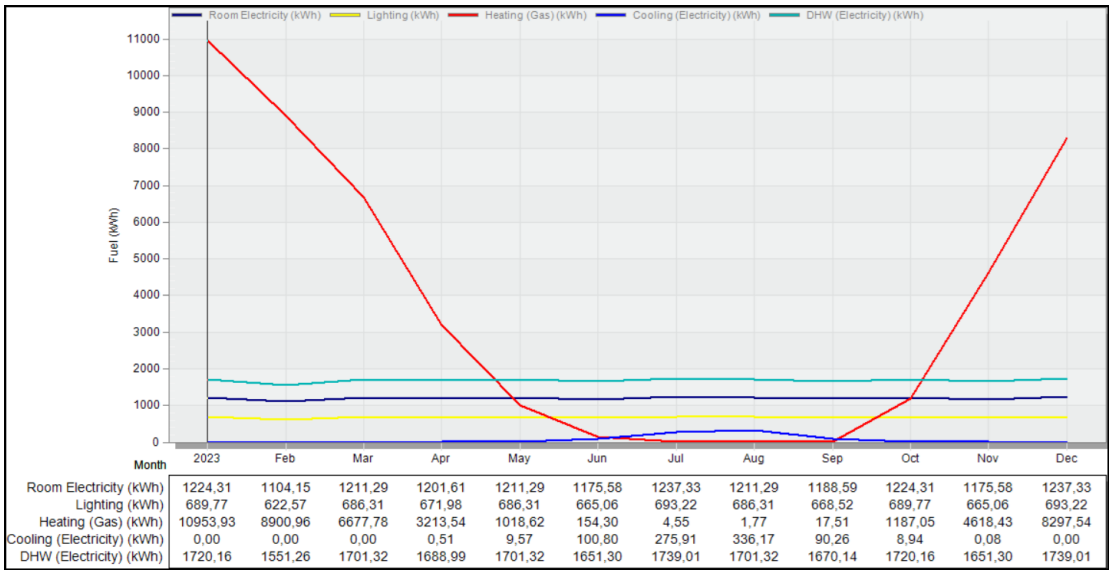
Şekil 4.2. Tasarlanan yapıya ait zemin ve normal kat planları



Şekil 4.3. Baz model olarak tasarlanan yapıya ait 3 boyutlu görünüm



Şekil 4.4. Baz model olarak tasarlanan yapıya ait yıllık toplam enerji tüketim dağılımı verileri



Şekil 4.5. Baz model olarak tasarlanan yapıya ait aylık toplam enerji tüketim dağılımı verileri

Çizelge 4.4. Baz model olarak tasarlanan yapıya ait simülasyon sonuçları özet tablosu

Parametreler	Simülasyon Sonuçları
Yıllık toplam enerji tüketimi	88624,23 kWh
Toplam alan başına enerji tüketimi	100,32 kWh/m2
Yıllık toplan ısıtma yükü	45046,00 kWh
Yıllık toplam soğutma yükü	822,24 kWh
Isıtma yükünün toplam enerji tüketimine oranı	%50,82
Soğutma yükünün toplam enerji tüketimine oranı	%0,93
Aylık en yüksek ısıtma yükü	10953,93 kWh (Ocak)
Aylık en yüksek soğutma yükü	336,17 kWh (Ağustos)

4.2. Tasarım Kılavuzu Parametrelerine Göre Alternatif Senaryoların Oluşturulması

Bölüm kapsamında 3. Bölümde verilmiş olan soğuk iklim bölgesi tasarım karar adımlarında bulunan parametrelere (bkz. şekil 3.3., 3.5., 3.7. ve 3.9.) göre alternatif senaryolar oluşturulmuş ve simülasyonlar yapılarak analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

4.2.1. Pasif tasarım kararları

PTK- 1 Binanın konumu

Parametre kapsamında PTK 1A- konum ve PTK 1B- eğim olmak üzere 2 adet alt parametre bulunmaktadır. Tasarlanan yapı programda modellenirken belli bir arazi tanımlanması yapılmaması sebebiyle sadece PTK- 1B kapsamında arazinin eğimli ve düz hali analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Yapılan simülasyon çalışması sonucunda toprak altında kalan bodrum katın termal hesaplamaların dışında tutulması sebebiyle eğimli ve düz arazi koşullarında binanın enerji tüketimi bağlamında herhangi bir değişiklik olmamıştır.

PTK- 2 Binanın yönlenmesi

Parametre kapsamında PTK- 2A optimum güneş yönlenmesi, PTK- 2B en iyi yönlenme aralıkları, PTK- 2C geçerli yönlenme aralıkları ve bunlara bağlı olarak PTK- 2D yerleşim doğrultusu alt parametreleri bazında senaryolar çeşitlendirilmiştir. Baz model doğu- batı aksında geniş yüzey güneyde olacak şekilde yönlendirilmiştir. Bu kapsamda, 22° güneydoğu, 20° güneybatı, 45° güneydoğu, 31° güneybatı ve 86° güneydoğu olmak üzere 5 ayrı simülasyon yapılarak baz model ile enerji tüketim sonuçları çizelge 4.5.'te verilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, yapının enerji tüketimi açısından en iyi sonuç baz modelde tanımlanmış olan geniş yüzeyin tam güneye yönlenmesi olarak ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda bir sonraki parametrede yapılacak olan simülasyon çalışmalarında baz model ile devam edilecektir.

Çizelge 4.5. PTK- 2 binanın yönlenmesi kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Parametre	Yönlenme	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Optimum yönlenme	Geniş yüzey, 0° güney	45046,00	Baz model	822,24	Baz model	88624, 23	100,32	Baz model
	Geniş yüzey, 22° güneydoğu	45318,94	+272,94/ %0,60	849,14	+26,90/ %3,27	88924, 07	100,66	+299,84/ %0,33
En iyi yönlenme	Geniş yüzey, 20° güneybatı	45726,68	+680,68/ %1,51	840,15	+17,91/ %2,18	89322, 82	101,11	+698,59/ %0,79
	Geniş yüzey, 45° güneydoğu	45877,94	+831,94/ %1,85	960,17	+137,93/ %16,77	89594, 10	101,42	+969,87/ %1,09
Geçerli yönlenme	Geniş yüzey, 31° güneybatı	46154,59	+1108,59 / %2,46	865,95	+43,71/ %5,32	89776, 53	101,62	+1152,30/ %1,30
	Geniş yüzey, 86° güneydoğu	46511,29	+1465,29 / %3,25	990,51	+168,27/ %20,46	90257, 79	102,17	+1633,56/ %1,84

PTK- 3 Binanın formu

Parametre kapsamında PTK- 3B form, PTK- 3C kat sayısı ve PTK- 3D bina derinliği/ cephe uzunluğu oranı alt parametreleri standart olarak kabul edilip sabit tutulmuştur. Bu kapsamda sadece PTK- 3A yapı nizamı alt parametresi değişken olarak kabul edilmiş olup, ayrık nizam, bitişik nizam ve blok nizam (sıra ev) olmak üzere 3 ayrı senaryo üzerinden simülasyon çalışması yapılarak analizler çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. PTK- 3 binanın formu kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Yapı nizamı	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Ayrık nizam (mevcut durum)	45046,00	X	822,24	X	88624,23	100,32	X
Blok nizam (sıra ev)	43162,02	-1883,98/ %4,18	515,28	-306,96/ %37,33	86433,29	97,84	-2190,94/ %2,47
Bitişik nizam	41022,75	-4023,25/ %8,93	366,29	-455,95/ %55,45	84145,03	95,25	-4479,20/ %5,05

Yapılan analizler sonucunda ayrık nizam olarak tasarlanmış baz modele göre blok nizamda ısıtma enerjisi tüketiminde %4,18, soğutma enerjisi tüketiminde %37,33, toplam enerji tüketiminde ise %2,47 oranında düşüş sağlanmıştır. Bitişik nizamda ise ayrık nizama göre ısıtma enerjisi tüketiminde %8,93, soğutma enerjisi tüketiminde %55,45, toplam enerji tüketiminde ise %5,05 oranında düşüş sağlanmıştır. Bu kapsamda bir sonraki parametrede yapılacak olan simülasyon çalışmasında yapı nizamı olarak toplam enerji tüketimi 84145,03 kWh olan bitişik nizam yapı ile devam edilecektir.

PTK- 4 Binalar arası mesafe

Tez kapsamında tasarlanan yapının çevresinde herhangi bir binanın bulunmadığı varsayıldığından parametre analizlerin dışında tutulmuştur.

PTK- 5 Bina kabuğu (opak)

Parametre kapsamında PTK- 5A zaman geciktirme süresi ve yönü ve PTK- 5B malzeme alt parametrelerine dair Türkiye'de opak yapı kabuğu elemanı olarak en çok tercih edilen yapı malzemelerine dair bilgiler çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Opak bina kabuğu yapı elemanlarının termal özellikleri [86,87,88]

Malzeme	Yoğunluk (kg/m3)	Isı iletkenliği (W/m-K)	Isı depolama kapasitesi (J/m^2-K)	Zaman geciktirme süresi (saat)	U değeri (W/m^2-K)
19 cm tuğla	1600	0,54	255360	6,1	2,84
20 cm gazbeton	800	0,21	116000	3,3	1,05
20 cm bims	1200	0,23	179760	4,2	1,15

Yukarıdaki tabloya bakıldığında üç malzeme içerisinde gazbetonun en düşük U değerine olmasına rağmen soğuk iklim bölgesi için zaman geciktirme süresi ve ısı depolama kapasitesi bakımından en uygun malzeme tuğla olmaktadır. Bu nedenle opak bina kabuğu elemanı olarak baz modelde tercih edilmiş olan 19 cm düşey delikli tuğla seçimiyle devam edilecektir.

Parametre kapsamında PTK- 5C renk alt parametresine dair baz modelde cephe rengi beyaza yakın açık renk kullanılmıştır. Ayrıca cephelerde koyu antrasit renk verilerek bir

senaryo oluşturulmuş ve enerji simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Çıkan sonuçlar çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. PTK- 5C renk kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Renk	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Açık renk (mevcut durum)	41022,75	X	366,29	X	84145,03	95,25	X
Koyu renk (antrasit)	40045,55	-977,20/ %2,38	377,04	+13,75/ %3,76	83181,58	94,16	-963,45/ %1,12

Opak bina kabuğu parametresinde oluşturulan bir diğer senaryo grubu ise bina kabuğunun U değerlerinin iyileştirilmesi üzerine olmuştur. Bu kapsamda dış duvarlar, zemin döşemesi, ara kat döşemesi ve çatı bileşenlerinde ayrı ayrı U değeri iyileştirmeleri yapılarak enerji simülasyon analizleri yapılmıştır. Senaryolar kapsamında analizi yapılan kabuk elemanlarının katmanları ve elde edilen U değerleri çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Bina kabuğu elemanlarının katmanları ve U değerleri

Kabuk Elemanı	Katmanlar	U Değeri (W/M^2-K)
Dış duvar (D1)	Boya+ alçı sıva+ çimento sıva+ 19 cm tuğla duvar+ 16 cm taş yünü ısı yalıtımı+ çimento sıva+ ince sıva+ boya	0,197
Dış duvar (D2)	Boya+ alçı sıva+ çimento sıva+ 19 cm tuğla duvar+ 20 cm taş yünü ısı yalıtımı+ çimento sıva+ ince sıva+ boya	0,163
Dış duvar (D3)	Boya+ alçı sıva+ çimento sıva+ 19 cm tuğla duvar+ 30 cm taş yünü ısı yalıtımı+ çimento sıva+ ince sıva+ boya	0,114
Dış duvar (D4)	Boya+ alçı sıva+ çimento sıva+ 19 cm tuğla duvar+ 40 cm taş yünü ısı yalıtımı+ çimento sıva+ ince sıva+ boya	0,088
Bodrum kat tavan döşemesi (B1)	15 cm B.A. döşeme+ 10 cm XPS ısı yalıtımı+ 7 cm şap+ ahşap döşeme kaplaması	0,275
Bodrum kat tavan döşemesi (B2)	15 cm B.A. döşeme+ 16 cm XPS ısı yalıtımı+ 7 cm şap+ ahşap döşeme kaplaması	0,185
Bodrum kat tavan döşemesi (B3)	15 cm B.A. döşeme+ 20 cm XPS ısı yalıtımı+ 7 cm şap+ ahşap döşeme kaplaması	0,152
Ara kat döşemesi (A1)	15 cm B.A. döşeme+ 7 cm şap+ Ahşap döşeme kaplaması	1,446
Ara kat döşemesi (A2)	15 cm B.A. döşeme+ 5 cm XPS ısı yalıtımı+ 7 cm şap+ Ahşap döşeme kaplaması	0,463
Ara kat döşemesi (A3)	15 cm B.A. döşeme+ 10 cm XPS ısı yalıtımı+ 7 cm şap+ Ahşap döşeme kaplaması	0,275
Çatı kat döşemesi (Ç1)	15 cm B.A. döşeme+ 5 cm keçe+ 20 cm taş yünü ısı yalıtımı+ çatı kaplaması	0,193
Çatı kat döşemesi (Ç2)	15 cm B.A. döşeme+ 5 cm keçe+ 24 cm taş yünü ısı yalıtımı+ çatı kaplaması	0,162

Çizelge 4.10. Bina dış duvar bileşenlerinde U değerleri kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Duvar	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Mevcut durum	40045,55	X	377,04	X	83181,58	94,16	X
Dış duvar (D1)	36296,23	-3749,32/ %9,36	381,92	+4,88/ %1,3	79437,14	89,92	-3754,20/ %4,52
Dış duvar (D2)	35322,26	-4723,29/ %11,79	386,09	+9,05/ %2,4	78467,34	88,82	-4714,24/ %5,68
Dış duvar (D3)	33634,69	-6410,86/ %16,00	389,88	+12,84/ %3,41	76783,56	86,91	-6423,70/ %7,73
Dış duvar (D4)	32502,78	-7542,77/ %18,83	390,19	+13,05/ %3,46	75651,86	85,63	-7529,72/ %9,06

Bina dış duvar bileşenlerinde farklı yalıtım kalınlıkları ile oluşturulan senaryoların enerji simülasyon sonuçları çizelge 4.10.'da verilmiştir. Yapılan analizlerde yalıtım kalınlığı arttıkça duvar bileşeninin enerji verimliliğinin arttığı tespit edilmiştir. Ancak optimum yalıtım kalınlığı- enerji verimliliği ilişkisinin 30 cm taşyünü ısı yalıtımı bulunan D3 duvarında olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda enerji analizlerine D3 duvarı ile devam edilecektir.

Binanın döşeme bileşenlerinde farklı yalıtım kalınlıklarıyla oluşturulan senaryoların (B1- B2- B3 ve A1- A2- A3) enerji simülasyon analizi sonuçlarına göre binanın ısıtma ve soğutma için ihtiyaç duyduğu enerji miktarında kayda değer bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda binanın döşeme bileşenlerinde TS 825'te belirtilen yalıtım kalınlıkları ve U değerleri kullanılmaya devam edilecektir.

Çizelge 4.11. Bina çatı bileşenlerinde U değerleri kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Çatı	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Mevcut durum	33634,69	X	389,88	X	76783,56	86,91	X
Çatı kat döşemesi (Ç1)	33399,57	-235,12/ %0,7	379,59	-10,29/ %2,64	76538,15	86,64	-245,41/ %0,32
Çatı kat döşemesi (Ç2)	33323,34	-311,35/ %0,93	378,23	-11,65/ %2,99	76460,56	86,55	-323,00/ %0,42

Yapılan analizler sonucunda çatı döşemesinde farklı yalıtım kalınlıklarıyla oluşturulan senaryoların enerji simülasyon analizi sonuçlarına göre binanın ısıtma ve soğutma için ihtiyaç duyduğu enerji miktarında az miktarda iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda binanın çatı bileşenlerinde TS 825'te belirtilen yalıtım kalınlıkları ve U değerleri kullanılmaya devam edilecektir.

Bina kabuğu bileşenlerinde ısı sızdırmazlık seviyeleri için de senaryo oluşturulmuştur. Bu kapsamda TS 825' te 0,7 ac/h olarak verilen ısı sızdırmazlık seviyesi mevcut durum olarak kabul edilmiştir. Passivhaus standartlarında ise bu değerin 0,6 ac/h olması gerektiği belirtilmektedir. Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (MHG/2016- 26) [89] kapsamında apartmanlarda ısı sızdırmazlık değeri 0,5 ac/h olarak paylaşılmıştır. Çizelge 4.12.'de belirtilen ısı sızdırmazlık seviyelerine ait enerji tüketim verileri paylaşılmıştır.

Çizelge 4.12. Bina kabuğu bileşenlerinde ısı sızdırmazlık değerleri kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Isı sızdırmazlık değeri	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Mevcut durum (0,7 ac/h)	33634,69	X	389,88	X	76783,56	86,91	X
0,6 ac/h	29078,08	-4556,61/ %13,55	377,77	-12,11/ %3,11	72214,84	81,74	-4568,72/ %5,96
0,5 ac/h	25138,15	-8496,54/ %25,26	314,68	-75,2/ %19,29	68211,82	77,21	-8571,74/ %11,18

Yapılan simülasyon sonuçlarına göre ısı sızdırmazlık seviyesinin binanın ısıtma ve soğutma enerji yükünde ciddi bir etkisi bulunmaktadır. Bu kapsamda binanın ısı sızdırmazlık seviyesi 0,5 ac/h olarak kabul edilecektir.

PTK- 6 Bina kabuğu (saydam)

Parametre kapsamında PTK- 6A saydam yüzey oranı, PTK- 6B pencere boyutu, PTK- 6C çerçeve ve PTK- 6D cam alt parametreleri bulunmaktadır. Bu kapsamda öncelikle PTK- 6C alt parametresine ait senaryolar oluşturularak enerji simülasyon analizleri yapılmıştır. Çizelge 4.13.'te çerçeve seçimine göre enerji simülasyon sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 4.13. PTK- 6C çerçeve kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Çerçeve	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Mevcut durum (PVC)	25138,15	X	314,68	X	68211,82	77,21	X
Ahşap	25164,35	+26,20/ %0,10	314,15	-0,53/ %0,17	68237,49	77,24	+25,67/ %0,03
Alüminyum	26049,16	+911,01/ %3,62	308,94	-5,74/ %1,82	69117,09	78,24	+905,27/ %1,33

Çerçeve seçimine ait senaryolarla yapılan enerji simülasyon analizlerine göre PVC ve ahşap doğrama değerleri yaklaşık olarak aynı çıkmış, ancak alüminyum doğramada toplam enerji tüketiminin 905,27 kWh arttığı tespit edilmiştir. Ahşap; doğal bir malzeme olması, üretiminde çevreye herhangi bir zararının olmaması, sağlığa zararsız olması ve düzenli bakımının yapılması koşuluyla PVC ye göre daha uzun ömürlü olması sebebiyle çerçeve olarak ahşap doğrama ile devam edilecektir.

PTK- 6D cam katmanlarının belirlenmesine dair senaryolarda ise mevcut durumda TS 825'te belirtilen 1,8 U değerini sağlayan cam katmanları ile enerji verimliliği daha yüksek olan üçlü low-e cam tercih edilerek iki ayrı senaryo üzerinden enerji simülasyon analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda cam katmanları, U ve SHGC değerleri çizelge 4.14.'te, yapılan enerji simülasyon analizi sonuçları ise çizelge 4.15.'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Pencere camı katmanları, U ve SHGC değerleri

Senaryo	Katmanlar	U Değeri (W/M^2-K)	SHGC
P1	Çift cam; dışta 3 mm low-e cam, 13 mm hava boşluğu içte 3 mm düz cam (mevcut durum)	1,786	0,598
P2	Üçlü cam; dışta 3 mm low-e cam, ortada 3 mm düz cam, içte 3 mm low-e cam, hava boşlukları 13 mm argon gazı dolgulu	0,780	0,474

Çizelge 4.15. PTK- 6D cam kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Cam	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
P1 (Mevcut durum)	25164,35	X	314,15	X	68211,82	77,21	X
P2	22576,90	-2561,25/ %10,19	275,62	-39,06/ %12,41	65611,51	74,27	-2600,31/ %3,82

PTK- 6A saydam yüzey oranı ve PTK- 6B pencere boyutu alt parametreleri kapsamında saydam yüzey oranının %15-20 civarı ve pencere boyutunun küçük olması gerekmektedir. Ancak bahsedilen bu değer ve kriterlerin enerji performansı düşük pencerelerde ısı kayıplarının güneş ışınımından elde edilecek ısı kazancına göre fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Tez çalışması kapsamında enerji analizleri yapılan prototip binanın pencerelerinde yüksek SHGC değeri ve düşük U değeri olan cam tercih edilmesinden dolayı saydam yüzey oranı artırıldıkça güneş ışınlarından elde edilecek ısı enerjisi miktarının saydam yüzeylerden oluşacak ısı kayıplarına oranla daha yüksek olacağı düşünülerek saydam yüzey oranının değişimine yönelik senaryolar oluşturularak enerji simülasyon analizleri yapılmıştır. Saydam yüzey oranı kuzey cephede %20 olacak şekilde sabit tutulmuş, güney cephede ise en az %20 olacak şekilde (mevcut durum) her senaryoda %10 oranında artırılarak analizler yapılmış ve çıkan sonuçlar çizelge 4.16.'da paylaşılmıştır.

Çizelge 4.16. PTK- 6A saydam yüzey oranı ve PTK- 6B pencere boyutu kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Saydam yüzey oranı	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
%20 (Mevcut durum)	22576,90	X	275,62	X	65611,51	74,27	X
%30	20039,93	-2536,97/ %11,24	371,37	+95,75/ %34,74	63170,29	71,51	-2441,22/ %3,73
%40	18031,73	-4545,17/ %20,13	501,09	+225,47/ %81,80	61291,81	69,38	-4319,70/ %6,60
%50	16462,34	-6114,56/ %27,08	677,59	+401,97/ %145,84	59898,92	67,80	-5712,59/ %8,72
%60	15272,85	-7304,05/ %32,35	891,40	+615,78/ %223,41	58923,24	66,70	-6688,27/ %10,21
%70	14389,48	-8187,42/ %36,26	1134,17	+858,55/ %311,50	58282,64	65,97	-7328,87/ %11,19
%80	14094,15	-8482,75/ %37,57	1304,74	+1029,12/ %373,38	58157,88	65,83	-7453,63/ %11,38
%90	14290,64	-8286,26/ %36,70	1371,86	+1096,24/ %397,74	58421,49	66,13	-7190,02/ %10,98
%100	14633,07	-7943,83/ %35,19	1491,40	+1215,78/ %441,11	58883,46	66,65	-6728,05/ %10,27

Yapının güney cephesindeki saydam yüzey oranı özelinde oluşturulan senaryolar üzerinden yapılan enerji simülasyon analizleri sonucunda %60 saydamlık seviyesine kadar yapının yıllık toplam enerji tüketiminde kayda değer düşüşler gerçekleşmiş, %70 saydamlık seviyesinde az miktarda düşüş olmuş, %70 ile %80 saydamlık seviyesinde enerji tüketim verileri yaklaşık eşit çıkmış ve %90 ile %100'de ise yapının yıllık toplam enerji tüketimi artış göstermiştir. Bu kapsamda güney cephede, enerji tüketiminde en etkili düşüşün olduğu %60 saydam yüzey oranı ile enerji simülasyon analizlerine devam edilecektir.

PTK- 7 Bina kabuğu (çatı)

Parametre kapsamında PTK- 7A çatı eğimi ve PTK- 7B yalıtım alt parametreleri bulunmaktadır. Bina tasarımı aşamasında, tasarım kılavuzunda belirtilen kriterlere uygun olacak şekilde, çatı eğimi %35 olarak, yalıtım türü ise sıcak çatı olarak tanımlanmış ve sabit tutulmuştur. Bu kapsamda parametre özelinde herhangi bir değişken tanımlanmamış olup yeni bir senaryo oluşturulmamıştır. Çatı yüzeyindeki yalıtım kalınlığı ile ilgili senaryolar ise PTK- 5 bina kabuğu (opak) başlığı altında verilmiştir.

PTK- 8 Mekân organizasyonu- yerleşim

Parametre kapsamında PTK- 8A mekân yerleşimi ve PTK- 8B mekân boyut ve biçimi alt parametreleri bulunmaktadır. PTK- 8A kapsamında konutlardaki yaşama mekanları güney cephede, tampon mekanlar ve gün içerisinde daha az yoğunlukta kullanılan ebeveyn ve çocuk odaları kuzey cephede konumlandırılmıştır. PTK- 8B kapsamında ise mekân derinlikleri cephe uzunluğundan fazla olacak şekilde kare veya kareye yakın formlarda oluşturulmuştur. Bu kapsamda her iki alt parametre de tasarım kılavuzunda belirletilen kriterlere uymaktadır. Parametreler baz modelde tasarlandığı haliyle sabit tutularak herhangi bir değişken tanımlanmamıştır.

PTK- 9 Bitki örtüsü

Tez kapsamında tasarlanan yapının çevresinde herhangi bir peyzaj elemanının bulunmadığı varsayıldığından parametre analizlerin dışında tutulmuştur.

Pasif tasarım kararları simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi

Tez çalışması kapsamında öncelikle TS 825'e uygun olacak şekilde baz model tasarımı yapılmıştır. Sonrasında ise şekil 3.2.'de verilen soğuk iklim bölgesi pasif tasarım kararlarında tanımlanmış olan parametreler üzerinden baz modele NSEB elde etmeye yönelik senaryolar oluşturularak enerji verimli iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda her bir parametrenin enerji simülasyon analizleri yapılmış ve çıkan sonuçlar değerlendirilerek en optimum çözümü veren senaryo tasarlanan yapıya entegre edilerek analizlere devam edilmiştir. Çizelge 4.17. ve 4.18.'de pasif tasarım kararları üzerinden oluşturulan optimum çözümü sunan senaryoların binanın ısıtma ve soğutma yükü ile toplam enerji tüketimine olan etkileri verilmiştir.

Çizelge 4.17. Pasif tasarım kararlarına göre nihai enerji tüketim verileri

	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Baz model	45046,00	X	822,24	X	88624,23	100,32	X
PTK	15272,85	-29773,15/ %66,09	891,40	+69,16/ %8,41	58923,24	66,70	-29703,99/ %33,64

Çizelge 4.18. Baz model ve PTK enerji tüketim verileri karşılaştırması

Parametreler	Baz model simülasyon sonuçları	PTK simülasyon sonuçları
Yıllık toplam enerji tüketimi	88624,23 kWh	58923,24 kWh
Toplam alan başına elektrik tüketimi	100,32 kWh/m2	66,70 kWh/m2
Yıllık toplan ısıtma yükü	45046,00 kWh	15272,85 kWh
Toplam alan başına ısıtma yükü	50,99 kWh/m2	17,29 kWh/m2
Isıtma yükünün toplam enerji tüketimine oranı	%50,82	%25,92
Yıllık toplam soğutma yükü	822,24 kWh	891,40 kWh
Toplam alan başına soğutma yükü	0,93 kWh/m2	1,01 kWh/m2
Soğutma yükünün toplam enerji tüketimine oranı	%0,93	%1,51
Aylık en yüksek ısıtma yükü	10953,93 kWh (Ocak)	3600,33 kWh (Ocak)
Aylık en yüksek soğutma yükü	336,17 kWh (Ağustos)	247,98 kWh (Ağustos)

4.2.2. Pasif sistemler kullanım kararları

PSKK- 1 Güney penceresi

Parametre kapsamında ısı kayıplarının minimum seviyede, güneş ışınımından maksimum seviyede ısı kazancı elde etmek amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, PTK- 6 parametresinde pencerelerin çerçeve ve cam bileşenlerinde U değerlerinin düşük, SHGC değerlerinin ise yüksek tutulması amaçlanarak malzeme seçimi yapılmıştır. Saydam yüzey oranı özelinde güney cephedeki pencereler %20 ila %100 arasında her senaryoda 10'ar puanlık artışla optimum ısı kazancı/ ısı kaybı oranını sağlamaya yönelik saydam yüzey oranı tespit edilmiştir. Yapılan bu işlemlerle güney pencereleri ile yüksek enerji performansı sağlamaya yönelik tüm alternatif senaryolar oluşturulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, parametre kapsamında binanın enerji performansını artırmaya yönelik PTK-6'da verilen senaryolar yeterli görülmüştür.

PSKK- 2 Çatı penceresi

Çatı pencereleri nemin azaltılması, doğal aydınlatma ve havalandırmaya yönelik pasif sistemler olup soğuk iklim bölgelerinde yüksek ısı kaybı oluşturması sebebiyle kullanımı önerilmemektedir. Bu kapsamda, binada çatı pencerelerinin bulunmadığı varsayılarak parametre değerlendirme dışı bırakılmıştır.

PSKK- 3 Güneş kontrol elemanları

Güneş kontrol elemanları binaların doğu, güney ve batı cephelerinde bulunan saydam yüzeylerden güneş ışınlarının en sıcak devrede iç mekâna girmesini engelleyerek mekanların aşırı ısınmasını engellemekte ve binanın soğutma yükünü azaltmaktadır. Mevcut durumda tasarlanan yapının soğutma yükünün 891,40 kWh olması sebebiyle güneş kontrol elemanlarına ihtiyaç bulunmamaktadır. Ancak PSKK- 7 güneş odası ve PSKK- 10 çift kabuk cephe sistemi parametreleri kapsamında saydam yüzey oranının artması ve aynı zamanda soğutma yükünün de artması sebebiyle her bir parametre kapsamında güneş kontrol elemanlarının tanımlandığı senaryolar üzerinden enerji simülasyonları yapılmış ve çıkan sonuçlar üzerinden sistemin etkinliği analiz edilmiştir. Güneş kontrol elemanları, programlanabilir özellikte yansıtıcılığı yüksek çıtalı kepenkler

mayıs – eylül ayları arası aktif olacak şekilde kullanılmış ve saydam yüzeylerin dış kısmına yerleştirilmiştir.

PSKK- 4 Güneş duvarı

Güneş duvarları uygulandığı cephede doğal aydınlatma ve havalandırmaya engel olmaktadır. Mevcut durumda tasarlanan yapı PTK- 3A kapsamında daha yüksek enerji korunumu sağlamasından dolayı yapı nizamı bitişik nizam olarak tanımlanmıştı. Ancak tasarlanan konut binasında bulunan mekanlar sadece kuzey ve güney cepheye yüz vermekte ve bu cephelerden aydınlatma ve havalandırma sağlanabilmektedir. Bu kapsamda güneş duvarlarının binaya entegre edilerek enerji simülasyon analizlerinin yapılabilmesi ve sistem verimliliğinin değerlendirilebilmesi için yapı nizamı tekrar ayrık nizama döndürülerek doğu ve batı cephelerde güneş duvarı uygulaması yapılmıştır. Bu kapsamda güneş duvarları özelinde yapılan enerji analizlerinin sonuçları çizelge 4.19.'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. PSKK- 4 güneş duvarı kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Saydam yüzey oranı	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Mevcut durum	15272,85	X	891,40	X	58923,24	66,70	X
PSKK- 4	11604,15	-3668,70/ %24,02	2429,93	+1538,53/ %172,60	56793,07	64,29	-2130,17/ %3,62

PSKK- 5 Trombe duvar

Trombe duvarların çalışma prensibi güneş duvarları ile oldukça benzerdir. Trombe duvarlarda da güneş duvarlarında olduğu gibi konumlandırıldığı cephede doğal aydınlatma ve havalandırmaya engel olması sebebiyle sistem sadece doğu ve batı cepheye uygulanacaktır. Bu kapsamda güneş duvarları özelinde yapılan enerji analizlerinin sonuçları çizelge 4.20.'da verilmiştir.

Çizelge 4.20. PSKK- 5 trombe duvar kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Saydam yüzey oranı	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Mevcut durum	15272,85	X	891,40	X	58923,24	66,70	X
PSKK- 5	11192,07	-4080,78/ %26,71	3070,88	+2179,48/ %244,50	57021,94	64,55	-1901,30/ %3,23

PSKK-5 kapsamında yapılan enerji simülasyonu sonucunda binanın ısıtma yükünde 4080,78 kWh'lik bir düşüş olmasına rağmen binanın soğutma yükünde 2179,48 kWh'lik artış olmuş, toplamda ise 1901,30 kWh'lik bir düşüş olmuştur. Elde edilen veriler analiz edildiğinde trombe duvarlarda binanın toplam enerji kazancı güneş duvarlarına göre daha düşük kalmaktadır.

PSKK- 6 Su duvarı

Su duvarlarının çalışma prensibi trombe duvarları ile oldukça benzerdir. Trombe duvarlardan en büyük farkı ısı depolayıcı kütle olarak masif duvar yerine su veya diğer sıvılarla dolu kapların kullanılmasıdır. Su duvarları donma probleminden dolayı soğuk iklim bölgelerinde kullanımı önerilmemektedir. Bu kapsamda tez çalışması kapsamında su duvarı sistemleri enerji simülasyon analizlerine dahil edilmemiştir.

PSKK- 7 Güneş odası

Güneş odası parametresinin diğer parametrelerle enerji verimliliğinin karşılaştırılabilmesi açısından sistem ilk senaryoda doğu ve batı cephelerde, ikinci senaryoda ise doğu, batı ve güney cephelerde uygulanmıştır. İlk ve ikinci senaryonun sonuçları çizelge 4.21.'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. PSKK- 7 güneş odası kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Saydam yüzey oranı	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Mevcut durum	15272,85	X	891,40	X	58923,24	66,70	X
Senaryo 1	9452,27	-5820,58/ %38,11	2532,06	+1640,66/ %184,05	56043,32	63,44	-4179,92/ %7,09
Senaryo 2	7397,86	-7874,99/ %51,56	4040,09	+3148,69/ %353,23	54196,94	61,35	-4726,30/ %8,02

Tanımlanan senaryoların enerji simülasyon sonuçlarına göre ısıtma yükü güneş odası sistemi tanımlanmış cephe yüzeyi arttıkça düşmektedir. Ancak yüzey arttıkça soğutma yükü ısıtma yüküne göre daha yüksek oranda artmakta dolayısıyla binanın yıllık toplam enerji tüketimi artmaktadır. Bu kapsamda binanın soğutma yükünün azaltılması amacıyla saydam yüzeylere güneş kontrol elemanları tanımlanmıştır. Bu kapsamda senaryo 1 ve senaryo 2'ye güneş kontrol elemanları tanımlanarak enerji simülasyon analizi yapılmış ve ısıtma ve soğutma yüküne etkisi Çizelge 4.22.'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. PSKK- 7 güneş odası ve PSKK- 3 güneş kontrol sistemi kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Saydam yüzey oranı	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Mevcut durum	15272,85	X	891,40	X	58923,24	66,70	X
Senaryo 1	9534,08	-5738,77/ %37,57	1222,09	+330,69/ %37,10	53515,16	60,58	-5408,08/ %9,18
Senaryo 2	7472,50	-7800,35/ %51,07	1060,74	+169,34/ %19,00	51292,23	58,06	-7631,01/ %12,95

PSKK- 8 Çatı havuzu

Çatı havuzu sistemindeki sıvı malzemenin donma probleminin olması sebebiyle soğuk iklim bölgelerinde kullanımı önerilmemektedir. Ayrıca çatı havuzu sistemi sadece çatı altındaki mekanların ısıtılması veya soğutulmasını sağlaması sebebiyle çok katlı yapılarda verimliliği son kat ile sınırlı kalmaktadır. Bu kapsamda çatı havuzu sistemi enerji simülasyon analizlerine dahil edilmemiştir.

PSKK- 9 Termosifon sistem

Termosifon sistemler toplayıcılar aracılığıyla güneş ışınlarının ısıl kütleye ulaştırılarak iç mekânın ısıtılması prensibiyle çalışması sebebiyle tek katlı yapılarda kullanımı daha uygundur. Çok katlı yapılarda ise alt katlarda biriken ısının üst katlara taşınması için dikey şaftlar tanımlanmalı, gerektiğinde pompa sistemleri eklenerek sıcak havanın üst katlara taşınması sağlanmalıdır. Ayrıca her kat için ayrı havalandırma kontrol mekanizması ve geri dönüşüm sistemi kurulmalıdır. Bu sebeple sistemin uygulaması oldukça zorlaşmakta ve ilk yatırım maliyeti ciddi seviyede yükselmektedir. Bu kapsamda termosifon sistem enerji simülasyon analizlerine dahil edilmemiştir.

PSKK- 10 Çift kabuk sistem

Çift kabuk sistemler parametresinin diğer parametrelerle enerji verimliliğinin karşılaştırılabilmesi açısından sistem ilk senaryoda doğu ve batı cephelerde, ikinci senaryoda ise doğu, batı ve güney cephelerde uygulanmıştır. İlk ve ikinci senaryonun sonuçları çizelge 4.23.'de verilmiştir.

Çizelge 4.23. PSKK- 10 çift kabuk sistem kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Saydam yüzey oranı	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Mevcut durum	15272,85	X	891,40	X	58923,24	66,70	X
Senaryo 1	8166,48	-7106,37/ %46,53	3821,70	+2930,30/ %328,73	54747,17	61,97	-4176,07/ %7,09
Senaryo 2	4183,31	-11189,54/ %73,26	6680,99	+5789,59/ %649,49	53523,29	60,59	-4508,55/ %7,65

Tanımlanan senaryoların enerji simülasyon sonuçlarına göre ısıtma yükü çift kabuk sistem tanımlanmış cephe yüzeyi arttıkça düşmektedir. Ancak yüzey arttıkça soğutma yükü ısıtma yüküne göre daha yüksek oranda artmakta dolayısıyla binanın yıllık toplam enerji tüketimi artmaktadır. Bu kapsamda binanın soğutma yükünün azaltılması amacıyla saydam yüzeylere güneş kontrol elemanları tanımlanmıştır. Bu kapsamda senaryo 1 ve senaryo 2'ye güneş kontrol elemanları tanımlanarak enerji simülasyon analizi yapılmış ve ısıtma ve soğutma yüküne etkisi Çizelge 4.24.'de verilmiştir.

Çizelge 4.24. PSKK- 10 çift kabuk sistem ve PSKK- 3 güneş kontrol sistemi kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Saydam yüzey oranı	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Mevcut durum	15272,85	X	891,40	X	58923,24	66,70	X
Senaryo 1	8567,21	-6705,64/ %43,91	1348,75	+457,35/ %51,31	52674,95	59,62	-6248,29/ %10,60
Senaryo 2	4209,84	-11063,01/ %72,44	2021,73	+1130,33/ %126,80	48990,56	55,45	-9932,68/ %16,86

Pasif sistemler kullanım kararları bölüm değerlendirmesi

Bölüm kapsamında enerji verimliliği bakımından en iyi sonucu veren pasif tasarım kararları üzerinden pasif sistemler kullanım kararlarındaki parametreler, senaryolar oluşturularak enerji simülasyon analizleri yapılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Pasif sistemler kullanım kararları kapsamında hazırlanan simülasyon sonuçları

Saydam yüzey oranı	Isıtma	Isıtma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Soğutma	Soğutma değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)	Alan başına enerji tüketimi (kWh/m2)	Toplam değişim miktarı (kWh) ve yüzdesi
Mevcut durum	15272,85	X	891,40	X	58923,24	66,70	X
PSKK- 4 Güneş Duvarları							
PSKK- 4	11604,15	-3668,70/ %24,02	2429,93	+1538,53/ %172,60	56793,07	64,29	-2130,17/ %3,62
PSKK- 5 Trombe Duvar							
PSKK- 5	11192,07	-4080,78/ %26,71	3070,88	+2179,48/ %244,50	57021,94	64,55	-1901,30/ %3,23
PSKK- 7 Güneş Odası							
Senaryo 1	9452,27	-5820,58/ %38,11	2532,06	+1640,66/ %184,05	56043,32	63,44	-4179,92/ %7,09
Senaryo 2	7397,86	-7874,99/ %51,56	4040,09	+3148,69/ %353,23	54196,94	61,35	-4726,30/ %8,02
PSKK- 7 Güneş Odası + PSKK- 3 Güneş Kontrol Elemanları							
Senaryo 1	9534,08	-5738,77/ %37,57	1222,09	+330,69/ %37,10	53515,16	60,58	-5408,08/ %9,18
Senaryo 2	7472,50	-7800,35/ %51,07	1060,74	+169,34/ %19,00	51292,23	58,06	-7631,01/ %12,95
PSKK- 10 Çift Kabuk Sistemler							
Senaryo 1	8166,48	-7106,37/ %46,53	3821,70	+2930,30/ %328,73	54747,17	61,97	-4176,07/ %7,09
Senaryo 2	4183,31	-11189,54/ %73,26	6680,99	+5789,59/ %649,49	53523,29	60,59	-4508,55/ %7,65
PSKK- 10 Çift Kabuk Sistemler + PSKK- 3 Güneş Kontrol Elemanları							
Senaryo 1	8567,21	-6705,64/ %43,91	1348,75	+457,35/ %51,31	52674,95	59,62	-6248,29/ %10,60
Senaryo 2	4209,84	-11063,01/ %72,44	2021,73	+1130,33/ %126,80	48990,56	55,45	-9932,68/ %16,86

Yapılan analizler sonucunda enerji verimliliği en yüksek seçenek doğu, batı ve güney cephede güneş kontrol elemanlı çift kabuk sistem olan PSKK-10 + PSKK- 3 senaryo 2 olmuştur. Bu kapsamda sonraki bölümlerde yapılacak enerji analizlerinde bu parametre ile devam edilecektir.

Çizelge 4.26. Baz model, PTK ve PSKK enerji tüketim verileri karşılaştırması

Parametreler	Baz model simülasyon sonuçları	PTK simülasyon sonuçları	PSKK simülasyon sonuçları
Yıllık toplam enerji tüketimi	88624,23 kWh	58923,24 kWh	48990,56 kWh
Toplam alan başına elektrik tüketimi	100,32 kWh/m2	66,70 kWh/m2	55,45 kWh/m2
Yıllık toplan ısıtma yükü	45046,00 kWh	15272,85 kWh	4209,84 kWh
Toplam alan başına ısıtma yükü	50,99 kWh/m2	17,29 kWh/m2	4,77 kWh/m2
Isıtma yükünün toplam enerji tüketimine oranı	%50,82	%25,92	%8,59
Yıllık toplam soğutma yükü	822,24 kWh	891,40 kWh	2021,73 kWh
Toplam alan başına soğutma yükü	0,93 kWh/m2	1,01 kWh/m2	2,29 kWh/m2
Soğutma yükünün toplam enerji tüketimine oranı	%0,93	%1,51	%4,13
Aylık en yüksek ısıtma yükü	10953,93 kWh (Ocak)	3600,33 kWh (Ocak)	1796,82 kWh (Ocak)
Aylık en yüksek soğutma yükü	336,17 kWh (Ağustos)	247,98 kWh (Ağustos)	274,66 kWh (Ağustos)

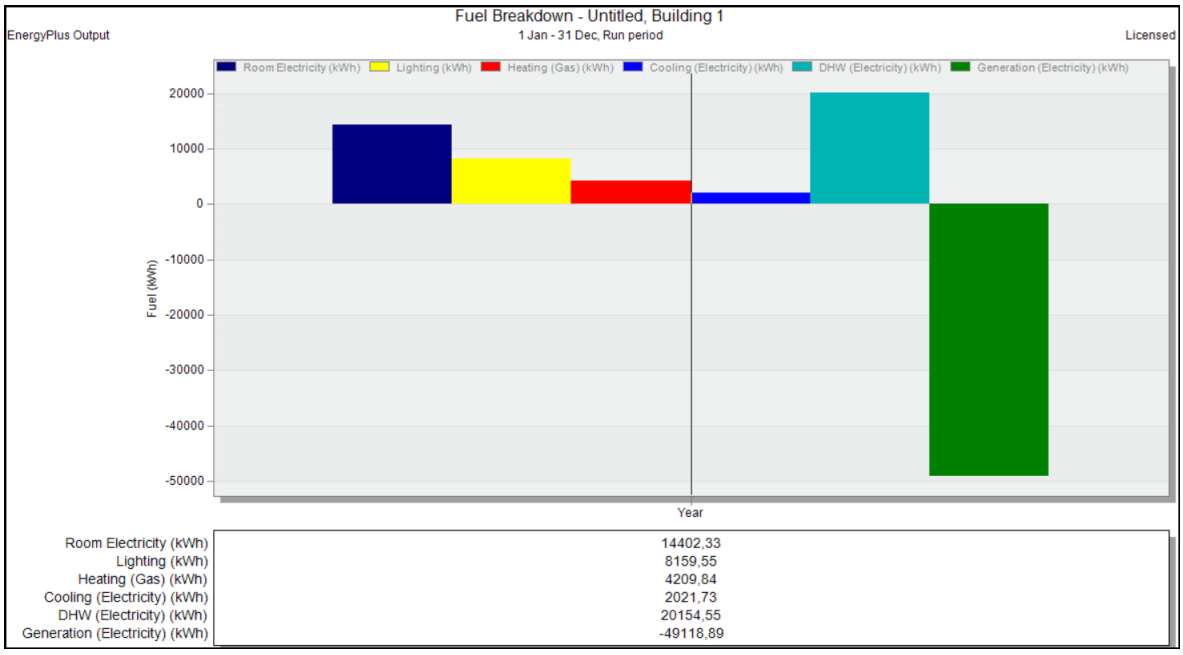
4.2.3. Aktif sistemler kullanım kararları

Tez çalışması kapsamında ısıtma, soğutma ve HVAC sistemlere yönelik kabuller yapılmıştır. Tasarlanan prototip binada ASKK ısıtma sistemi olarak, sistem kurulumunun kolaylığı, düşük enerji tüketimi ile yüksek ısıtma enerjisi elde edilmesi ve diğer sistemlere göre daha çok tercih edilmesi sebebiyle ASKK- 3 yoğuşmalı kazan tercih edilmiştir.

Prototip binanın enerji simülasyon analizleri sonucunda soğutma enerjisinin düşük olması sebebiyle herhangi bir mekanik soğutma sistemi tanımlanmamıştır. Aynı şekilde havalandırma için de doğal havalandırma yöntemleri tercih edilmiş ve herhangi bir HVAC sistem tanımlanması yapılmamıştır.

4.2.4. Enerji üretim sistemleri kullanım kararları

Tez çalışması kapsamında pasif tasarım kararları (PTK) ve pasif sistemler kullanım kararları (PSKK) aşamalarında binanın toplam enerji tüketimi %44,72 oranında azaltılarak yıllık toplam 48990,56 kWh olarak belirlenmiştir. Bu aşamada binanın NSEB standardına ulaşabilmesi için yıllık toplam enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda enerji üretim sistemi olarak EÜSSK- 1 fotovoltaik (PV) paneller tercih edilmiştir. Fotovoltaik paneller binanın güney cephesinde çatı yüzeyine 8,20 x 23,00 mt boyutlarında çatı yüzeyinin %46,29'unu kaplayacak şekilde uygulanmıştır. Uygulanan fotovoltaik panel sistem sonucunda yıllık bazda 49118,89 kWh elektrik enerjisi üretilmektedir.



Şekil 4.6. NSEB kapsamında enerji verimli iyileştirme yapılan binaya ait yıllık toplam enerji üretim ve tüketim dağılımı verileri

Şekil 4.7. NSEB kapsamında tasarlanan yapıya ait 3 boyutlu görünüm

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayi devrimiyle birlikte ivmelenen enerji tüketimi oldukça yüksek seviyelere ulaşmıştır. Enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan binalara yönelik ulusal ve uluslararası ölçekte pek çok çalışma yürütülmektedir. 2010 yılında yayınlanan EPBD-Recast kapsamında binalarda maliyet optimum enerji verimliliği ve yaklaşık sıfır enerji seviyelerinin AB çerçeve yöntemine uygun olarak ulusal yöntemler oluşturularak hesaplanması çalışmaları diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de devam etmektedir. Bu kapsamda yönetmelik çıkarılması, uluslararası anlaşma ve protokollere dahil olunması gibi çalışmalar yapılmaktadır. Ancak bu hedefe ulaşabilmek için, AB ülkelerinde devam etmekte olan araştırmalara benzer şekilde, Türkiye'de de uzun soluklu araştırmalar ve konunun uzmanları tarafından yapılacak değerlendirmelere halen ihtiyaç duyulmaktadır. EPBD-Recast'e paralel olarak ulusal düzeyde gerçekleştirilecek çalışmalarda, ülke koşulları dikkate alınarak, beşerî, coğrafi ve iklimsel veriler ayrı ayrı ele alınarak sonuca ulaşılmalıdır.

Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, küresel iklim değişikliğiyle mücadele ve doğal çevrenin korunması açısından enerjinin verimli kullanılarak enerji ihtiyacının azaltılması ve bu ihtiyacın da yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi oldukça önemlidir. TÜİK tarafından yayınlanan istatistiksel verilere göre Türkiye'deki binaların yaklaşık %87'sinin konut yapısı olması ve bu binaların büyük bir çoğunluğunun apartman tipi çok haneli konut yapısı olması sebebiyle konut yapılarında yapılacak enerji verimliliği çalışmalarının Türkiye'deki enerji problemlerine daha hızlı çözüm üreteceği düşünülmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında çok haneli konut yapılarının net sıfır enerjili bina standartlarına ulaşabilmesi amaçlanmıştır.

Bu bağlamda hazırlanmış olan doktora tezi kapsamında giriş bölümünden sonra ikinci bölümde; teorik altyapının oluşturulması için kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Teorik altyapı kapsamında, ulusal ve uluslararası alanda hazırlanmış protokol, kanun ve yönetmelikler; sıfır enerjili binalara dair hazırlanmış olan doktora tezleri ve çeşitli indekslerde taranan dergilerde yayınlanan makaleler; net sıfır enerjili binalara dair genel bilgiler, tasarım yaklaşımları ve kullanılabilecek sistemler anlatılmıştır. Net sıfır enerjili bina elde etmede kullanılabilecek sistemler, pasif tasarım kriterleri, pasif, aktif ve enerji üretim sistemlerinin tanımlamaları ve çalışma prensipleri özelinde detaylandırılmıştır.

Üçüncü bölümde oluşturulan teorik altyapı üzerinden Türkiye iklim bölgelerinde net sıfır enerjili bina oluşturmaya yönelik tasarım kılavuzu oluşturulmuştur. Kılavuz kapsamında pasif tasarım kararları, pasif sistemler kullanım kararları, aktif sistemler kullanım kararları ve enerji üretim sistemleri kullanım kararları olarak 4 ana başlık altında alt başlıklara ayrılarak sistemlerin kullanım durumu, kullanım yöntemi, avantaj ve dezavantajlarının belirtilmiştir. Oluşturulan tasarım kılavuzu ile net sıfır enerjili bina tasarımında tasarımcılara yön vermek amaçlanmıştır. Dördüncü bölümde soğuk iklim bölgesinde bulunan Sivas ili çalışma alanı olarak kabul edilmiş ve üçüncü bölümde oluşturulan tasarım kılavuzundan yola çıkılarak bir apartman tipi konut binası tasarlanmıştır. Tasarlanan yapıda bazı değişkenler sabit tutulmuş ve TS 825'te soğuk iklim bölgesi için verilen ısı geçirgenlik katsayılarına uygun yapı kabuğu tasarımı yapılarak baz model oluşturulmuştur. Senaryoda aktif ve enerji üretim sistemleri kullanılmamıştır. Sonraki aşamada tasarım kılavuzunda tanımlanan parametrelere göre çeşitli senaryolar oluşturulmuştur. Oluşturulan her bir simülasyon için DesignBuilder programında enerji simülasyon analizleri yapılarak uygulanan parametrelerin ısıtma ve soğutma özelinde enerji tüketimine etkisi tespit edilmiştir. Bu kapsamda her bir parametre için uygulanan enerji verimliliği en yüksek senaryo binaya entegre edilerek binanın NSEB standardına erişebilirliği araştırılmıştır.

Simülasyon sonucunda TS 825'e göre tanımlanmış yapının yıllık enerji tüketimi birim m^2 başına 100,32 kWh/m^2, toplamda ise 88624,23 kWh olmuştur. Yapının yıllık toplam ısıtma yükü 45046,00 kWh, ısıtma yükünün toplam enerji tüketimine oranı %50,82, yıllık toplam soğutma yükü 822,24 kWh ve soğutma yükünün toplam enerji tüketimine oranı ise %0,93 olmuştur. NSEB standardına ulaşmak amacıyla enerji verimli iyileştirme çalışması yapılan yapının ise yıllık enerji tüketimi birim m2 başına 55,45 kWh/m^2, toplamda ise 48990,56 kWh olmuştur. Yapının yıllık toplam ısıtma yükü 4209,84 kWh, ısıtma yükünün toplam enerji tüketimine oranı %8,59, yıllık toplam soğutma yükü 2021,73 kWh ve soğutma yükünün toplam enerji tüketimine oranı ise %4,13 olmuştur. Bu kapsamda binada enerji verimliliğine yönelik yapılan iyileştirmelerin binanın enerji tüketimine katkısı yıllık 39633,67 kWh olmuştur. Bu değerlere bakıldığında yapılan iyileştirme çalışmalarının binanın toplam enerji tüketiminde %44,72 oranında düşüş sağladığı görülmüştür. İhtiyaç duyulan bu enerji de binanın çatısına 8,20 x 23,00 mt boyutlarında, çatı alanının %46,29'unu kaplayacak şekilde yerleştirilen fotovoltaik panellerle karşılanmaktadır. PV paneller yıllık toplam 49118,89 kWh elektrik enerjisi üretmekte ve

tasarlanan konut yapısının yıllık enerji ihtiyacının tamamını karşılayarak yapının NSEB standardına ulaşmasını sağlamaktadır.

Hazırlanan tez çalışması, Türkiye'de etkili olan iklim bölgeleri için hem net sıfır enerjili binalar için tasarım kılavuzunun oluşturulması bakımından hem de oluşturulan kılavuzun soğuk iklim bölgesi özelinde farklı senaryolar oluşturularak uygulanabilirliğinin araştırılması açısından mevcut çalışmalardan ayrılarak özelleşmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen optimum maliyetli net sıfır enerjili konut yapıları için bir tasarım kılavuzunun oluşturulmasının hem akademik literatüre katkı sağlayacağı hem de yeni yapılacak konutların tasarım ve uygulaması için yeni bir bakış açısı geliştirerek konutlarda enerji verimliliği bağlamında farkındalık oluşturacağı düşünülmektedir. Ayrıca yapılacak bu tez çalışmasının binalardaki yüksek enerji tüketimi ve yüksek emisyon değerleri problemlerinin çözümüne katkı sağlayacağı da düşünülmektedir.

Bu bağlamda gelecekte yapılacak çalışmalarda;

- Teknolojinin gelişimiyle beraber enerji etkin tasarımda kullanılabilecek yeni malzemeler, sistemler, uygulama yöntemleri vs. kılavuza eklenerek, kılavuzun geliştirilmesi ve güncel kalması sağlanabilir.
- Oluşturulan tasarım kılavuzu, farklı bina tipolojileri ve fonksiyonlarına uygun olacak şekilde çeşitlendirilerek geliştirilebilir.
- Kılavuzda bulunan iklim bölgelerine farklı ülkelerde hâkim olan iklim bölgeleri eklenerek kılavuzun evrensel hale getirilmesi sağlanabilir.
- Türkiye'de hâkim olan diğer iklim bölgeleri için kılavuzda belirtilen sistemlerden oluşan senaryolar oluşturulup simülasyon çalışması yapılarak ilgili iklim bölgesine uyumlu optimum çözümü sunan NSEB'ler oluşturulabilir.
- Çalışma kapsamında tasarım sabiti olarak kabul edilen kriterler değişken olarak kabul edilip kurulacak senaryolar üzerinden binanın enerji performansına etkileri belirlenebilir.
- Oluşturulan tasarım kılavuzunun, revize edilen TS 825 standardının yürürlüğe girmesi ile birlikte yenilenerek geliştirilebilir.
- Oluşturulan tasarım kılavuzu üzerinden, ilgili mühendislik alanları ile ortak çalışmalar yapılarak, aktif ve enerji üretim sistemleri değişkenlerinin enerji korunumu ve üretimine etkisi araştırılabilir.
- İlgili yönetmeliklere uyularak tescilli kültür yapılarının NSEB dönüşümüne yönelik tasarım kılavuzu oluşturulabilir.
- Oluşturulan tasarım kılavuzu güncellenerek, binaların pozitif enerjili binalar standardına ulaşabilirliğine yönelik çalışmalar gerçekleştirilebilir.

- Farklı iklim sınıflandırma yöntemlerine göre yeni NSEB tasarım kılavuzları oluşturulabilir.
- Oluşturulan tasarım kılavuzuna, maliyet başlığı altında ilk yatırım, yaşam döngüsü ve bakım- onarım maliyetleri eklenerek sistemlerin maliyet- fayda ilişkisi değerlendirilebilir.
- Oluşturulan tasarım kılavuzu, net sıfır emisyonlu binalar elde etmeye yönelik yeniden ele alınarak güncellenebilir.

KAYNAKLAR

1. Gibbons, O., (2011). *The Energy Report, 100% Renewable Energy by 2050 Energy Senario*, WWF, ECOFYS – OMA report, 115

2. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2022). Türkiye Ulusal Enerji Planı. URL: https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Cevre-ve-Enerji-103, Son Erişim Tarihi: 05.04.2024

3. İnternet: Binalarda Enerji Performansı Direktifi- EPBD (2002/91/EC) .URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2002/91/oj, Son Erişim Tarihi: 04.10.2024.

4. İnternet: Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/ 2008/12/20081205-9.htm, Son Erişim Tarihi: 04.10.2024.

5. İnternet: Binalarda Enerji Performansı Revize Direktifi- EPBD- Recast (2010/31/EU). URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj, Son Erişim Tarihi: 04.10.2024

6. İnternet: Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017- 2023. URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018 /01/20180102M1-1-1.pdf, Son Erişim Tarihi: 20.07.2024

7. Öztorun, S., (2017). *Enerji politikaları kapsamında yapılı çevreye ilişkin AB ve Türk mevzuatı oluşum süreci ile sıfır enerjili bina anlayışına yönelim*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

8. İnternet: BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. URL: https://iklim.csb.gov.tr/birlesmis-milletler-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-4362 Son Erişim Tarihi: 22.07.2024

9. İnternet: Kyoto Protokolü, URL: https://iklim.csb.gov.tr/kyoto-protokolu-i-4363 Son Erişim Tarihi: 22.07.2024

10. İnternet: Paris Anlaşması, (2016) URL: https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587 Son Erişim Tarihi: 22.07.2024

11. İnternet: Avrupa Yeşil Mutabakatı, (2019) URL: https://eur-lex.europa.eu/resource. html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format = PDF. Son Erişim Tarihi: 16.09.2024

12. İnternet: Bina Enerji Performans Direktifi, (2018) URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN Son Erişim Tarihi: 16.09.2024

13. İnternet: AB 2024/1275 Sayılı Yönetmelik, (2024) URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401275&pk_keyword=Energy & pk_content=Directive Son Erişim Tarihi: 24.11.2024

14. İnternet: 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu, (2007). URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm Son Erişim Tarihi: 23.09.2024

15. İnternet: TS825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, (2013). URL: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbdf3eb7_ek.pdf Son Erişim Tarihi: 02.10.2024

16. İnternet: Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012- 2023. URL: https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2012-2023-Enerji-Verimliligi-Strateji-Belgesi.pdf Son Erişim Tarihi: 26.09.2024

17. Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., Crawley, D., (2006). Zero energy buildings: a critical look at the definition. *National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy,* 74- 82.

18. Laustsen, J., (2008). Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings. *International Energy Agency.*

19. California Energy Commission (2009). *Integrated Energy Policy Report, Final Commission Report.* Sacramento, California, U.S.A.:California Energy Commission,4.

20. Massachusetts Zero Net Energy Buildings Task Force (2009). *Getting to zero: Final Report of the Massachusetts Zero Energy Buildings Task Force.* Boston, Massachusetts, U.S.A., Vol. 25.

21. European Parliament. (2010). Energy performance of buildings (recast). *Official Journal of the European Union,* 263-291.

22. Aelenei, D., Aelenei, L., Musall, E., Cubi, E., Ayoub, J. ve Belleri, A., (2013). *Design strategies for nonresidential zero-energy buildings: lessons learned from Task40/Annex 52: towards net zeroenergy solar buildings. In: CLIMA.* 11th REHVA World Congress & 8th Int., Conf., on IAQVEC. Prague, Czech Republic: Laboratorio Nacional de Energia e Geologia I.P, 1-10.

23. Gandhi, H., Daniel, C., Peter, F., Alec, R., Riadh, H. ve Will, N., (2014). Sustainable design of a nearly zero energy building facilitated by a smart microgrid, *Journal of Renewable Energy*, 1–11.

24. Yuehong, L., Shengwei, W. ve Kui, S., (2015) Design optimization and optimal control of grid-connected and standalone nearly/net zero energy buildings, *Applied Energy,* 155, 463-477

25. Aelenei, L., Ayoub, J. ve Aelenei, D., (2012). Net zero energy residential building case studies *Energy Conservation in Buildings & Community Systems,* 56, 1-15

26. Alessandra, S., François, G. ve Harald, N. R., (2014). How net zero energy buildings and cities might look like? new challenges for passive design and renewables design, *Energy Procedia,* 62, 1163–1166.

27. Hootman, T., (2012) *Net zero energy design: a guide for commercial architecture,* (1st Edition). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Incorporated, 186

28. Hossein, O. ve Abdul K. M., (2015). Optimization of building energy performance through passive design strategies, *British Journal of Applied Science & Technology,* 13(6) 1-16

29. Thalfeldt, M., Pikas, E., Kurnitski, J. ve Voll, H., (2013). Facade design principles for nearly zero energy buildings in a cold climate, *Energy. and Buildings* 67, 309-321.

30. Parameshwaran, R., Kalaiselvam, S., Harikrishnan, S. ve Elayaperumal, A., (2012). Sustainable thermal energy storage technologies for buildings: a review, *Renewable Sustainable Energy Reviews,* 16(5), 2394–2433

31. Sartori, I., Napolitano, A., Marszal, A. J., Pless, S., Torcellini, P. ve Voss, K., (2010). *Criteria for definition of net zero energy buildings*, International, Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Graz, Austria, 1-8.

32. Fausto, B., Paolo, C. ve Luca, G., (2017). A design strategy to reach NZEB standards integrating energy efficiency measures and passive energy use, *Energy Procedia.* 111, 205-14

33. Musall, E., ve Voss, K., (2012). *The passive house concept as suitable basis towards net zero energy buildings*. Passive House Conference, Hannover: PassivHaus Institute, 1-6

34. Maassen W., (2017). *(Nearly) zero energy healthcare buildings report* Netherland, Haskoning DHV Nederland B.V

35. Kolokotsa, D., Rovas, D., Kosmatopoulos, E. ve Kalaitzakis, K., (2011). A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings. *Solar Energy,* 85(12), 3067-3084

36. Phuangpornpitaka, N. ve Tiab, S., (2013). Opportunities and challenges of integrating renewable energy in smart grid system. *Energy Procedia,* 34, 282–290

37. İnternet: Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı. URL: https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular/T%C3%BCrkiyeninEnerjiVerimlili%C4%9Fi2030StratejisiveIIUlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1_202401161407.pdf Son Erişim Tarihi: 20.10.2024

38. İnternet: Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, (2017). URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/01/20180102M1-1-1.pdf Son Erişim Tarihi: 20.10.2024

39. İnternet: Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 2022 URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/02/20220219-2.htm Son Erişim Tarihi: 20.10.2024

40. Kapsalaki, M., (2012), *Economıc-efficıent desıgn of resıdentıal net zero energy buıldıngs wıth respect to local context*, Phd Thesis, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto

41. Thomas, W. D., (2012), *Energy performance of net-zero and near net-zero energy homes ın new england*, Phd Thesis, Universıty Of Massachusetts Lowell Faculty Of The Department Of Mechanıcal Engineerıng, USA

42. Pittakaras, P., (2013), *Zero energy buildings theoretical ınvestigation and applied analysis fort the design of zero energy building ın hot climate countries*, Phd Thesis, University Of Manchester Faculty Of Engineering And Physical Science, England

43. Petrichenko, K., (2014), *Net-zero energy buildıngs: global and regıonal perspectıves*, Phd Thesis, Department of Environmental Sciences and Policy of Central Europian University, Budapest, Hungary

44. Alirezaei, M., (2016), *Getting to net zero energy buildings: a holistic techno-ecological modeling approach*, Phd Thesis, Department of Civil, Environmental and Construction Engineering of University of Central Florida, Orlando, Florida, USA

45. Alghamdi, J. K., (2017), *Thermal energy storage technologies for zero carbon housing in the UK*, Phd Thesis, Welsh School of Architecture Cardiff University, Cardiff, Wales, UK

46. Ganiç Sağlam, N., (2017). *Mevcut bina iyileştirmelerinde ulaşılabilir yaklaşık sıfır enerji hedeflerinin belirlenmesi*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

47. Kalaycıoğlu, E., (2017). *EPBD recast'ın belirlediği yaklaşık sıfır enerji konseptinin yerleşim ölçeğinde değerlendirilmesi için yeni bir yaklaşım önerisi*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

48. Yıldız, Ö. F., (2017). *Erzurum havalimanı terminal binasının enerji analizi ve net sıfır enerjili bina formuna dönüştürülmesinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum

49. Beyaztaş, H., (2020). *Yaklaşık sıfır enerjili konut binası hedefi bağlamında yapı kabuğunun kent dokusuna bağlı olarak yeniden tanımlanması*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

50. 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

51. Diker, B., (2024). *Türkiye'deki konut binalarının enerji verimliliği iyileştirmeleri ile nSEB'e dönüştürülmesi: Finansal Bariyerler ve Çözüm Önerileri,* Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

52. Kang H. J., (2015), Development of a Decision Support Tool for NZEB (Nearly Zero Emission Building) at the Early Design Stage, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, (14)2, 475-481

53. Ganiç Sağlam N. ve Yılmaz A. Z., (2015), Avrupa Birliği Direktifi Doğrultusunda Binalarda Yaklaşık Sıfır Enerji Düzeyinin Akdeniz Ülkesi Olan Türkiye'de Konut Binaları İçin Belirlenmesine Yönelik Uygulama Örneği, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (148)6, 82-96

54. Konstantinou, T., vd., (2017), *A Zero- Energy Refurbishment Solution for Residential Apartment Buildings by Applying an Integrated, Prefabricated Facade Module*, Powerskin Conference, Munih,

55. Mytafides, C.K., vd., (2017). Transformation of a university building into a zero energy building in Mediterranean climate, *Energy and Buildings* 155, 98- 114

56. Ferrari, S., Beccali, M., (2017). Energy-environmental and cost assessment of a set of strategies for retrofitting a public building toward nearly zero-energy building target, *Sustainable Cities and Society,* 32, 226- 234

57. Ferrara, M., vd., (2018). Cost-Optimal Analysis for Nearly Zero Energy Buildings Design and Optimization: A Critical Review, *Energies* 11(6), 1- 32

58. Mihiel C., (2018). Tools and Techniques Supporting New NZEB Design Methodologies in Mediterranean Climate, *TECHNE- Journal of Technology for Architecture and Environment*, 141-149

59. Moazzen, N., vd., (2021). Comprehensive Parameters for the Definition of Nearly Zero Energy and Cost Optimal Levels Considering the Life Cycle Energy and Thermal Comfort of School Buildings, *Energy and Buildings* 253,1- 26

60. Kısa Ovalı, P., (2009), *Türkiye iklim bölgeleri bağlamında ekolojik tasarım ölçütleri sistematiğinin oluşturulması "Kayaköy yerleşmesinde örneklenmesi",* Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne

61. Zeren, L., Berköz, E., Küçükdogdu, M., Ok, V., Yılmaz, Z., (1987). Türkiye'de Yeni Yerleşmeler ve Binalarda Enerji Tasarrufu Amacıyla Bir Mevzuat Modeline İlişkin Çalışma, *Çevre ve Şehircilik Uygulama- Araştırma Merkezi*, İ.T.Ü., İstanbul.

62. Orhon, İ., Küçükdoğu, M. Ş., Ok, (1988), Doğal İklimlendirme, *Toplu Konut İşletmesi Proje Planlama Tasarım El Kitabı*, TUBİTAK YAE, Yayın No: U.9, 1-22

63. Olgyay, V., (1963), Design With Climate- Bioclimatic Approach ot Architectural Regionalism, *Princeton University Press*, New Jersey, 6- 175

64. Demir, S., (2017), *Ilıman nemli iklim bölgesi için tasarlanan konut yapısında değişken yapı kabuğu performansının değerlendirilmesi,* Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

65. Mangan, D, S., (2015). *Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının performanslarının değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım*. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

66. Ayçam, İ., Utkutuğ, G., (2005). *Farklı Malzemelerle Üretilen Pencere Tiplerinin Isıl Performanslarının İncelenmesi ve Enerji Etkin Pencere Seçimi*, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 61-73, (2005).

67. Zorer, G., (1995). *Dersliklerde edilgen sistemle ısısal konforun sağlanmasında tasar ölçütü olarak bir değerlendirme yöntemi oluşturulması*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

68. Zhao, C.Y., Tian., Y., (2013). A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*. 104, 538- 553

69. Chekerovska, M., Filkoski, R. V., (2015). Efficiency of liquid flat-plate solar energy collector with solar tracking system. *Thermal Science*. 19(5), 1673- 1684

70. Kocalmis Bilhan, A., Emikönel, S., (2022). Analysis of Turkey's Solar Energy Potential in Different Regions. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.* 5, 170- 184

71. Ersöz, İ., (2000). *Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Bir Hacmin Soğutulması,* Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

72. Ünlü, K., (2005). *Hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarına etki eden parametrelerin incelenmesi.* Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa

73. Elnour, M., Meskin, N., Khan, K. ve Jain, N., (2021). HVAC system attack detection dataset, *Data in Brief*, 37, 45- 51.

74. Hosenuzzaman, M., Rahim, N.A., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., Malek, A.B.M.A. ve Nahar, A., (2015). Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41(2015), 284- 297

75. Kaya, G. N., (2022), *Yapı kabuğunda aktif güneş sistemleri ile enerji üretimi odaklı bütünleşik tasarım yaklaşımlarının simülasyon tabanlı analizi,* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

76. Çakır, M. T. ve Yelmen, B., (2011). Yenilenebilir ve etkin enerji kullanımının yapılarda uygulanması. 2. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı.

77. Çirci Selçuk, B., (2019), *Sivas kenti açık ve yeşil alanlarının incelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum

78. Ergün, A., (2016), *Sivas ili'nde coğrafi faktörlerin göç olgusu üzerine etkileri,* Doktora Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Konya

79. İnternet: MGM Sivas ili iklim verileri. URL: https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=SIVAS Son Erişim Tarihi: 20.07.2024

80. İnternet: Weatherpark Sivas ili iklim verileri. URL: https://tr.weatherspark.com/y/100260/Sivas-T%C3%BCrkiye-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1l-Boyunca Son Erişim Tarihi: 20.07.2024

81. Barnett, L. ve Barnett, M., (2017). The Passivhaus Handbook: A Practical Guide to Constructing and Retrofitting Energy-Efficient Homes. Green Books

82. Sharif, H. Z., Leman, A. M., Krizou, A.N., Al-tarawneh, M. T. A., Subbiah, M. ve Al-farsi, M., (2020). Analysis of Nearly Zero Energy Residential Building in Muscat, *Journal of Thermal Engineering*, 6(3), 346- 358

83. Lakot Alemdağ, E. ve Beyhan, F., (2017). A Research on Construction Systems of Double Skin Facades. *Gazi University Journal of Science*, 30(1),s 17- 30

84. Lakot Alemdağ E., (2013), *Saydam yalıtımlı yapı dış kabuğu ısıl performansının deneysel incelenmesi*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

85. Ertosun Yıldız, M., Beyhan, F., ve Uçar, M.K., (2021). *Prediction of heating-cooling load by artificial neural networks for energy efficient building design*. 9th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2021) - Academic Perspective, Sakarya.

86. Duyar, A., Bilgin, N., (2015). Thermal insulation and energy performance of walls in buildings. *Construction and Building Materials*, 98, 106–113

87. Gupta, R., Kumar, A., (2018). Thermal conductivity and insulation properties of aerated concrete blocks. *Materials and Structures*, 51(5), 92

88. Aydın, O., Koç, M., (2020). The thermal properties of pumice and its potential use in building materials. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 12(3), 031010

89. İnternet: Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (MHG/2017-26), 2017 URL: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24045&MevzuatTur=9&MevzuatTertip=5 Son Erişim Tarihi: 27.10.2024

90. İnternet: TS 825 Standardı revizyonu, 2024 URL: https://www.izoder.org.tr/haber/7070/ts-825-standardi-revize-edildi Son Erişim Tarihi: 29.12.2024

Gazili olmak ayrıcalıktır