



**SICAK İKLİM BÖLGESİNDE KONUT YAPILARI İÇİN GELENEKSEL VE
PASİF TEKNİKLERİN UYARLANMASI İLE UYGUN PASİF EV
UYGULAMASI**

Gökçe GÖKÇE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2022

ETİK BEYAN

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

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

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

Gökçe GÖKÇE

/.../2022

SICAK İKLİM BÖLGESİNDE KONUT YAPILARI İÇİN GELENEKSEL VE PASİF TEKNİKLERİN UYARLANMASI İLE UYGUN PASİF EV UYGULAMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Gökçe GÖKÇE

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2022

ÖZET

Sanayi devrimi sonrasında dünyadaki artan nüfus artışı sebebiyle ortaya çıkan konut ihtiyacının karşılanabilmesi adına inşa edilen birçok yapı, iklim koşullarına gereken önem verilmeden çevreye duyarsız bir şekilde tasarlanmıştır. Konut sektörünün toplam enerji tüketimindeki payının fazla olması ve artan konut sayısı nedeniyle, konutlardaki enerji korunumunun sağlanması öncelikli bir hedef olmalıdır. Bu bağlamda, ortaya çıkan çevresel sorunlar ve enerji kaynakları problemleri dolayısıyla enerji korunumunun hedeflendiği yapı standartları ile yerel iklim koşulları ve tasarım kriterleri dikkate alınmalıdır. Bu çalışmanın amacı, sıcak ve nemli iklim bölgesinde bulunan Antalya'daki konutların enerji tüketim performanslarını değerlendirmek ve performansların iyileştirmesi için uygulanabilecek en etkili stratejileri belirlemek ve test etmektir. Bu amaç için öncelikle, pasif tekniklere dayalı kriterlerinin her türlü yapıya uygulanmasının uygun ve yeterli olduğu belirtilen Pasif Ev Standardı incelenmiştir. Daha sonrasında, Antalya kentindeki geleneksel ve 1950 sonrası modern konutların mimari öğelerinin enerji korunumu bağlamında değerlendirilmesi için Kaleiçi ve Şarampol Bölgesinde alan çalışması yapılmıştır. Çalışmada, EnergyPlus tabanlı DesignBuilder simülasyon programı aracılığıyla elde edilen simülasyon verilerine dayanarak, Antalya kentinin modern konut tipine göre tasarlanan baz modelin enerji performansı ile baz modele Pasif Ev kriterleri ve geleneksel pasif yöntemlerin uygulanması ile elde edilen enerji performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, güncel Antalya evini temsil eden baz modele oranla yıllık enerji tüketiminde %39, yıllık soğutma yükünde %50 azalma sağlayan Pasif Ev Standardı tasarım prensiplerine ilave olarak yerel pasif tekniklerin entegre edilmesi ile toplamda yıllık enerji tüketiminde %52, yıllık soğutma yükünde %82 azalma sağlanarak, sıcak ve nemli iklim bölgesi için optimize edilmiş ve Pasif Ev Standardı'nın tüm enerji taleplerine uygun prototip Pasif Ev uygulaması önerilmiştir. Son olarak, sıcak ve nemli iklim bölgesinde yer alan Antalya ilinde, düşük soğutma yükü bulunan konutların tasarlanmasının önünü açan temel araştırma bulguları özetlenerek tez çalışması sona ermiştir.

Bilim Kodu : 80103

Anahtar Kelimeler : Antalya, Sıcak ve Nemli İklim, Pasif Ev Standardı, Yerel Pasif Soğutma Teknikleri, Enerji Simülasyonu, Sürdürülebilir Tasarım

Sayfa Adedi : 141

Danışman : Prof. Doç. Dr. İdil AYÇAM

OPTIMIZED PASSIVE HOUSE APPLICATION WITH THE ADAPTATION OF
TRADITIONAL AND PASSIVE TECHNIQUES FOR RESIDENTIAL BUILDINGS IN
A HOT CLIMATE ZONE

(M. Sc. Thesis)

Gökçe GÖKÇE

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2022

ABSTRACT

Most buildings, which were built to meet the increasing housing demand due to population growth worldwide after the Industrial Revolution, were designed without considering climatic and environmental conditions. Since the housing sector constitutes the majority of total energy consumption and the number of residential buildings is increasing, ensuring energy conservation in housing units should be a priority. In this regard, building energy standards, climatic conditions, and local architecture should be considered to create solutions for environmental problems. This study aims to evaluate the energy consumption performance of dwellings in Antalya, located in a hot and humid climate zone, and to determine the most effective strategies that can be applied to improve their energy performance. For this purpose, first of all, the Passive House Standard is examined. Afterward, a field study was conducted in Kaleiçi and Şarampol regions in Antalya to analyze and evaluate traditional and contemporary architectural elements of dwellings in terms of energy efficiency. Lastly, based on the simulation obtained from DesignBuilder, the current state of a contemporary dwelling (base model) in Antalya and its energy performances after implementing both the Passive House criteria and traditional passive architectural tools to the model were compared. By integrating the Passive House Standard into the base model, a 39% reduction in annual energy consumption and a 50% reduction in annual cooling load were achieved. On the other hand, the integration of passive vernacular tools into the Passive House Standard provided a 52% reduction in annual energy consumption and an 82% reduction in annual cooling load. As a result, a prototype Passive House application optimized for hot and humid climate zones satisfying the energy demands of the Passive House standard is proposed.

Science Code : 80103

Key Words : Antalya, Hot and Humid Climate, Passivhaus Standard, Vernacular Passive Cooling Interventions, Energy Simulation, Sustainable Design

Page Number : 141

Supervisor : Prof. Dr. İdil AYÇAM

TEŞEKKÜR

Bana inanarak danışmanım olmayı kabul eden, yüksek lisans eğitim sürecimin her aşamasında bana yol gösteren, bilgi ve deneyimleriyle aydınlatan, hoşgörü ve anlayışıyla yakinen ilgilenen değerli danışmanım Prof. Dr. İdil AYÇAM'a saygılarımı sunar, en içten duygularıyla teşekkür ederim. Yüksek lisans çalışması süresince beni sonuna kadar destekleyip, mesleki bilgi ve birikimleri ile tez çalışmasına yardımcı olan mesai arkadaşım, kıymetli dostum Mak. Y. Müh. Agah ARIK'a teşekkür ederim. Alan çalışmaları süresince bana eşlik eden, tüm hayatım boyunca bana olan desteğini asla esirgemeyen kıymetli dostum İnş. Müh. Uğur BEKTAŞOĞLU'na teşekkür ederim. Sadece bu çalışma süresince değil bugünlere gelene kadar her koşulda yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anne, baba ve kardeşime sonsuz teşekkür ederim. Son olarak, yüksek lisans çalışmasına beni cesaretlendiren ve bu uzun süreç boyunca enerjimi kaybetmememi sağlayan, teknik ve manevi destekleriyle bana ve çalışmaya katkı sağlayan, her koşulda yanımda olan ve varlığıyla hayatımı dolduran değerli yoldaşım Y. Mimar İrem DİKER'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	7
2.1. Pasif Ev Kavramı ve Standartları.....	7
2.1.1. Pasif ev yapı standardı nedir?.....	7
2.1.2. Pasif Ev Standardı'na göre tasarım parametreleri	9
2.2. Sıcak ve Nemli İklim Bölgelerindeki Pasif Ev Çalışmaları ve Uygulamaları....	14
2.2.1. Farklı iklim bölgelerinde pasif ev uygulamaları	14
2.2.2. Sıcak iklim bölgelerinde pasif ev hakkında yapılan çalışmalar	21
2.2.3. Vaka analizi: Sıcak iklim bölgelerinde uygulanmış pasif ev örnekleri....	25
2.3. Sıcak ve Nemli İklim Bölgelerinde Enerji Korunumu Sağlayan Biyoklimatik Tasarım Yaklaşımı.....	31
2.3.1. Enerji etkin, biyoklimatik bina tasarımı	32
2.3.2. Sıcak iklim bölgelerindeki yüksek enerji performanslı binalarda pasif tasarım gerekliliği hakkında yapılan çalışmalar	33
2.3.3. Sıcak iklim bölgesi için iklimsel pasif tasarım yaklaşımları.....	36
3. ALAN ÇALIŞMASI: ANTALYA, TÜRKİYE.....	45
3.1. Antalya İklimi ve Gelecek Projeksiyonu	45
3.1.1. Konum ve coğrafi özellikler.....	45

Sayfa

3.1.2. İklim karakterizasyonu ve gelecek projeksiyonu	46
3.2. Antalya Konut Mimarisi Analizi	50
3.2.1. Geleneksel Antalya Kaleiçi evinin mimari öğelerinin enerji korunumu açısından irdelenmesi.....	50
3.2.2. Antalya'daki 1950 sonrası imarlı güncel konutların mimari öğelerinin enerji korunumu bağlamında değerlendirilmesi	58
4. MATERYAL VE YÖNTEM	63
4.1. Bina Enerji Simülasyonu Yaklaşımı.....	63
4.2. DesignBuilder Simülasyon Programının Değerlendirilmesi	65
4.3. Modellerin ve Değişkenlerin Tasarlanması	66
4.3.1. Modelleme varsayımları ve simülasyon parametrelerinin tanımlanması.	67
4.3.2. Test baz modelinin (TBM) tasarlanması	69
5. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI VE VERİLERİN TARTIŞILMASI	73
5.1. Test Baz Modelinin (TBM) Simülasyonu	75
5.2. Pasif Ev Standardı Entegresi ve Simülasyonu	82
5.2.1. Isı köprüsü azaltılmış tasarım ve hava sızdırmazlık.....	83
5.2.2. Yüksek performanslı pencere tipi	85
5.2.3. Yapı kabuğu ısı yalıtımı	91
5.2.4. Isı geri kazanımlı iklimlendirme sistemi	99
5.2.5. Pasif ev tasarım kriterlerinin tümünün entegresi ile oluşan sonuçların değerlendirilmesi	100
5.3. Soğutma Yüğü için Geleneksel Çözümlerin Entegresi ve Simülasyonu	101
5.3.1. Plan tipi değişikliği.....	102
5.3.2. Kıрма çatı, saçak ve kat çıkması entegresi	106
5.3.3. Pencere-duvar oranı ve pencere tipolojisi	109
5.3.4. Ahşap kepenklerin entegresi	111
5.3.5. Doğal havalandırma	114

Sayfa

5.3.7. Geleneksel çözümlerin tamamının entegrasi ile oluşan modelin değerlendirilmesi	120
5.4. Modellerin Simülasyon Verilerinin Karşılaştırılması.....	122
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	127
KAYNAKLAR	131
ÖZGEÇMİŐ	141

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Ortalama günlük güneşlenme süreleri	49
Çizelge 4. 1. Modellerin ortak simülasyon parametreleri.....	68
Çizelge 4.2. Modellerin ortak modelleme varsayımları.....	68
Çizelge 4.3. TBM'nin bina detayları şeması	70
Çizelge 4.4. TBM'nin kat planları, mahalleri ve alanları	71
Çizelge 5.1. Simülasyon analizinin birinci aşaması.....	74
Çizelge 5.2. Simülasyon analizinin ikinci aşaması.....	74
Çizelge 5.3. Simülasyon analizi üçüncü aşaması.....	75
Çizelge 5.4. TBM'nin tahmini yıllık toplam enerji tüketimi	76
Çizelge 5.5. TBM'nin simülasyon sonuçları özet çizelgesi.....	82
Çizelge 5.6. TBM'nin hava sızdırmazlık/ısı köprüsü entegreleri ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi	83
Çizelge 5.7. Cam tiplerinin SHGC ve U-değerleri	86
Çizelge 5.8. TBM'ye üçlü cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi	87
Çizelge 5.9. TBM'ye çift cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi	89
Çizelge 5.10. TBM'nin yapı kabuğuna 20cm ısı yalıtımı eklenmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi.....	92
Çizelge 5.11. TBM'nin yapı kabuğuna 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi.....	94
Çizelge 5.12. TBM'nin yapı kabuğuna zemin döşemesi hariç 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi	97
Çizelge 5.13. TBM'ye yapılan Pasif Ev entegreleri ve etkileri	101
Çizelge 5.14. Pasif Ev Standardı tasarım kriterlerinin uygulanması sonucu TBM ve TPEM'nin enerji performans sonuçları.....	101
Çizelge 5.15. TPEM'nin plan tipolojisinin değiştirilmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi	104

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.16. Değişiklikler sonrası modelin kat planları, mahaller ve alanları	106
Çizelge 5.17. Değişiklikler sonrası modelin bina detayları şeması	107
Çizelge 5.18. Kıрма çatı, saçak ve kat çıkması eklenmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi	107
Çizelge 5.19. Pencere-duvar oranlarının geleneksel dokuya uygun olarak değiştirilmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi	109
Çizelge 5.20. Geleneksel ahşap kepenklerin eklenmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi	112
Çizelge 5.21. Doğal havalandırma tekniğinin uygulanması ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi	115
Çizelge 5.22. Yapı kabuğunun renklendirilmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi	118
Çizelge 5.23. Geleneksel çözümlerin eklenmesi ile soğutma yükü performans değişimleri	121
Çizelge 5.24. Geleneksel çözümlerin uygulanması sonucu TPEM ve GPEM'nin enerji performans sonuçları	122
Çizelge 5.25. Modellerin simülasyonu sonuçlarının karşılaştırılması	124

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Araştırma akış şeması	5
Şekil 2.1. 21. Yüzyıl için Pasif Ev yaklaşımı geçişi (Sustainabilty Banner, t.y.).....	8
Şekil 2.2. Pasif Ev Standardı prensipleri	10
Şekil 2.3. Pasif Ev Standardı yalıtım ve ısı köprüsü çözümü	11
Şekil 2.4. Havanın bir binaya sızabileceği yolları gösteren diyagram.....	12
Şekil 2.5. Pasif Ev Standardı hava sızdırmazlık çözümü.....	13
Şekil 2.6. Yekaterinburg’da bir Pasif Ev için taslak tasarım	16
Şekil 2.7. Tokyo’da bir Pasif Ev için taslak tasarım.....	17
Şekil 2.8. Şangay’da bir Pasif Ev için taslak tasarım	18
Şekil 2.9. Vegas’da bir Pasif Ev için taslak tasarım	19
Şekil 2.10. Abu Dabi’de bir Pasif Ev için taslak tasarım.....	20
Şekil 2.11. Solda geleneksel konut özelliklerinin uygulandığı villa, sağda ise Pasif Ev villası görülmektedir	26
Şekil 2.12. LeBois evinin tasarımını ve kullanılan mekanik sistemi gösteren 3D çizim.....	29
Şekil 2.13. Le Bois evinin enerji talebi, tahminleri ve sonuçlarının karşılaştırmalı gösterilmesi	29
Şekil 2.14. Le Bois Evi	30
Şekil 2.15. Akdeniz İklim bölgesinde cephe yönelimine göre enerji kullanımı.....	37
Şekil 2.16. Bina formu ile ısı kayıpları ilişkisi	38
Şekil 2.17. Akdeniz iklim bölgesi, pencere-duvar oranı ve gölgelendirmeye dayalı yıllık soğutma enerji talebi	41
Şekil 2.18. Şili’de, pencere-duvar oranı, gölgelendirme ve cam çeşidine dayalı yıllık enerji talebi.....	41
Şekil 2.19. Soğutma için doğal havalandırma teknikleri	43
Şekil 3.1. Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgeler.....	46
Şekil 3.2. Antalya Bölgesi Sıcaklık Zaman Eğrisi.....	50

Şekil	Sayfa
Şekil 3.3. Geleneksel Antalya Kaleiçi evleri ve dar sokakları.....	51
Şekil 3.4. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi pencere düzenleri ve tepe pencereleri	52
Şekil 3.5. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi cephelerde kullanılan ahşap kepenkler ve pencere yerleşimi.....	53
Şekil 3.6. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi cephelerde bitki kullanımı	54
Şekil 3.7. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi avlularda bitki kullanımı	55
Şekil 3.8. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi çakıl döşeme	56
Şekil 3.9. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi yapı malzemeleri ve özellikleri.....	57
Şekil 3.10 Antalya, Şarampol Bölgesi Konutların Yerleşimi ve Geniş Sokak Yapısı ...	59
Şekil 3.11. Antalya, Şarampol Bölgesi çok katlı apartman blokları	60
Şekil 3.12. Antalya Şarampol Bölgesi konutlarında cephe düzeni	61
Şekil 3.13. Şarampol Bölgesi konutlarında cephe düzeni ve panjur kullanımı	62
Şekil 4.1. TBM'nin zemin kat planı (a) Birinci kat planı (b)	69
Şekil 4.2. DesignBuilder simülasyon programı kullanarak oluşturulan TBM'nin 3 Boyutlu render görünümü	71
Şekil 5.1. TBM'nin yıllık enerji yükleri	76
Şekil 5.2. TBM'nin aylık soğutma ve ısıtma yükü	77
Şekil 5.3. TBM'nin 21 Haziran günü pencerelerden güneş ışını kazanımı	78
Şekil 5.4. TBM'nin 21 Haziran günü ısı kazanımları	79
Şekil 5.5. TBM'nin rüzgar (CFD) şeması.....	80
Şekil 5.6. TBM'nin aylık nem oranları	80
Şekil 5.7. TBM'nin aylık hava sızdırmazlık oranları	81
Şekil 5.8. TBM'nin enerji tüketim yüzdeleri	81
Şekil 5.9. TBM'nin hava sızdırmazlık/ısı köprüsü entegreleri ile yıllık enerji tüketimleri	84
Şekil 5.10. TBM'nin hava sızdırmazlık/ısı köprüsü entegreleri ile aylık soğutma ve ısıtma yükü	84

Şekil	Sayfa
Şekil 5.11. TBM'nin hava sızdırmazlık/ısı köprüsü entegreleri ile sızdırmazlık verileri	85
Şekil 5.12. TBM'ye üçlü cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile yıllık enerji tüketimleri	87
Şekil 5.13. TBM'nin üçlü cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile aylık soğutma ve ısıtma yükü	88
Şekil 5.14. TBM'ye üçlü cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile 21 Haziran günü pencerelerden güneş ışını kazanımı	88
Şekil 5.15. TBM'ye çift cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile yıllık enerji tüketimleri	89
Şekil 5.16. TBM'nin çift cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile aylık soğutma ve ısıtma yükü	90
Şekil 5.17. TBM'ye çift cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile 21 Haziran günü pencerelerden güneş ışını kazanımı	90
Şekil 5.18. TBM'nin yapı kabuğuna 20cm ısı yalıtımı eklenmesi ile yıllık enerji tüketimleri	92
Şekil 5.19. TBM'nin yapı kabuğuna 20cm ısı yalıtımı eklenmesi ile aylık soğutma ve ısıtma yükü	93
Şekil 5.20. TBM'nin yapı kabuğuna 20cm ısı yalıtımı eklenmesi ile 21 haziran günü ısı kazanımları	93
Şekil 5.21. TBM'nin yapı kabuğuna 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile yıllık enerji tüketimleri	95
Şekil 5.22. TBM'nin yapı kabuğuna 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile aylık soğutma ve ısıtma yükü	95
Şekil 5.23. TBM'nin yapı kabuğuna 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile 21 Haziran günü ısı kazanımları	96
Şekil 5.24. TBM'nin yapı kabuğuna zemin döşemesi hariç 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile yıllık enerji tüketimleri	97
Şekil 5.25. TBM'nin yapı kabuğuna zemin döşemesi hariç 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile aylık enerji tüketimleri	98
Şekil 5.26. TBM'nin yapı kabuğuna zemin döşemesi hariç 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile 21 haziran günü ısı kazanımları	98
Şekil 5.27. TPBM'nin plan tipolojisinin değiştirilmesi sonrası rüzgar (CFD) şeması ..	103

Şekil	Sayfa
Şekil 5.28. TPEM'nin plan tipolojisinin değiştirilmesi ile zemin kat planı (a) birinci kat planı (b)	103
Şekil 5.29. TPEM'nin plan tipolojisinin değiştirilmesi ile yıllık enerji tüketimleri	104
Şekil 5.30. TPEM'nin plan tipolojisinin değiştirilmesi ile aylık enerji tüketimleri	105
Şekil 5.31. Kıрма çatı, saçak ve kat çıkması eklenmesi ile yıllık enerji tüketimleri	108
Şekil 5.32. Kıрма çatı, saçak ve kat çıkması eklenmesi ile aylık enerji tüketimleri	108
Şekil 5.33. Pencere-duvar oranlarının geleneksel dokuya uygun olarak değiştirilmesi ile yıllık toplam enerji tüketimleri	109
Şekil 5.34. Pencere-duvar oranlarının geleneksel dokuya uygun olarak değiştirilmesi ile aylık toplam enerji tüketimleri	110
Şekil 5.35. Pencere-duvar oranlarının geleneksel dokuya uygun olarak değiştirilmesi ile 21 Haziran günü pencerelerden güneş ışını kazanımı	111
Şekil 5.36. Geleneksel ahşap kepenklerin eklenmesi ile yıllık toplam enerji tüketimleri	112
Şekil 5.37. Geleneksel ahşap kepenklerin eklenmesi ile aylık toplam enerji tüketimleri	113
Şekil 5.38. Geleneksel ahşap kepenklerin eklenmesi ile 21 Haziran günü pencerelerden güneş ışını kazanımı	114
Şekil 5.39. Doğal havalandırma tekniğinin uygulanması ile yıllık toplam enerji tüketimleri	115
Şekil 5.40. Doğal havalandırma tekniğinin uygulanması ile aylık toplam enerji tüketimleri	116
Şekil 5.41. Doğal havalandırma tekniğinin uygulanması ile dış ortamdan kazanılan yıllık soğutma yükü	117
Şekil 5.42. Yapı kabuğunun renklendirilmesi ile yıllık toplam enerji tüketimleri	118
Şekil 5.43. Geleneksel yöntemlerin entegrasi ile yıllık toplam enerji tüketimleri	119
Şekil 5.44. Geleneksel yöntemlerin entegrasi ile aylık toplam enerji tüketimleri	119
Şekil 5.45. Geleneksel yöntemlerin entegrasi ile 21 haziran günü ısı kazanımları	120
Şekil 5.46. DesignBuilder simülasyon programı kullanarak oluşturulan GPEM'nin 3 Boyutlu render görünümü	123
Şekil 5.47. Modellerin yıllık toplam enerji yükleri karşılaştırılması	124

Şekil	Sayfa
Şekil 5.48. Modellerin yıllık toplam soğutma yükleri karşılaştırılması.....	125
Şekil 5.49. Simülasyonu yapılan modellerin regresyon analizi	125

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
%	Yüzde işareti
,	Dakika işareti
°	Derece işareti
°C	Santigrat
ac/h	Saatlik hava değişimi
cm	Santimetre
g/kg	Özgül Nem
kWh / (m ² · yıl)	Alanı başına düşen yıllık enerji
kWh	Kilowatt saat
kWh/m ²	Alan başına düşen enerji
m	Metre
m ²	Metrekare
mm	Milimetre
Pa	Basınç birimi (Pascal)
W/m ² K	Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U-değeri)
yy.	Yüzyıl
n ₅₀	Saatlik hava değişimi (@50 Pa)

Kısaltmalar	Açıklamalar
2D	İki boyutlu
3D	Üç boyutlu
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASHRAE	Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği
BIM	Yapı Bilgisi Modelleme
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Kısaltmalar**Açıklamalar****CO₂**

Karbondioksit

DXF

Çizim Aradeğişim Biçimi (Drawing interchange [X] Format)

gbXML

Yeşil Bina Genişletilebilir İşaretleme dili (Green Building Extensible Markup Language)

g-değeri

Solar Faktör (Güneş Işını Geçirgenlik Katsayısı)

GPEM

Geleneksel Pasif Ev Baz Modeli

IUCN

Dünya Doğayı ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği

MVHR

Isı Geri Kazanımlı Havalandırma Sistemi

PDF

Taşınabilir Belge Biçimi

PH

Pasif Ev (PassivHaus)

PHI

Pasif Ev Enstitüsü

PHPP

Pasif Ev Planlama Paketi

PVC

Polivinil Klorür

SHGC

Güneş Işını Kazanç Katsayısı

TBM

Test Baz Modeli

TPEM

Test Pasif Ev Modeli

U-değeri

Isıl Geçirgenlik Katsayısı

UNCED

Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı

XPS

Ekstrude Polistren

1. GİRİŞ

Araştırmanın amacı, önemi ve mevcutlardan farklılığı

18. Yüzyılın son çeyreğinden itibaren Sanayi Devrimi ile dünya hızlı bir sanayileşme sürecine girmiş, teknolojik gelişmeler gitgide artmıştır. Öte yandan insanların tüketim alışkanlıkları değişmeye başlamış, dünyanın sınırlı kaynaklarının tükenme tehlikesi gündeme gelmiştir. Günümüzde dünyanın yüzleştği önemli problemlerden biri, enerji kaynaklarının hızla tükenmesidir. Güncel veriler çerçevesinde en yüksek enerji tüketiminin yapı sektöründe tüketilmesi dolayısıyla, 20.yy. ortalarından itibaren “sürdürülebilirlik” kavramı tartışmaya açılmış; mimaride pasif tasarım, düşük enerjili yapılar, enerji etkin tasarım, ekolojik mimari ve sürdürülebilir mimari gibi doğaya yönelim içeren ve enerji korunumu hedefleyen tasarım fikirleri ve bazı yeşil standartlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu kapsamda ortaya çıkan birçok yeşil bina standartlarından bir tanesi olan Pasif Ev Standardı, herhangi bir kaynak kullanımı olmadan, yapılarda ısıtma ve soğutma için harcanan enerjiyi minimuma indirmeyi hedeflemektedir. Pasif Ev Standardı, kriterlerinin her türlü yapıya uygulanmasının yeterli olduğu ve belirli bir tasarım veya inşaat yönteminin olmadığı bir enerji performans standardıdır. Standart özellikle soğuk iklim bölgelerinde bulunan ülkelerdeki yapılarda yaygın olarak kullanılıp, bunula ilgili yönetmelikler hazırlanarak, ısıtma yükünde oldukça yüksek enerji tasarrufları elde edilmiştir. Soğuk iklim bölgelerinin aksine, sıcak iklim bölgelerinde bulunan konutlarda soğutma için kullanılan enerji tüketimi, toplam enerji tüketimi içerisinde en yüksek paydaya sahiptir. Bu durum, güneş ışığından kazanılan enerji miktarı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle sıcak iklim bölgelerindeki birçok Pasif Ev uygulamasında, yapı kabuğunun ısı performansına bağlı olarak kazanılan güneş enerjisi dışarıya transfer edilemediğinden, bu yapılarda aşırı ısınma sorunu oluşmakta ve soğutma yükü için fazla enerji harcanmaktadır.

Antalya'daki geleneksel yapılar, sıcak iklimle uyum sağlamak ve günümüz yapılı çevresinin enerji sorunlarını çözüm olmak için birçok çözüm ve tekniği bünyesinde barındırmaktadır. Bu çerçevede, yerel iklim koşullarına bağlı geleneksel mimari çözümlerin yapılardaki enerji tasarrufuna fayda sağlayabileceği düşünülmektedir. Sıcak iklim bölgelerinde yerel pasif tasarım yöntemlerinin benimsenmesi ile standartlarla uyum sağlanarak ısıl konfor koşullarını sağlayan optimum bir tasarım ortaya çıkarılabilir. Ancak, günümüzde Türkiye’de özellikle konut yapılarında, yapıların enerji tasarrufu potansiyeli çoğunlukla göz ardı

edilmektedir. Yapılarda alandan en fazla verimi alabilmek için binanın formu, yönelimi gibi yapının maliyetini etkilemeyecek pasif tasarım kriterleri dikkate alınmamaktadır.

Bu tez çalışması, konut sektöründeki enerji korunumu çerçevesinde Türkiye'nin sıcak iklim bölgesinde bulunan Antalya kentinde Pasif Ev Standardı'nın uygulanabilirliğini ve Antalya Kaleiçi evlerinin iklime dayalı geleneksel mimari tekniklerinin yapılarda enerji tüketim talebi ile kaynak ve malzeme tüketimini nasıl etkilediğini anlamak amacıyla yapılmıştır. Sonuç olarak, Pasif Ev standartlarının yüksek enerji korunum potansiyeli olan tasarım kriterlerine, yerel pasif tekniklerin entegre edilmesiyle sıcak iklim bölgesi için optimize edilmiş uygun prototip Pasif Ev uygulamalarının elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Araştırma sorusu

Bu çalışma, aşağıdaki araştırma sorusunu araştırmak için tasarlanmıştır:

Antalya kentinin sıcak ve nemli iklim şartları altında, Pasif Ev Standardı'nın enerji korunumu kapsamındaki gerekliliklerini karşılayan, uygun pasif evler nasıl elde edilebilir?

Araştırma sorusunun cevabına ulaşmak için aşağıdaki alt sorular cevaplanmıştır:

Sıcak iklim bölgelerinde bulunan konutlara, genellikle soğuk iklim şartlarında kullanılan, sıfır enerji konsepti olan Pasif Ev Standardı'nın tek başına uygulanması yeterli midir? Standardın şartı olan enerji korunumu bağlamındaki sayısal limitlerin sağlanması için zorunlu olan malzeme tipi ve miktarlarının kullanılması gerekli midir?

Sıcak iklim bölgelerindeki konut yapılarına Pasif Ev Standardı tasarım kriterlerine ek olarak, soğutma yükü kapsamında enerji tüketiminin optimize edilmesi için geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinden öğrenilen ne tür enerji verimli yerel pasif soğutma teknikleri uygulanabilir? Bu tekniklerin enerji korunumuna etkileri ne kadardır?

Araştırma hipotezi

Türkiye'nin sıcak iklim bölgesinde yer alan Antalya kentinde bulunan konutlardaki özellikle soğutma yükünden kaynaklanan yüksek enerji tüketimini azaltmak adına, genellikle soğuk iklim bölgelerinde üstün başarı ile uygulanan ve sıcak iklim bölgelerindeki uygulamalarında birtakım problemler raporlanan Pasif Ev Standardı'nın zorunlu tasarım kriterlerinin kendi içerisinde iklime uyarlanması ve geleneksel Antalya Kaleiçi evinden öğrenilen yerel pasif tasarım sistemlerinin entegre edilmesi ile konut yapılarının iklime doğru adaptasyonu sağlanabilir. Böylece, Pasif Ev Standardı'nın gerekliliği olan ve diğer standartlara oranla oldukça düşük olan yıllık enerji yükü taleplerini karşılayan uygun Pasif Ev yapıları tasarlanabilir.

Araştırmanın yöntemi

Sıcak ve nemli iklim bölgesinde yer alan Antalya kentindeki tek aile için tasarlanan müstakil bir konut yapısının Pasif Ev Standardı tasarım kriterleri ve yerel pasif soğutma prensipleri çerçevesinde enerji performans sonuçları analiz edilmiştir. Bu bağlamda, Pasif Ev Standardı'nın etkisinin anlaşılabilmesi için sanal ortamda uygulanmış olan Antalya kentinin modern konut tipine göre tasarlanan baz model (Test Baz Modeli) üzerinde Pasif Ev prensiplerinin uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki ısıtma ve soğutmaya dayalı enerji tüketimleri analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca, geleneksel mimari çözümlerin sisteme entegre edilmesinin yapının özellikle soğutma yüklerini azaltmadaki etkisi incelenmiştir. Son olarak, bu çalışmada, Pasif Ev tasarım kriterleri yerel mimari çözümler ile birleştirilerek, standardın enerji yükü taleplerini karşılayan, sıcak iklim şartlarına uygun pasif ev prototipi (Geleneksel Pasif Ev Modeli) önerilmiştir.

Bu tez çalışmasının amaçlarına ulaşılması için literatür taraması, alan çalışması ve enerji simülasyonu modellemesi yöntemleri kullanılmıştır. Bu çerçevede tez, altı ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde araştırmanın amacı, sorusu, hipotezi, yöntemi ve çalışma planı tanıtilerek tez çalışmasına giriş yapılmıştır. İkinci bölümde yapılan literatür taraması, konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara ve örnek vaka analizlerine dayanmaktadır. Literatür taramasının ilk kısmında, Pasif Ev Standardı ve standardın sıcak iklim bölgelerindeki uygulamaları, örnek vaka çalışmaları ve ilgili literatür çalışmaları incelenmiştir. Literatür taramasının ikinci kısmında, sıcak ve nemli iklimde ısı konforu

iyileştirmek için soğutma enerjisi yüklerini azaltmada etkili olabilecek pasif soğutma prensipleri incelenmiştir. Üçüncü bölüm kapsamında, geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinin ve 1950 sonrası imar çalışmaları ile ortaya çıkan apartman yapılarının mimari öğelerinin enerji korunumu bağlamında değerlendirilmesi için Kaleiçi ve Şarampol bölgelerinde alan çalışması yapılmıştır. Bunların yanı sıra Antalya kentinin coğrafi ve iklim özellikleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde, araştırmanın ana omurgası olan materyal ve yöntem tanımlanmıştır. Temelinde bina enerji simülasyonu olan bu çalışmanın sonuçlarına ulaşmak için kullanılan yöntem ve simülasyon süreci ile ilgili veriler açıklanmıştır. Bu bağlamda, bina simülasyonu yaklaşımı ve gerekliliğine, seçilen simülasyon aracının sunulmasına, konut tipleri çerçevesinde simülasyonu yapılacak baz modellerin tasarımına ve simülasyon parametrelerinin tanımlanmasına yer verilmiştir. Beşinci bölümde, DesignBuilder v7 simülasyon programı kullanılarak, Pasif Ev tasarım kriterlerinin ve geleneksel pasif yöntemlerin, Antalya kentindeki ortalama bir konut yapısının soğutma ve ısıtma dönemleri boyunca enerji tüketimine etkilerinin değerlendirilebilmesi için simülasyon çalışmaları yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca, tez çalışması kapsamında yapılmış olan Antalya'nın güncel yapı tipi ile geleneksel Kaleiçi evlerinin enerji performanslarını içeren simülasyon çalışmalarına göre modellerin enerji performansları karşılaştırılmıştır. Son olarak, altıncı bölümde, çalışmanın tüm verileri, simülasyon çalışmaları ile ilgili nihai sonuçlar, çalışmanın sınırlılıkları ve konu ile ilgili gelecek çalışmalara yönelik öneriler sunulmuştur.

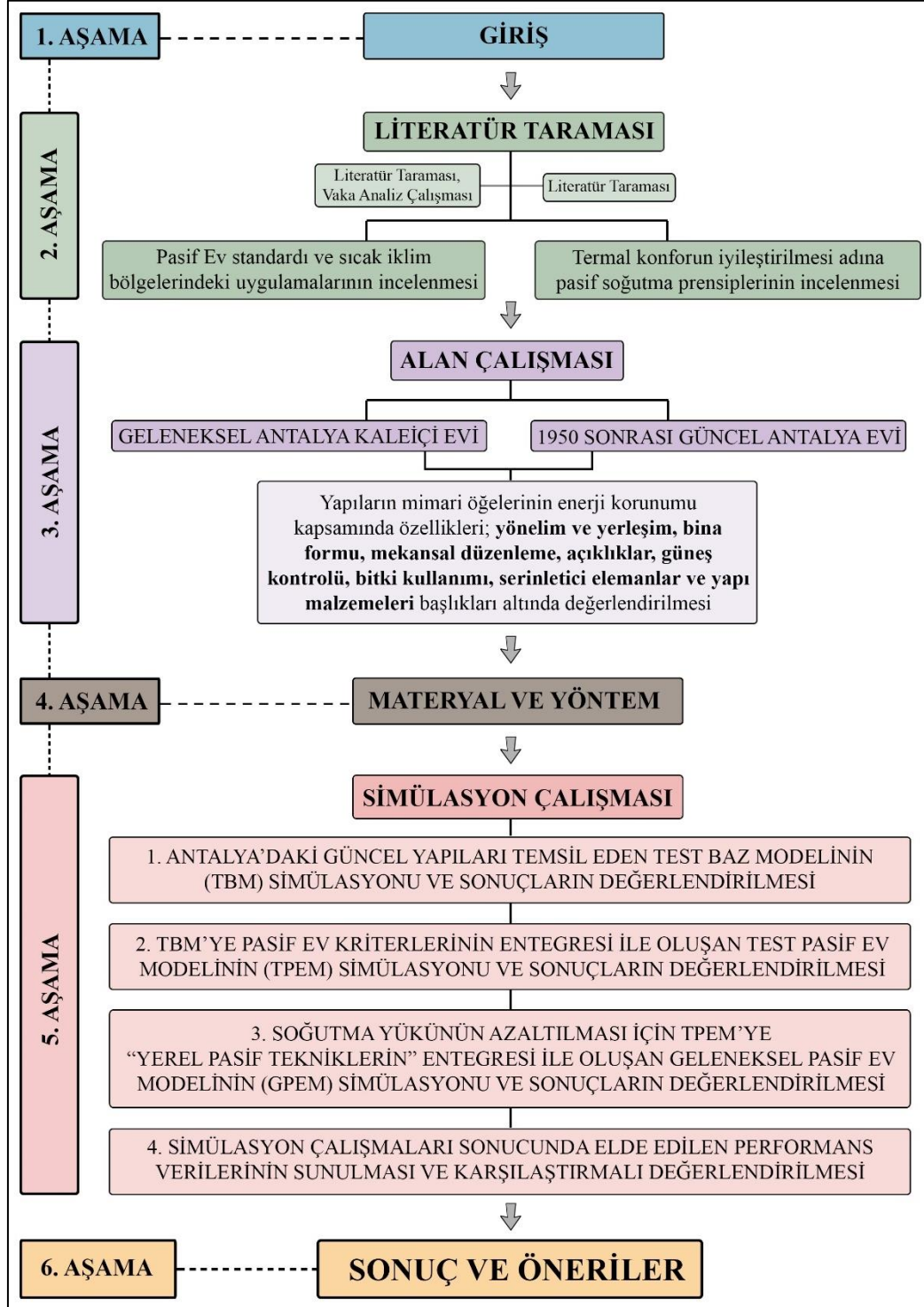
Sınırlılıklar / varsayımlar

Bu çalışma, sıcak ve nemli iklim özelliğine sahip Antalya kentinde, boş bir parsel içerisinde komşu yapıların modele gölge etkisinin olmadığı şartlarda tek aile için iki katlı müstakil bir konut olarak modellenen yapı üzerinde kavramsal ve nicel değerlendirmeler ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca, tez çalışmasında kullanılmış olan EnergyPlus 9.4 tabanlı DesignBuilder v7 simülasyon programından alınacak verilerin doğru ve güvenilir veriler olduğu varsayımıyla çalışmalar yürütülmüştür.

Araştırmanın önemi

İnsanlığın artan tüketim alışkanlığı sebebiyle günümüzde çevre sorunları artmakta, enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Dünyada ve Türkiye’de toplam malzeme, elektrik ve enerji

tüketiminin büyük bir bölümünden bina sektörü sorumludur. Bu bağlamda, enerji verimli ve çevre dostu prensipleri olan bina enerji standartlarını, günümüzde bina tasarımında çok yaygın olarak kullanılmayan yerel pasif teknikler ile birleştirerek, sürdürülebilir konut çözümlerine yönelmek enerji ve malzeme tasarrufu açısından oldukça önemlidir.



Şekil 1.1. Araştırma akış şeması

2. LİTERATÜR TARAMASI

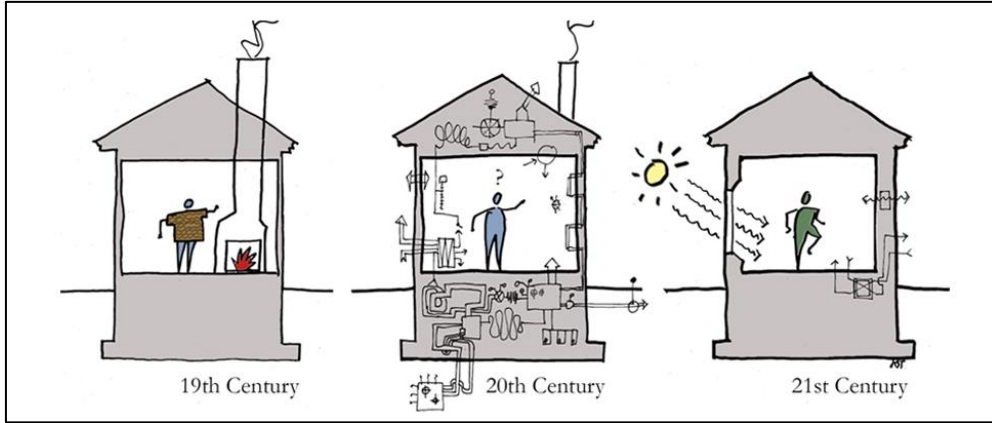
Tez çalışması kapsamında yapılan literatür taraması, konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara ve örnek vaka analizlerine dayanmaktadır. Bu bölümde, simülasyon çalışmalarında entegre edilecek olan Pasif Ev Standardının içeriği, standardın sıcak iklim bölgelerindeki enerji performansı ve örnek vaka çalışmaları analiz edilmiştir. Ayrıca, başarılı örneklerin incelenmesi yoluyla bu çalışmanın amacına ulaşmak için sıcak iklimde soğutma enerjisi yüklerini azaltmada etkili olabilecek pasif teknikler araştırılmıştır.

2.1. Pasif Ev Kavramı ve Standartları

Bu bölümde, simülasyon çalışmalarında kullanılacak olan Pasif Ev kavramının anlaşılabilmesi için standardın hedefi, tarihi ve gelişimi incelenmiştir. Bunların yanı sıra, Pasif Ev Standardının amaç ve kapsamı doğrultusunda, enerji talepleri ve tasarım parametreleri analiz edilmiştir.

2.1.1. Pasif ev yapı standardı nedir?

Almanya’da geliştirilen PassivHaus (PH) kavramı konutlara uygulanan, son derece küçük bir ısıtma enerjisi talebine sahip olan ve bu nedenle aktif ısıtmaya ihtiyaç duyulmayan bir inşaat standardı olarak ilk kez 1988 yılında 2. Uluslararası Pasif Ev Konferansında Prof. Dr.Wolfgang Feist ve Prof. Dr. Bo Adamson tarafından tanıtılmıştır (“The World’s first Passive House”, t.y.). Konferansta Orta Avrupa iklimi için planlanan bu tür evlerin, yalnızca mevcut iç ısı kaynakları ve pencerelerden giren güneş enerjisi kullanılarak ve havalandırma sistemindeki havanın minimum düzeyde ısıtılması ile pasif olarak sıcak tutulabileceği belirtilmiştir. PassivHaus terimi Almanca’da pasif bir ev veya binaya atıfta bulunurken, bazı kaynaklar tarafından diğer dillere “Pasif Ev” olarak çevrilmiştir (Cotterell & Dadeby, 2012). Bu çeviri, mimari tasarımda iyi bilinen pasif solar tasarım yaklaşımıyla karıştırılabilmektedir. Bu sebeple çalışmanın ilerleyen bölümlerinde “Pasif Ev” şeklinde kullanılacaktır.



Şekil 2.2. 21. Yüzyıl için Pasif Ev yaklaşımı geçişi (Sustainabilty Banner, t.y.)

Pasif Ev Standardı ilk kez, 1991 yılında Almanya'nın Hessen eyaletine bağlı Darmstadt şehrinde 'Darmstadt Evi' olarak adlandırılan yapıda denenmiştir. Yapının inşasından birkaç yıl sonra standart için sertifika sisteminin geliştirilmesi ve düzenlenmesinden sorumlu ana organ olan Pasif Ev Enstitüsü (PHI) 1996'da Darmstadt şehrinde Wolfgang Feist tarafından kurulmuştur (Moreno-Rangel, 2021).

Schnieders'e (2003) göre, Pasif Ev Standardı, temelde düşük enerjili ev kavramının çeşitli teknolojiler, tasarımlar ve malzemeler ile geliştirilmiş hali olarak tanımlanmaktadır. Yeşil bina standardından biri olan Pasif Ev Standardı, herhangi bir kaynak kullanımı olmadan, binalarda ısıtma ve soğutma için harcanan enerjiyi minimuma indirmeyi hedeflemektedir. Pasif Ev Standardı, belirlenen kriterlerin her türlü yapıya uygulanmasının yeterli olduğu, belirli bir tasarım veya inşaat yönteminin olmadığı bir enerji performans standardıdır (Trubiano, 2013). Özellikle soğuk iklim bölgelerinde bulunan Orta Avrupa ülkelerindeki yapılar için geliştirilmiş, ısıtma yükü bağlamında oldukça yüksek enerji tasarrufları elde edilmiştir. Kurulduğu zamandan beri, çoğu Avrupa'da olmak üzere dünya çapında 60.000'den fazla Pasif Ev Standardı'na uygun bina inşa edildiği belirtilmektedir (Lewis, 2014).

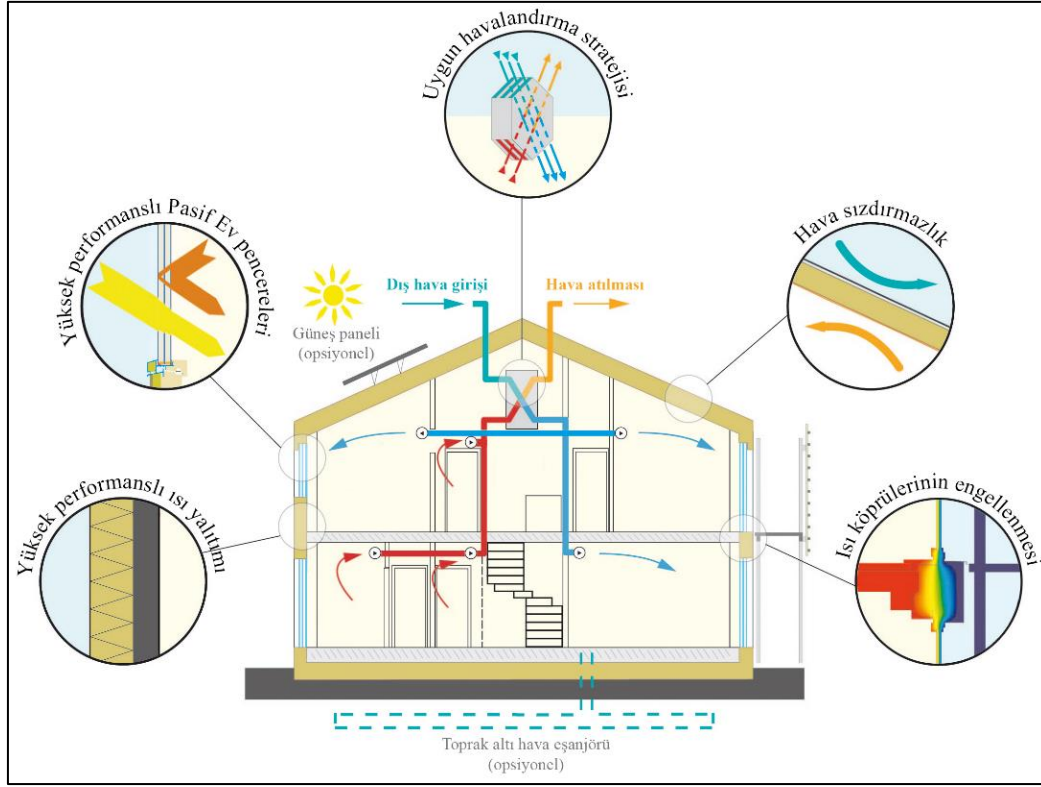
Feist, Schnieders, Dorer ve Haas'a (2005) göre, Pasif Ev konsepti ısı kayıplarının azaltılmasına dayanmaktadır. Bu durum; enerjiyi içeride tutacak yüksek bir ısı yalıtımı ve yapı kabuğunun yükseltilmiş termal kapasitesi, pasif güneş enerjisi kazanımları ve verimli bir ısı geri kazanım sistemi ile sağlanabilmektedir (Taleb, 2014). Bu bağlamda, Feist (2007) tarafından Pasif Ev Standardı'na sahip bir evin özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

- Yapının, yıllık alan ısıtma talebi gereksinimi maksimum $15 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \cdot \text{yıl})$ olmalıdır.
- Yapının ısıtma, sıcak su ve elektrik için toplam enerji tüketimi $120 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \cdot \text{yıl})$ 'ı geçmemelidir.
- Hava sızdırmazlığı çerçevesinde, 50 Pa basınçta yapılan ölçümde, sızan hava hacmi saatte mekan hacminin 0,6'sından ($n_{50} \leq 0,6h - 1$) fazla olmamalıdır.
- Yapının, yıllık soğutma talebi $15 \text{ kWh} / \text{m}^2$ 'yi geçmemelidir.
- Yıl boyunca evin tüm odalarında ısı konfor sağlanmalıdır. Bu nedenle düzenleme, 25°C 'nin üzerindeki bir yıllık tam bir döngünün toplam saatinin %10'unu temsil eden iç hava sıcaklığının %10'unun aşırı ısınmasına izin verir (Schnieders, Feist ve Rongen, 2015)

Pasif Ev Standardı'nın, Hopfe ve McLoad (2015) tarafından yapılan araştırmada, çoğunluğunu soğuk iklim bölgelerindeki yapıların oluşturduğu 65.000'den fazla bina ile, dünyanın en hızlı büyüyen enerji performansı olduğu belirtilmektedir. Hem konut hem de konut dışı bina tiplerine uygulanabilen Pasif Ev'in gücü, konseptinin sadeliğinde yatmaktadır. Bu sebeple, tüm küresel enerji direktifleri ve sıfır enerji standartları çerçevesinde, Pasif Ev'in bir adım önde olduğu belirtilmektedir.

2.1.2. Pasif Ev Standardı'na göre tasarım parametreleri

Pasif Ev Standardı altında 1987'de çalıştırılan ilk simülasyonlardan, izlenen son simülasyon çalışmalarının değerlendirmesine dek verilerin değişmemiş olması, bazı mühendis ve mimarlar için şaşırtıcı görülse de Feist ve Schnieders'e (2009) göre Pasif Ev Standardı, termodinamik ve ısı transferlerinin temel yasalarını yansıttığı için temelleri sağlam ve değişmeyecek bir standarttır. Bu sebeple, Pasif Ev Standardı pek çok binada benimsenen bir standart olduğu söylenebilir.



Şekil 2.3. Pasif Ev Standardı prensipleri (Passivhaus Institut, t.y.) (Yazar tarafından Türkçe tercüme edilmiştir)

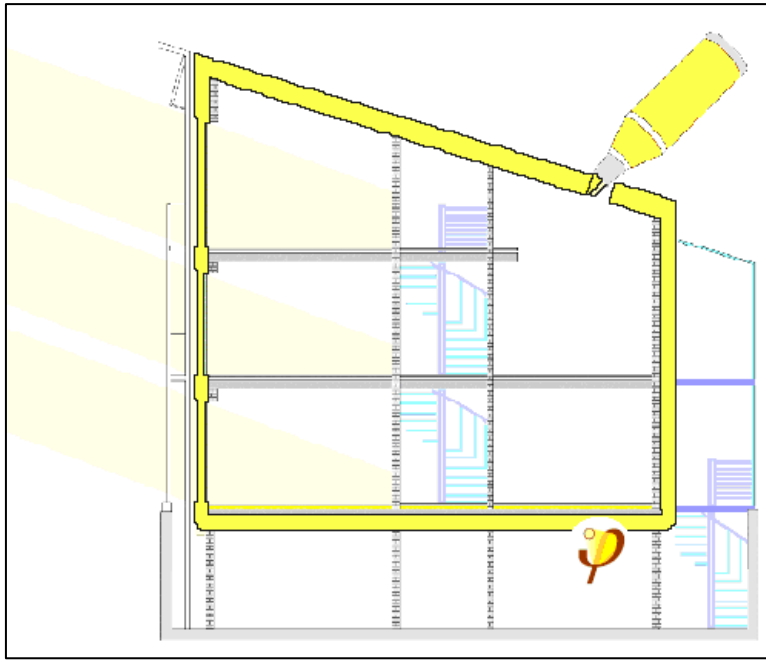
Schnieders'e (2003) göre, süper yalıtım, ısı geri kazanımı ve pasif güneş kazancı, Pasif Ev konseptinin amacı doğrultusunda en önemli hedeflerdir. Bu hedefler doğrultusunda, çevresel etkileri tamamen en aza indirmek ve istenilen ısıl konforu sağlamak için Pasif Ev yaklaşımının prensipleri belirlenmiştir. Bu bağlamda Pasif Ev Enstitüsü'ne (PHI) göre, herhangi bir Pasif Ev binası inşa edilirken, Şekil 2.2.'de belirtilen beş ana ilke uygulanmalıdır:

- Mükemmel ısı yalıtımı kullanılması
- Isı köprülerini engelleyen tasarım uygulanması
- Hava geçirmezlik sağlanması
- Yüksek performanslı kapı ve pencerelerin kullanımı
- Yüksek verimli ısı geri kazanımı sağlayan bir havalandırma sistemi

Yüksek performanslı yapı kabuğu (ısı yalıtımı)

Yapı elemanlarının ısı geçirgenliği U-değeri ile ölçülmektedir. U-değerinin düşüklüğü, yapı elemanlarının ısıyı bir binanın içinde veya dışında tutmada o kadar iyi olduğu anlamına

gelmektedir (Cotterell ve Dadeby, 2012). Buna göre, iç ve dış sıcaklık arasındaki farkın yüksek olması durumunda ısı transferinin azaltılması ve enerji korunumunun sağlanabilmesi için, Pasif Evlerin dış duvarları, zemin ve tavan döşemelerinde süper yalıtım katmanı kullanılmaktadır (Moreno-Rangel, 2021). Ancak, dış ortam ile istenilen iç ortam sıcaklık değeri arasındaki sıcaklık değerleri arasındaki farkın olmadığı ya da az olduğu durumlarda yalıtım katmanı daha az kritik hale gelmektedir.



Şekil 2.4. Pasif Ev Standardı yalıtım ve ısı köprüsü çözümü (What defines, 2022)

Schnieders (2003) tarafından soğuk iklim şartlarında, Pasif Ev Standardı'nın enerji taleplerinin sağlanabilmesi için yapının tüm dış çeperinin aralıksız olarak kalemle çizilebilecek şekilde planlanması (Şekil 2.3.) ve çeperin U-değerlerinin 0,10-0,15 W/m²K değerleri aralığında olması gerektiği belirtilmiştir. Ancak bu değer, farklı iklim bölgelerine göre değişiklik göstermektedir.

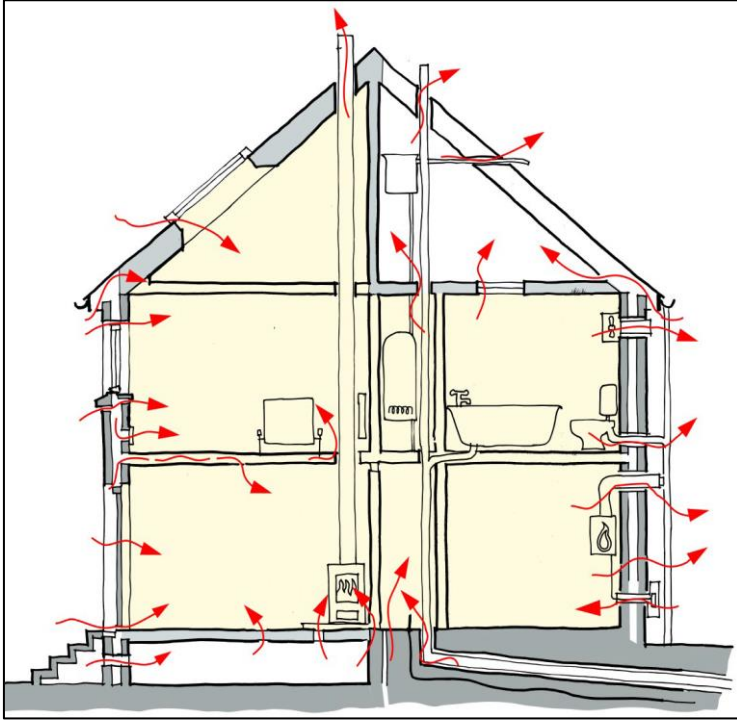
Isı köprülerinin engellenmesi

Termal köprü, bina kabuğunda iç ve dış mekan arasında ısıyı ileten, yoğunlaşmaya ve rutubete neden olabilecek bir bileşen olarak tanımlanmaktadır. Binanın şekli sebebiyle çözülmemiş detay köşelerinde, yapısal bağlantıların ya da yalıtım malzemelerinin sabitlendiği noktalardaki deliklerde ve iki yalıtım parçası kenarları arasında oluşan boşluk sebebiyle termal köprüler oluşabildiği belirtilmektedir (Cotterell ve Dadeby, 2012). İç ve dış ortam

arasında önemli bir sıcaklık farkı olduğu durumlarda ısı köprüleri, yapıda enerji tasarrufu adına ısı kaybının %50'si kadarının kaynağı olabilmektedir (Schnieders, 2009). Bu bağlamda, gerekli enerji korunumunun sağlanabilmesi için ısı köprülerinin engellenmesi Pasif Ev Standardı tarafından zorunlu tutulan prensiplerden biridir.

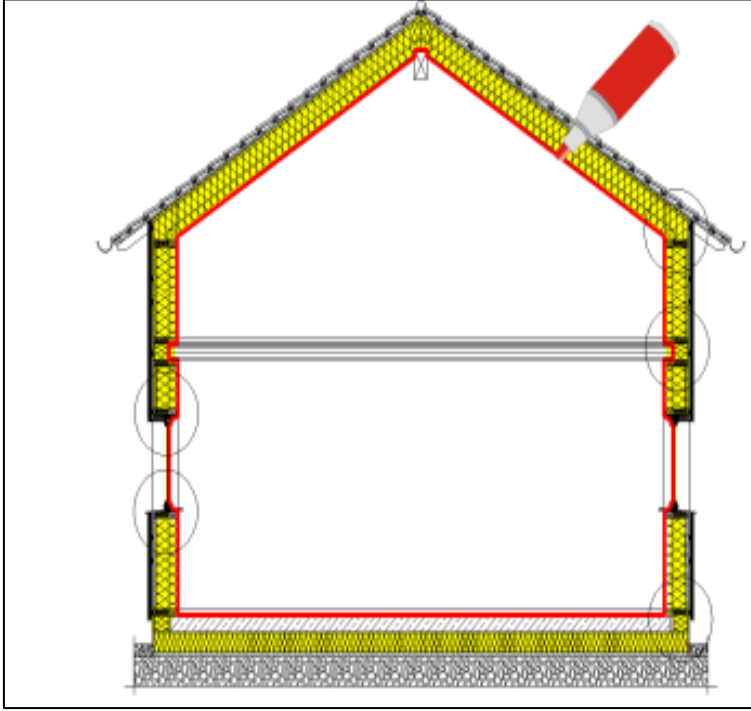
Hava sızdırmazlık-geçirmezlik düzeyinin artırılması

Bina kabuğunun hava sızdırması, yoğunlaşma kaynaklı nem hasarı, cereyan, iç mekanda soğuk hava ve artan enerji tüketimi gibi birtakım sorunlara yol açabileceği için hava sızdırmazlık yapı kabuğu için önem arz etmektedir (Moreno-rangel, Sharpe, McGill & Musau, 2020). Yapılarda, verdiği performansa göre oldukça düşük bir maliyet gerektiren hava sızdırmazlığının sağlanması, enerji tasarrufu ve bina dokusunun korunması olmak üzere iki temel amaca hizmet etmektedir (Schnieders ve Hermelink, 2006). Yapılan araştırmalarda süper yalıtılmış bir Pasif Ev yapısı incelendiğinde, ısı kaybının büyük bir kısmının arka plandaki istenmeyen havalandırma sızıntılarından kaynaklandığını belirtmiştir (Şekil 2.4.) (Johnston & Siddall, 2016). Bu nedenle, konfor ve nem kontrolü ile ilgili nedenlerin yanı sıra, enerji tasarrufunun sağlanabilmesi için Pasif Ev Standardı tarafından hava kaçağı (n50) $<0.6 \text{ ach @ } 50 \text{ Pa}$ ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 2.5. Havanın bir binaya sızabileceği yolları gösteren diyagram (Morgan, 2019)

Pasif Ev Standardı'nın gerekliliği olan sayısal değerler çerçevesinde hava sızdırmazlığı planlamanın temel ilkesi, Şekil 2.5.'de görülebilen "kırmızı kalem yöntemi" olarak adlandırılan sürekli, kesintisiz, hava geçirmez bina dış çeperidir.



Şekil 2.6. Pasif Ev Standardı hava sızdırmazlık çözümü (General principles, 2015)

Yüksek performansa sahip pencere ve kapılar

Yapı birleşim detayları iyi çözülmüş ve iyi yalıtım özellikleri olan pencere ve kapılar, bina dış kabuğundaki ısı kayıplarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Yapılarda düşük performanslı pencereler kullanılması durumunda, yaygın olarak iç mekanda soğuk hava akımları ve ısı kayıpları oluşmaktadır (James & Bill, 2016). Pencerelerde ısı kaybını ölçmek için duvar yalıtım katmanında olduğu gibi U-değerlerine ek olarak, Pasif Ev Standardı'nın analiz paketi olan Pasif Ev Planlama Paketi'nde (PHPP) binaya giren güneş ışını miktarını ölçmek için g-değeri kullanılmaktadır. Kışın ısı kazanımını sağlamak ve yazın aşırı ısınmayı önlemek için pencerelerin düşük U-değeri ve yüksek g-değerlerinin olması ve ısı köprülerinin oluşumunun önlenmesi için duvar birleşim detaylarının doğru planlanması gerekmektedir.

Pasif Ev Standardı'na göre pencerelerin yalıtılmış duvarlara (0,10-0,15 W/m²K) kıyasla daha yüksek U-değerlerine (<0,8 W/m²K) sahip olması yeterli olmaktadır (Colclough, Kinnane, Hewitt & Griffiths, 2018). Bu sebeple, Pasif Ev binasında bulunan pencere ve

kapılar için, kışın ısı kazanımından yararlanmak ve yazın aşırı ısınmayı azaltmak amacıyla, doğru materyal seçimi ile pencerelerin yerleşimi ve boyutlandırması tasarım için kritik bir husustur (Sameni, Gaterell, Montazami & Ahmed, 2015). Pasif Ev enstitüsü tarafından Orta Avrupa soğuk iklim bölgesinde yapılan araştırmalar doğrultusunda, pencerelerin camlarının tek başına 0,8 W/m²K, çerçevesiyle beraber ise toplam U-değerinin 0,85 W/m²K'den küçük olması gerekmektedir. Ancak bu durum, daha sıcak iklim bölgelerinde değişiklik göstermektedir (Feist & Rongen, 2015).

Isı geri kazanımı sağlayan havalandırma sistemi (MVHR)

Pasif Ev Standardı'nın bir diğer kriteri olan ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma (MVHR) sisteminin kullanılmasının ana mantığı, kesintisiz taze hava beslemesi sağlanırken aynı zamanda bina sakinlerinin konforunun optimize edilmesi ve çekilen havadan ısı geri kazanarak temelde ısıtma için enerji kayıplarının azaltılmasıdır (Hopfe ve McLead, 2015). Havalandırma görevinin yanı sıra iç mekanın iklimlendirilmesi için de kullanılan bu sistemin, ısı geri kazanımı sayesinde yapılarda ısıtma yükünü azalttığı görülmektedir. Ancak, soğutma yükü temelli iklim bölgelerinde ısı geri kazanımının halihazırda düşük olan ısıtma yükü talebine önemli bir etkisi olmamaktadır. Ayrıca ilk yatırım maliyetinin yüksek olması sebebiyle, bu bölgelerde farklı iklimlendirme sistemleri tercih edilmektedir (Sassi, 2013; Schiano-Phan, Ford, Gllott & Rodrigues, 2008).

2.2. Sıcak ve Nemli İklim Bölgelerindeki Pasif Ev Çalışmaları ve Uygulamaları

Bu bölümde, önceki bölümlerde incelenen ve Orta Avrupa'nın soğuk iklim bölgelerinde üstün başarısı bulunan Pasif Ev Standardı'nın farklı iklim bölgelerindeki performansı incelenecektir. Bu bağlamda, öncelikle Pasif Ev Enstitüsünün yapmış olduğu "Farklı İklim Bölgelerinde Pasif Ev uygulamaları" raporu incelenektir. Sonrasında ise sıcak iklim bölgelerinde Pasif Ev kriterlerinin uygulanabilirliğinin anlaşılması için sıcak iklim bölgelerinde yapılan Pasif Ev çalışmaları değerlendirilecektir.

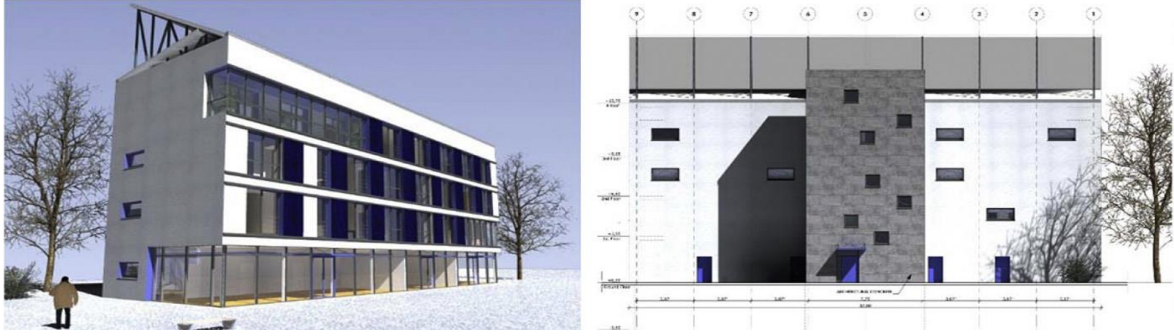
2.2.1. Farklı iklim bölgelerinde pasif ev uygulamaları

Pasif Ev Enstitüsü tarafından, Pasif Ev konseptinin Orta Avrupa'dan temelde farklılık gösteren iklimlerde konut binalarına aktarılması için tutarlı bir teorik temel sağlamak

amacıyla “Farklı İklim Bölgelerinde Pasif Ev uygulamalarına” yönelik bir rapor hazırlanmıştır. Birbirinden iklimsel olarak çok farklı olan, geniş coğrafyaları temsil eden ve yüksek inşaat oranlarının beklendiği altı bölge tanımlanmıştır. Her bir bölgede kısmen özdeş hacim ve geometrilere sahip, Pasif Ev Standartlarının kriterlerine uygun Referans Pasif Evler (RPE) tanımlanmıştır. Raporlamanın sonucunda her iklimin bazı özel yönleri vurgulanarak, ortaya çıkan enerji talepleri belirtilmiştir (Schnieder, Feist ve Rongen, 2015).

Yekaterinburg

Rusya’da bulunan Yekaterinburg soğuk iklime sahip bir kent olmakla birlikte, ortam sıcaklıkları $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar düşebilmektedir. Ancak, güneş radyasyon seviyeleri Almanya’dakinden daha yüksektir (Thevenard & Brunger 2001; akt. Schnieders vd., 2015). Yekaterinburg’da tanımlanacak RPE için soğuk kış koşulları nedeniyle, mükemmel yalıtım yapılmasının kaçınılmaz olduğu belirtilmiştir. Mekanik havalandırma yoluyla ısıtma yapılabilmesi için yapı kabuğunda yaklaşık 50 cm yalıtım malzemesi uygulanması, ısı köprülerinin yok edilmesi ve hava sızdırmazlık seviyesinin Pasif Ev Standartlarında belirtildiği düzeylere getirilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede, referans modelin pencereleri standartlara uygun şekilde yüksek değerlere sahip çerçeve ve camlardan oluşturulmuştur. Karasal iklime rağmen yaz dönemi, hareketli gölgeleme ve hatta ısı geri kazanımlı sistemde soğutma sistemine geçiş bile yapılmayacak kadar ılıktır. Bu sebeple, yaz döneminde soğutma ve nemi azaltmak için enerjiye gerek olmadığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, bu bölgedeki binaların Pasif Ev kriterlerini karşılayabileceği raporlanmıştır. Ancak, referans modele uygulanan Pasif Ev Standardı’nın prensiplerinin yanı sıra, bu bölge için bazı iklimsel müdahalelerin yapıldığı belirtilmektedir. Yekaterinburg’daki RPE projesi neredeyse gölgesiz bir arsa üzerinde, yapı güneye yönelecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 2.6.). Buna ek olarak, güney cephede bol gün ışığı alabilecek geniş pencereler tercih edilmiştir (Schnieders vd., 2015).



Şekil 2.7. Yekaterinburg’da bir Pasif Ev için taslak tasarım (Schnieder vd., 2015)

Tokyo

Subtropikal ılık, hafif sıcak bir iklime sahip olan Tokyo’da kışlar ılık, yazlar ise ılık ve nemlidir. Nadiren don meydana gelen Tokyo kentinde dış ortam sıcaklıkları kışın maksimum $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye düşmektedir (Thevenard & Brunger 2001; akt. Schnieders vd., 2015). Bu sebeple, Tokyo’daki yapılar Orta Avrupa’daki yapılara göre daha az yalıtıma ihtiyaç duymaktadır. Bu yapıların güneş radyasyonu seviyeleri Orta Avrupa’ya oranla daha yüksektir. Binanın kabuğu için 15-20 cm kalınlığında yalıtımın yeterli olduğu belirtilmektedir. Tokyo’da daha yüksek güneşlenme nedeniyle, low-e çift cam, ısıl performansı daha yüksek olan üçlü cama göre daha iyi enerji dengesi sağlamaktadır.

Yapılan araştırmaya göre Tokyo’da yaz aylarında pasif soğutma ile konfor koşullarının sağlanabileceği belirtilmektedir. Ancak, Temmuz ve Ağustos aylarında dış ortamdaki yüksek nem seviyeleri nedeniyle soğutma için yapılacak olan pasif gece havalandırmaları iç ortam nem seviyesini artıracak için ters yönde etki yapmaktadır. Bu nedenle, aktif soğutma yapılması ve aktif sistemler ile nemin azaltılmasının daha uygun olacağı belirlenmiştir. Ayrıca, bu bölge için tasarlanan RPE’nin bodrum katının da Temmuz ve Ağustos döneminde sorunlu hale geldiği belirtilmiştir. Bodrum katın sıcaklığı yaz aylarında üst katların ortam sıcaklıklarından daha düşük olması, %80’in üzerinde bağıl neme ve küf oluşumuna neden olabilmektedir. Bu nedenle, sıcak ve nemli iklimler için en iyi çözüm, yapının bodrum katları olmadan tasarlanması yönündedir.

Yapılan araştırma çerçevesinde, Tokyo’daki RPE’de 10 W/m^2 pik ısıtma ve soğutma yükleri elde edilebilmektedir. Buna göre, Tokyo’daki yapıların Pasif Ev kriterlerini karşılayabileceği raporlanmıştır. Ancak, Pasif Ev prensiplerinin yanı sıra, modele bazı geleneksel ve iklimsel müdahalelerin yapıldığı görülmektedir (Şekil 2.7.). Tasarlanan RPE,

Tokyo'nun yapısı gereği küçük ve yoğun yerleşkelerin bulunduğu, yapıların birbirini üzerine gölge yaptığı araziler üzerine yerleştirilmiştir. Yapı, cephelerinde kütle hareketleri bulunan bir tasarıma sahiptir. Bu durum her ne kadar yapının kompaktlığını azaltarak yalıtım kalınlığı gereksinimini artırsa da yüzey alanı arttığı ve yapı kendi içerisinde gölge yaptığı için soğutma döneminde fayda sağlamaktadır. Ayrıca, yine soğutma yükünün azaltılması adına geleneksel katlanır panjurlar kullanılarak iç mekana gölgeleme yapılması sağlanmıştır (Schnieder vd., 2015).



Şekil 2.8. Tokyo'da bir Pasif Ev için taslak tasarım (Schnieder vd., 2015)

Şangay

Tokyo ile benzer subtropikal iklim özellikleri gösteren Şangay, Tokyo'ya göre daha sıcaktır (Thevenard & Brunger 2001; akt. Schnieders vd., 2015). Bu nedenle Pasif Ev prensipleri çerçevesinde, Şangay RPE için parametreler her iki şehirde de hemen hemen aynı olarak uygulanmıştır. Şangay'ın nemli ve daha sıcak yazında da Tokyo'daki aynı sorunlar ve çözümler geçerli olduğu belirtilmiştir.

Şangay'daki yapılar Pasif Ev enerji taleplerini Tokyo'dakiler ile benzer şekilde karşılayabilmektedir. Ancak, Şangay'daki referans yapı için her ne kadar Pasif Ev

parametreleri Tokyo ile aynı uygulansa da, tasarım farklılıkları bulunmaktadır (Şekil 2.8.). Çin şehirlerindeki yüksek konutlara olan büyük talep nedeniyle, Şangay için yüksek katlı bir model geliştirilmiştir. Modelde kış aylarında güneş enerjisi kazanımını azaltmayacak şekilde, yaz döneminde ise fazla ısınmaya engel olmak adına kütle hareketleri yapılmış ve balkonlar tasarlanmıştır. Yine Tokyo'dan farklı olarak, sıcaklık dolayısıyla hareketli gölgelendirmeler uygulanmıştır (Schnieder vd., 2015).



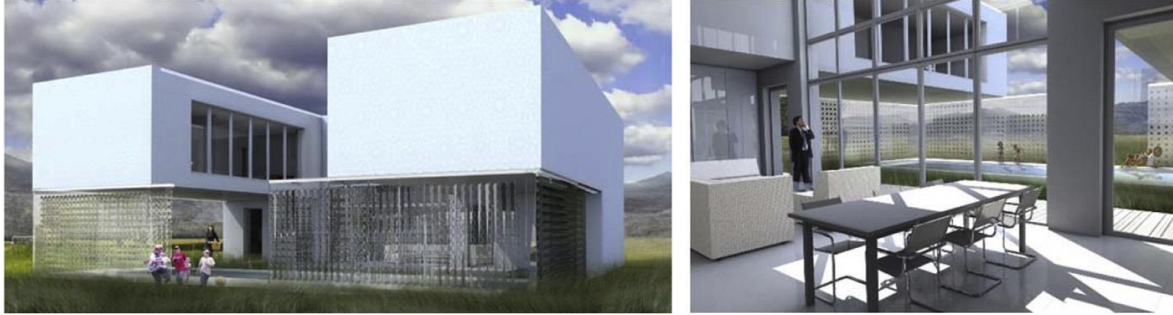
Şekil 2.9. Şangay'da bir Pasif Ev için taslak tasarım (Schnieder vd., 2015)

Las Vegas

Las Vegas gece ve gündüz arasında belirgin sıcaklık farklılıkları olan, sıcak ve kuru bir iklime sahiptir (Thevenard & Brunger 2001; akt. Schnieders vd., 2015). Bu bağlamda Pasif Ev kriterleri bu iklim koşullarına göre referans modele uygulanmıştır. Orta Avrupa'dan farklı olarak, RPE'nin duvar ve çatı yalıtımı için 20cm'lik yalıtım malzemesinin yeterli olacağı belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, pencereler çift cam olarak seçilmiştir.

Las Vegas'taki geniş bir aile için tasarlanan RPE (Şekil 2.9.), Pasif Ev ısıtma ve soğutma enerji yükü gereksinimi olan 15 kWh/m²/yıl değerinin altında kalmıştır. Buna göre, Las Vegas'taki yapıların Pasif Ev kriterlerini karşılayabileceği anlaşılmaktadır. Diğer farklı iklim tiplerinde olduğu gibi bu referans modelde de yerel ve iklimsel bazı müdahaleler yapılmıştır. Yüksek güneşlenme seviyelerine sahip çöl iklimi sebebiyle yapı toplam radyasyonun %85'ini yansıtan açık (soğuk) renklerle boyanmıştır. Ek olarak, iç avlulu plan yapısı ve pencere gölgelendirme elemanları sayesinde pasif şekilde güneşten korunum sağlanmıştır. Ayrıca yapının cephelerinde bulunan geleneksel kütle hareketleri sayesinde

yüzey alanı artırılarak, yapının daha fazla ısı kaybı yapması sağlanmıştır (Schnieder vd., 2015).



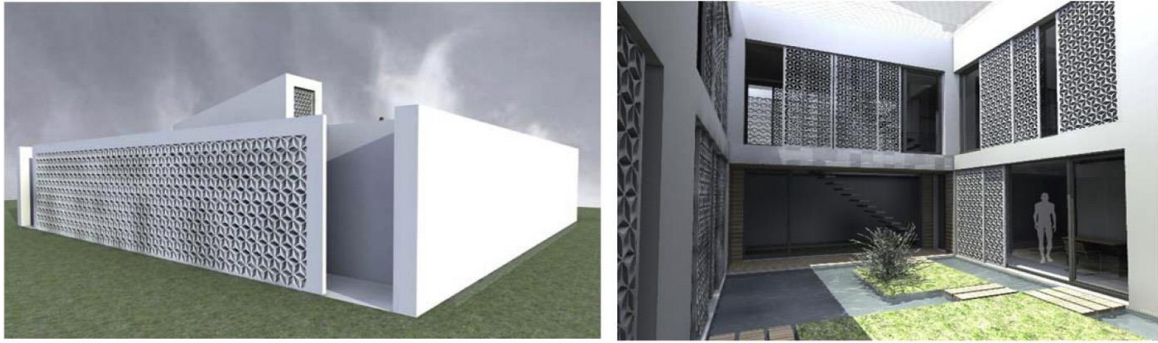
Şekil 2.10. Vegas’da bir Pasif Ev için taslak tasarım (Schnieder vd., 2015)

Abu Dabi

Abu Dabi, sıcak ve nemli bir iklim yapısına sahip olup, yaz döneminde sıcaklıkların 45°C ’ye ulaştığı, güneş radyasyonu seviyelerinin çok yüksek olduğu ve nem oranlarının 20 g/kg ’a kadar yükselebildiği belirtilmiştir. Ayrıca, Abu Dabi’de dış ortam sıcaklıkları kış mevsiminde genellikle 10°C ’nin altına düşmezken, ortalama günlük sıcaklık değerleri 15°C ’nin üzerinde kalmaktadır (Thevenard & Brunger 2001; akt. Schnieders vd., 2015). Bu nedenle, ısıtma enerjisi talebi olmaksızın, neredeyse tüm yıl boyunca yalnızca soğutma talebini azaltmak için yapı inşa etmek gerekmektedir. Soğutma dönemindeki ortalama sıcaklığın bir seferde aylar boyunca 30°C ’nin çok üzerinde olduğu göze alındığında, soğutma yükünün $15 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$ ’ı aşmaması için büyük çaba sarf edilmesi gerekmektedir.

Bu bölgedeki örnekte, iletim yüklerini makul bir seviyeye düşüren iyi bir ısı yalıtım koruması seçilmiştir. Ayrıca dış kabuğa yerleştirilen güneş kırıcılara ilave olarak, cephe yansıtıcı açık (soğuk) renkler ile boyanarak güneş ışınlarından korunmaya çalışılmıştır. Pencereleler ise $0,25 \text{ g}$ -değerine sahip üçlü güneş koruyucu camlardan oluşacak şekilde seçilmiştir. Abu Dabi’deki RPE modeli geleneksel konut tipolojisinde olduğu gibi özel iç avlulu plan düzenine uygun olarak, dış cephede pencere olmayacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 2.10.). Bu sayede, güneş ışınlarından kazanılan enerji miktarı azaltılmıştır. Ancak, yapılan tüm Pasif Ev Standardı ve geleneksel müdahalelere karşın, yaklaşık sekiz ay süren uzun soğutma dönemindeki aşırı yüksek dış ortam sıcaklığı sebebiyle, yıllık soğutma talebi $32 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$ değer ile sonuçlanmıştır. Bu değer Pasif Ev Standardı gereksinimlerinin altında kalmaktadır. Bununla birlikte, ısı geri kazanımlı havalandırma sisteminin soğutma

döneminde yardımcı olamadığı raporlanmıştır. Yılın yalnızca dört aylık döneminde gece ve doğal havalandırmadan faydalanılabilmektedir. Bu nedenle, aktif sistemlerin entegre edilmesine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Ayrıca yapılan gölgelendirme müdahalelerine ek olarak bina çevresine bir metre kadar uzatılmış saçak yapılmasının soğutma yüküne faydası olacağı raporlanmıştır. Yapılan müdahalelere ek olarak, gerekli düzenlemeler yapıldığında, Abu Dabi bölgesi için konfor düzeyinin sağlanabileceği belirtilmiştir (Schnieder vd., 2015).



Şekil 2.11. Abu Dabi’de bir Pasif Ev için taslak tasarım (Schnieder vd., 2015)

Singapur

Singapur tropikal iklime sahip olup, yıl boyunca küçük günlük dalgalanmalar ile 28 °C civarındaki sıcaklıkların ve 18 ile 20 g/kg arasındaki nem oranlarının sabit kaldığı belirtilmektedir (Thevenard & Brunger 2001; akt. Schnieders vd., 2015). Tropikal bir iklimdeki RPE’nin tasarımında, esas olarak dışarıdaki ısı ve nem yüklerinin azaltılması amaçlanmıştır. Pasif Ev Standardı’nın hava sızdırmazlık, havalandırma ve ısı köprülerinin engellenmesi kriterlerine ek olarak, dış ortamdan gelen ısının engellenebilmesi için 8-15 cm kalınlığında yalıtım katmanı uygulanmıştır. Pencere için ise, 0,23 g-değerine sahip güneş koruyucu çift camlar kullanılmıştır. Standardın eklentilerine ek olarak, dış çeper yansıtıcılığı yüksek olan malzemeler ile kaplanmıştır. Ayrıca, çatının 1,5 m saçak genişliği sayesinde, özellikle üst kat ve dış duvarların üst kısımları doğrudan güneş ışınlamından gölgelenmiştir. Bu eklemeler sonrasında, Singapur’daki yapıların Pasif Ev kriterlerini karşılayabileceği anlaşılmıştır (Schnieder vd., 2015).

2.2.2. Sıcak iklim bölgelerinde pasif ev hakkında yapılan çalışmalar

Bu bölümde, sıcak iklim bölgelerindeki Pasif Ev yapıları hakkında yapılan çalışmalar değerlendirilecektir. Bu bağlamda, sıcak iklim bölgelerinde pasif ev kriterlerinin uygulanabilirliğinin anlaşılması için, yapıların iklimsel şartlar altındaki iç mekan ısı konforu, enerji korunumu performansı ve yapının termal davranışı değerlendirilecektir.

Pasif Ev Enstitüsünün veri tabanından alınan bilgilere göre, farklı iklim bölgelerinde Pasif Ev konseptinin sertifika düzeyinde uygulanması giderek yaygınlaşmaktadır. Ilıman iklime sahip alanlar ile ilgili olarak, Japonya’da 28, Yeni Zelanda’da 31 ve Çin’de 30; sıcak ve kuru iklimlerde, Birleşik Arap Emirlikleri’nde 1 ve Suudi Arabistan’da 2; tropikal iklimde, Tayland’da 1, Sri Lanka’da 1 ve Tayvan’da 1 Pasif Ev sertifikalı bina örneği görülmektedir. Ayrıca Türkiye’nin karasal iklim bölgesinde bulunan Gaziantep ilinde 2014 ve 2015 yıllarında yapılan 2 adet Pasif Ev sertifikalı yapı bulunmaktadır (Certified Buildings Map, t.y.).

Pasif Ev Standardı’nın kurucuları olan Schnieders, Feist ve Rongen (2015) tarafından yapılan ve bir önceki bölümde incelenen araştırmalarda enstitü adına ilk defa Pasif Ev konseptinin Yekaterinburg, Tokyo, Şanghay, Las Vegas, Abu Dabi ve Singapur gibi aşırı iklimlerde davranışı değerlendirilmiştir. Konseptin dünyadaki tüm iklim bölgelerinde kullanılmasının mümkün olduğu ve yerel birtakım müdahaleler ile yıllık enerji talebinin konvansiyonel bir binadan %75-95 daha az olabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak diğer iklimlerden farklı olarak tüm yıl boyunca sıcak ve nemli iklimlerde toplam soğutma için enerji talebinin daha yüksek olabileceği belirtilmiştir.

Dalbem, da Cunha, Vicente, Figueiredo, Oliveira ve da Silva (2019) tarafından Brezilya’nın soğuk, ılıman ve sıcak iklim bölgelerindeki 3 farklı örnek üzerinde yapılan çalışmada iki farklı yöntem uygulanarak ısıtma soğutma enerji talebini ve aşırı ısınma oranını en aza indirmek hedeflenmiştir. İlk olarak, Pasif Ev Standardı’nın minimum gereksinimlerini karşılayan çözümün yapılara uygulanması sonucunda, toplam enerji talebinde soğuk bölgede %53, ılıman bölgede %44 azalma görülürken, sıcak iklim bölgesindeki yüksek soğutma enerjisi talebi nedeniyle %20 toplam enerji talebinde artış tespit edilmiştir. İkinci yöntemde, Pasif Ev parametrelerinin her bir yapı için ayrı ayrı optimize edilmesi ile yapılan testler sonucunda toplam enerji talebinde, soğuk iklim bölgesinde %88, ılıman iklim

bölgesinde %56 ve sıcak iklim bölgesinde %64 olmak üzere azalma olduğu görülmüştür.

Truong ve Garvie (2017) tarafından, Avustralya, Chifley bölgesinde inşa edilen bir Pasif Ev’de yapılan 12 aylık izleme döneminin sonucunda alınan verilere göre, yapı geleneksel bir konuta oranla %64 daha az enerji kullanmaktadır. Tasarım aşamasında yapılan performans tahminlerine oranla %12’lik hata paydası içerisinde bulunan bu yapıda, aktif soğutma ve ısıtma kullanılmadan 12 aylık sürenin %96,1’inde sıcaklığın 20°C ile 25°C arasında olduğu ve odalar arasındaki sıcaklık farkının yaklaşık 2°C olduğu bildirilmiştir.

Sigalingging, Chow ve Sharples (2020) tarafından yapılan çalışmada, tropik iklim bölgesinde yer alan Endonezya’nın Jakarda kentindeki konutlarda Pasif Ev konseptinin uygulanması değerlendirilmiştir. Standartların gerekliliklerinin sağlanabilmesi için Pasif Ev kriterlerine ek olarak nem önleyici cihaz kullanılmıştır. Ayrıca, toprak sıcaklığının yıl boyunca iç mekanın iklimlendirilmesine olumlu bir etkisi olduğu tespit edildiği için yapının zemin döşemesi izole edilmemiştir.

Lafqir, Sobhy, Benhamou, Bennouna ve Limam (2020) tarafından Fas’ın çok sıcak-kuru ikliminde Pasif Ev Standardı çerçevesinde yapı kabuğu (ısı yalıtımı ve cam tipi) incelenmiştir. Çalışma sonucunda, çatıda uygulanan yalıtımın, yalıtımsız referans yapıya oranla ısıtma ve soğutma için yıllık enerji ihtiyacının sırasıyla %19 ve %33 oranında azalmaktadır. Duvar yalıtım tabakasının katkısı açısından soğutma yükü için benzer veriler elde edilirken, ısıtma için %57 oranında bir tasarruf sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca pencerelerde çift cam kullanımı ısıtma yükünde yardımcı olurken, çift camların soğutma döneminde az miktarda aşırı ısınmaya sebep olduğu raporlanmıştır. Tüm bu sistemlerin kombinasyonu, ısıtma ve soğutma için sırasıyla %65 ve %86 enerji tasarrufu sağlarken, toplam enerji tasarrufunun referans duruma göre %72 olduğu belirtilmiştir.

Pasif Ev Standardı her ne kadar farklı iklimlerde yerel çözümlere oranla oldukça fazla enerji korunumu sağlasa da yapılan bazı araştırmalarda Pasif Evlerin önemli miktarda aşırı ısınma saati yaşadığı belirtilmektedir. Bu bağlamda aşırı ısınma, Pasif Evler için önemli bir problem haline geldiğinden, genel performansın iyileştirilebilmesi için aşırı ısınmanın değerlendirilebilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede Pasif Ev Enstitüsü bu gereklilik dolayısıyla, aşırı ısınma değerlendirme kriterini, 25 °C ortam sıcaklığının aşıldığı zaman dilimi olarak tanımlamaktadır. Ayrıca aşırı ısınma saatlerinin miktarı tüm yılın %10’unu

aştığında bir Pasif Ev aşırı ısınmış olarak kabul edilmektedir.

Hidalgo, Psomas, Garcia-Gafaro, Heiselberg ve Millan (2015) tarafından İspanya’da sertifikalı bir Pasif Ev binasını analiz edilmiştir ve sonuç olarak kullanım süresinin %11,8’inde iç hava sıcaklığının 25 °C’yi aştığını raporlanmıştır. Goncalves, Ogunjimi ve Heo (2020) tarafından yapılan çalışmada Pasif Ev termal performansının özellikle az sayıda belirsiz parametreye duyarlı olduğu bulunmuştur. Aşırı ısınma saatlerinin özellikle iç ısı kazanımlarına, opak iletkenliğe ve güneş ışını emilimine duyarlı olduğu belirtilmiştir. Yuan, Shim, Lee, Song ve Kim (2020) tarafından yapılan analizler sonucunda Kore’de bulunan sıfır enerjili pasif binalarda iç mekanların aşırı ısınmasını en çok etkileyen faktörlerin güneş ışığı ve kullanıcı doluluk seviyesi (CO₂ konsantrasyonu) olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, sıfır enerjili bina standartlarının genellikle ısıtma yükünü en aza indirmeye yönelik olduğundan, iç ortam ısısının dışarıya atılmasının zor olduğu ve bu durumun yapılarda aşırı ısınmaya neden olduğu vurgulanmıştır.

Lomas ve Porritt (2017) tarafından, Pasif Ev’lerdeki çeşitli aşırı ısınma olaylarını ayrıntılı olarak özetleyen kapsamlı bir literatür taraması sunulmuştur. Bu bulgular, Pasif Ev’lerde meydana gelen aşırı ısınma sorununun ciddiyetini göstermektedir. Bu verilere göre aşırı ısınmanın önlenmesi için yapının tasarım aşamasından başlayarak birtakım müdahalelerin yapılması gerekmektedir. Sıcak iklim bölgelerinde yapılan pasif ev çalışmalarının büyük çoğunluğunda, soğutma yüküyle ilgili problemler ile karşılaşmış ve bunlara çözümler aranmıştır.

Figueiredo, Kämpf, ve Vicente (2016) tarafından Portekiz’in Aveiro bölgesinde Pasif Ev Standardı’nın doğrudan ve tek başına uygulanması değerlendirilmiştir. Pasif Ev uygulaması, geleneksel yapım tekniklerine kıyasla daha iyi performans göstermiş olsa da soğutma döneminde aşırı ısınma durumunun söz konusu olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, standardın kriterlerinin iklime göre uyarlanması ve güneş ışını kazanımlarının azaltılmasının faydalı olabileceği raporlanmıştır. Ayrıca Figueiredo vd. (2016) tarafından bir diğer çalışmada, iklim gereksinimleri çerçevesinde geliştirilen dinamik kriter seçimleri ile Pasif Ev Standardı’nın gereksinimleri optimum hale getirilmiş, çift camlı pencereler ile zemin, dış duvarlar ve çatı için sırasıyla 3, 5 ve 6 cm ısı yalıtımı kullanılarak ısıtma talebi, soğutma talebi ve aşırı ısınma oranlarında sırasıyla toplamda %62, %72 ve %4,4 oranlarında azalma sağlanmıştır.

Fokaides, Christoforou, İlic ve Papadopoulos (2016) tarafından Akdeniz ikliminin hakim olduğu Kıbrıs'ta yapılan bir simülasyon çalışmasında Pasif Ev Standardı'na göre yapılan bir yapının termal performansı değerlendirilmiştir. Diğer literatür taramalarında görüldüğü gibi, simülasyon çalışmasında yaz döneminde aşırı ısınma sorunları tespit edilmiştir. Ancak farklı olarak, pasif doğal ve gece havalandırma stratejileri uygulanarak koşulların düzeltilebileceği raporlanmıştır. Ayrıca, Vettorazzi, Figueiredo, Rebelo, Vicente ve da Cunha (2021) tarafından Brezilya'nın sıcak iklim bölgelerinde Pasif Ev konseptinin konutlara uyarlanabilirliği ve performansının değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışma sonucunda, aşırı ısınma sorununa çözüm olarak yapılarda kullanılan iklimlendirme sistemini doğal havalandırma yöntemleri ile hibrit olarak kullanılması gerektiği ve bu şekilde rahatsızlık seviyesinin azaltılabileceği raporlanmıştır.

Mlakar ve Stancar (2011)'e göre, bina formu, yönelimi, açıklık oranları, soğutma geri kazanım havalandırması, ön soğutma (klima), gece havalandırması (pasif soğutma) ve güneşten gölgeleme sistemi vb. tasarım ve teknik sistemler uygulanarak bina sakinleri için daha uygun termal yaşam koşulları sağlanarak, gün içinde soğutma yükü için enerji maliyetinden tasarruf edebilmektedir. Bu bağlamda, aşırı ısınma kaynaklı sorunların giderilmesi adına yapılan müdahalelerin yanı sıra, sıcak iklim bölgelerindeki binaların enerji performanslarının daha da iyileştirilmesi adına, Pasif Ev kriterlerine ek olarak yerel mimari çözümler ile iç mekan konforunun iyileştirilme potansiyeli bulunmaktadır.

Rio de Janeiro'nun sıcak tropik ikliminde Cruz, Carvalho ve Cunha (2020) tarafından yapılan Pasif Ev Standardı incelemesi sonucunda, Pasif ev sertifikasyonu için gerekli olan enerji talebinin karşılanmasının mümkün olduğu hatta standardın ısı yalıtım stratejisinin uygulanmayabileceği ya da standardın katı gerekliliklerine karşın daha az olacak şekilde farklı değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Uygun sonuçlar elde etmek için Pasif Ev kriterleri dışında, yapının doğu/batı eksenine yönlendirilmesi, yapının iklim gerekliliğine göre daha kompakt biçimde tasarlanması, cam yüzeylerin ve açıklıkların kuzey cephede konumlandırılması gibi pasif tasarım stratejilerinin kullanılması önerilmiştir. Aşırı ısınmadan korunmak adına pencerelerin ve boşlukların güneş ışınlarından korunması gerektiği raporlanmıştır.

Schnieders vd. (2020) tarafından farklı iklim bölgelerinde Pasif Ev anlayışı üzerine yapılan araştırmada, Pasif Ev Standardı'nın her iklimde benzer yapılara göre daha iyi performans

gösterdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte standardın bina tipine, yasal mevzuatlara, yerel olarak yaygın olan bina tipolojisine, mimarların tasarım fikirlerine ve müşterilerin taleplerine bağlı olarak farklı yöntemler ile gerçekleştiği belirtilmektedir. Özellikle çok yüksek soğutma gereksinimleri olan sıcak iklim bölgelerinde, en önemli faktör olan güneş ışını kazanımlarından korunmak için, cephe ve çatılardaki boya rengi seçimi, yüksek güneş kontrollü cam kullanımı, pencere yüzeylerinin azaltılması ve güneş ışınlarını engelleyici gölgeleme sistemleri kullanılması gerekmektedir.

Sıcak iklim bölgelerinde uygulanmış Pasif Evler hakkında yapılan literatür taraması sonucunda, soğutma yükünün ağırlıklı olduğu bölgelerde, yapının çoğunlukla fazla güneş ışını kazanımı kaynaklı olarak aşırı ısınması sorunuyla karşılaştığı görülmektedir. Pasif Ev Standardı'nın doğrudan tek başına uygulanmasının problemlere yol açabileceğinden, yapılan birçok çalışmada standardın kriterlerinin iklime göre uyarlanması ve güneş ışını kazanımlarının azaltılması çerçevesinde iklime uygun pasif tasarım kriterlerinin kullanılması gerekliliğine değinilmiştir. Bu bağlamda, sonraki bölümlerde sıcak iklim bölgesindeki yapılar için soğutma enerjisi korunumu adına uygulanabilecek pasif teknikler incelenecektir.

2.2.3. Vaka analizi: Sıcak iklim bölgelerinde uygulanmış pasif ev örnekleri

Örnek çalışma: Baytna projesi, Barwa, Katar

Katar'da iklim karakteri, uzun sıcak yazlar ve kısa ılıman kışlardan oluşmaktadır. Ortalama aylık sıcaklıklar Ocak'ta 18 °C ile Temmuz ve Ağustos aylarında 36 °C arasında değişmekte olup, maksimum sıcaklık Temmuz'da 45 °C, minimum sıcaklık değeri ise Ocak ayında 14 °C'dir. Ortalama yıllık en düşük bağıl nem oranı Haziran ayında %39, en yüksek bağıl nem oranı ise Aralık ayında %71 olmak üzere yıl içinde yaklaşık %57'dir (Doha İklimi, t.y.).

Orta Doğu'daki ilk Pasif Ev projesi 2013 yılında Katar'da inşa edilmiştir. Proje, çeşitli endüstriyel kuruluşlar ve devlet kurumları ile teknik ve bilimsel danışman olarak Katar Yeşil Bina Konseyi tarafından ortaklaşa yürütülmüştür. Proje; büyüklük, mekansal düzenleme ve konfor gereksinimleri açısından birbirinin aynı iki villadan oluşmaktadır. Şekil 2.11'de görülebileceği üzere, yapılardan biri enerji üretmek için güneş panelleri ile donatılmış, diğeri ise Katar'daki geleneksel yapılara paralel olarak, enerji bağlamında aktif sistemlere

başvurulmadan tasarlanmıştır. İki farklı yapı inşa edilmesinin amacı, Pasif Ev Standartları ile geleneksel yapıları enerji tüketimi, CO₂ emisyonları, maliyet etkinliği, konfor seviyeleri ve bina sakinlerinin memnuniyeti açısından karşılaştırmak olarak belirtilmektedir (Alalouch, 2015).



Şekil 2.12. Solda geleneksel konut özelliklerinin uygulandığı villa, sağda ise Pasif Ev villası görülmektedir (Amato, Skelhorn, & Council, 2014)

Khalfan, Sharples, Amato, Skelhorn ve Bryant (2015) tarafından her iki villanın da yaklaşık 200 m² zemin alanı olmakla birlikte dört kişilik bir aile için tasarlandığı belirtilmiştir. Villalar üç yatak odası, açık oturma/mutfak alanı ve merkezi avludan oluşmaktadır. İki yapıda da iklimsel pasif tasarım kriterleri ile örtüşen, bölgenin yerel mimari özellikleri kullanılmaktadır. Bu durum, merkezi bir avlu ve harici bir sütun dizisinin kullanılmasıyla vurgulanmıştır. Özel ve ortak alanlar mahremiyet adına birbirinden bağımsız olarak tasarlanmıştır. Ek olarak, özel alanlardaki kullanıcı mahremiyeti, manuel hareketli gölgelendirme panelleri ile sağlanmıştır.

Khalfan (2019) tarafından yapılan çalışmaya göre, iki binanın da yerleşim planlarının aynı olmasına rağmen, Pasif Ev villasının (PEV), Pasif Ev gereksinimlerine ulaşmak için aşağıdaki sürdürülebilir özellikleri içermektedir:

- Binanın duvarlarının ve çatısının dışında 300 mm kalınlığında yalıtım tabakası
- Düşük U-değerlerine sahip yüksek çözünürlüklü cam paneller

- Enerji tasarruflu aydınlatma sistemi
- Enerji verimli soğutma sistemleri
- Yüksek verimli ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi
- Sulama için gri su sistemi
- Binanın çatısına monte edilen fotovoltaik paneller
- Avlu tavan penceresindeki çalıştırılabilir gölgeleme panjurları
- Minimum termal köprülere sahip hava geçirmez bir bina kabuğu

Alshenaif (2015) tarafından, Pasif Ev stratejileriyle donatılan PEV'nin, standart villaya (STV) kıyasla yıllık enerji gereksiniminde, su tüketiminde ve CO₂ emisyonlarında %50 oranında azalma hedeflendiği aktarılmıştır. Bunun yanı sıra, Alalouch, Saleh ve Al-Saadi'e (2016) göre, hedeflenen bu azalma sağlanırken, PEV'nin yatırım maliyetinin STV'nin maliyetinin yalnızca %20 fazlası olduğu belirtilmektedir.

Khalfan'a (2019) göre, iki villanın enerji bağlamında karşılaştırılmasının sonuçları aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Enerji kullanımı açısından, PEV'nin STV'den en az %50 daha az enerji tükettiği görülmektedir. Simülasyon programı aracılığıyla PEV'nin enerji kullanımının yıllık 21.000 kWh, STV'nin ise yıllık 44.500 kWh olduğu tahmin edilmiştir
- Her iki villaya kurulan veri kaydediciler ve simülasyon programları aracılığıyla elde edilen verilere göre, her iki villa da tatmin edici düzeyde ısı konfor sağlanmıştır. Fakat bu durumun sağlanabilmesi için STV, PEV'e göre iki kat daha fazla enerji harcamıştır. Ancak yapıda iklime dayalı geleneksel mimari öğeler kullanılmamış olsaydı, aradaki farkın çok daha fazla olabileceği belirtilmiştir.
- Bina zarfının ısı performansı açısından, her iki villada da soğutma sistemi devre dışı bırakıldığında elde edilen sonuçlara göre, PEV'nin dış dokusunun ısı iletkenliğe çok daha dayanıklı olduğu ve iç ortam sıcaklıklarının aşırı sıcaklığın çok altında tutulduğu raporlanmıştır. Bununla birlikte, daha sıcak aylarda STV'de iç ortam sıcaklıklarının, dış mekan sıcaklığının üzerinde olduğu bildirilmiştir.

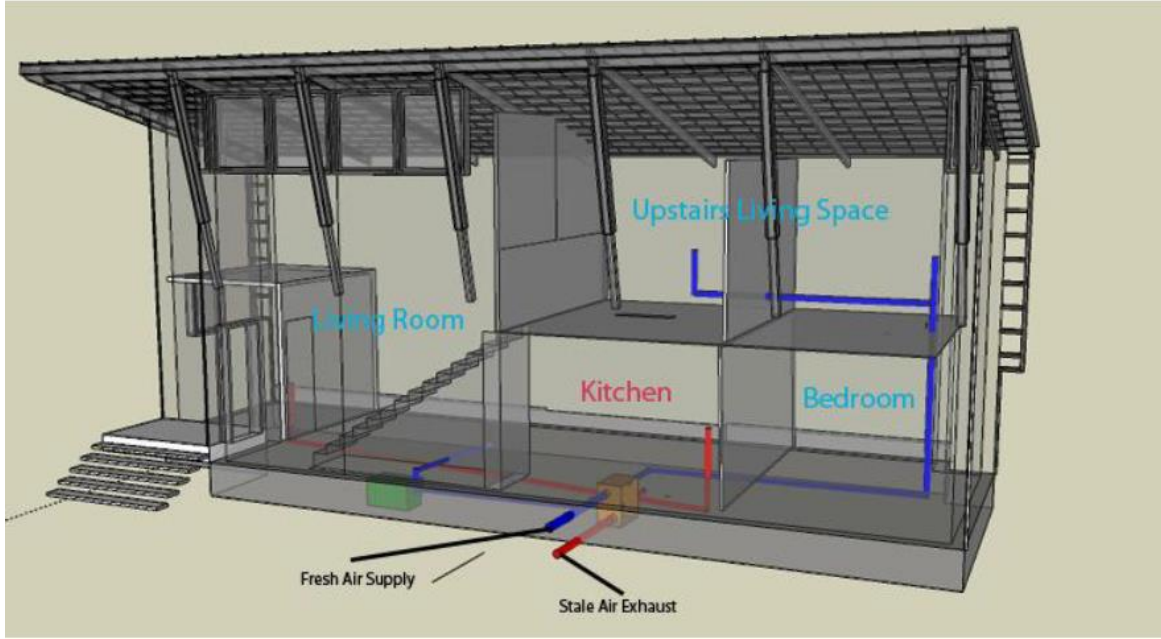
Khalfan ve Sharples'a (2016) göre, sıcak ve kuru iklim bölgelerinde Pasif Ev Standartlarına

uygun inşa edilen yapılarda, dinamik simülasyon programları aracılığıyla elde edilen tahmini enerji performansı ve konfor seviyelerinin tahmin edilen seviyelere ulaştığı ve başarılı olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, benzer ihtiyaçlara sahip yan yana inşa edilen iki yapı gözlemlendiğinde, Pasif Ev kriterlerine uygun yapılan yapının enerji bağlamında %50 oranında fazla performans gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Ancak, yine iki yapının simülasyon sonuçlarına göre, sıcak ve kuru iklim için yapılmış olan iklimsel müdahalelerin iki yapının performansında önemli bir etkisi olduğu görülmüştür.

Örnek çalışma: Lebois evi, Lafayette, Louisiana, ABD

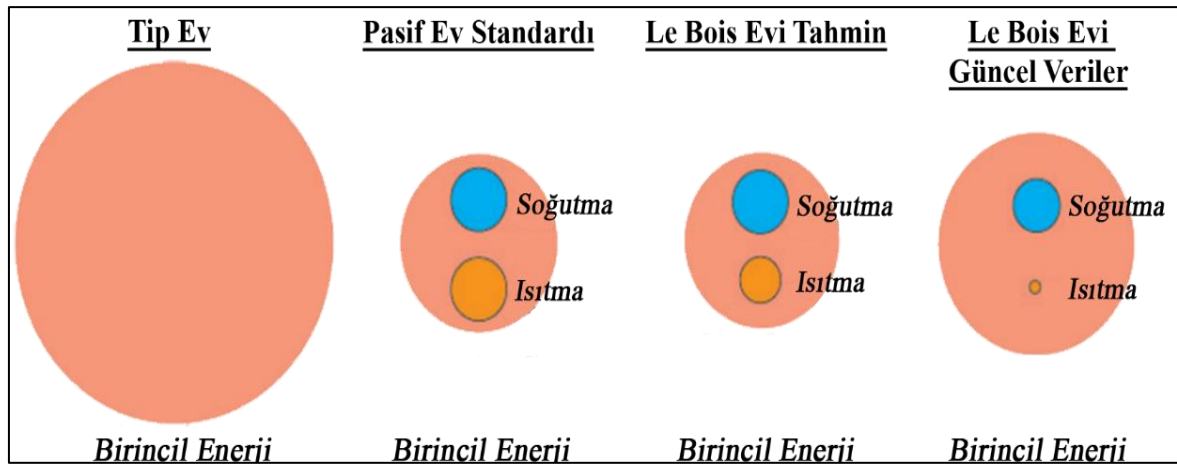
Amerika Birleşik Devletleri'nin güneyinde yer alan Louisiana eyaleti, sıcak ve nemli iklim özellikleri göstermektedir. Sıcak mevsimde, ortalama yüksek sıcaklık 29,5°C iken yaklaşık üç aydan az süren soğuk mevsimde sıcaklığın ortalama 19 °C olduğu görülmektedir (Lafayette İklimi, t.y.).

Bu bölümde incelenen LeBois evi, Louisiana eyaletinin Lafayette kentinde 2010'da tamamlanan 120 m² alana sahip, üç yatak odalı, iki banyolu bir yapıdır. Pasif Ev kriterlerine ek olarak, yapı içerisinde bir adet soğutma ve ısıtma yükünün karşılandığı mini-split klima ve enerji geri kazanımlı havalandırma sistemi (ERV) kullanılmaktadır. İki sistem, üç yatak odası ve yaşam/mutfak alanını içeren iki ana bölgeye hizmet etmektedir (Şekil 2.12.). Mini split klima, yaşam alanı içerisindeki iki kat yüksekliğindeki alana yerleştirilmiştir. Yatak odalarının soğutulması ise kapıların açılması ile kısmen sağlanmıştır. Öte yandan, havalandırma sisteminin tüm bölgelere temiz hava sağladığı belirtilmektedir (Saft ve Helton, 2012).



Şekil 2.13. LeBois evinin tasarımını ve kullanılan mekanik sistemi gösteren 3D çizim (Saft & Helton, 2012)

Saft ve Helton'a göre (2012), evin yapımında malzeme, işçilik ve maliyette azalmaya sağlayarak termal köprüleri ortadan kaldıran yüksek performanslı pencere çerçeveleri kullanılmaktadır. Ayrıca, yapı kabuğunun yalıtımı duvar ve çatı için sırasıyla 25 mm ve 50 mm kalınlığında yalıtım katmanları ile sağlanmıştır. Binanın gölgelendirilmesi, aynı zamanda nem kontrolü sağlayan bir yağmur perdesi ile sağlanmaktadır. Yapının çatısına birincil enerji tüketiminin ortalama %40'ını karşılayan 3,2 kW'lık güneş pilleri monte edilmiştir.



Şekil 2.14. Le Bois evinin enerji talebi, tahminleri ve sonuçlarının karşılaştırmalı gösterilmesi (Saft & Helton, 2012) (Yazar tarafından Türkçe tercüme edilmiştir)

Yapının enerji performansını modellemek için PHPP kullanılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda, soğutma yükü 15 kWh/m², ısıtma yükü 8 kWh/m²/yıl ve birincil enerji 116 kWh/m²/yıl olarak tahmin edilmiştir. Ancak Şekil 2.13'te görüldüğü üzere, 18 aylık performans izlemesi sonucunda, ısıtmanın nadiren gerekli olduğu ve gerçek kullanımın öngörülen ihtiyacın yaklaşık %7'si kadar olduğu belirtilmiştir. Bu yapıda, iklimsel faktörler sebebiyle, soğutma yükü daha önemli olduğu görülmektedir. Ancak yine de öngörülen ihtiyacın yalnızca %70'i kadar enerji kullanımı söz konusu olmuştur. Yalnızca toplam enerji tüketimi, PHPP tarafından tahmin edilenden yaklaşık %50 daha fazla olarak ölçülmüştür. Bu durumun sebebinin 18 aylık süreç boyunca evi kullanan öğrencilerin düzensiz hayatları olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, mini-split tarafından 12 aylık test süresi için kullanılan toplam enerji 1,342 kWh olarak ölçülmüştür, bunun yaklaşık 1,271 kWh'ı soğutma için, 71 kWh ise ısıtma için kullanılmıştır (Saft & Helton, 2012).



Şekil 2.15. Le Bois Evi (Saft & Helton, 2012)

Sonuç olarak, Pasif Ev kriterleri ve enerji etkin tasarım kriterleri göz önünde bulundurularak tasarlanan bu konut, mini-split klima ve ERV sistemi eklentileri ile birlikte yerel standardın ısı konfor bölgesi sınırları içerisinde kalmayı başarmış ve aynı zamanda Pasif Ev Standartlarının enerji korunum gereklerine uygun sonuçlar ortaya koymuştur. Aynı zamanda, yapılan performans değerlendirmeleri ve yerinde ölçümlere göre birtakım farklılıklar olduğu gözlemlenmektedir. Bu farkların, özellikle yapının pasif tasarım kriterleri gözetilerek yapılması ve kullanıcıların farklı davranışları sebebiyle oluşabileceği belirtilmektedir.

2.3. Sıcak ve Nemli İklim Bölgelerinde Enerji Korunumu Sağlayan Biyoklimatik Tasarım Yaklaşımı

"Sürdürülebilir" sözcüğü, Latince "sustinere" fiilinden türetilmiştir ve çok uzun bir süre veya sonsuza kadar sürdürülebilen ilişkileri (süreçler veya durumlar) tanımlanmaktadır. Sürdürülebilir kavramı ilk olarak "Sürdürülebilir kalkınma" adı altında 1980'de Dünya Koruma Birliği (IUCN) tarafından yayınlanan Dünya Koruma Stratejisi'nin yayınlanmasından sonra tanınmıştır. IUCN tarafından daha sonra 1987'de Ortak Geleceğimiz Brundtland Raporu'nun yayınlanmasıyla yeni bir statü kazanan sürdürülebilirlik kavramı, Haziran 1992'de Rio de Janeiro'da düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'ndan (UNCED) bu yana daha da büyük bir ilgi görmüştür (Tzoniz, 2007).

Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayan gelişim olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilirliğe ulaşmak için toplumun karşılaması gereken koşullar Brundtland raporunda şu şekilde sıralanmıştır (Brundtland, 1987):

- Yenilenebilir kaynak kullanım oranlarının, yenilenme oranlarını aşmaması gerekmektedir.
- Yenilenemeyen kaynakların kullanım oranlarının, sürdürülebilir ikamelerin geliştirilme oranını aşmaması gerekmektedir.
- Kirlilik emisyon oranlarının, çevrenin özümleme kapasitesini aşmaması gerekmektedir.

1980'lerin sonunda "sürdürülebilirlik" terimi, hızlı getiri ve büyümeyi tercih eden ülkeler veya bölgelerdeki yeri doldurulamaz kaynakları tüketen ekonomik büyüme modellerini eleştirerek ve kalkınmaya atıfta bulunarak, ilk kez ekonomi alanında yaygın olarak kullanılmıştır (Tzoniz, 2007). Ancak Kamar ve Hamid (2012), yeri doldurulamaz kaynakların tüketimi bağlamında, doğanın bir parçası olmayan, inşa edilmiş çevrenin inşası, bakımı ve güncellenmesinin çevre üzerinde potansiyel negatif etkilere sahip olduğunu belirtmektedir. Binalar geri kazanılamayan kaynakların çoğunu tüketmektedir. Bununla birlikte, büyük miktarda atık oluşturan binalar, dünya üzerinde üretilen toplam karbondioksitin yarısından sorumludur. Yapılı çevre kaynakların (malzeme ve enerji) ana tüketicisi olduğundan, bugün ve gelecekte sürdürülebilirliğe ulaşabilmek için, sürdürülebilir

mimari büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda Zahibi ve Habib'e göre (2012), bina inşasının potansiyel sorunlarına çözüm olarak, bina inşaatının sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerinin azaltılarak, yaşam kalitesinin artırıldığı, bölgesel ve küresel çevresi ile doğanın bir parçası haline getirilmiş ekonomik binalar yaratılması sürdürülebilir kalkınmada önemli bir role sahiptir.

2.3.1. Enerji etkin, biyoklimatik bina tasarımı

Nüfus artışı ve kentleşmeye bağlı olarak enerji tüketimi rakamları hızla artmaktadır (Ekici & Aksoy, 2011). Konutların enerji gereksinimleri iklime, konut tipine ve gelişme düzeyine bağlı olarak bölgeden bölgeye değişiklik gösterse de her yıl küresel olarak kullanılan enerjinin %38'inin inşaat faaliyetleri tarafından tüketilmekte olduğu raporlanmıştır (Mohsen & Akash, 2001). Bu sebeple, küresel ve bölgesel çerçevede enerji verimliliğini artırmak ve enerji tüketimini azaltmak için enerji etkin tasarımlara önemli çabalar sarf edilmesi gerekmektedir. Engin (2012) tarafından enerji etkin tasarımın amacı şu şekilde değerlendirilmiştir:

“...yenilenebilir enerji kaynakları kullanmak, binalarda enerji korunumunu yükseltmek, mekanik sistemlerin sorumluluğundaki aktif iklimlendirme yükünü azaltmak, tüketilen fosil kaynaklı enerji miktarını minimize etmek, doğal çevreye duyarlı ve sürdürülebilir olmak...”

Enerji verimli bina tasarımı iklim, yön ve hakim rüzgar gibi değişken fiziksel çevresel verileri kullanarak enerjiyi verimli ve etkin bir şekilde çalıştırmayı amaçlayan bir tasarım olarak tanımlanmaktadır (Özmehmet, 2007). Enerji verimli tasarım, yapıya uygun bir şekilde, aktif ve pasif tasarım kriterleri oluşturarak; ısıtma, soğutma, havalandırma ve doğal aydınlatma performansını arttırmak ve bu kapsamda enerji tasarrufu sağlamak üzere tasarım yapmayı gerektirmektedir (Utkutug, 1999).

Günümüzde tasarlanan ve kullanılan binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma için aşırı enerji tükettiği belirtilmektedir. Enerji verimli yapılar, inşaat sektöründe sadece enerji talebini karşılamak için elektrik sektörünün üzerindeki yükü azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda kullanıcıların enerji faturalarını azaltmalarına yardımcı olarak yaklaşık %30-40 oranında enerji tasarrufu sağlayabilmektedir (Khosla ve Singh, 2014).

Bu çerçevede iklim; enerji tüketimini azaltmak, doğal kaynakları kullanmak ve rahat, sağlıklı ve sürdürülebilir yaşam alanları sağlamak için önemli bir etkiye sahiptir (Hui, 2000). İklim çerçevesinde ortaya çıkan “biyoklimatik” terimi, canlılar ve iklim arasındaki ilişki anlamına gelmektedir (Merriam-Webster, t.y.). Bu terim ilk kez 1960’lı yılların başlarında Victor Olgyay’ın ‘İklimle Tasarım: Mimari Bölgecilğe Biyoklimatik Yaklaşım’ (Design with Climate: Bioclimatic Design and Energy Efficient Design) adlı kitabında kullanılmıştır (Olgyay, 2015).

Kullanıcılar için termal açıdan rahat olacak alanların tasarlanmasında iklim faktörlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bajcinovci ve Jerliu’ya (2016) göre sürdürülebilir mimari ve enerji verimliliği için yerel iklimlere dayalı biyoklimatik tasarım ilkeleri, yapılı çevre üzerinde verimlilik ve daha sağlıklı etki elde etmek için evrimsel bir entegre strateji sunmaktadır. Bu bağlamda, biyoklimatik (veya sürdürülebilir) mimaride yapılar, yerel iklim koşullarına göre kış aylarında soğuk havaya maruz kalma durumunu en aza indirilecek ve güneş enerjisi kazanımları maksimize edilecek şekilde; yaz aylarında ise, güneş ışınlarından gölgelenerek ve genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının yardımıyla çeşitli soğutma teknikleri kullanılarak enerji etkin performans elde edilecek şekilde inşa edilmektedir (Magliocco & Giachetta, 1999; akt. Tzikopoulos vd., 2005). Bu çerçevede güneşe göre bina yönelimi, bina formu, bina kabuğu, güneş kontrolü, doğal havalandırma ve buna benzer diğer faktörler biyoklimatik mimarinin tasarım öğeleri olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, biyoklimatik mimari pasif tasarım ilkelerini içermektedir (Lee, Lee & Lim, 2015).

2.3.2. Sıcak iklim bölgelerindeki yüksek enerji performanslı binalarda pasif tasarım gerekliliği hakkında yapılan çalışmalar

Daha önceki bölümlerde incelenen Pasif Ev uygulamalarının yanı sıra, sıfır enerjili ya da enerji tasarrufu sağlamayı amaçlayan tasarımlarda, enerji korunumu sağlayabilmek için iklime dayalı mimari anlayışın getirisi olan pasif tasarım kriterlerine sıklıkla yer verilmektedir. Bu bölümde, sıcak iklim bölgelerinde uygulanan konut yapılarında pasif tasarım kriterlerinin gerekliliği ve hangi tasarım kriterlerinin kullanıldığı, tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde kullanılmak üzere incelenecektir.

Yapılar enerji korunumu adına güneş, toprak, rüzgar, gökyüzü ve su gibi doğal enerji

kaynaklarının varlığından ve özelliklerinden yararlanarak iklime duyarlı bir yaklaşımla tasarlanmalıdır. Çevre ile uyumlu, iklime dayalı tasarım tekniklerinin birleşimi sonucunda tasarlanan yapı düşük enerjili ve konforlu bir yapı olacaktır (Looman, 2017).

Feng, Zhang, Wang, Zhou, Ye ve Lau (2019) tarafından sıcak-nemli iklim bölgesindeki 34 farklı sıfır enerjili bina üzerine yapılan literatür taramasında, yüksek performanslı teknolojilerin tek başına yüksek enerji performansını garanti etmediği sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle sıcak-nemli iklim bölgelerinde uygulanan projelerde pasif stratejilerin, aktif sistemlere entegre edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Yapılan literatür taraması sonucunda, çalışma kuralı olarak, önce pasif önlemlerin tasarım aşamasında karar verilmesi ve ardından aktif teknolojilerin entegre edilerek genel performansın optimize edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Yapılan örnek çalışmalar ile de doğal havalandırma ve gün ışığı pasif teknolojilerinin sıfır enerji hedefli binalarda enerji kullanımını önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir.

Giouri, Tenpierik ve Turrin (2020) tarafından, Akdeniz ikliminin hakim olduğu Yunanistan'da yapılan bir tasarımın enerji korunumu adına optimizasyon seçenekleri incelenmiştir. Tasarım için soğutma ayarları, doğal havalandırma stratejileri, cam özellikleri ve pencere-duvar oranı parametreleri tek tek incelenerek yapıya uygulanmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda, Yunanistan'daki mevcut düzenlemelere entegre edilen pasif stratejilerin uygulanması ile, binanın enerji talebi %33 azalmış ve konfor saatleri %18,2 oranında arttığı raporlanmıştır.

Kachkouch, Ait-Nouh, Benhamou ve Limam (2018) tarafından, Marakeş'in (Fas) gerçek iklim koşullarında teras çatı üzerinde; beyaz boyama, gölgeleme cihazı ve ısı yalıtımı olmak üzere üç pasif tekniğin termal performansı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışılan pasif tekniklerin çatıdan geçen ısı akışı üzerinde ve dolayısıyla iç mekan havasının sıcaklığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Tavan sıcaklığının, çıplak çatı referansına göre 13 °C'ye kadar düşürdüğü ve çatı levhasından geçen ısı akışını %66'ya kadar azalttığı için beyaz boyalı çatının en yüksek termal performansa sahip olduğunu iddia edilmektedir. Ayrıca, ısı yalıtımlı ve gölgeli çatıların da sırasıyla 9,9 °C ve 8,9 °C'ye kadar çatı sıcaklığını azalttığı belirtilmektedir.

Rinaldi, Roccotelli, Mangini, Fanti ve Iannone (2017)'e göre, yaz aylarında soğutma yükü

açısından, farklı yöntemler ile bina içerisine girmesi ve hareketi sağlanan dış hava, binanın soğutma yükünde tasarruf sağlamaktadır. Yazarlar tarafından, doğal havalandırma tekniklerinin sıcak iklim bölgelerinde enerji tüketimi olmadan iç mekan konforunu sağlayan en verimli geleneksel yaklaşımlardan birisi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu bağlamda, en yaygın doğal havalandırma stratejilerinin serbest soğutma ve gece havalandırması olduğu raporlanmıştır.

O'Donovan, Murphy, O'Sullivan (2021) tarafından yapılan çalışmada, mevcut ve gelecekteki aşırı iklim koşullarında optimum konfor ve enerji koşulları sağlamada farklı pasif tasarım stratejilerinin soğutma yükü çerçevesinde esnekliği değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, birden fazla tamamlayıcı pasif soğutma sisteminin bir arada kullanılmasının soğutma yükünü azaltmak ve aşırı ısınmayı önlemede başarılı olabileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda, karasal iklim bölgesinde pasif tasarım stratejilerinin entegrasyonu ile yapılmış yapıların, mevcut ve gelecekteki iklim senaryolarına göre yapılan simülasyonlarının sonucunda zamanın %90'ı oranında tatmin edici konfor seviyeleri yakalanmıştır. Ayrıca, en büyük etkinin, bina tasarım sürecine doğal havalandırma stratejilerini ve güneş ışınlarının gölgelendirilmesinin entegre edilmesinin sağladığı sonucuna varılmıştır.

Hamdy, Hasan ve Siren (2013) tarafından, farklı iklim bölgelerinde uygun maliyetli ve neredeyse sıfır enerjili bir bina geliştirmek için araştırma yapılmıştır. Araştırmanın amacı, evin termal performansını (ısıtma, soğutma, konfor) etkileyen tasarım değişkenlerinin; bina kabuğu (dış duvar, çatı ve zeminin yalıtım kalınlığı), pencere tipi ve bina sızdırmazlığı arasındaki optimal kombinasyonlarını bulmaktır. Yapılan incelemeler ve alınan veriler sonucunda, soğutma yükünün önemli olduğu iklim bölgelerinde tasarım değişkenlerinin doğru kombinasyonlarının, güneş ışınından kaçınmak çerçevesinde şekillendiği belirtilmiştir.

Yu, Guo, Wang ve Chang (2020) tarafından pasif soğutma teknikleri üzerine yapılan literatür incelemeleri ve Hong-Kong'da yapılan sıfır enerjili bina simülasyon çalışmaları sonucunda, en etkili soğutma tekniklerinin; hava sızdırmazlık sağlanması ve yalıtım eklenmesi olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber pencerelerde doğru cam seçiminin ve gölgelendirme elemanlarının soğutma yükünü azaltmak adına önemli etkenler olduğu belirtilmiştir. Yine Hong Kong'da Tian, Chen, Yang ve Chung (2010) tarafından yapılan bir diğer çalışmada,

hem enerji talebi hem de yapay aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisinin tasarrufu bağlamında, şeffaf, renkli, yansıtıcı ve low-e cam tipleri karşılaştırılmıştır. Low-e cam, iyi termal performansı ve yüksek görünür ışık geçirgenliği nedeniyle enerji açısından en verimli cam tipi olarak öne çıkmaktadır. Amer, Hamdy, Wortmann, Mustafa ve Attia (2020) tarafından sıcak iklimlerde soğutma yükü adına pencere-duvar oranları üzerine yapılan çalışmada, iç mekanlarda yeterli gün ışığının sağlanması koşulu ile minimum pencere oranlarının uygulanmasının daha verimli olduğu belirtilmiştir. Pencere- duvar oranının düşük olması durumunda dış gölgelendirmeye gerek olmadığı, ancak büyük pencereler tercih edildiğinde yazın ısı kazanımını azaltmak amacıyla dış gölgeleme elemanlarının gerekli olduğu belirtilmiştir.

Sıcak iklim bölgeleri üzerine yapılan literatür taraması sonucunda, araştırmaların yapılarındaki enerji korunumu çerçevesinde; yönelim, yapı formu, yapı kabuğu, gölgelendirme, havalandırma ve pencere-duvar oranı başlıklarına yöneldiği görülmektedir.

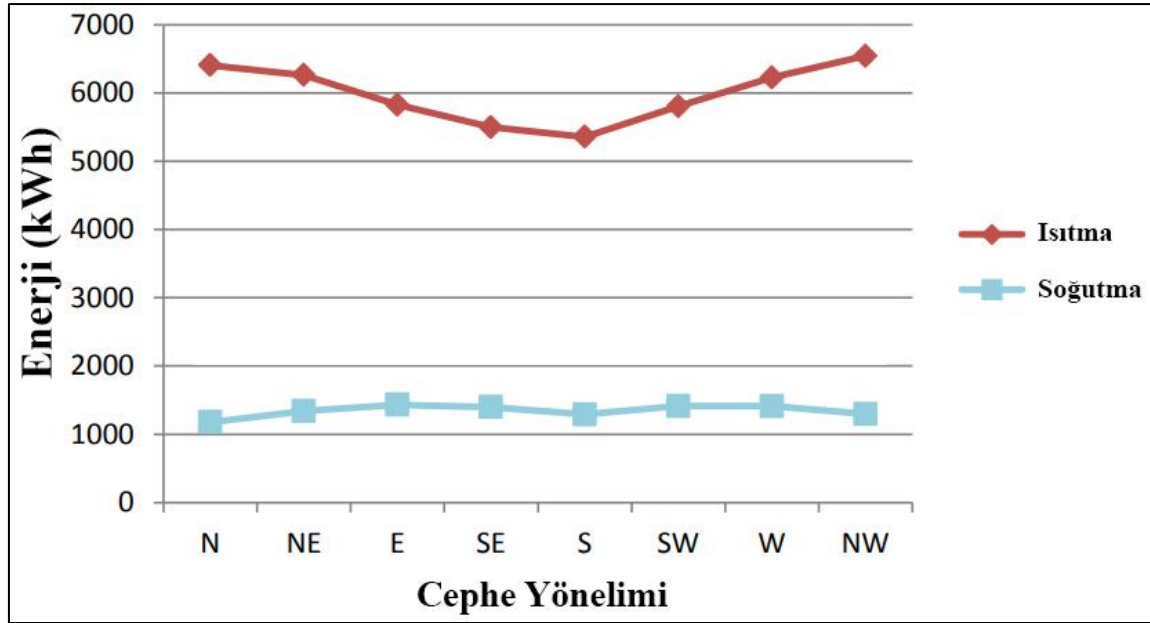
2.3.3. Sıcak iklim bölgesi için iklimsel pasif tasarım yaklaşımları

Bu bölümde, bir önceki bölümde incelenmiş olan, enerji korunumu üzerine yapılan çalışmalar çerçevesinde, sıcak iklim bölgeleri için önemi vurgulanan iklimsel pasif tasarım kriterleri (yönelim, form, yapı kabuğu, bitki kullanımı, gölgelendirme, pencere-duvar oranı ve havalandırma) incelenecektir. İklimle dayalı pasif yaklaşımlar, mekanik sistemlerden ziyade yerleşim ve biçim gibi bina tasarım öğelerinden yararlanarak uygun iç ortam koşullarını sağlamak üzere kullanılmaktadır. Bu yaklaşımların amacı, minimum enerji talebi ile konforlu bir ortam yaratmak için ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sağlayan çevresel kaynakların en üst düzeyde kullanımını sağlamaktır. Sıcak iklim bölgeleri için, araştırmacılar ve uzmanlar tarafından birçok çözüm stratejisi ortaya atılmış ve özellikle yaz aylarında enerji korunumlu binalarda (Pasif Evlerde) enerji tasarrufunu sağlamak için uygulanmaktadır.

Yapının yönelimi

Wong ve Fan (2013) tarafından yapılan çalışmada, bir binanın ısıtma-soğutma ve aydınlatma için güneş radyasyonunu kullanma kapasitesinin, bina yönelimi ile doğrudan ilgili olduğu belirtilmektedir. Binanın doğru güneş katkısı alabilmesi için doğru şekilde yönlendirilmesi

büyük önem taşımaktadır.

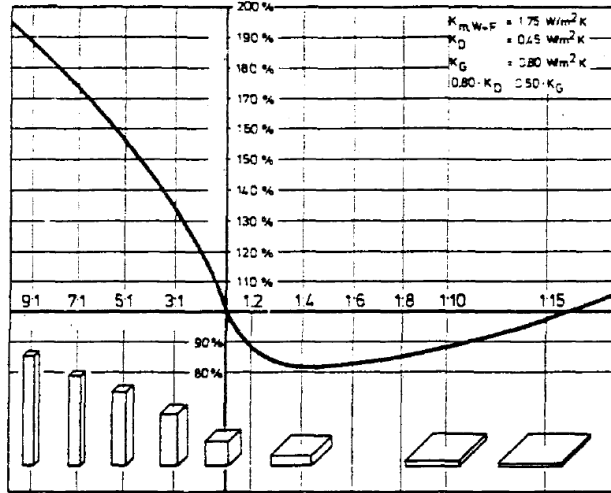


Şekil 2.16. Akdeniz İklim bölgesinde cephe yönelimine göre enerji kullanımı (Marin, 2017), (Araştırmacı tarafından hazırlanmıştır)

Pellegrini (2013) tarafından, Akdeniz iklim bölgesinde yer alan Atina da sekiz farklı yönelimin (K, Kuzeydoğu, Doğu, Güneydoğu, Güneybatı, Batı, Kuzeybatı) yapılar da enerji korunumuna etkisi test edilmiştir. En geniş pencere açıklıklarının bulunduğu cepheyi kuzey ve doğuya maruz bırakan güney yönelimli bina yerleşiminin, güneş kazancını azaltarak yaz aylarında yapı içerisinde iyi bir ısı konfor sağladığı belirtilmiştir.

Yapının şekli/ formu

Bir yapının formu gölge oluşumunu, ısı kaybını, gün ışığı kullanılabilirliğini, güneş kazanımını ve doğal havalandırmayı belirlemektedir (Chen, Yang & Lu, 2015). Gupta ve Tiwari (2016)'ye göre yapının formu, soğutma yükünü azaltmak için gölgelendirme etkisinin yanı sıra, özellikle rüzgarla çalışan, bina içindeki doğal havalandırmayı etkilemektedir. Bina formu ile birlikte bina yönelimi ve konumu, yapı içerisindeki hava akışını ve rüzgar mevcudiyetini en üst düzeye çıkarabilmektedir. Ek olarak, form, tasarım aşamasında şekillendiği için fazladan yatırım gerektirmemektedir.



Şekil 2.17. Bina formu ile ısı kayıpları ilişkisi (Dörter, 1994)

Bina formunun belirlenmesinde ve simülasyon ölçümlerinin değerlendirilmesinde önemli olan “şekil faktörü”, bir binanın uzunluğu ile derinliği arasındaki oran olarak belirtilmektedir. Catalina, Virgone ve Iordache (2011) tarafından, şekil faktörü üzerinde yapılan araştırmalar sonucu, en düşük ısı kaybının kompakt (1:1 ve civarları) yapılarda olduğu belirtilmiştir (Şekil 2.15.). Ayrıca Aksoy ve İnallı (2006), bina formu söz konusu olduğunda, bina oryantasyonunun önemi vurgulanarak hem bina oryantasyonunun hem de şeklinin uygun şekilde optimize edilmesinin binalarda %36 oranında enerji tasarrufu sağlayabileceğini belirtmiştir.

Yapı kabuğu

LaFrance (2013), bina kabuğu tasarımının, bina enerji kaybının ve kazancının %20-60’ını etkileyebileceğini belirtmektedir. Bina kabuğunun ısı kontrolü, hava, nem ve ses giriş-çıkışını düzenleyerek bina ile çevresi arasındaki etkileşimi belirlediği ve yüksek performanslı, sürdürülebilir binalar için oldukça önemli olduğu belirtilmektedir.

Yalıtım katmanının konumlandırılması üzerine yapılan araştırmada, Gupta ve Gregg (2012) tarafından, yalıtımın duvar bölümünün dışında konumlandırılmasının sıcak iklim şartlarında daha uygun olacağı belirtilmiştir. Bu sayede, yapı elemanlarının (duvar, çatı, döşeme vb.) dış koşullardan yalıtılması ile iç mekanda termal kütle görevi görmesiyle, yapılarda pasif soğutma sağlanabilmektedir. Öte yandan, duvarın iç bölümünün yalıtılması, yapı elemanları arasında nem problemi, aşırı ısınma ve artan enerji yükleriyle sonuçlanabilmektedir. Soğutma yüklerinin önemli olduğu iklim bölgelerinde yapı kabuğunun sızdırmazlığı ve

yalıtım kalınlığı önemli bir etkindir. Yu, Guo, Wang ve Chang (2020), yapı kabuğundaki hava sızdırmazlığın sağlanmasının yaz mevsiminde yapının ısı kazanımını %9'a varan ölçüde azaltabileceğini belirtmiştir. Aynı zamanda, yalıtım kalınlığının artırılmasıyla soğutma enerjisinden tasarruf edilebileceği, ancak bu durumun maliyeti büyük ölçüde etkileyeceğinden, kritik bir kalınlığın seçilmesi gerekmektedir.

Yapı kabuğunun renklendirilmesi

Soğutma yükünün daha önemli olduğu sıcak iklim bölgelerinde, Zinzi (2016) tarafından, yapı kabuğunda soğuk renk kullanımının potansiyeli araştırılmıştır. Akdeniz iklim bölgesinde bulunan İtalya'da, bir konutun dış cephesinde soğuk renkler kullanmanın, soğutma enerjisi tüketimini %10-20 oranında azalttığı ve tepe sıcaklık noktasını 0,5 ile 1,6 °C aralığında düşürdüğü belirtilmektedir. Ayrıca, soğuk renkler kullanıldığında en yüksek güneş ışını kazanım saatlerinde, dış yüzey sıcaklığı 6 °C'den fazla düşmektedir.

Gölgelendirme ve güneş kontrolü

Güneş kırıcı sistemler binalarda termal ve aydınlatma temelli görsel konfor sağlayabilmektedir. Özellikle sıcak iklim bölgesinde bulunan yapılarda, yazın istenmeyen güneş enerjisi kazanımını önleyerek aşırı ısınma riskini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Mlakar ve Stancar (2011), kuzey yarım kürede bulunan ve sıcak karasal iklimde yer alan pasif yapıların, sıcak dönemlerde iç sıcaklıklarının konfor seviyesinde tutulması için güney ve batı pencerelerinin sıkı bir şekilde gölgelenmesinin gerekli ve yeterli olduğunu belirtmiştir. Ancak, güneş kırıcı sistemlerin doğru şekilde kullanılmadığı takdirde kışın yapının güneş kazanımı engelleyerek ısıtma yükünün artmasına sebep olabilmektedir.

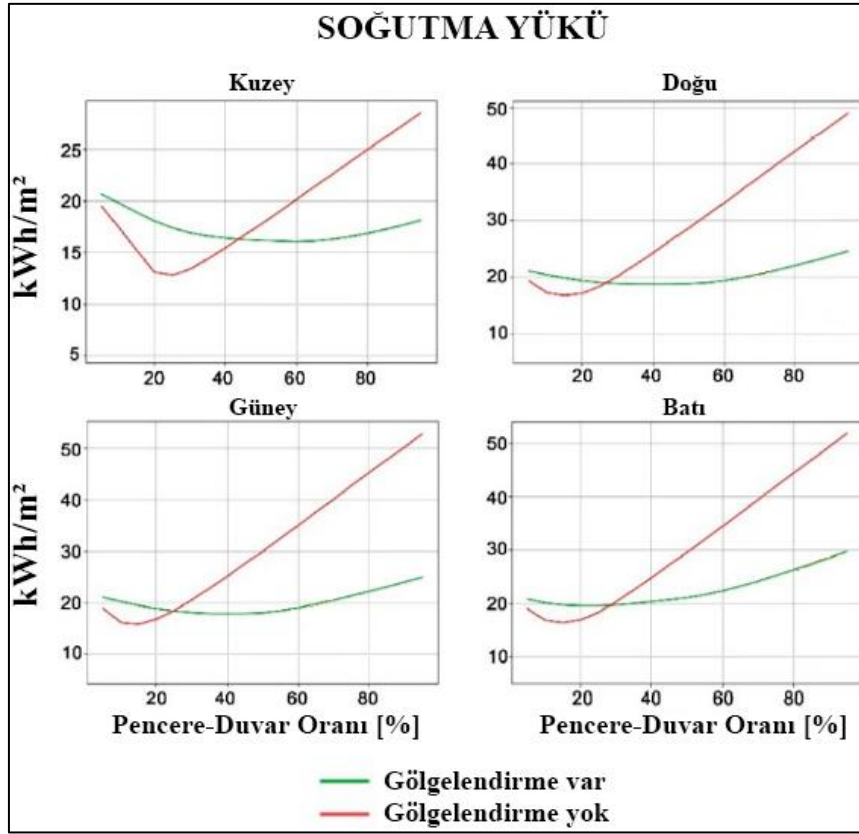
Sıcak iklime sahip olan Hong Kong bölgesinde de aşırı ısınmayı önlemek amacıyla sabit gölgeleme sistemleri kullanılmaktadır. Dış yüzeylerde konumlandırılan gölgeleme cihazları, çoğunlukla yatay olarak kullanılsa da pencerelerin dış kısımlarında dikey yan yüzgeçler olarak da tercih edilebilmektedir. Yu, Guo, Wand ve Chang (2020) tarafından Hong Kong'da bir konut yapısı üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda, en iyi verimin bir dikey ve bir yatay gölgeleme elemanı kombinasyonu ile elde edildiği belirtilmektedir. Ayrıca, Yu vd. (2020) tarafından sıcak ve nemli iklim bölgesinde yapılan simülasyonlar sonucu, dikey gölgeleme elemanlarının pik yükü azaltma oranı daha az olduğundan, yatay gölgeleme

elemanları kadar etkili olmadığı ortaya çıkmıştır. Yine de güneş ışınlarının gölgelenmesi için en iyi durumun, hem dikey hem de yatay gölgeleme cihazlarının birlikte kullanılması olduğu raporlanmıştır.

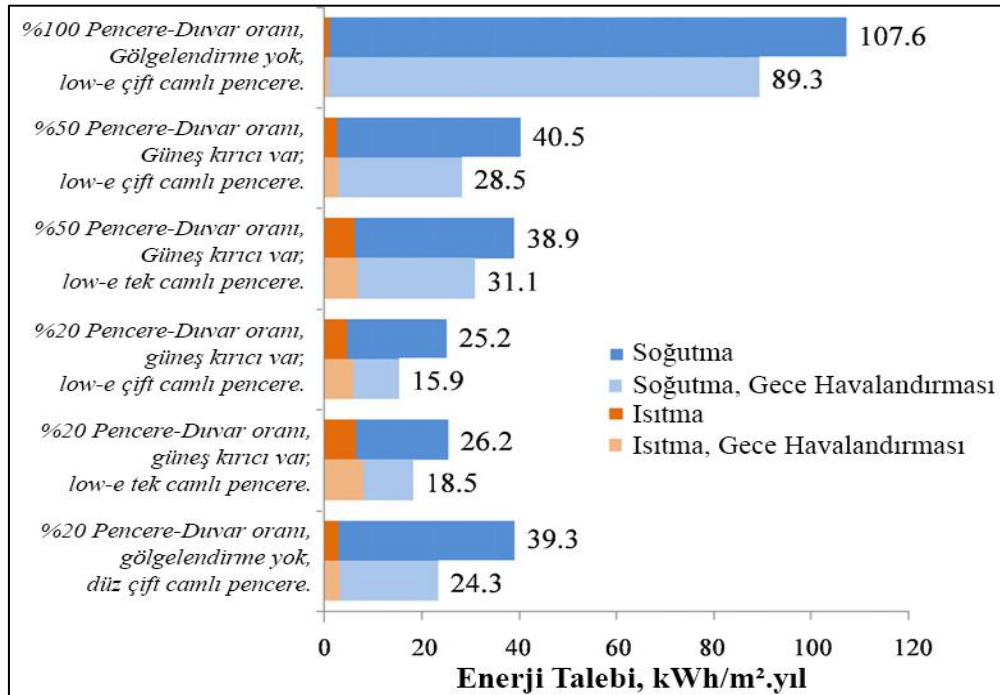
Ayrıca gelecekteki iklim değişikliği senaryoları göz önünde bulundurulduğunda, dünya genelinde artan sıcaklıkların yapı içerisindeki ısı konforu etkilememesi için güneş kırıcıların varlığı önem taşımaktadır. Kinnane, Grey ve Dyer (2016), iklim değişikliği senaryosu çerçevesinde, güneş kırıcıların soğutma yükünü, 2050’de yaklaşık %33, 2080 yılında ise %58’e kadar azaltılabileceğini belirtmektedir.

Pencere-duvar oranı

Sıcak iklim bölgelerinde yüksek seviyelerde güneş radyasyonu, soğutma yüklerini artırmaktadır. Sherif, El-Zafarany ve Arafa (2012)’ya göre, pencerelerin dış duvara oranı ve pencerelerin açılabilme oranı, soğutma yüklerini azaltmada ve ısı konforu artırmada önemli etki etmektedir. Bu bağlamda, Poirazis, Blomsterberg ve Wall (2008) tarafından, %30, %60 ve %100 pencere-duvar oranına sahip yapılar üzerine yapılan çalışmalar sonucunda, yapılarda bu oran arttıkça daha fazla enerji tüketildiği sonucuna varılmıştır. Persson, Roos ve Wall (2006) tarafından, Pasif Evler özelinde yapılan araştırmalar çerçevesinde, pencerelerin yüksek performanslı, düşük U-değerlere sahip olması sebebiyle, pencere boyutlarının kış ısıtması için önemli olmadığı ancak yazın soğutma talebini karşılamak için çok önemli olduğu belirtilmektedir. Ancak, pencere-duvar oranını düşürmek ısı kazanımını kısıtlarken, bina aydınlatma yükünü artırmakta ve doğal havalandırma verimini düşürmektedir. Bu bağlamda Tian, Chen, Yang ve Chung (2010), pencereden ısı kazancını azaltmanın bir başka yolu olarak renkli camlar ve low-e (güneş radyasyon geçirimini azaltan) cam vb. gibi daha yüksek performanslı elemanlar kullanılabileceğini vurgulamaktadır. Enerji tasarrufu sağlayan bir önlem olarak kabul edilmesine rağmen, renkli cam, görünür ışık geçirgenliğini azaltmakta ve aydınlatma için daha fazla enerji tüketmektedir. Bu nedenle low-e camın, sıcak iklimlerde iyi performanslı bir bina tasarımı için uygun bir pasif teknik olacağı belirtilmiştir.



Şekil 2.18. Akdeniz iklim bölgesi, pencere-duvar oranı ve gölgelemeye dayalı yıllık soğutma enerji talebi (Chiesa vd., 2019), (Yazar tarafından düzenlenmiştir)



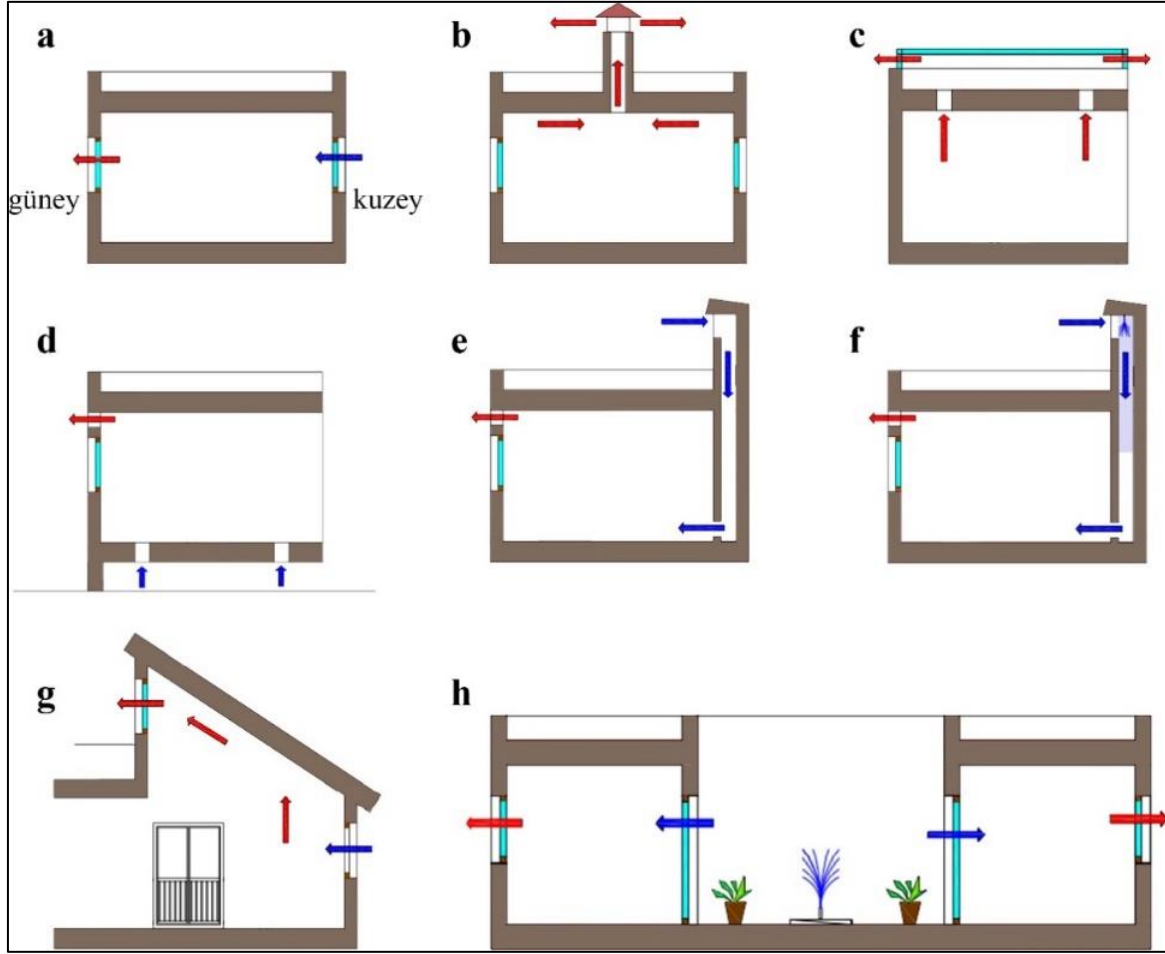
Şekil 2.19. Şili’de, pencere-duvar oranı, gölgeleme ve cam çeşidine dayalı yıllık enerji talebi (Pino, Bustamante, Escovar ve Pino, 2012), (Yazar tarafından düzenlenmiştir)

Ayrıca pencere-duvar oranının, tasarımın ilk aşamalarında alınan bir karar olması sebebiyle, inşaat aşamasında değiştirmek zor veya imkansız olacaktır. Bu nedenle, enerji korunumu için pencere-duvar oranının mimarlar tarafından tasarım aşamasında değerlendirilmesi gerekmektedir.

Havalandırma

Pasif havalandırma stratejisi, binaların enerji korunumu adına önemli parçalarından bir tanesidir. Rinaldi, Roccotelli, Mangini, Fanti ve Iannone (2017) tarafından, doğal havalandırmanın enerji tüketimi olmadan iç mekan konforuna ulaşmayı sağlayan en verimli ve geleneksel yaklaşımlardan biri olduğu belirtilmektedir. Doğal havalandırma, özellikle yapıların soğutma yükü için önemli bir tasarım kriteri olarak tanımlanmaktadır.

Manzano-Agugliaro vd. (2015) tarafından, sıcak ve nemli iklim bölgelerinde yapılan çalışmada, herhangi bir havalandırma stratejisi olmadan yalnızca ortamdaki pencere ve kapıların açılması ile iç mekanda sıcaklık artışı olabileceği belirtilmektedir. Bu durumu engellemek adına Şekil 2.18.'de görülen, kuzeyden güneye çapraz havalandırma, baskın rüzgarlar, baca etkisi, güneş odası, yer altı havalandırması, rüzgar kuleleri, buharlaşma kuleleri ve bir bina veya avlu içindeki dikey alanlar gibi pasif havalandırma teknikleri kullanılarak iç ortam sıcaklığı düşürülebilmektedir. Ek olarak, mekanik olarak fanlar veya üfleyciler kullanılarak doğal havalandırmanın etkisi artırılabilir.



Şekil 2.20. Soğutma için doğal havalandırma teknikleri: (a) Kuzey-güney yönünde çapraz havalandırma; (b) baca etkisi; (c) güneş odası; (d) yer altı havalandırması; (e) rüzgar kulesi; (f) buharlaştırmalı kule; (g) bir bina içindeki dikey alanlar; ve (h) doğal havalandırma aracılı soğutma çözümü olarak veranda (Manzano-Agugliaro vd., 2015), (Yazar tarafından düzenlenmiştir)

Doğal havalandırma yöntemlerinden biri olan, gece saatlerinde iç mekan sıcaklığına göre daha düşük sıcaklıklarda bulunan havanın içeriye alınması ile sağlanan gece soğutması tekniği, soğutma yükü adına en çok kullanılan havalandırma tekniğidir (Schulze & Ficker, 2013). Gece soğutmasının yanı sıra, tüm zaman dilimlerinde iç mekandaki hava sirkülasyonunun artırılmasının soğutma enerji tüketimini azalttığı dinamik simülasyon çalışmalarıyla kanıtlanmıştır. Doğru pasif havalandırma soğutma stratejilerinin kullanılarak yapılarıdaki soğutma yükünün %30 oranında azaltılabildiğinin mümkün olduğu belirtilmektedir (Gratia, Bruvere & De Herde, 2004).

3. ALAN ÇALIŞMASI: ANTALYA, TÜRKİYE

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında simülasyon çalışması yapılacak olan ve Türkiye'nin sıcak ve nemli iklim bölgesinde bulunan Antalya ilinde alan çalışması yapılacaktır. Bu çalışmada, öncelikle ilin iklim karakteri incelenecek ve sonrasında '2.3. Sıcak İklim Bölgelerinde Enerji Korunumu Sağlayan Biyoklimatik Tasarım Yaklaşımı' bölümünde incelenen pasif tasarım teknikleri çerçevesinde, simülasyonu yapılacak referans yapılarda kullanılmak üzere geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinin ve 1950'ler sonrası imar çalışmaları ile değişen konut anlayışıyla ortaya çıkan apartman yapılarının mimari öğelerinin enerji korunumu bağlamında değerlendirilmesi yapılacaktır.

Bu bölüm, yapıların mimari tasarım unsurları olan; yönelim ve yerleşim, bina formu, mekansal düzenleme, cephede doluluk-boşluk oranları (açıklıklar), güneş kontrolü, bitki kullanımı, serinletici elemanlar ve yapı malzemelerini enerji korunumu kapsamında değerlendirerek, güncel Antalya konutları ve geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinde kullanılan yerel mimari stratejilerine genel bir bakış sunacaktır. Bu değerlendirme sonucunda, simülasyon çalışmalarında referans yapılarda pasif ve geleneksel tasarım kriterlerinin kullanılması için gerekli bilgilerin toplanması amaçlanmaktadır.

3.1. Antalya İklimi ve Gelecek Projeksiyonu

Bu bölümde, doğru iklimsel müdahaleler için, modellerin simülasyonunun yapılacağı Antalya ilinin coğrafi ve iklim özellikleri incelenecektir.

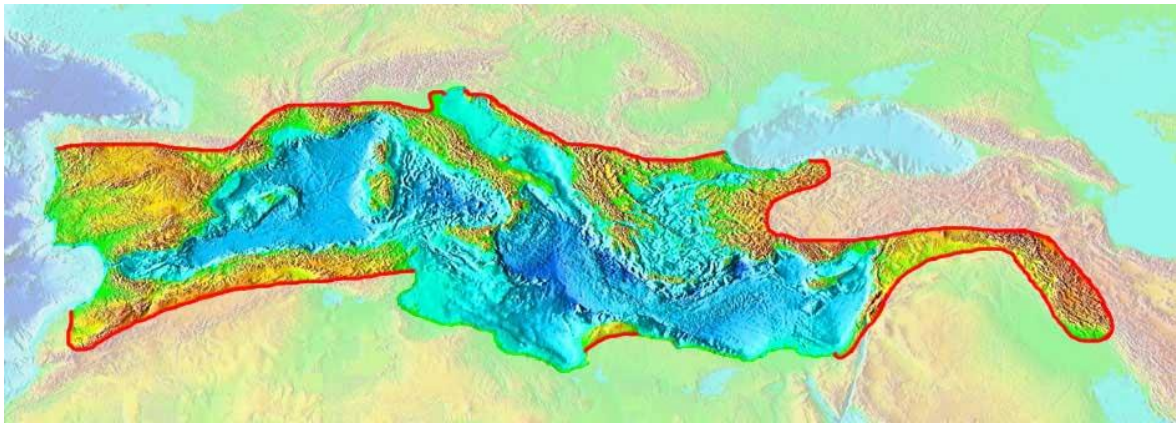
3.1.1. Konum ve coğrafi özellikler

Türkiye'nin güneyinde bulunan Akdeniz Bölgesi'nin güneybatısındaki Antalya ili, 36°07'-37°29' kuzey enlemleri ile 29°20'-32°35' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Antalya kentinin merkezinin genel coğrafi yapısı, kuzeyindeki denize paralel Toros sıradağları ve güneyindeki dik yamaçlar ile kesilen Akdeniz belirlemektedir. Bu durum sonucunda, Antalya kentinin, denizden 39 metre yükseklikteki doğal falezler ve kayalar üzerine oturduğu gözlemlenmektedir. Coğrafi sınırlarını Batı Toros sıradağları ve Akdeniz'in oluşturduğu ilin sınır komşuları; kuzeyinde Burdur ve Isparta, doğusunda Mersin ve Karaman, kuzeydoğusunda Konya ve batısında Muğla illeridir.

Kurter (1979)'e göre, Antalya bölgesinin hakim rüzgar yönü, kıyaya paralel uzanan dağlar ve bunları dik açı ile kesen vadiler tarafından belirlenmektedir. Aynı zamanda bu öğelerin durumu, rüzgarın yönü ile beraber şiddetinin de belirlenmesinde rol oynamaktadır. Bu bağlamda, Antalya merkez bölgesinde rüzgar, kuzey-batı ve güney-doğu istikametinde esmektedir. Kurt ve Tanman (2010) tarafından, Kaleiçi bölgesindeki hakim rüzgarın yine Antalya ile benzer şekilde kuzey-batı ve güney-doğu istikametinde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu bölge içerisinde esen rüzgarların, kentin topografik yapısı, coğrafi özellikleri sayesinde serinletici ve sıcak iklim koşulları sebebiyle istenilen rüzgarlar haline geldiği belirtilmiştir.

3.1.2. İklim karakterizasyonu ve gelecek projeksiyonu

Akdeniz iklim tipi her ne kadar Akdeniz havzası çerçevesinde ortaya çıkmış olsa da Bolle vd. (2003) Akdeniz tipinin iklim 30° ve 45° enlemleri arasında bulunan Avrupa, Afrika, Doğu Akdeniz Havzası, Güney Afrika, Şili, Meksika, Amerika ve Güney Avustralya'da görüldüğünü belirtmektedir. Ancak iklimin etkisi pekçok bölgede dar bir kıyı bandı ile sınırlı kalmaktadır (Şekil 3.1.). Kuennecke (2008) tarafından ise Akdeniz ikliminin etkili olduğu bölgelerin batı ve güneybatıdaki kıtaların kıyıları; diğer bir ifadeyle Kuzey Yarımküre'nin 31° ve 46° enlemleri ile Güney Yarımküre'nin 28° ve 42° enlemleri arasında bulunduğunu belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgeler (Climate limits, 2005)

İklim, Akdeniz bölgesini en iyi tanımlayan element olarak görülmektedir. Genellikle, Akdeniz bölgesinde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir. Ancak kuzey ve güney farklılığı kendisini burada da gösterir. Akdeniz havzası içerisinde kuzeye doğru

gidildikçe sıcaklıklar düşer ve daha az kurak yazlar yaşanırken, güneye ve doğuya doğru gidildikçe kademeli olarak sıcaklık artış gösterirken, sahra çölünün etkisiyle daha kurak yazlar yaşanmaktadır (Abulafia vd., 2005). Bu bağlamda, Akdeniz kentlerinden olan Antalya'nın Akdeniz'in doğu ve güneyinde bulunması dolayısıyla diğer birçok kente oranla daha sıcak ve kurak havanın görüldüğü anlaşılmaktadır (Özgür, 2011).

Türkiye'de ise Akdeniz iklimi, Ege bölgesinin büyük bir bölümü, İç Anadolu'nun güney batı kesimi ve Akdeniz bölgesinde bulunan Toros sıradağlarının güneye bakan kısımlarında etkilidir (Aktuna, 2007). Dünyanın en büyük iç denizi olan Akdeniz, alçak basınç alanı olarak tanımlanmaktadır. Güneydeki tropikal hava kütleleri ile kuzeyindeki soğuk (polar) hava kütleleri Akdeniz havzasında karşılaşmaktadır. Yaz ve kış mevsimlerinde gerçekleşen hava koşulları çerçevesinde, Akdeniz kıyısında denize yakın kesimlerde yer alan Antalya kentinde kışları ılık ve yağışlı, yazları ise sıcak ve kurak olan bir iklim tipi (Akdeniz İklimi) görülürken, denizden uzak, dağların kıyıları görmeyen cephelerinde kalan ve yüksek bölümlerde daha çok karasal iklim etkileri ortaya çıkmıştır (Şahin, Doğanay & Özcan, 2005; Erkmen, 2005) (Erkmen, 2005). Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü bu alanın karakteristik özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, coğrafi etmenlerin etkilerinin de incelenmesi gerekmektedir.

Bir yerin iklimi, coğrafi konum, deniz seviyesi yüksekliği, topoğrafya özellikleri ve yüzey örtüsü gibi etmenlerden etkilenerek oluşmaktadır. Bu bağlamda, Antalya ilinin ikliminin oluşumu sırasıyla: Toros sıradağlarının denize paralel olarak kenti çevrelemesi, Antalya'nın deniz suyu sıcaklığı diğer denizlere oranla yüksek olan Akdeniz'in kıyısında yer alması ve topraklarının %60'ının ormanlık olduğu Antalya ilinde her mevsim yeşil kalabilen bitki örtüsünün bulunması etkilemektedir (Kaur, 1994).

İklimi etkileyen coğrafi etmenlerden olan hakim rüzgar yönü, Antalya'da 1. dereceden kuzey ve kuzey batı, 2. dereceden ise güney doğudan olarak görülmektedir. Kuzey ve kuzey batıdan esen rüzgar kış aylarında kar bulunan dağlardaki soğuğu, yaz aylarında ise bu dağların sıcaklığını Antalya'nın kent merkezine taşımaktadır. Yaz aylarında sıcak ve kuru esen bu rüzgar, sıcaklığın artmasına sebep olurken havadaki nem oranının düşmesini sağlayarak, sıcak ama bunaltıcı olmayan bir hava tipini meydana getirmektedir. Güney doğudan esen ve meltem adı verilen rüzgar ise kara ve denizdeki sıcaklık farkı sebebiyle yaz aylarında, öğle

saatlerinden itibaren esmeye başlayarak kent üzerinde serinletici etkiye sahiptir. Ancak meltem rüzgarı, deniz üzerindeki nem etkisini de kente getirmesi sebebiyle özellikle güneş battıktan sonra geceleri nem oranının yükselmesine sebep olmaktadır (Kaur, 1994).

Antalya bölgesinde hakim olan Akdeniz iklimi, Fernandes, Dabaieg, Mateus ve Braganca (2014)'ya göre, esas olarak Akdeniz havzasındaki bölgelerden gelen bir iklim türüdür, ancak dünyanın diğer bölgelerinde de bulunabilmektedir. Öztürk, Çetinkaya ve Aydın (2017), Akdeniz'in kuzey-doğusunda yer alan ve Köppen iklim sınıflandırmasına göre Csa alt tipi olarak sınıflandırılan Antalya bölgesinde, yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı olduğunu belirtmektedir. Şensoy, Demircan ve Ulupınar (2016)'a göre, yaz aylarında maksimum hava sıcaklığı için ortalama değerler 25-32 °C arasında değişmekte, bazen maksimum sıcaklık 40-45 °C'ye ulaşmaktadır. En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos'tur. Ayrıca, Antalya'da yaz aylarında gölgedeki sıcaklık 45 °C'ye ulaşırken, güneş altında bu değer 76.1 °C'yi bulabilmektedir.

Atalay, Efe ve Soykan (2008), Antalya'nın yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 1000 mm civarında olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte, yıldan yıla yağış miktarı 700 ile 1400 mm arasında değişmektedir. Bu veriler içerisinde yaz dönemi yağışlarının toplam payı %5,7 olarak belirtilmiştir. Bu sebeple Antalya'da yaz kuraklığı görülmektedir. Yıllık ortalama bağıl (nispi) nem ise %63,2 olarak belirtilmiştir. Ayrıca, yıllık ortalama nemin ortalama %63,2 olduğu Antalya kentinde, yazın denizden esen meltem rüzgarının etkisi sonucu güneş batışı ile bu oran %80-90'lara ulaşarak, yüksek sıcaklık ve nem konforsuzluğu meydana gelmektedir.

Güneş ışınlarının geliş açısı ve özellikle yaz aylarındaki güneşlenme süresi seviyeleri, sıcaklık üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır. Işınların 90° (dik açı) ya da yakın seviyelerde yüzeylere gelmesi, bir yandan alana düşen enerji miktarını artırırken, diğer yandan yansımanın azalmasına sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak güneşlenme sürelerinin artması sıcaklığın ciddi derecede artması anlamına gelmektedir (Tablo 3.1.). Kuzey yarımkürede yer alması nedeniyle, Antalya'da güneş ışınları, azami yüksekliğe 21 Haziran'da, asgari yüksekliğe ise 21 Aralık'ta ulaşmaktadır. Güneş ışınlarının geliş açısı, 21 Haziran'da 76° 36' iken, 21 Aralık'ta 29° 42' olarak belirtilmektedir (Sarı & İnan, 2010).

Sarı ve İnan (2010)'ın verilerine göre hazırlanan tabloda görüldüğü üzere, (Tablo 3.1.) yıllık

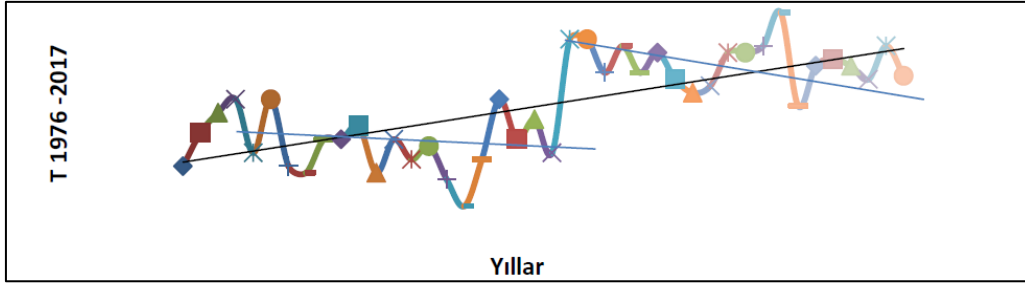
ortalama sıcaklığı 18,2 °C olan Antalya'nın maksimum sıcaklık değerinin ve ortalama sıcaklık değerinin en yüksek olduğu Temmuz ayında, en yüksek 41,2 °C ve en düşük 18,3 °C seviyeleri görülmektedir. Bu durumun tam tersi olarak Ocak ayında ise en yüksek 19,2 °C ve en düşük 0,9 °C seviyeleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Ortalama günlük güneşlenme süreleri (saat), ortalama sıcaklık ve maksimum-minimum sıcaklık değerleri (°C) (Sarı ve İnan, 2010), (Araştırmacı tarafından hazırlanmıştır)

ANTALYA	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	YILLIK(ORT.)
<i>Güneşlenme süresi</i>	5,30	6,00	6,90	8,00	9,90	11,60	11,90	11,00	9,90	8,10	6,30	4,90	8,30
<i>Ortalama sıcaklık</i>	9,6	9,9	12,2	15,8	20,3	25,3	28,3	27,8	24,3	19,5	14,2	10,8	18,2
<i>Minimum sıcaklık</i>	0,9	0,6	3,0	6,3	10,2	14,6	18,3	18,7	14,6	9,8	9,8	1,3	
<i>Maksimum sıcaklık</i>	19,2	20,3	23,4	28,3	33,7	38,1	41,2	39,7	37,3	31,4	31,4	20,6	

İklim karakterinin gelecekteki değişimlerinin incelenmesi, mimari anlamda alınacak önlemler adına oldukça önemlidir. Bu bağlamda incelenen farklı simülasyonların çoğunda, Akdeniz bölgesinde küresel ortalamadan daha büyük bir sıcaklık artışı ve yaz mevsiminde yağış miktarında daha fazla azalma gözlemlenmektedir. Giorgi ve Francisco (2000)'ya göre, Akdeniz bölgesinde iklim değişikliği simülasyonları bir yüzyılda +3 ile +7 °C arasında ve yağış için %-40 ile +20 arasında bir değişim sinyali üretmektedir. Aynı zamanda tüm modeller, yaz aylarında %50'ye varan yağış azalması ile daha kuru bir iklim öngörmektedir.

Antalya bölgesi özelinde yapılan bir çalışmada, “Mann-Kendall ve Sen” testlerinin sonuçlarına göre; yıllık nem ve yağış ortalamalarında azalma, sıcaklık ortalamalarında ise artış eğiliminin görüldüğü belirtilmektedir (Bacanlı ve Çukurluoğlu, 2018). 1965-2017 döneminde yapılan tüm değerlendirmelerde Antalya ili sıcaklık değerlerinde, dönemsel düşüşler yaşansa da genel çerçevede önemli bir artış trendi tespit edilmiştir (Özfidaner, Şapolyo ve Topaloğlu, 2017).



Şekil 3.2. Antalya Bölgesi Sıcaklık Zaman Eğrisi (Özfıdaner, Şapolyo ve Topaloğlu, 2017)

3.2. Antalya Konut Mimarisi Analizi

Bu bölümde, simülasyon çalışmalarında kullanılmak üzere Test Baz Modeli (TBM) ve Geleneksel Baz Modelinin (GBM) temel tasarım kararlarının verilebilmesi için, Antalya'daki konut yapılarının mimari öğelerinin enerji korunumu kapsamında; literatür taraması, yerinde gözlem ve fotoğraflama tekniklerinden yararlanılarak analizi yapılacaktır.

3.2.1. Geleneksel Antalya Kaleiçi evinin mimari öğelerinin enerji korunumu açısından irdelenmesi

Bu bölümde, Antalya Geleneksel Kaleiçi evinin mimari öğelerinin enerji korunumu kapsamında özellikleri; yönelim ve yerleşim, bina formu, mekansal düzenleme, açıklıklar, güneş kontrolü, bitki kullanımı, serinletici elemanlar ve yapı malzemeleri başlıkları altında değerlendirilmektedir.

Yönelim / yerleşim

Antalya Kaleiçi evleri, Türkiye'nin sıcak-nemli iklim bölgesinde yer alması sebebiyle, topoğrafyaya uygun ve özellikle rüzgar etkisinin konutun içerisinde hissedilebileceği şekilde konumlanmıştır. Bu bağlamda, Akdeniz iklim özelliklerinin yapının yerleşimi ve yönelimi üzerinde önemli bir etken olduğu anlaşılmaktadır. Güney ve güneydoğudan esen meltem rüzgarının serinletici etkisinin kentte ve konutlarda etkin olabilmesi için, sokaklar dar olarak güneydoğu-kuzeybatı yönünde uzanmaktadır. Sonuç olarak, cephe yönelimlerinin genellikle bu şekilde ortaya çıktığı görülmektedir. Rüzgar kullanımının yanı sıra, Kaur (1994)'a göre, sokakların dar tutulması ve yapıların saçakları sayesinde, gölge oluşmakta, güneş ışınlarının etkisi ve ortam sıcaklıkları kontrol altına alınmaktadır.



Şekil 3.3. Geleneksel Antalya Kaleiçi evleri ve dar sokakları (Yazar tarafından fotoğraflanmıştır)

Kütle hareketleri, yüzey alanı artırımının yanı sıra gölgeleme, havalandırma ve doğal ışıktan faydalanmak adına önem taşımaktadır. Cephe hareketleri sayesinde üst katlarda cephe sayısı artırılarak hava akımı ve doğal ışık birkaç yönden içeri alınmakta ve bu sayede, hava sirkülasyonu artırılarak yapının serinletilmesine olanak sağlanmaktadır.

Sıcak iklim bölgelerindeki yapılarda, tavan yükseklikleri yapı içerisindeki hava sirkülasyonunu sağlamak için fazla tutulmaktadır. Bu bağlamda, geleneksel Antalya Kaleiçi konutlarının kat yükseklikleri ise 3-4 metre arasında değişkenlik göstermektedir. Yapıların çatıları, kiremitten kırma çatı olarak yapılmıştır. Aynı zamanda, tüm bina çevresini kaplayan 50-100 cm genişliğinde ahşap kaplamalı saçaklar bulunmaktadır. Bu saçaklar, kışın yağın yoğun yağmurdan korunmayı sağlarken, yazın gölgelendirme elemanı olarak çalışarak yapının ısınmasını engellemektedir (Urfalıoğlu, 2010).

Mekansal düzenleme

Kaleiçi evlerinde, sofa kullanımı ve iç avlulu “U” tipi planlamalar dikkat çekmektedir. Bektaş (2005)’a göre, özellikle sıcak ve nemli iklimin gereklilikleri sebebiyle Antalya evlerinin neredeyse tamamında dış sofa kullanılmaktadır. Dış sofalı plan tipinin tercih edilmesindeki temel sebep, yüzey alanını artırarak ısı kaybının artırılması ve ısı tutuculuğunun azaltılmasıdır.

Geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinde avlu, aktif kullanılan açık alan olarak öne çıkmaktadır. Kaur (1994), yüksek duvarlar ile çevrelenmiş ve gölgelendirme sağlayan ağaçlar ile donatılmış avluların, yaz aylarında güneşe daha az maruz kaldığı için serin olduğunu belirtmektedir. Bununla beraber genellikle hakim rüzgar yönü olan güney cephedeki sofalar ise yarı açık alanlar olarak mekânsal çeşitlilik sağlamaktadır. Bu durum aynı zamanda mekanın pasif olarak çapraz havalandırılarak soğutulmasında etkili olmaktadır.

Pencereler / doluluk boşluk oranı

Genellikle iki kattan oluşan geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinde pencere boyutları, zemin kat ve çoğunlukla yaşam alanı olan birinci katta farklılık göstermektedir. Küçükerman (1996)'a göre, zemin kat pencereleri dış ortam ile kısıtlı bir ilişki oluşturmak için ne kadar azaltıldıysa, üst kat pencereleri bir o kadar artırılmıştır. Üst katlarda yapılan çıkmalar sayesinde oluşan yeni yüzeyler dahil olmak üzere çok sayıda ve geniş pencereler konumlandırılarak mekanların çapraz havalandırılması, aydınlatılması ve görüş açısının artırılması sağlanmıştır. Aynı zamanda, bazı evlerin üst katlarında tepe pencereleri görülmektedir. Aktuna (2007) tarafından, bu pencerelerin aydınlatma işlevlerinin yanı sıra, ısınan havanın yükselmesiyle sıcak havanın mekandan dışarıya atılmasında faydalı olduğu belirtilmektedir.



Şekil 3.4. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi pencere düzenleri ve tepe pencereleri (Yazar tarafından fotoğraflanmıştır)

Araştırmalarda, geleneksel Antalya Kaleiçi evlerindeki doluluk boşluk oranları incelenmiş ve daha öncesinde belirtilen zemin ve birinci kat arasındaki farklılıklar sayısal olarak belirtilmiştir. Kaur (1994), zemin katta bu oranın %10-15 arasında değişkenlik gösterdiğini, ana yaşam alanı olan birinci katta bu oranın %20-40 olduğunu belirtmiştir.

Güneş Kontrolü / gölgelendirme

Geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinin en büyük problemlerinden biri olan güneş kontrolü için birçok müdahalede bulunulmuştur. Evlerin güneşten korunmasını sağlamak adına, güney ve batı cephelere, diğer cephelere oranla daha az pencere konumlandırılmıştır. Bunun yanı sıra, güney ve batı cephelerdeki pencerelere açılıp kapanabilen geleneksel ahşap kepenkler uygulanarak güneş kontrolü sağlanmaktadır. Bu kepenkler aynı zamanda yapıların fırtına ve yoğun rüzgarlı günlerde denizden gelen, ikinci bir yağmur olarak tanımlanan, tuzlu sudan korunmasında yardımcı olmaktadır (Süer, 1986'den ak. Aktuna, 2007).



Şekil 3.5. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi cephelerde kullanılan ahşap kepenkler ve pencere yerleşimi (Yazar tarafından fotoğraflanmıştır)

Bitki kullanımı

Geçişten bugüne geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinde peyzaj elemanlarının kullanımı oldukça yaygındır. Bektaş (2005)'a göre, cephelerde ve sokaklarda kullanılan yeşil doku,

güneş kırıcı etki yaparak gölgelendirme sağlamaktadır. Bitki örtüsünün avlularda kullanılması ile yazın aktif kullanımı olan açık mekanın, cephelerde kullanılması ile yapı yüzeylerinin ve iç mekanların güneşten ve yüksek sıcaklıktan korunması sağlanmaktadır. Canan vd. (2020), özellikle güney cephelerde ve avlularda ısıl konforun artırılması için çoğunlukla erik, palmiye, zerdali, dut ağaçları ve konsolos çiçeklerinin kullanıldığını belirtmektedir.



Şekil 3.6. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi cephelerde bitki kullanımı (Yazar tarafından fotoğraflanmıştır)



Şekil 3.7. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi avlularda bitki kullanımı (Yazar tarafından fotoğraflanmıştır)

Serinletici olarak kullanılan geleneksel elemanlar

Antalya Kaleiçi evlerinde birtakım geleneksel serinletme uygulamaları bulunmaktadır. Çoğu evde avlu içerisinde kuyu ya da havuz bulunmaktadır. Bu elemanlar kendi birincil kullanımları dışında avlunun ve dolaylı olarak konut/yapı içlerinin serinletilmesine yardımcı olmaktadır. Aktuna (2007)'ya göre, havuz ve kuyu içerisindeki su, gün boyunca yüksek sıcaklık sebebiyle buharlaşmaktadır. Bu sayede avlu içerisindeki hava serinlemektedir. Serinleyen bu hava, daha önce belirtilen havalandırma prensipleri ile yapının içerisinden geçerek iç mekanın sıcaklığının düşürülmesine yardımcı olmaktadır. Bunun yanı sıra, yapıların içlerinde geleneksel olarak bulunan çakıl döşemelerin gün içerisinde sürekli ıslatılması sonucunda taşlar arasında kalan ıslaklık ile elde edilen serinliğin, Antalya bölgesinin aşırı sıcaklarında gün boyu klima etkisi yaratmaktadır (Çimrin, 2002; akt. Aktuna, 2007).



Şekil 3.8. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi çakıl döşeme (Aktuna, 2007)

Yapı malzemesi

Geleneksel evlerde olduğu gibi Antalya evlerinde de yöresel malzemelerin kullanımının yaygın olduğu görülmektedir. Temel, zemin kat ve bahçe duvarlarında taş kullanımı yaygındır. Yapının dış duvarlarında kullanılan taşın kalınlığı 80-100cm arasında değişkenlik göstermektedir. Kalın taş duvarlar sayesinde zemin katta bulunan mekanlara dış ortamdan ısı geçişinin azaltılması ile iç ortamın serin kalması sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra, ana yaşam alanı olan üst katlarda ahşap kullanımının yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca güneş ışınlarını yansıtarak fazla ısınmadan korunmak için, dış cephelerin neredeyse tamamının beyaz, sarı gibi açık renk tonları ile boyandığı görülmektedir. Çatının kendisi ahşap kırma çatıdır ve örtü malzemesi olarak alaturka kiremit kullanılmaktadır (Canan vd., 2020).



Şekil 3.9. Geleneksel Antalya Kaleiçi evi yapı malzemeleri ve özellikleri (Yazar tarafından fotoğraflanmıştır)

Geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinin geleneksel yapım tekniklerinin doğal çevre ile uyumlu ve iklimsel çıkarımlar ile konfor düzeyini üst düzeyde karşıladığı görülmektedir. Sonuç olarak, modern bir enerji korunumlu yapı oluşturmak üzere, kentin geleneksel dokusundan yapılan çıkarımlar aşağıda listelenmiştir:

- Güneş enerjisinin ve rüzgarın optimum kullanılması için doğru yönelimin belirlenmesi,
- Topoğrafya ve coğrafi özellikler ile uyumlu, iklimin getirilerinden maksimum yararlanılabilecek bina formunun oluşturulması,
- Enerji yüklerini azaltılması, doğal havalandırma ve aydınlatmanın en uygun koşullarda sağlanması için doluluk boşluk oranlarının değerlendirilmesi,
- Yapının enerji korunumunun sağlanması için bitki, ağaç, havuz vb. gibi peyzaj elemanlarının kullanılması,
- Yapıda kullanılan malzemelerin çevresel imkanlar göz önünde bulundurularak, geri dönüşüme imkan verecek şekilde seçilmesi,
- Mevcut yapılarda kullanılan geleneksel yöntemlerin benimsenmesi, enerji korunumlu bir yapı kabuğu oluşturulması.

Bu bölümde, sıcak iklim bölgelerinde özellikle Pasif Ev ve sıfır enerjili binalardaki oluşan sorunlara çözüm üretebilmek için Geleneksel Antalya Kaleiçi evinin mimari elemanları enerji korunumu bağlamında incelenmiştir. Sonuç olarak, bu bölge için tasarlanıp simülasyonu yapılacak ve Pasif Ev Standardı'nın kriterlerini gözetken konut tasarımı için geleneksel çözümlerden çıkarımlar yapılmıştır.

3.2.2. Antalya'daki 1950 sonrası imarlı güncel konutların mimari öğelerinin enerji korunumu bağlamında değerlendirilmesi

Antalya'da 1950 sonrası kalkınma ve nüfus düzenleme çalışmalarında değişiklik olmuştur. Şehrin Kaleiçi bölgesindeki eski yerleşkenin, kentin artan nüfusu için yetersiz kalması sebebiyle batıda Bahçelievler, kuzeyde Şarampol ve doğuda Yenikapı bölgesini kapsayacak şekilde bir şehir planlama çalışmasına başlanmıştır. Bu çalışma İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış, 1957 yılında ise Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından onaylanmıştır (Aydın, 1996).

Bu bölüm kapsamında, 1950 yılı sonrası imar planında yer alan Kaleiçi'nin kuzeyindeki Şarampol Bölgesinde bulunan Üçgen Mahallesi'nde alan çalışması yapılmıştır. 1950 sonrası kentleşme sonucu ortaya çıkan konut tipi, geleneksel ev incelemesine benzer şekilde; yönelim ve yerleşim, bina formu, mekansal düzenleme, açıklıklar, güneş kontrolü ve yapı malzemeleri başlıkları altında değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmenin amacı, simülasyon çalışmalarında kullanılmak üzere "Test Evi" olarak adlandırılacak tek ailelik konutun tasarım kararlarının belirlenebilmesidir.

Yönelim ve yerleşim

Üçgen Mahallesi'ndeki konutların yerleşimi, Antalya'daki planlı mahallelerin birçoğunda olduğu gibi ızgara sistemine sahip sokak ve cadde yapısına göre şekillenmektedir. Güncel konut yapılarının parselden maksimum verim almaya yönelik planlamaya sahip olması sebebiyle temel bir yönelimlerinin olmadığı görülmektedir. Kaleiçi bölgesindeki dar sokakların aksine, hakim rüzgar yönündeki sokak ve caddelerin genişliği sebebiyle rüzgarın serinletici etkisi azalmaktadır. Ayrıca, yerleşim planı dolayısıyla bu sokakları dik açılarda kesen sokakların bulunması rüzgarın etkisini kesmektedir. Üçgen Mahallesi'ndeki yapılar, Geleneksel Antalya Kaleiçi evi'nin aksine 4-6 katlıdır. Ancak yüksek yapılara rağmen,

sokaklar ve caddeler oldukça geniş olduğundan yeterli miktarda gölge oluşmamaktadır. Bu durum, yapılardaki ısıl konforun olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır.



Şekil 3.10. Antalya, Şarmpol Bölgesi Konutların Yerleşimi ve Geniş Sokak Yapısı (Yazar tarafından fotoğraflanmıştır)

Bina formu

Üçgen Mahallesi, kompakt forma sahip 4-6 katlı yapıların olduğu yoğun bir konut dokusuna sahiptir. Geleneksel evlerde olduğu gibi hareketli cephe yapısının olmaması, yapıların yaz aylarında yüzeylerden ısı kaybını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca kat yüksekliklerinin ideal yükseklikten daha az tasarlandığı gözlemlenmektedir. İç mekanların basıklığı nedeniyle, havalandırma yeterli düzeyde sağlanamamaktadır. Ayrıca konutların çatıları, geleneksel yapıların aksine düz olarak tasarlanmıştır. Bu çatı tipinin dış ve iç ortam arasında tampon bölge oluşturamamasının, ısıtma ve soğutma yüklerinde artışa sebep olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 3.11. Antalya, Şarampol Bölgesi çok katlı apartman blokları (Yazar tarafından fotoğraflanmıştır)

Mekansal düzenleme

Güncel konutlar alandan maksimum verimin alınması anlayışıyla, iklim koşulları gözetiilmeden tasarlanmıştır. Genellikle tüm odalar dış mekanla temas halinde olacak şekilde konumlandırılırken dış, koridorların dış ortam ile ilişkisi bulunamaktadır. Sofa, geleneksel evlerde dış ortam ile iç mekanlar arasında geçişi sağlayan tampon bölge olarak, yapının havalandırma ve gölgelendirilmesinde yardımcı olmaktadır. Sofanın güncel konutlardaki karşılığı olarak görülebilen koridorun, dış ortamdan bağımsız olarak konutun içine hapsedilmesi, ısı konforun azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle güncel konutlarda yaz aylarında havalandırma eksiklikleri görülmekte ve soğutma kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca geleneksel konutlarda görülen, yarı açık alan kullanımlarının çağdaş yapılar çok az olduğu görülmektedir. Sadece bazı yapılarda yarı açık mekan kullanımı balkonlar ile sağlanmaktadır.



Şekil 3.12. Antalya Şarmpol Bölgesi konutlarında cephe düzeni (Yazar tarafından fotoğraflanmıştır)

Cephelerde doluluk boşluk oranı ve güneş kontrolü

Üçgen Mahallesi'ndeki konutlarda, cephelerdeki açıklıklar geleneksel evlere kıyasla daha fazladır. Her odanın dış mekan ile ilişkilendirilmesi dolayısıyla yapıların tüm cephelerinde pencere ve kapı açıklıkları görülmektedir. Ayrıca, geleneksel evlerde bulunan kepenklerin, çağdaş yapılara PVC malzeme ile uyarlandığı görülmektedir. Yapılara sonradan eklenen bu panjurlar, güneş kırıcı olarak ve güvenlik sebebiyle kullanılmaktadır. Geleneksel evlerdeki kullanım yelpazesinin tamamına sahip olmadığı için iç mekanları serinliği üzerinde yeterince etkisi olmamaktadır.



Şekil 3.13. Şarampol Bölgesi konutlarında cephe düzeni ve panjur kullanımı (Yazar tarafından fotoğraflanmıştır)

Yapı malzemesi

Üçgen Mahallesi'nde bulunan apartmanların neredeyse tamamının taşıyıcı sistemi betonarmedir. Duvarları tuğla bloklar ile yapılmış örülmüş ve üzeri sıvanmıştır. Bu konutlarda geleneksel malzeme kullanımı görülmemektedir. Düz teras çatılarda ise çoğunlukla asfalt bazlı kaplamalar yapılmaktadır. Üçgen Mahallesi'ndeki çağdaş konutlarda yapı kabuğunda açılan boşlukların mahallerdeki hava sirkülasyonunu yeterli düzeyde sağlayamadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca dış kabukta, kullanıcılar tarafından sonradan eklenenler hariç, sıva ve boya dışında herhangi bir ısı yalıtım tabakası bulunmamaktadır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma Akdeniz Bölgesi, Antalya ilindeki konut binalarında enerji verimliliğini amaçlamaktadır. Bu çerçevede, daha önceki bölümlerde tanımlanan iklim verileri ile yerel ve güncel mimari dokunun analizinin yanı sıra, bina simülasyon sürecini ve yazılım aracını anlamak, bu çalışmanın enerji hedeflerine ulaşmasına yardımcı olacaktır. Bu bağlamda bu bölüm, bina simülasyonu yaklaşımı ve gerekliliğini, seçilen simülasyon aracının sunulmasını, daha önceki bölümlerde incelenen konut tipleri çerçevesinde simülasyonu yapılacak modellerin tasarlanması ve simülasyon parametrelerinin tanımlanmasını içermektedir.

4.1. Bina Enerji Simülasyonu Yaklaşımı

Binalarda soğutma, ısıtma, aydınlatma, havalandırma ve diğer sistemlerinde kullanılan enerji için dünya üzerindeki fosil tabanlı enerji kaynaklarının %40'ından fazlası kullanılmaktadır. Bu durum sonucunda, kaynakların hızla tükenmesi ve çevre kirliliği konuları ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, mevcut binaların ve yeni yapılacak binaların enerji performansının artırılması çok büyük önem taşımaktadır (Çakmanus, 2011). Bu çerçevede, son yıllarda, binaların termal davranışını tahmin etmek için bilim camiası ve endüstriyel sektör modelleme ve simülasyon teknikleri üzerine yoğunlaşmıştır (Nouri, Frisch ve van Treeck, 2021). Son 50 yılda, yüzlerce geliştirilmiş ve kullanılmakta olan bina simülasyon araçları, kullanıcıların enerji kullanımı ve talebi, sıcaklık, nem ve maliyetler gibi temel bina performans göstergelerini sağlayarak, yapıların inşaat öncesi performanslarının analiz edilmesine yardımcı olmaktadır (Crawley, Hand, Kummert ve Griffith, 2008).

Bu çerçevede, bina enerji simülasyonu ve modellemesi, bir binanın veya bina grubunun, enerji tüketimi çerçevesinde aydınlatma, iç mekan iklimlendirmesi, maliyet, bina yaşam döngüsü gibi farklı konulara odaklanan sanal ortamda çalıştırılan veya kontrol edilen bir sistem olarak tanımlanabilir. Enerji simülasyon programlarının kullanımı, tasarımcıların, enerji tüketimini azaltmak ve ısıl konforu sağlamak adına herhangi bir bina için uygulanacak en iyi önlemler hakkında kararlar almak için çeşitli tasarım parametrelerini ve alternatiflerini keşfetmelerine yardımcı olmaktadır. Bu önlemler esas olarak bina yönelimi, tasarımın boyutu ve işlevi, geometri, bina kabuğu malzemeleri, pencere-duvar oranı, gölgeleme ve gün ışığı gibi pasif tasarım öğeleriyle ilgilidir (Altensis, 2015). Bu sayede, yapılacak birçok

deneme sonucunda bu parametrelerin yapı özelinde optimizasyonu ile yapıların maliyet-performans oranı olarak en üst seviyesine tasarım aşamasında erişilebilmektedir.

Binanın yapısı ve organizasyonu, simülasyonda yer verilecek fiziksel olaylar, hava koşulları ve bina kullanımı olmak üzere bina simülasyonlarında dikkate alınması gereken dört temel husus bulunmaktadır. Bu hususlar dikkate alınarak; var olan birçok enerji simülasyonunda ortak olarak simülasyon süreci üç adıma ayrılmıştır (Sousa, 2012):

Binanın tasarlanması

Bu işlem gerekli üçüncü parti çizim yazılımları ile tamamlanıp simülasyon programlarına aktarılabilirdiği gibi tasarım yapılmasına olanak veren bazı enerji simülasyon yazılımları ile de tamamlanabilmektedir. Yapının daha önce belirtilen; bina yönelimi, tasarımın boyutu ve işlevi, geometri/şekil, bina kabuğu malzemeleri, pencere-duvar oranı, gölgeleme ve gün ışığı gibi pasif tasarım öğelerinin belirlenmesi yapı oluşumunda önem arz etmektedir.

Bina simülasyonu

Tasarım tamamlandıktan sonra seçilen yazılım aracının çalıştırılması için simülasyonda dikkate alınacak ısı ve enerji parametrelerinin oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca, her bina tipinin performansı işlevine göre farklılık göstereceği için, bina tipi (konut, ofis vb.), insan faaliyetleri, mevcut ekipmanlar (aydınlatma, soğutma, havalandırma, bilgisayar vb.) ve tüm bunların günlük çalışma programlarının belirlenmesi önemlidir.

Sonuçların değerlendirilmesi

Simülasyonun tamamlanması sonucu ortaya çıkan veriler, parametreler çevresinde olası hatalar veya büyük uyumsuzluklar açısından değerlendirilmelidir. Ayrıca ilk tasarım aşamalarından başlayarak mümkün olduğunca çok deneme yapılması ile sonuçların en optimumu bulunabilir. Bu sebeple, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, en optimum çözüm üzerinde devam edilmelidir.

Sonuç olarak, bina simülasyonu kullanımı ile dünya üzerindeki çevresel kirlilik, doğal kaynakların gereksiz tüketimi ve yapılardaki gereksiz malzeme kullanımının önüne geçilebilmektedir. Doğru hesaplamalar ve parametrelerin tanımlanması ile bu yazılımlar

sayesinde tasarım aşamasında, binaların enerji performansı ön görülerek, iklimsel çerçevede doğru kararların verilmesi sağlanabilir.

4.2. DesignBuilder Simülasyon Programının Değerlendirilmesi

Piyasada bulunan bina enerji simülasyon yazılımları kullanım alanlarına ve hesaplama parametrelerine göre çeşitlilik göstermektedir. Genellikle, bina tasarımcıları kendi deneyimlerine ve aşinalıklarına, modellenecek özelliklerin türüne, gerekli ayrıntı düzeyine ve herhangi bir düzenleyici rehberliğe dayalı olarak belirli bir yazılımı seçmektedir. Bu çalışmada, kolay kullanımı olan ve gelişmiş modelleme imkanı sunan, EnergyPlus 9.4 (bina ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışını modellemek için ABD Enerji Bakanlığı tarafından sürekli geliştirilen en kapsamlı bina enerji simülasyon programıdır) tabanlı bir yazılım aracı olan DesignBuilder (versiyon 7) simülasyon programı çalışma kapsamında yapılacak olan modellerin enerji performans verilerinin elde edilmesi için kullanılmıştır. Hızlı üç boyutlu bina modelleme imkanıyla dinamik enerji simülasyonları elde etme kolaylığı sayesinde bina tasarımlarını oluşturmak ve değerlendirmek için eşsiz bir yazılım aracı olarak görülmektedir (Altensis, 2015).

Yıllık enerji tüketimi, karbon emisyonları, ısıl konfor, gün ışığı, maksimum yaz sıcaklıkları, havalandırma ve iklimlendirme verileri gibi bir dizi çevresel performans verisi sağlayan DesignBuilder, özellikle mimari tasarımcıların ve mühendislerin farklı tasarım senaryolarını karşılaştırmasına yardımcı olmak ve onları en iyi ve en enerji verimli tasarım seçeneğini seçmeleri için yönlendirmek için geniş bir yetenek yelpazesine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, simülasyon sürecine başlamadan önce, doğal olarak havalandırılan ve iklimlendirilen binaların davranışını ve simülasyon sonucunu ciddi şekilde etkileyebilecek iklim belirleyicilerini tanımak gerekir. Bu bağlamda, DesignBuilder kendi içerisinde bulunan dünyanın neredeyse her bölgesinin iklim verileri sayesinde doğru sonuçlar vermektedir (Hensen ve diğerleri, 2004).

Kesin ve güvenilir enerji ve gün ışığı performansı verileri sayesinde tasarımlar, DesignBuilder kullanılarak erken tasarım aşamalarında performans hedeflerine ulaşabilmektedir. Modeller DesignBuilder'da sıfırdan oluşturulabilir veya üçüncü parti çizim programlarından alınan DXF veya PDF formatında 2 boyutlu çizimler kullanılarak veya BIM üzerinden gbXML formatlı 3 boyutlu modeller kullanılarak yazılım içine

aktarılabılır. DesignBuilder, sonuçları anlaşılır ve net bir şekilde temsil eden yüksek kaliteli pratik ve işlenmiş çıktılar sağlamaktadır.

DesignBuilder, mimarlar, mühendisler, bina hizmetleri çalışanları, enerji danışmanları ve üniversitelerin ilgili bölümleri gibi çok çeşitli profesyoneller tarafından kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bazı tipik kullanım amaçları aşağıda özetlenmiştir (Altensis, 2015):

- Bina yapısı ve cephe seçeneklerini aşırı ısınma, enerji tüketimi ve gölgeleme parametreleri açısından değerlendirilmesi
- Gün ışığının optimum kullanımının değerlendirilmesi
- Aydınlatma ve kontrol sistemlerinin modellenmesi ve elektrikte tasarruf oranının belirlenmesi
- CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) modülünü kullanarak binaların içindeki/etrafındaki sıcaklık, hız ve basınç dağılımının hesaplanması
- Vaziyet planının ve gölgelendirmenin resmedilmesi
- Doğal havalandırma yöntemi ile havalandırılan binalarda ısı simülasyonu sonuçlarının değerlendirilmesi
- Havalandırma ve iklimlendirme tasarımına yardımcı olacak hususları içerecek şekilde ısıtma ve soğutma ekipmanlarının kapasitesinin belirlenmesi

Sonuç olarak, daha önceki bölümlerde incelenen Geleneksel Antalya Kaleiçi evi mimari öğelerinin, Akdeniz iklimindeki konutlarda Pasif Ev Standardı çerçevesinde ısı performansının değerlendirilmesi adına DesignBuilder bina simülasyon programının parametrelerinin yeterli ve güvenilir olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu çalışmada, yapıların 3 boyutlu tasarımları da dahil olmak üzere DesignBuilder simülasyon programı kullanılmıştır.

4.3. Modellerin ve Değişkenlerin Tasarlanması

Bu çalışmada, Akdeniz iklimine sahip Antalya kentinde, daha önceki bölümlerde incelenmiş olan geleneksel Antalya Kaleiçi evinin enerji performansı Pasif Ev Standartları çerçevesinde, modern evleri temsil baz model ile karşılaştırmalı olarak incelenecek ve geleneksel yöntemlerin enerji performansına etkisi tartışılacaktır. İlk aşamada, güncel Antalya evlerini temsil eden baz modelin ısı performansını değerlendirilecektir. Sonrasında,

modeli Pasif Ev Standardı'na uygun hale getirmek için standardın kriterleri entegre edilecek ve gerekli malzeme miktarı değerlendirilecektir. Son olarak, Pasif Ev kriterlerine göre tasarlanan test modeline alan çalışmasında incelenen geleneksel yöntemler tek tek entegre edilerek enerji performansı iyileştirilemeye çalışılacaktır.

Ayrıca, karşılaştırmalı analizin makul kılınabilmesi için, her iki tasarım binası (Geleneksel ve Test modeli) arasında adil bir karşılaştırma sağlanmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu sebeple binalar temelde aynı yönelime, enerji kaynaklarına, taban alanına, oda sayısına ve yapı malzemesine vb. özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanacaktır. Bunun yanı sıra, ortam sıcaklığı, iklimlendirme sistemi, kullanıcı yoğunluğu vb. simülasyon girdi parametreleri bu aşamada belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple bu bölümde yapılacak simülasyon çalışması için girdi parametreleri ve modelleme varsayımları tanımlanacaktır.

4.3.1. Modelleme varsayımları ve simülasyon parametrelerinin tanımlanması

Modellerin enerji performans verilerinin kanıtlarıyla birlikte sunulma sorumluluğu yazara ait olacaktır. Bu bağlamda, tutarlı bir karşılaştırma sağlamak için modelleme, simülasyon ve analiz sürecinin sistematik bir şekilde belirtilmesi gerekmektedir. Analizleri makul kılmak ve sonuçların hile ve manipülasyonunu önlemek için simülasyon aracı, hesaplama prosedürü, modelleme varsayımları ve simülasyon parametreleri açıkça tanımlanmalıdır. Bu sebeple, Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'de güncel yapı tipi ve geleneksel yapı tipini temsil eden baz modellerin ortak modelleme varsayımları ve simülasyon parametreleri tanımlanmıştır. Sonuç olarak, modeller benzer varsayımlar ve parametreler çerçevesinde değerlendirileceği için modellerin enerji performanslarının karşılaştırmalı analizinin makul ve tutarlı bir şekilde yapılabileceği beklenmektedir.

Çizelge 4.1. Modellerin ortak simülasyon parametreleri

DETAYLAR		AÇIKLAMA
Simülasyon Parametreleri	1 Simülasyon Konumu	Antalya, TÜRKİYE
	2 İklim Bölgesi - Tipi	Akdeniz Bölgesi - Akdeniz İklimi
	3 Simülasyon Zaman Dilimi	DesignBuilder programında simülasyon için '2020' yılı ayarlanmıştır.
	4 Yapı Kullanım Tipi	Tek Aileli Konut Binası
	5 Ortam Sıcaklığı (Soğutma-Isıtma Sezonu)	EnergyPlus tabanlı DesignBuilder programının belirli standartlara göre her bir mahal tipi için ayrı sıcaklık ayarları bulunmaktadır. Bu veriler sabit bırakılmıştır.
	6 İklimlendirme Sistemi	Split Klima
	7 Aydınlatma Sistemi	LED Aydınlatma Elemanları
	8 Hava Sızdırmazlık	1,00 ac/h

Çizelge 4.2. Modellerin ortak modelleme varsayımları

DETAYLAR		AÇIKLAMA
Modelleme Varsayımları	1 Yapı Yönelimi	Yapıların uzun cepheleri Kuzey-Güney eksenine konumlandırılmıştır.
	2 Termal Bölge, Mahal Sayısı	Zemin katta 6 adet, Birinci katta 7 adet mahal olacak şekilde yapılar tasarlanmıştır.
	4 Yapı Alanı (Net)	(yaklaşık) ~230,00 m ²
	5 Yapı Yüksekliği	Zemin Kat: 3,00m / Birinci Kat: 3,50m Toplam: 6,50m
	6 Yapı Kabuğu (Duvar)	20 cm Beton Blok (20x40) U-Değeri (W/m ² -K): 1,551 W/m ² -K
	7 Yapı Kabuğu (Zemin Döşemesi)	15cm Betonarme + 7cm Şap + Seramik U-Değeri (W/m ² -K): 1,286 W/m ² -K
	8 Yapı Kabuğu (Çatı Döşemesi)	15cm Betonarme + Fiber Levha 15mm + Su Yalıtım Örtüsü 2mm + Asfalt Bazlı Kaplama U-Değeri (W/m ² -K): 1,207 W/m ² -K
	9 Pencere-Duvar Oranı	30%
	10 Cam Tipi	6mm Düz Cam
		U-Değeri (W/m ² -K): 5,778 W/m ² -K

4.3.2. Test baz modelinin (TBM) tasarlanması

Enerji simülasyonu sürecinde kullanılacak olan, tek ailelik bir konut projesi olarak tasarlanan ‘Test Baz Modeli (TBM)’, daha önceki bölümlerde incelenen Antalya’nın 1950 sonrası imarlı yapı tipolojisinin tasarım ve inşasını temsil etmektedir. Temelde üç yatak odalı iki katlı bir ev olarak tasarlanmıştır. Tasarımın yönelimi, Antalya ili özelinde yapılan araştırmalar doğrultusunda, güneş ve rüzgar yönüne göre ayarlanmıştır. Evin en uzun cepheleri, doğu ve batı güneşine maruz kalmayı en aza indirmek ve yaz aylarındaki hakim rüzgar yönünden faydalanabilmek için kuzey-güney eksenine bakacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4.1.).

TBM’nin zemin katı yaşam alanı olarak tasarlanırken, yatak odaları birinci katta yer almaktadır (Şekil. 4.1.). Güncel konutların mimarisine uygun olarak, Şekil 4.2.’de görüldüğü üzere, dikdörtgen kompakt bir yapıda tasarlanan baz tasarımın cephelerinde yine güncel konutlara uygun olacak şekilde girinti ve çıkıntı bulunmamaktadır. Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.’de TBM’nin inşaat malzemeleri, mekanların alanları ve iklimlendirme sistemleri vb. detaylarına ilişkin bilgilere yer verilmektedir.

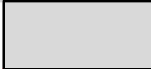


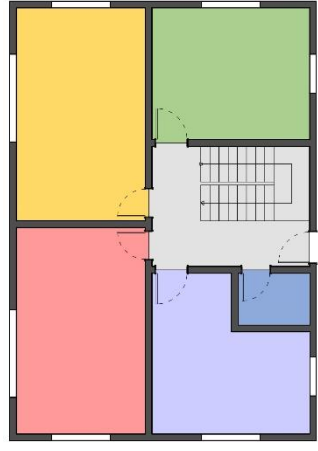
Şekil 4.1. TBM'nin zemin kat planı (a) Birinci kat planı (b) (yazar tarafından hazırlanmıştır)

Çizelge 4.3. TBM'nin bina detayları şeması

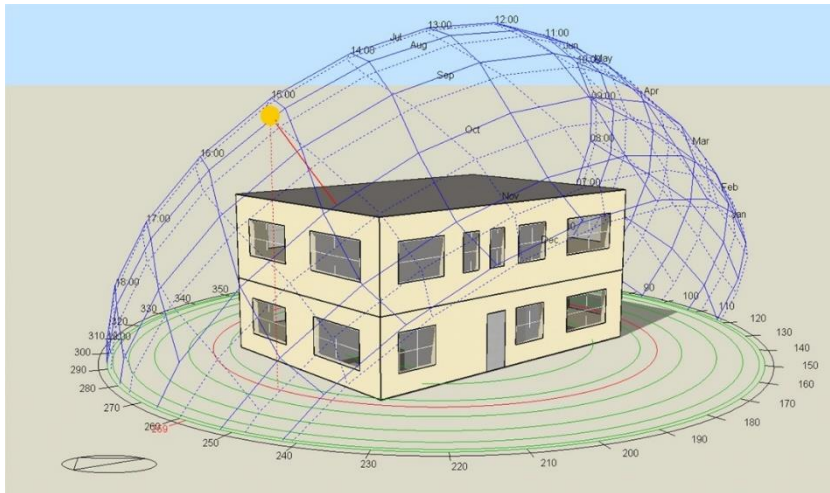
TEST BAZ MODELİ	BİNA DETAYLARI		AÇIKLAMA
	1	Toplam İnşaat Alanı	253,80 m ²
	2	Net Alan	229,51 m ²
	3	Oturum Alanı	126,90 m ²
	4	Kat Sayısı	2 (Giriş Kat + Birinci Kat)
	5	Dış Duvar Malzemeleri	20 cm Betonarme + Sıva + Boya
	6	İç Duvar Malzemeleri	10cm boşluklu Alçıpan Panel + Sıva + Boya
	7	Döşeme	15cm Betonarme Döşeme + 7cm Şap + Seramik
	8	Çatı Tipi	15cm Betonarme Düz Çatı
	9	Çatı Kaplama Malzemesi	Fiber Levha + Su Yalıtım Örtüsü + Asfalt Bazlı Kaplama
	10	Cam Tipi	6mm Düz Cam
	11	Duvar-Pencere Oranı	30%
	12	İklimlendirme Sistemi	Split Klima
ZEMİN KAT	Bina Detayları		Açıklama
	1	Kat Alanı	126,90 m ²
	2	Net Alan	117,90 m ²
	3	Kat Yüksekliği	3,00 m
	4	Termal Bölgeler, Mahaller	6 Termal Bölge Sirkülasyon, Salon, Oturma Odası, Yemek Odası, Mutfak ve Tuvalet
BİRİNCİ KAT	Bina Detayları		Açıklama
	1	Kat Alanı	126,90 m ²
	2	Net Alan	111,61 m ²
	3	Kat Yüksekliği	3,50 m
	4	Termal Bölgeler, Mahaller	7 Termal Bölge Sirkülasyon, Ana Yatak Odası, 2 Yatak Odası, Oturma Odası, Banyo ve Tuvalet

Çizelge 4.4. TBM'nin kat planları, mahalleri ve alanları

ZEMİN KAT	MAHALLER		ALAN
		1 Sirkülasyon	19,76 m ²
		2 Oturma Odası	26,21 m ²
		3 Yemek Odası	20,73 m ²
		4 Salon	26,21 m ²
		5 Mutfak	20,49 m ²
		6 Tuvalet	4,50 m ²



BİRİNCİ KAT	MAHALLER		ALAN
		1 Sirkülasyon	9,97 m ²
		5 Oturma Odası	26,21 m ²
		3 Yatak Odası 1	20,73 m ²
		4 Yatak Odası 2	26,21 m ²
		2 Ana Yatak Odası	21,49 m ²
		6 Banyo	3,50 m ²
		7 Tuvalet	3,50 m ²

Şekil 4.2. DesignBuilder simülasyon programı kullanarak oluşturulan TBM'nin 3 Boyutlu render görünümü (yazar tarafından hazırlanmıştır)

5. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI VE VERİLERİN TARTIŞILMASI

Bu tez araştırması, Akdeniz iklimi Antalya ilindeki bir konut binasının, Pasif Ev Standartları çerçevesinde, enerji tüketimini azaltmak için geleneksel yöntemlerin etkilerinin, güncel yapı tipine göre karşılaştırmalı incelenmesini amaçlamaktadır. Bu bağlamda, bu bölümdeki simülasyon süreci 4 ana aşamada açıklanabilir:

- Birinci aşamada, daha önceki bölümlerde incelenen Antalya'daki güncel yapılar çerçevesinde oluşturulan Test Baz Modelinin (TBM) DesignBuilder simülasyon programı aracılığıyla simülasyonu yapılarak, çıkan sonuçlara göre enerji performansları Akdeniz iklimi çerçevesinde değerlendirilecektir (Çizelge 5.1).
- İkinci aşamada, TBM'ye literatür taramasında incelenen Pasif Ev tasarım kriterleri Çizelge 5.2.'de görülen sıra ile entegre edilerek enerji performansına etkileri incelenecek ve sonuçlar standardın gereksinimleri çerçevesinde değerlendirilecektir (Çizelge 5.2).
- Üçüncü aşamada, daha önce alan çalışmasında incelenen Antalya'daki geleneksel Kaleiçi konutlarının enerji korunumu sağlayan mimari öğeleri TBM'ye Çizelge 5.3.'te görülen sıra ile tek tek entegre edilerek, öğelerin enerji performansına ve Pasif Ev minimum enerji talebi gereksinimlerine etkisi incelenecektir.
- Dördüncü ve son aşamada, elde edilen veriler çizelgeler ve grafikler yardımıyla karşılaştırmalı incelenecektir.

Çizelge 5.1. Simülasyon analizinin birinci aşaması (yazar tarafından hazırlanmıştır)

BİNA DETAYLARI		TASARIM KRİTERLERİ		AMAÇLAR		TARTIŞMA	
1. AŞAMA	TEST EVİ BAZ MODEL (TBM)	TASARIM	YAPI TİPİ	SİMÜLASYON	Yıllık Toplam Enerji Tüketiminin tespit edilmesi (kWh/m²/yıl)	Akdeniz İklimi, Antalya İli özelinde modellerin; 1.Yıllık Enerji Tüketimi, 2.Soğutma Yüğü, 3.Isıtma Yüğü, 4.Hakim Rüzgarın etkisi çerçevesinde enerji performansları değerlendirilerek iklime uygunluğunun tartışılması	
			YAPI FORMU		Toplam Soğutma Talebinin tespit edilmesi (kWh/m²)		
			DOLULUK/ BOŞLUK ORANI		Toplam Isıtma Talebinin tespit edilmesi (kWh/m²)		

Çizelge 5.2. Simülasyon analizinin ikinci aşaması (yazar tarafından hazırlanmıştır)

BİNA DETAYLARI		PASİF EV TASARIM KRİTERLERİ		AMAÇLAR	TARTIŞMA	
2. AŞAMA	TEST EVİ BAZ MODEL (TBM)	PASİF EV STANDARTININ ENTEGRESİ	HAVA SIZDIRMAZLIK	SİMÜLASYON	Pasif Ev Standardı Tasarım Kriterlerinin Karşılanması	Akdeniz İklimi, Antalya İli özelinde modelin; 1.Pasif Ev malzeme ve gereksinimlerin entegresi ile ortaya çıkan enerji performansı sonuçlarının tartışılması, 2.Yıllık Toplam Enerji taleplerinin sağlanabilmesi için, Pasif Ev standardı gereksinimlerinin zorunlu olup olmadığı ve yeterli malzeme miktarlarının tartışılması.
			ISI KÖPRÜSÜ AZALTILMIŞ TASARIM		Maksimum Yıllık Toplam Enerji Tüketim Sınırının: 120 kWh/m²/yıl Karşılanması	
			PENCERE TİPİ		Maksimum Yıllık Soğutma Talebi: 15 kWh/m²'ye göre değerlendirilmesi	
			ISI YALITIMI		Maksimum Yıllık Isıtma Talebi: 15 kWh/m²'ye göre değerlendirilmesi	

Çizelge 5.3. Simülasyon analizi üçüncü aşaması (yazar tarafından hazırlanmıştır)

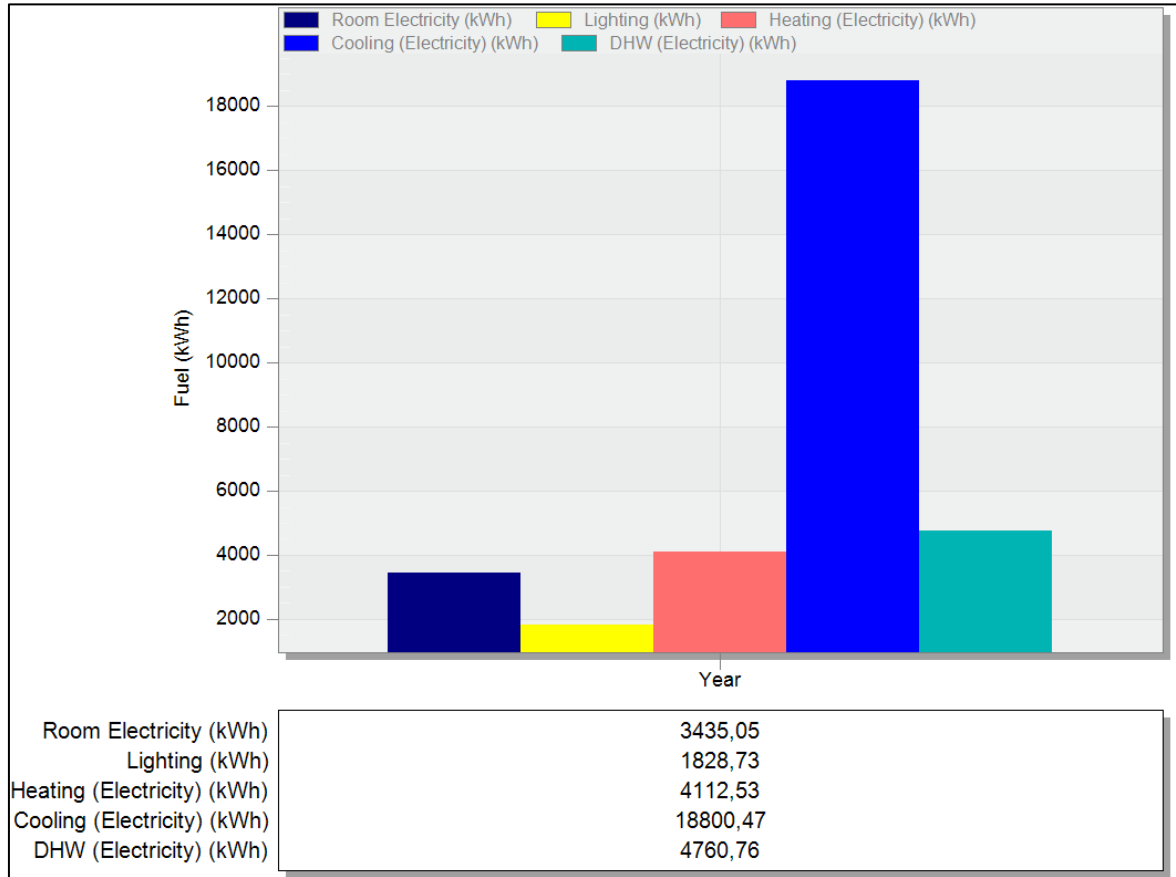
BİNA DETAYLARI	PASİF TASARIM ÇÖZÜMLERİ	AMAÇLAR	TARTIŞMA
3. AŞAMA GELENEKSEL PASİF EV MODELİ TASARIMI (GPEM)	PLAN TİPİ DEĞİŞİKLİĞİ	Tasarımın Yıllık Enerji Performansının (Özellikle Soğutma) Artırılması	1. Geleneksel Baz Modeli üzerinde uygulanacak olan entegrelerin tek tek eklenmesi ile oluşan sonuçların incelenerek, modelin 'Yıllık Enerji Tüketimi' performansına etkisinin tartışılması, 2. Simülasyon verilerinin sonuçlarına dayanarak, eklemelerin Pasif Ev Standartları minimum gereksinimlerine etkisinin tartışılması
	GELENEKSEL GÖLGELENDİRME (KIRMA ÇATI, SAÇAK VE ÇIKMA)		
	DUVAR-PENCERE ORANI / PENCERE TİPİ	Pasif Ev Standartları Minimum Gereksinimleri için Gerekli Olan Malzeme (Isı Yalıtım Kalınlığı, Pencere Tipi) Kullanımını Optimum Hale Getirilmesi	
	GELENEKSEL GÖLGELENDİRME (AÇILABİLİR KEPENK)		
	DOĞAL HAVALANDIRMA		
	YAPI KABUĞU RENGİ		
	PASİF ÇÖZÜM EKLENMELERİ	SİMÜLYASYON	

5.1. Test Baz Modelinin (TBM) Simülasyonu

1950 sonrası imar planlı güncel konut tipolojisine uygun şekilde (Şekil 4.2.) modellenmiş, iklim verileri Antalya ili seçilmiş ve tez çalışmasının dördüncü bölümünde tanımlanmış olan ‘modelleme varsayımları ve simülasyon parametreleri’ çerçevesinde TBM’nin enerji simülasyonu EnergyPlus 9.4 tabanlı DesignBuilder v7 programında yapılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda Çizelge 5.4’te görüldüğü üzere modelin tahmini yıllık toplam enerji tüketimi 32.223,42 kWh olarak raporlanmıştır. Bu veri, modelin net kullanım alanı olan 229,51 m²’ye (Çizelge 4.1.) bölündüğünde sonuç 140,40 kWh/m²/yıl olarak hesaplanmıştır. 4.960,81 kWh ile aylık bazda en yüksek enerji tüketimi Ağustos ayında (Şekil 5.2.) olmak üzere toplamda 18.800,47 kWh (Şekil 5.1.) yıllık soğutma yükü kaydedilmiştir. Bu verinin, yine modelin net kullanım alanına, 229,51 m²’ye bölünmesi ile modelin yıllık soğutma talebinin 81,92 kWh/m²/yıl olduğu hesaplanmıştır. Sonuç olarak, ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su ve ekipmanlar tarafından kullanılan yıllık toplam enerji tüketiminin yaklaşık %58’sinin soğutma yükü olduğu görülmektedir (Şekil 5.8.).

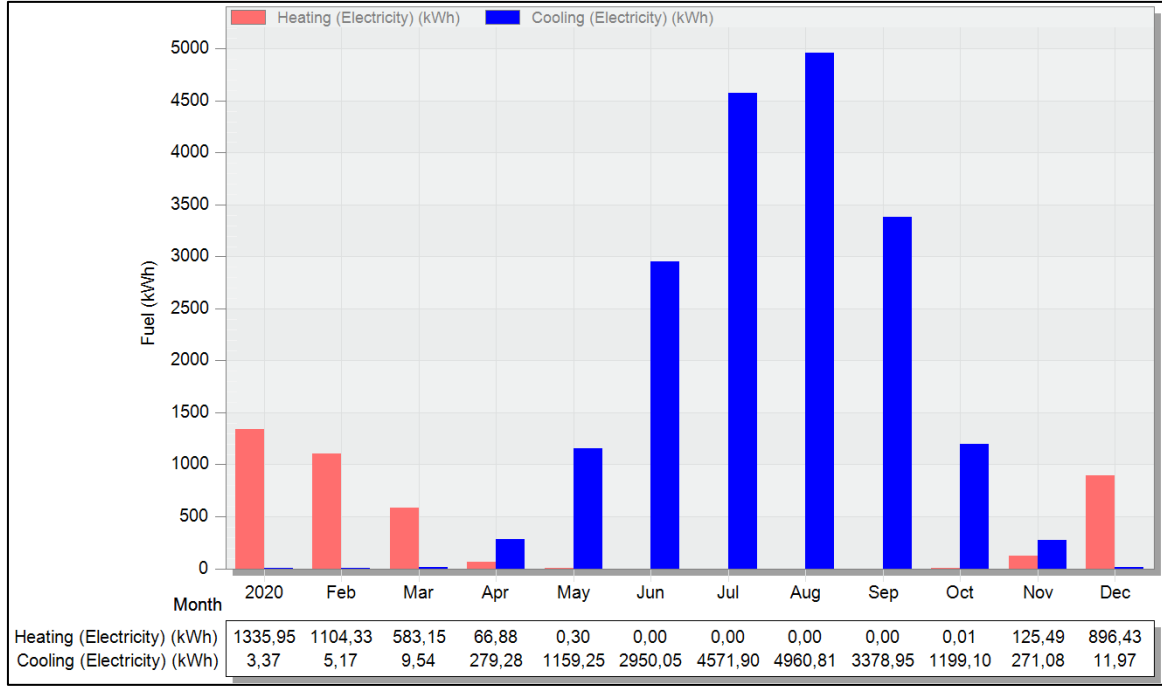
Çizelge 5.4. TBM'nin tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
32223,42	140,40



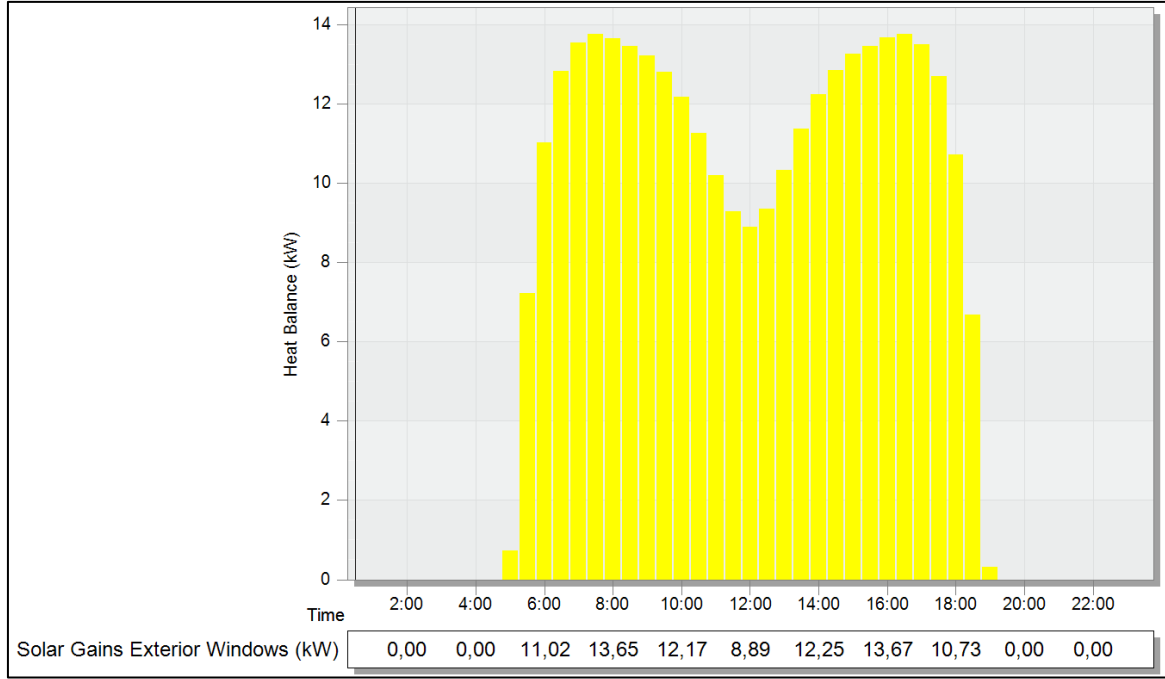
Şekil 5.1. TBM'nin yıllık enerji yükleri (DesignBuilder program çıktısıdır)

Her ne kadar sıcak iklimlerde ana endişe soğutma yükü olsa da yapılacak müdahale ve eklemeler sonucunda açık bir sonuç elde etmek ve sonuçların sağlıklı karşılaştırılabilmesi için modellerin ısıtma yükleri de değerlendirmeye alınmıştır. TBM'nin simülasyonu sonucunda toplamda 4.112,53 kWh (Şekil 5.1.) yıllık ısıtma yükü kaydedilmiştir. Toplam ısıtma yükünün, modelin net kullanım alanı olan 229,51 m²'ye bölünmesi ile modelin yıllık ısıtma talebinin 17,92 kWh/m²/yıl olduğu hesaplanmıştır. Diğer aşamalarda yapı kabuğuna müdahaleler ile bu değerin çok azalacağı tahmin edilse de modellerin karşılaştırılması için önemli bir veri olduğu öngörülmektedir.



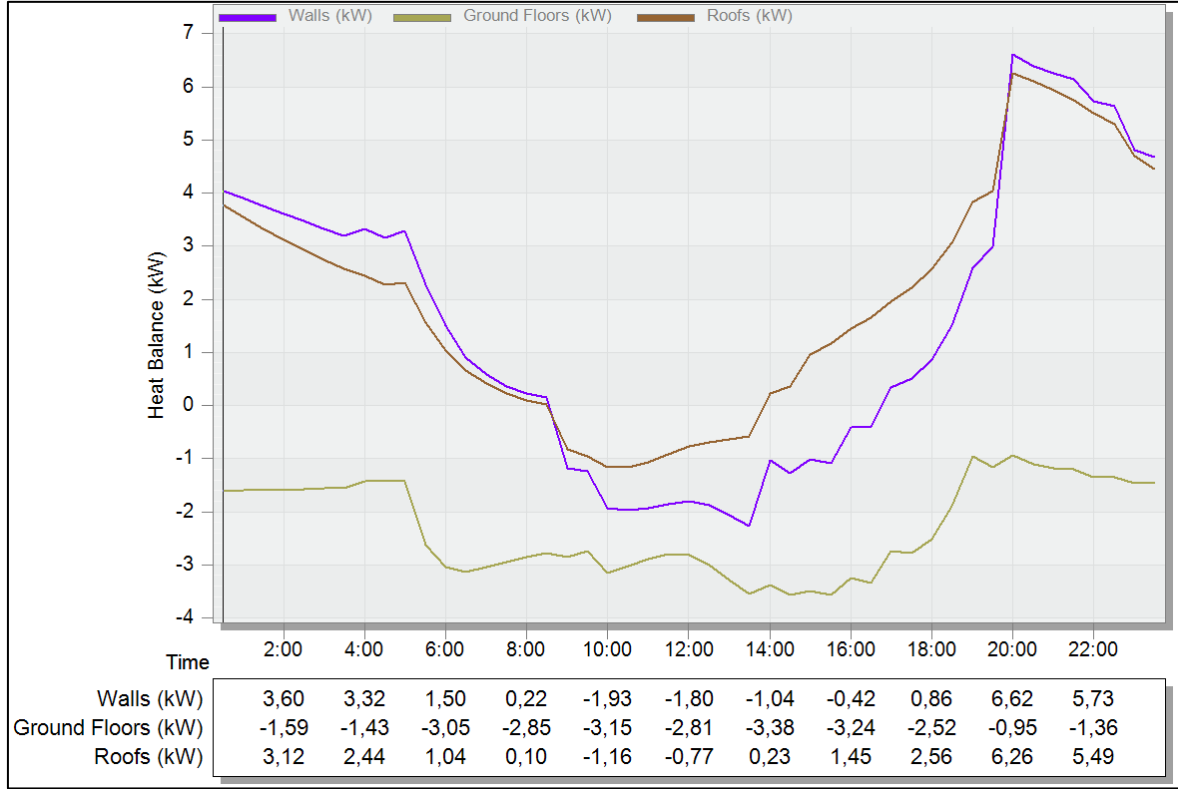
Şekil 5.2. TBM'nin aylık soğutma ve ısıtma yükü (DesignBuilder program çıktısıdır)

Antalya ilinin bulunduğu yarım küre dolayısıyla, en uzun gündüz olan 21 Haziran gününde çalıştırılan simülasyonun sonucunda, pencerelerden güneş kazancının modeldeki en fazla ısı kazancını temsil ettiği düşünülmektedir. Bu bağlamda, güneş kazancı değerlerinin sırasıyla anlık 13,65 ve 13,67 kWh (Şekil 5.3.) değerler ile 08:00 ve 16:00 saatlerinde en yüksek noktalara çıktığı görülmektedir. Yapının kompakt ve simetrik yapısı dolayısıyla, önlemin batı güneşine alınması gerekliliği genel kanısının aksine, bu model için doğu ve batı güneşlerine eşit önlem alınması gerekmektedir.



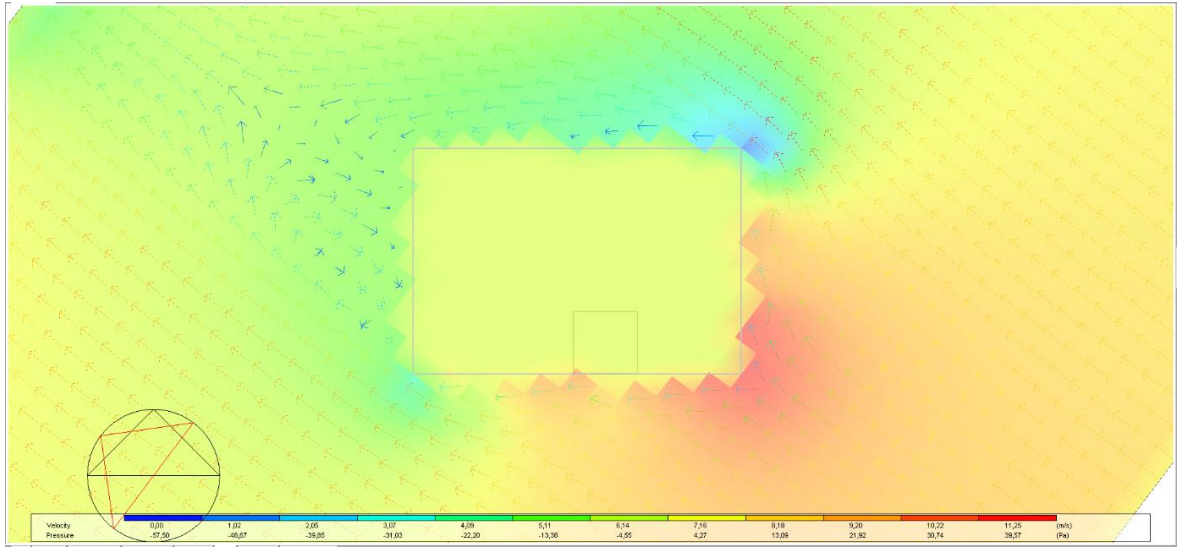
Şekil 5.3. TBM'nin 21 Haziran günü pencerelerden güneş ışıını kazanımı (DesignBuilder program çıktısıdır)

Yine en uzun gündüz olan 21 Haziran gününde dış kabuk katmanlarının iç mekana verdikleri ısı oranları incelendiğinde (Şekil 5.4.), dış duvar ve çatı elemanlarının günün sıcak saatlerinde ısıyı içerisinde depolayıp akşam ve gece saatlerinde iç mekana yayma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bunun aksine dış pencereler ise karakteri gereği termal kütle görevi görmediği için ısıyı direk içeriye aktarmaktadır. Bunların yanı sıra, toprak ile temasta olan zemin döşemesinin soğutma performansına sürekli olarak yardımcı olduğu görülmektedir.

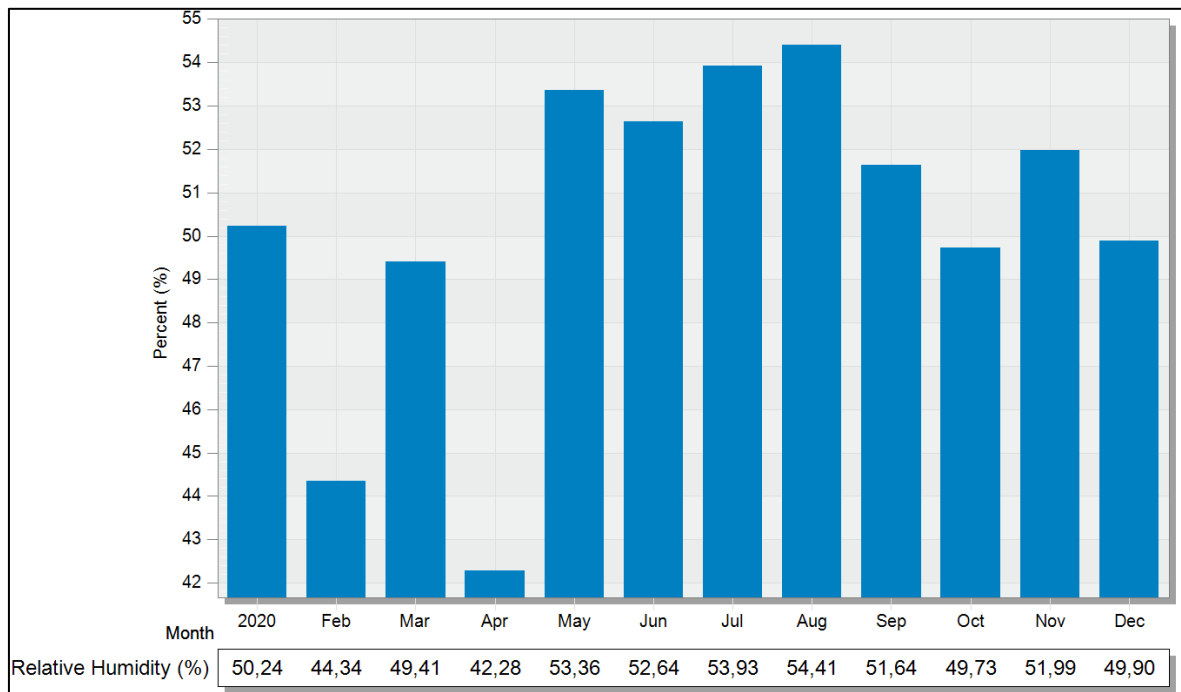


Şekil 5.4. TBM'nin 21 Haziran günü ısı kazanımları (DesignBuilder program çıktısıdır)

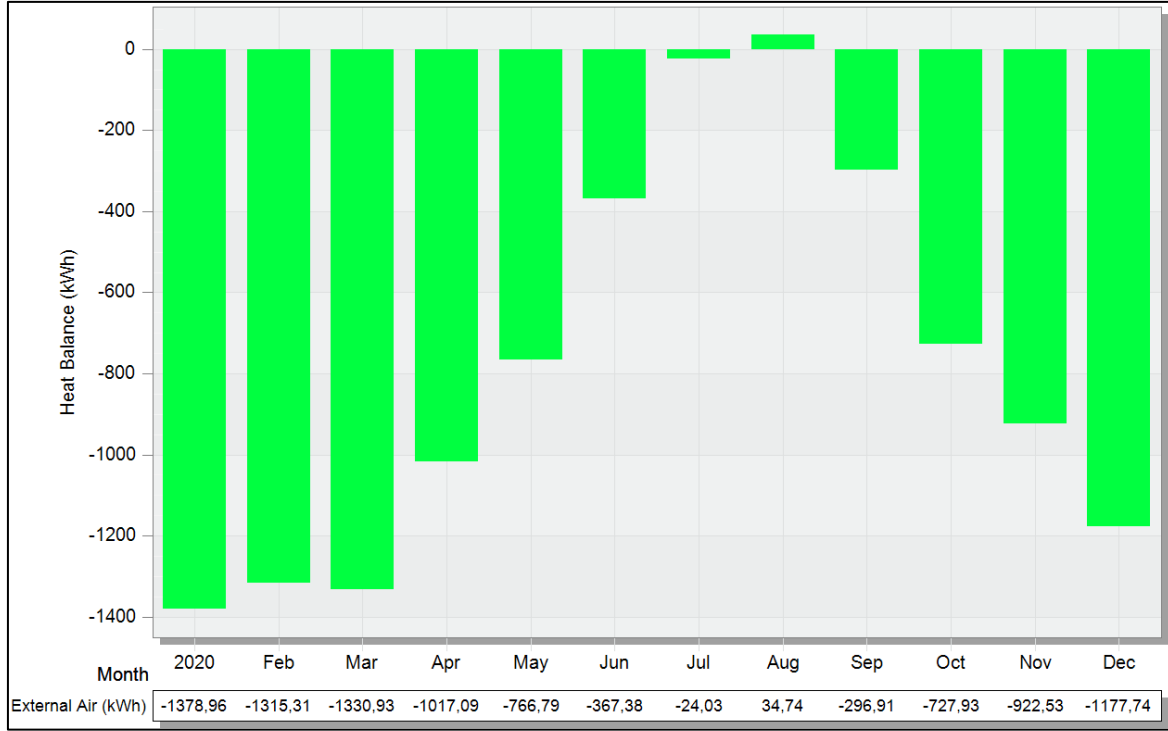
TBM'nin DesignBuilder simülasyon programından çıktısı alınan, CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) olarak adlandırılan rüzgar analizi incelenmiştir. Tez alan çalışması bölümünde incelenen iklim verilerinde, Antalya ili için hakim rüzgar yönünün kuzey-batı olduğu belirtilmiştir. Bu bağlamda, yapı çevresinde oluşan hava sirkülasyonu yapının kompakt şekli ve kuzey-güney yönelimi doğrultusunda Şekil 5.5.'teki gibi olmaktadır. Ayrıca, DesignBuilder simülasyon programından alınan verilere göre yapının yıl içerisindeki nem ve hava sızdırmazlık verileri Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.'deki gibi raporlanmıştır.



Şekil 5.5. TBM'nin rüzgar (CFD) şeması (DesignBuilder program çıktısıdır)

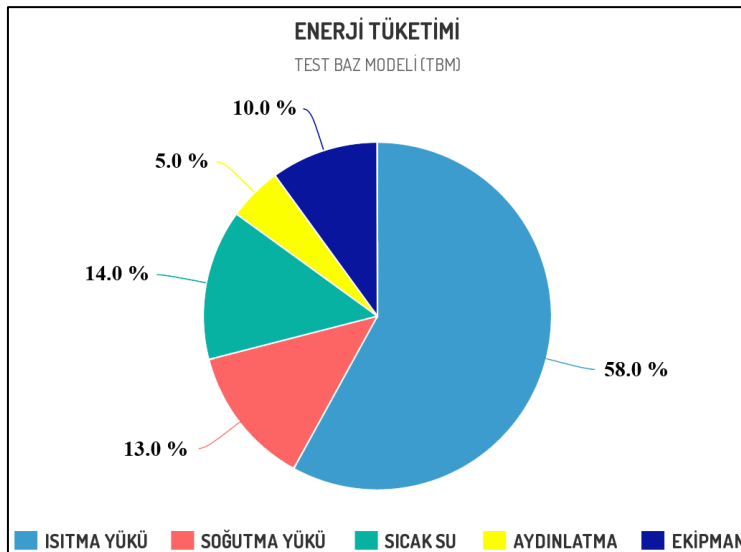


Şekil 5.6. TBM'nin aylık nem oranları (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.7. TBM'nin aylık hava sızdırmazlık oranları (DesignBuilder program çıktısıdır)

Bina simülasyon programından elde edilen verilerin özet tablosuna Çizelge 5.5.'te yer verilmiştir. Bu bölümde, sonraki bölümlerde modellere yapılacak Pasif Ev tasarım kriterlerinin entegrelerinin yapılması ile ortaya çıkan sonuçların değerlendirilebilmesi adına modellerin tahmini enerji performansları açıklanmıştır. Son olarak, buradan elde edilen verilerin, sonraki bölümlerde yapılacak tüm müdahalelere referanslar oluşturması öngörülmektedir.



Şekil 5.8. TBM'nin enerji tüketim yüzdeleri (yazar tarafından hazırlanmıştır)

Çizelge 5.5. TBM'nin simülasyon sonuçları özet çizelgesi (yazar tarafından hazırlanmıştır)

DETAYLAR		TEST BAZ MODELİ (TBM)
MODELİN SİMÜLASYON SONUÇLARI	1 Yıllık Toplam Enerji Tüketimi	32.223,42 kWh
	2 Toplam Alan Başına Enerji Talebi	140,40 kWh/m ² /yıl
	3 Yıllık Toplam Soğutma Yüğü	18.800,47 kWh
	4 Yıllık Soğutma Talebi	81,92 kWh/m ² /yıl
	5 Aylık En Yüksek Soğutma Yüğü	4.960,81 kWh (AĞUSTOS)
	6 Soğutma Yüğünün Toplam Enerji Tüketimine oranı	58%
	7 Yıllık Toplam Isıtma Yüğü	4.112,53 kWh
	8 Yıllık Isıtma Talebi	17,92 kWh/m ² /yıl
	9 Isıtma Yüğünün Toplam Enerji Tüketimine oranı	13%
	10 Maksimum Pencereleden Isı Kazancı (21 Haziran)	13,65 (08:00) / 13,67 kWh (16:00)
	11 Yapı Kabuğı Isı Transferi	Çatı ve Dış duvarlar termal kütle olarak çalışırken, pencereler güneş ışıını kazanımı ile doğru orantılı olarak iç mekan ile ısı transferi gerçekleştirmektedir. Toprak ile teması olan Zemin döşemesi yıl boyu soğutma yüğü çerçevesinde pozitif etki yapmaktadır.
	12 CFD Analizi	Kompakt ve kapalı formu dolayısıyla hava hareketi modelin çevresinde oluşmaktadır.
	13 Maksimum Nem Oranı	54,41% (AĞUSTOS)
	14 Sızdırmazlık Sebebiyle Maksimum Isı Kaybı	1.378,95 kWh (OCAK)

5.2. Pasif Ev Standardı Entegrasyonu ve Simülasyonu

Literatür araştırmasında incelendiğı üzere Pasif Ev, iç ortam sıcaklığını korumak için çok az enerji kullanan bir binayı ifade etmektedir. Isıtma yükünün önemli olduğı iklimlerdeki başarılarının yanı sıra son zamanlarda sıcak iklimlerde soğutma yüğü üzerine de çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu bağlamda bu bölümde, TBM'nin temelde soğutma yüğü talebinden kaynaklanan toplam elektrik tüketiminin azaltılması adına enerji performansında iyileşme sağlamak için Pasif Ev Standartları tasarım kriterleri entegre edilip, modelin enerji simülasyonu yapılacaktır. Bu süreç, modelin tasarım kararlarında hiçbir değışiklik yapılmadan ilerleyecektir, çünkü Pasif Ev Standardı daha önceki bölümlerde belirtildiğı üzere, belirli bir tasarım veya inşaat yöntemi olmayan bir performans standardıdır. Yapılar tasarım ve malzeme seçimlerinde özgür olacak şekilde, yalnızca belirli enerji talebi hedeflerini karşılaması gerekmektedir (Çizelge 5.2.).

Bu çerçevede bu bölümde, Pasif Ev Standardı'nın ortaya koymuş olduğu ilkelerin TBM'nin enerji performansına etkileri incelenecektir. Bunun için her bir tasarım kriteri Çizelge 5.2.'de görünen sıra ile uygulanarak enerji simülasyonu yapılacaktır. Tüm tasarım kriterlerinin entegre edilmesi ile oluşan modelin Antalya ili içerisindeki enerji performansı, Pasif Ev Standardı talepleri çerçevesinde değerlendirilecektir.

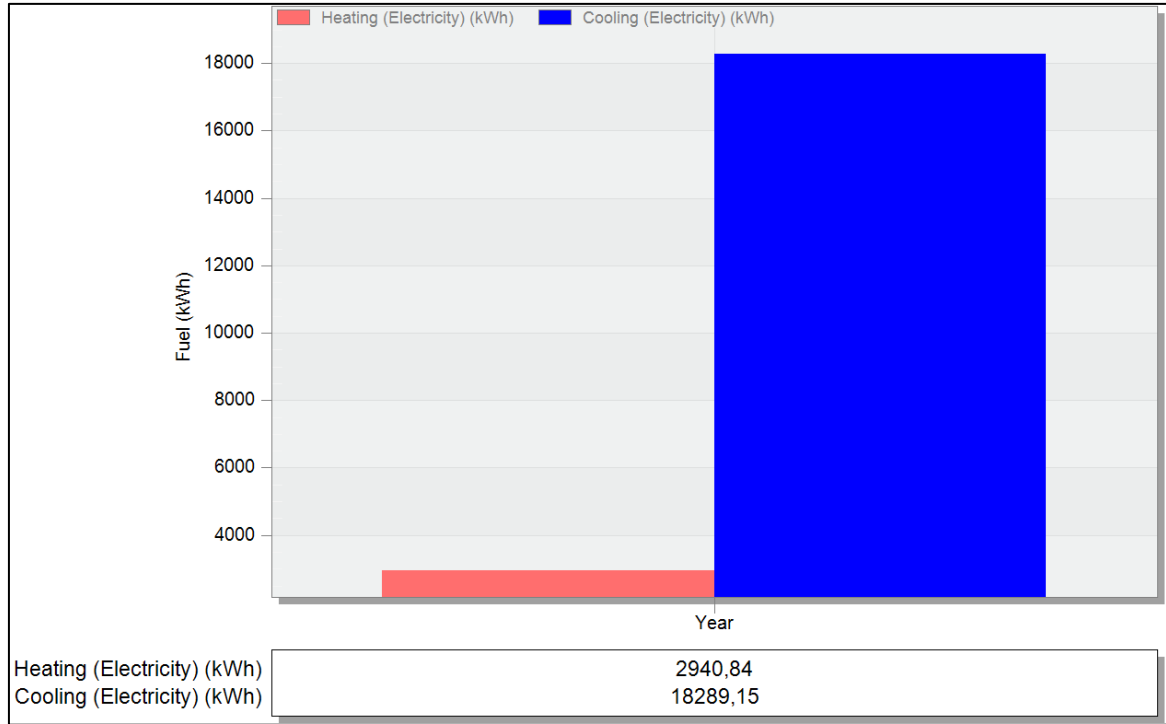
5.2.1. Isı köprüsü azaltılmış tasarım ve hava sızdırmazlık

Pasif Ev Standardı'nın ana prensiplerinden bir tanesi, yapılardaki ısı kazancı veya kaybını önlemek için yalıtımın tüm yapı etrafında herhangi bir “zayıf nokta” olmadan uygulanması anlamına gelen, ısı köprüsüz ya da ısı köprü miktarı azaltılmış tasarımdır. Isı köprüsüz tasarımın sağlanabilmesi için yapılardaki yalıtımının sürekli bir tabaka oluşturması gerekmektedir. Ayrıca, tasarım aşamasındaki pencere ve kapı detayları, duvar döşeme birleşimleri ve çatı birleşim detayları gibi bazı inşaat detaylarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, baz model için, DesignBuilder simülasyon programı tasarım parametreleri içerisindeki “Crack Template” isimli bölüm, ‘çok iyi’ olarak işaretlenerek ısı köprüsü ve zayıf noktalar en aza indirilmeye çalışılacaktır.

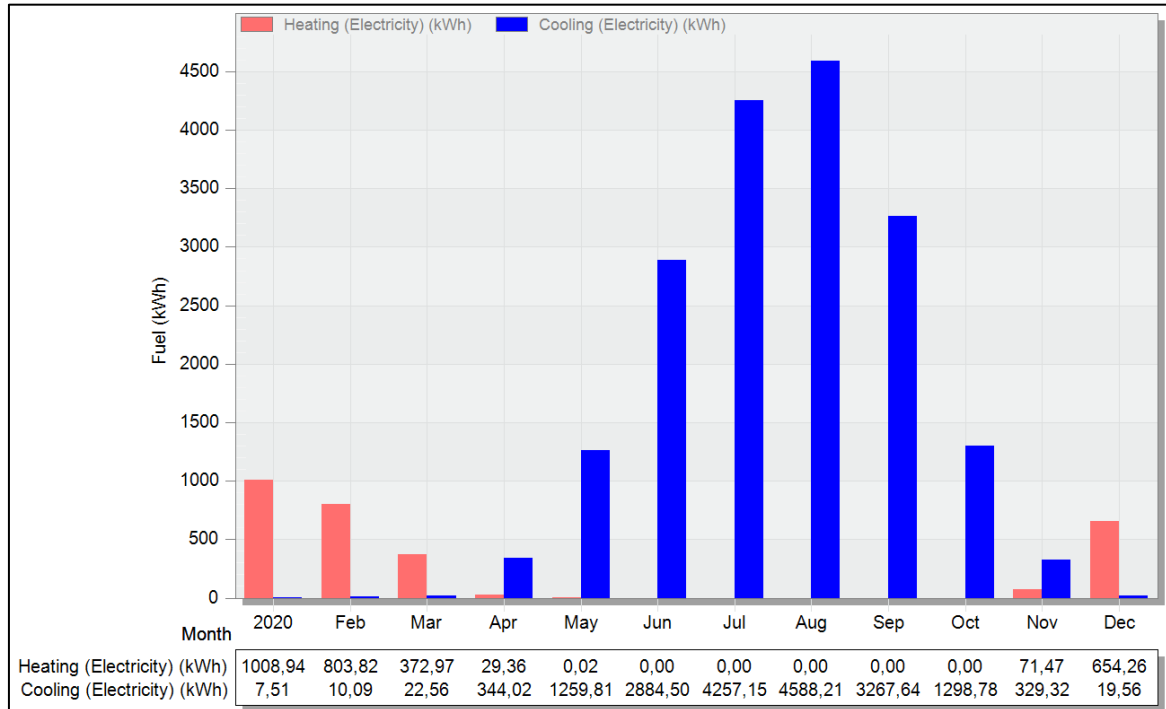
Isı köprüsünü en aza indiren tasarımın yanı sıra Pasif Ev Standardı'nın bir diğer prensibi olan ‘Hava Sızdırmazlığın’ sağlanarak yapıdaki ısı kaybı ve kazancının azaltılması adına hava giriş çıkışının en aza indirilmesi gerekmektedir. Literatür taramasının ilk bölümünde incelendiği üzere, Pasif Evlerin hava geçirmezliği 50 Pascal'daki (hem basınçlı hem de basınçsız) bir basınç testi sırasında sızma hızı saat başına toplam hacmin 0,6'sından küçük olmalıdır. Bu bağlamda, DesignBuilder simülasyon programındaki parametreler içerisinde bulunan ve baz model için 1,0 ac/h olarak belirlenen hava sızdırmazlık değeri, TBM için 0,6 ac/h olarak tanımlanacaktır.

Çizelge 5.6. TBM'nin hava sızdırmazlık/ısı köprüsü entegreleri ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

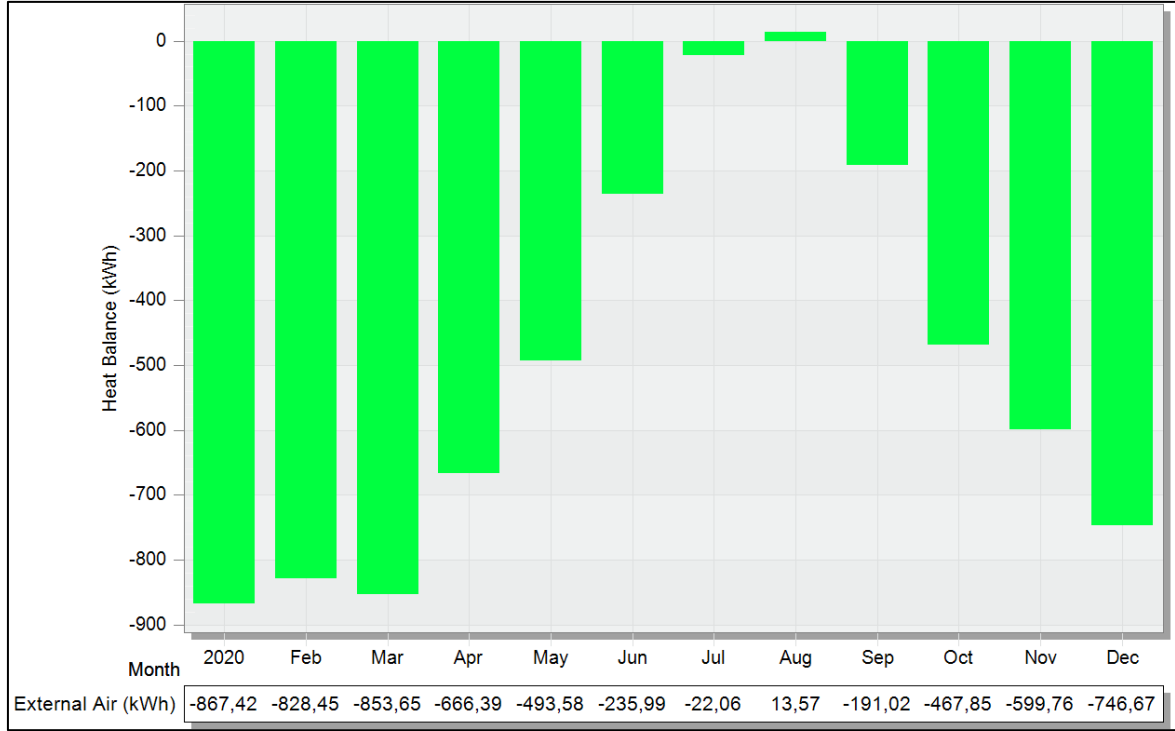
Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
30540,51	133,07



Şekil 5.9. TBM'nin hava sızdırmazlık/ısı köprüsü entegreleri ile yıllık enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.10. TBM'nin hava sızdırmazlık/ısı köprüsü entegreleri ile aylık soğutma ve ısıtma yükü (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.11. TBM'nin hava sızdırmazlık/ısı köprüsü entegreleri ile sızdırmazlık verileri (DesignBuilder program çıktısıdır)

TBM'nin hava sızdırmazlık değeri 1,0 ac/h'dan 0,6'e değiştirildiğinde ve ısı köprülerinin engellenmesi ile oluşan değişimler çizelgelerde gösterilmiştir. Modelin yıllık soğutma yükünde, değer 18.800,47 kWh'dan (Çizelge 5.5.) 18.289,15 kWh'a (Şekil 5.9.) düşerek, 511,32 kWh'lık bir farkla yaklaşık %3'lük bir iyileşme söz konusu olmaktadır. Yıllık ısıtma yükü çerçevesinde ise değer 4.112,53 kWh'dan (Çizelge 5.5.) 2.940,84 kWh'a (Şekil 5.9) düşerek, 1.171,69 kWh'lık bir farkla yaklaşık %29'luk bir iyileşme görülmektedir. Modelin tahmini toplam enerji kullanımı bazında ise değer 32.223,42 kWh'dan (Çizelge 5.5.) 30.540,41 kWh'a (Çizelge 5.6.) gerileyerek, 1.683,01 kWh'lık bir farkla yaklaşık %5'lik toplam enerji kullanımında iyileşme tespit edilmiştir.

5.2.2. Yüksek performanslı pencere tipi

Bir diğer Pasif Ev Standardı prensibi olan yüksek performanslı pencereler için, literatür çalışması bölümünde pencere camının tek başına maksimum 0,8 W/m²K U-değeri ile sınırlı olduğu ve yapıya uygulanan pencerenin ise toplam U-değerinin 0,85 W/m²K ya da daha düşük bir değer olması gerektiği belirtilmiştir. Ancak bu durumun ısıtma yükü temelli bölgeler için geçerli olduğu, sıcak iklim bölgelerinde daha yüksek U-değerleri ile Pasif Ev enerji taleplerine ulaşılabilceği raporlanmıştır.

TBM Antalya ili güncel yapı tipolojisine uygun olarak %30 pencere-duvar oranı ve 6mm düz cam ile tasarlandığı için, pencere tipi çok önemli olacağı ön görülmektedir. Pencere performansını tanımlayan ve DesignBuilder simülasyon programından alınan, Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenlik (SHGC: Solar Heat Gain Coefficient) ve U-Değerleri Çizelge 5.7.'de belirtilmiştir. Bu bağlamda, Pasif Ev Standardı'nın gerekliliği olan 0,80 W/m²K U-değerini sağlayan üçlü cam tiplerinden, soğutma yükünü azaltabilmesi adına SHGC değeri en düşük olan üç camlı (renkli) çift low-e katmanlı (6mm renkli low-e cam+16mm argon+3mm cam+16mm argon+3mm low-e cam) pencere tipi incelenecektir. Bunun yanında, üçlü cam maliyetinin çok fazla olması ve yapı kabuğu ısı yalıtım katmanını ısıtma yükünün istenen değere düşme ihtimali göz önünde bulundurularak, TBM'ye üçlü cam tipinin yanı sıra çift camlı (renkli) low-e (6mm renkli low-e cam+16mm argon+6mm low-e cam) pencere tipi de uygulanarak performansları karşılaştırmalı olarak analiz edilecektir. Ayrıca, ısı yalıtım performansı daha iyi olduğu için baz modelde kullanılan ahşap çerçeve yerine, yalıtımlı PVC çerçeve tercih edilecektir.

Çizelge 5.7. Cam tiplerinin SHGC ve U-değerleri (yazar tarafından hazırlanmıştır)

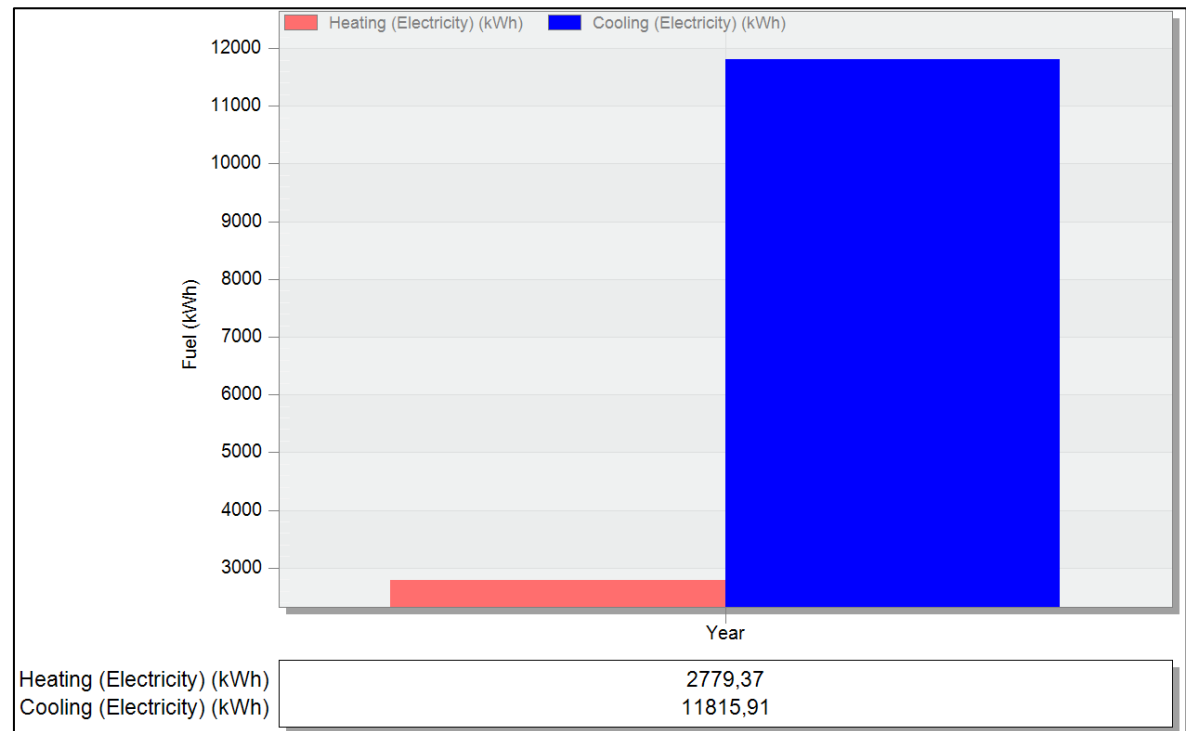
CAM TİPLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	CAM & ÇERÇEVE TİPLERİ		SHGC	U-DEĞERİ (W/m ² K)
	1	6mm Düz Cam (Kullanılan)	0,819	5,778
	2	Çift Cam (6mm+13mm hava+6mm)	0,703	2,665
	3	Çift Cam (6mm+13mm argon+6mm)	0,704	2,511
	4	Çift Cam Low-E (6mm low-e+13mm hava+6mm low-e)	0,483	1,345
	5	Çift Cam Low-E (6mm low-e+13mm argon+6mm low-e)	0,488	1,165
	6	Çift Cam (Renkli) Low-E (6mm renkli low-e+13mm hava+6mm low-e)	0,321	1,345
	7	Çift Cam (Renkli) Low-E (6mm renkli low-e+13mm argon+6mm low-e)	0,319	1,165
	8	Üçlü Cam (Hava Boşluklu) (3+13+3+13+3)	0,684	1,757
	9	Üçlü Cam (Argon Gazı Boşluklu) (3+13+3+13+3)	0,684	1,620
	10	Üçlü Cam Low-E (Hava Boşluklu) (3 low-e+13 hava+3mm cam+13 hava+3 low-e)	0,474	0,982
	11	Üçlü Cam Low-E (Argon Gazı Boşluklu) (3 low-e+13 argon+3mm cam+13 argon+3 low-e)	0,474	0,780
	12	Üçlü Cam (Renkli) Çift Low-E Katmanlı (Hava Boşluklu) (6 renkli low-e+13hava+3cam+13hava+3 low-e)	0,296	0,979
	13	Üçlü Cam (Renkli) Çift Low-E Katmanlı (Argon Gazlı) (6 renkli low-e+13argon+3cam+13argon+3 low-e)	0,291	0,778

TBM'ye üçlü cam (renkli) low-e (argon) uygulanması sonucu, modelin yıllık soğutma yükü 18.289,15 kWh'dan (Şekil 5.9.) 11.815,91 kWh'a (Şekil 5.12.) düşerek, 6.473,24 kWh'lık

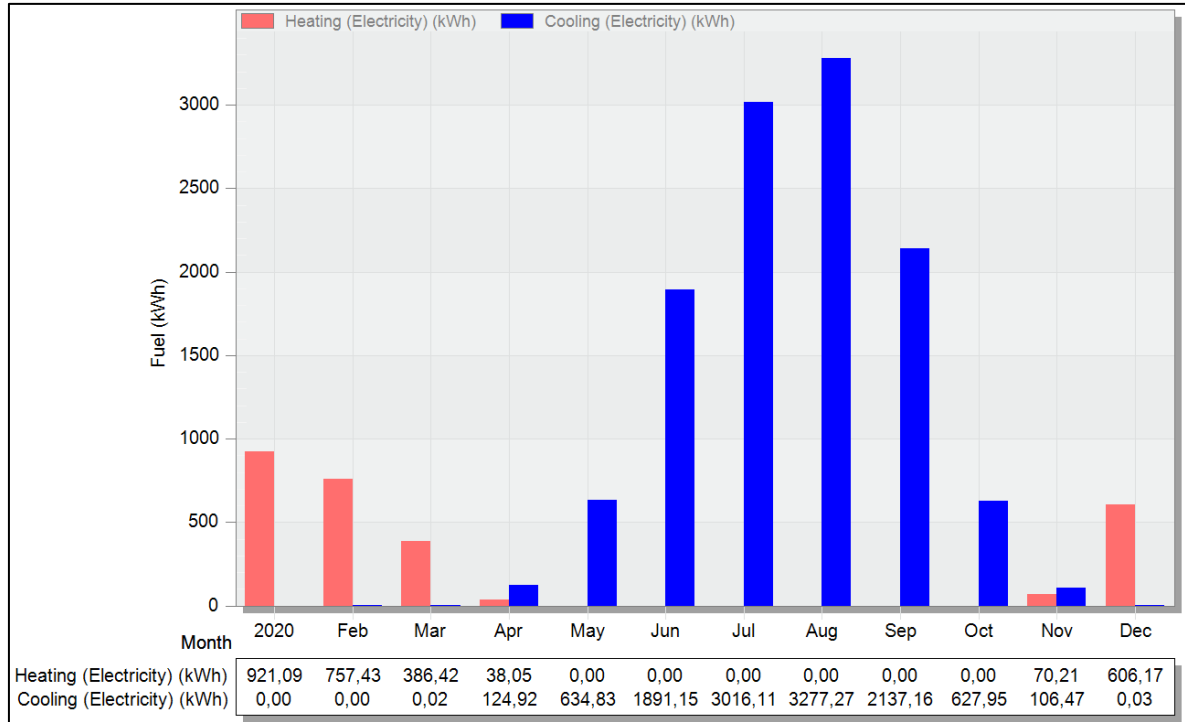
bir farkla enerji performansında yaklaşık %35’lik bir iyileşme gözlemlenmiştir. Yıllık ısıtma yüküne bakıldığında, 2.940,84 kWh’den (Şekil 5.9.) 2.779,37 kWh’a düşerek (Şekil 5.12), 161,47 kWh’lık bir farkla yaklaşık %5’lik bir iyileşme olduğu görülmektedir. Soğutma ve ısıtma yükündeki performans iyileşmeleri arasındaki farkın sebebinin, seçilen üçlü pencere tipinin güneş ışığı geçirgenliğinin çok düşük olması dolayısıyla yapının güneş ışınından enerji kazanımının sağlanamaması olduğu öngörülmektedir. Modelin tahmini toplam enerji kullanımı çerçevesinde ise değer 30.540,41 kWh’den (Çizelge 5.6.) 23.905,70 kWh’a (Çizelge 5.8.) gerileyerek, 6.634,71 kWh’lık farkla yaklaşık %22’lik enerji performansında iyileşme söz konusudur.

Çizelge 5.8. TBM’ye üçlü cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

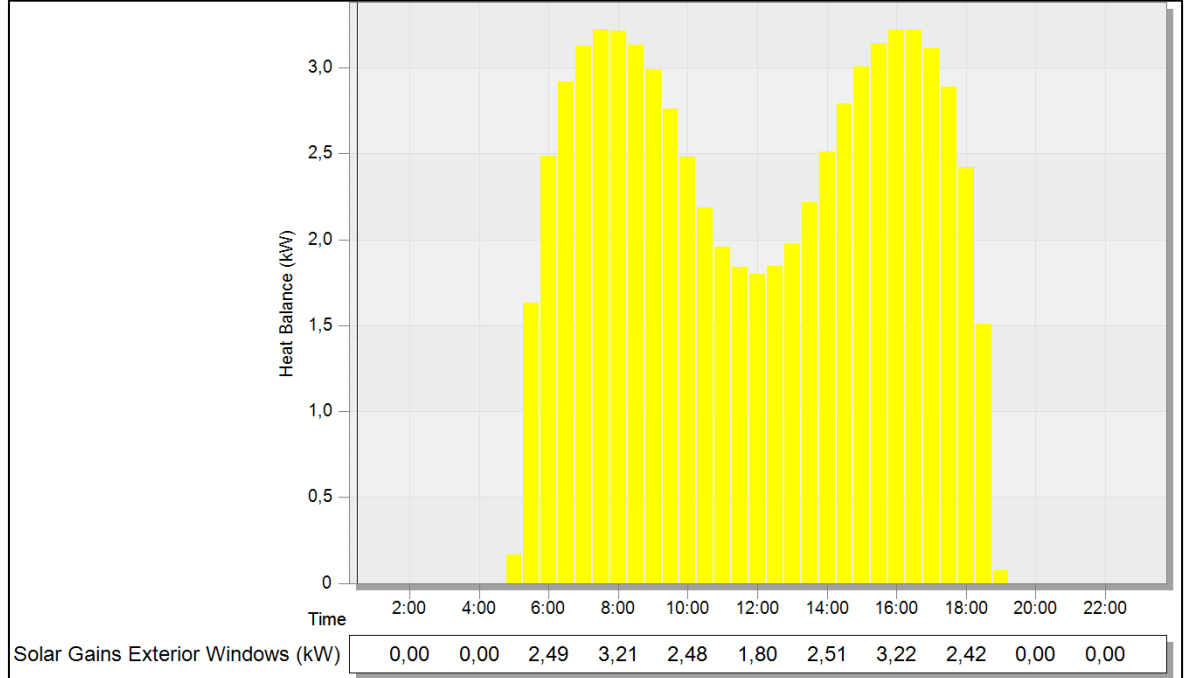
Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
23905,70	104,16



Şekil 5.12. TBM’ye üçlü cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile yıllık enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.13. TBM'nin üçlü cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile aylık soğutma ve ısıtma yükü (DesignBuilder program çıktısıdır)



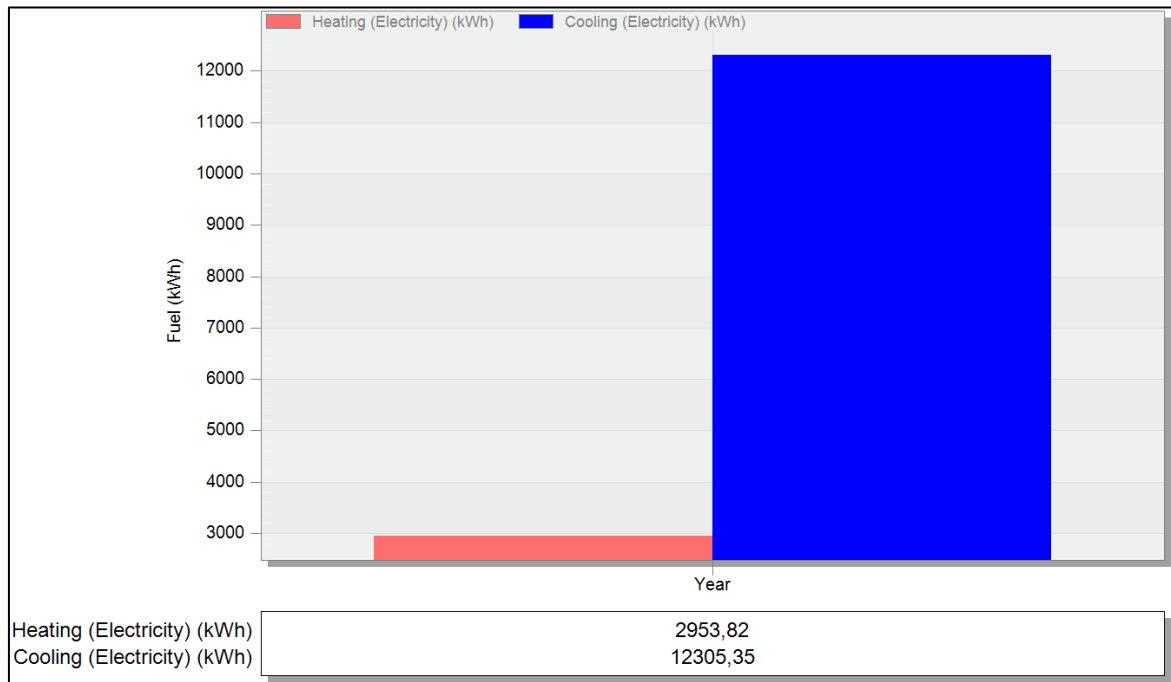
Şekil 5.14. TBM'ye üçlü cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile 21 Haziran günü pencerelerden güneş ışını kazanımı (DesignBuilder program çıktısıdır)

TBM'ye çift cam (renkli) low-e (argon) uygulanması sonucu, modelin yıllık soğutma yükü 18.289,15 kWh'dan (Şekil 5.9.) 12.305,35 kWh'a (Şekil 5.15.) düşerek, 5.983,80 kWh'lık

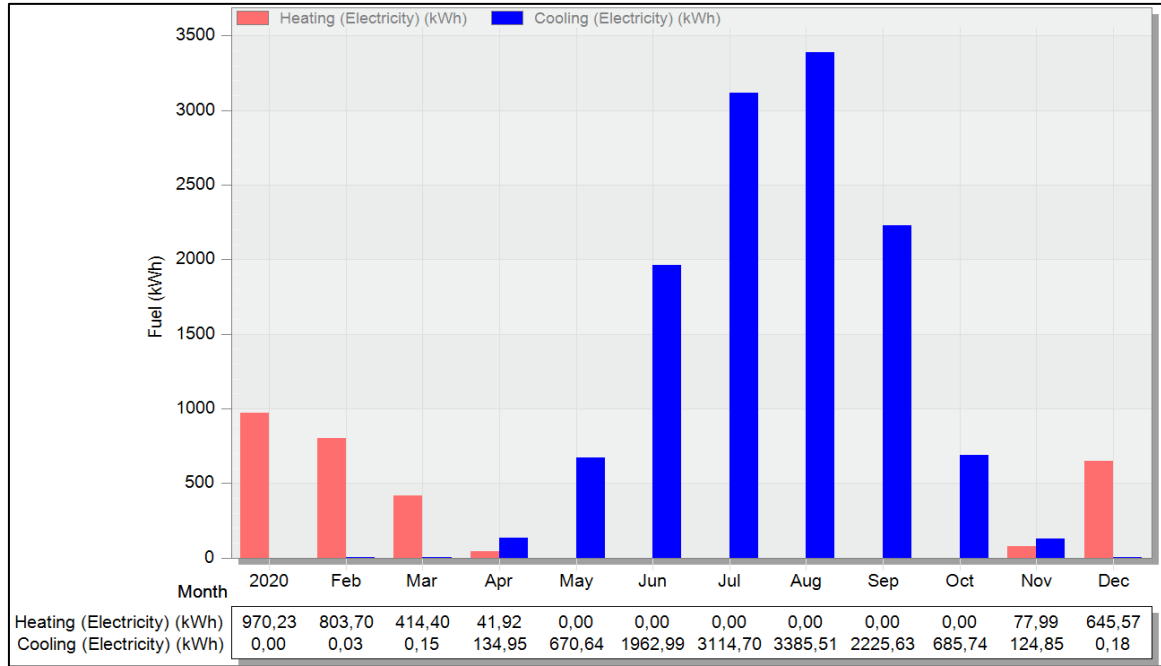
bir farkla enerji performansında yaklaşık %33'lük bir iyileşme gözlemlenmiştir. Yıllık ısıtma yüküne bakıldığında, 2.940,84 kWh'dan (Şekil 5.9.) 2.953,82 kWh'a yükselerek (Şekil 5.15), 12,98 kWh'lık bir farkla enerji performansında çok küçük oranlı bir kötüleşme olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin, SGHC değerinde önemli bir fark yokken, uygulanan çift cam pencerenin üçlü cam tipine oranla düşük U-değeri olmasıdır. Modelin tahmini toplam enerji kullanımı çerçevesinde ise değer 30.540,41 kWh'dan (Çizelge 5.6.) 24.569,59 kWh'a (Çizelge 5.9.) gerileyerek, 5.979,82 kWh'lık farkla yaklaşık %20'lik enerji performansında iyileşme söz konusudur.

Çizelge 5.9. TBM'ye çift cam (renkli low-e (argon) uygulanması ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

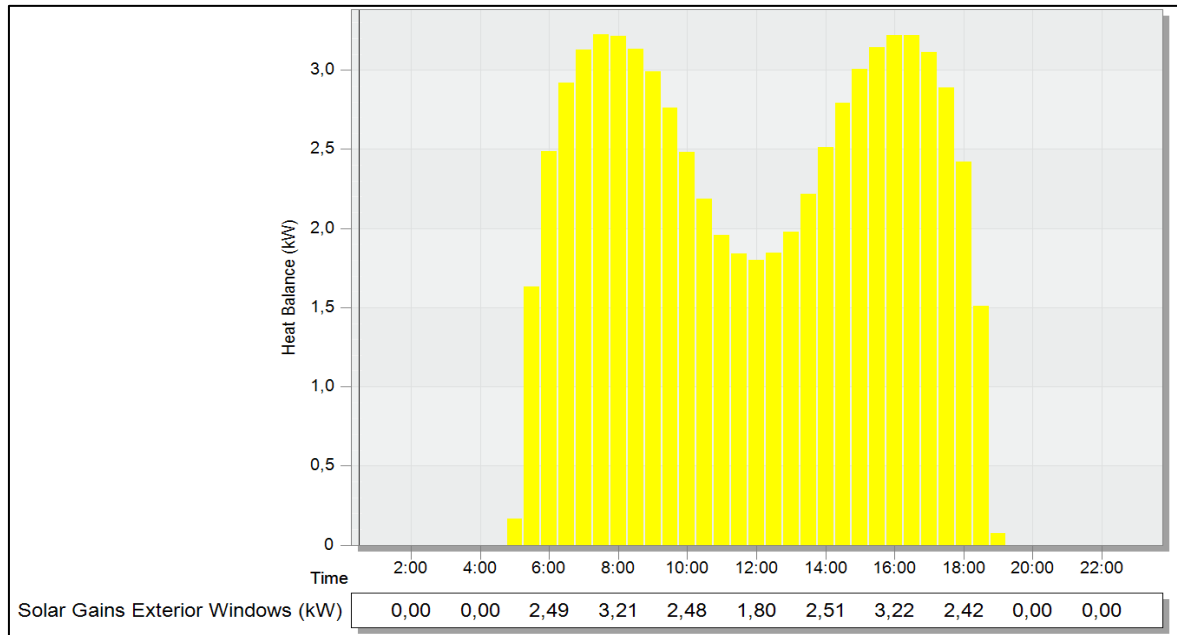
Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
24569,59	107,05



Şekil 5.15. TBM'ye çift cam (renkli low-e (argon) uygulanması ile yıllık enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.16. TBM'nin çift cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile aylık soğutma ve ısıtma yükü (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.17. TBM'ye çift cam (renkli) low-e (argon) uygulanması ile 21 Haziran günü pencerelerden güneş ışını kazanımı (DesignBuilder program çıktısıdır)

Sonuç olarak, modele uygulanan pencere tipleri karşılaştırıldığında; her ne kadar üçlü cam uygulaması soğutma ve ısıtma yükü bağlamında daha performanslı olurken, toplamda yıllık enerji tasarrufu kapsamında ise aralarındaki fark sadece %2 olarak sonuçlanmıştır. Son

olarak, maliyet ve malzeme kullanımı olarak değerlendirildiğinde, üçlü cam tipinin çift cama oranla çok daha maliyetli olduğu göz önünde bulundurularak, simülasyon çalışmalarına maliyet, malzeme ve ulaşılabilirlik açısından daha avantajlı olan çift cam ile devam edilecektir. Pasif Ev eklemelerinin sonunda, üçlü cam yerine çift cam seçiminin doğruluğu değerlendirilecektir.

5.2.3. Yapı kabuğu ısı yalıtımı

Pasif Ev Standardı'nın bir diğer prensibi olan ısı yalıtım katmanı, literatür araştırmasında da belirtildiği üzere, yapının dış kabuğunun tüm opak bileşenlerine (duvar-zemin-çatı) son derece yüksek düzeyde yalıtım uygulanmasını içermektedir. Pasif Ev enerji taleplerinin sağlanabilmesi için dış kabuğun U değerleri 0,10–0,15 W/m²K arasında olması gerektiği belirtilmektedir.

Yalıtım malzemesinin seçimi konusunda DesignBuilder simülasyon programından, Türkiye'de bulunan ve rakibi XPS (Extruded Polystyrene)'e göre yanıcılık konusunda ciddi avantajı olan, 0,035 W/mK ısı iletkenlik değerindeki taşıyıcı levha seçilmiştir. Kullanılacak malzemenin kalınlığı ise daha önce belirtilen 0,10–0,15 W/m²K'lik U-Değerinin sağlanması için DesignBuilder simülasyon programı ile yapılan çalışmalar sonucu;

- 20 cm kalınlığındaki Beton bloklardan oluşan duvarlara, 20 cm taşıyıcı uygulanarak 0,149 W/m²K, 30 cm taşıyıcı uygulanarak 0,103 W/m²K U-değeri,
- 15 cm kalınlığındaki betonarme çatı döşemesinde; 20 cm taşıyıcı uygulanarak 0,145 W/m²K, 30 cm taşıyıcı uygulanarak 0,101 W/m²K U-değeri,
- 15 cm kalınlığındaki betonarme zemin döşemesinde; 20 cm taşıyıcı uygulanarak 0,146 W/m²K, 30 cm taşıyıcı uygulanarak, 0,101 W/m²K U-değeri,
- Son olarak modeldeki kırma çatı için 22 cm taşıyıcı uygulanarak 0,146 W/m²K, 32 cm taşıyıcı uygulanarak 0,101 W/m²K U-değeri sağlanmaktadır.

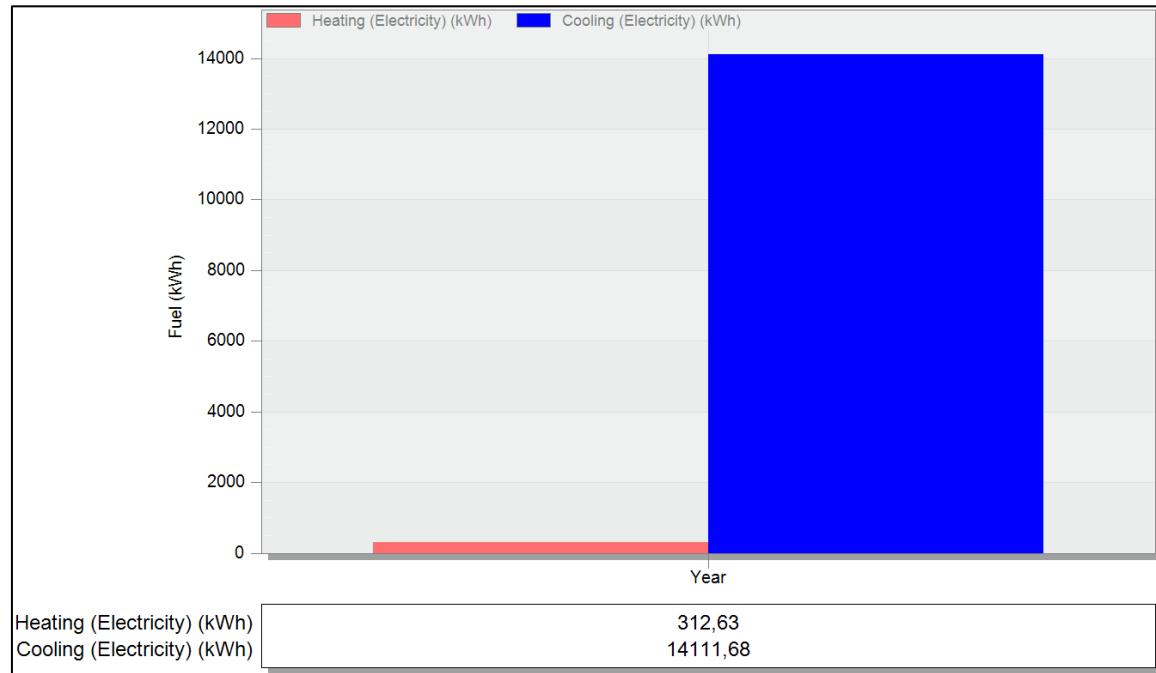
Bu bağlamda, araştırılan Pasif Ev Standardı verilerine göre 20 cm kalınlığındaki taşıyıcı levhalar yeterli olması gerekmektedir. Bu bölümde, TBM'ye 20 cm taşıyıcı levhaların uygulanması ile DesignBuilder simülasyon programından alınan enerji performansı sonuçları baz model ile karşılaştırmalı şekilde değerlendirilecek ve 20 cm yalıtım kalınlığının gerekliliği değerlendirilecektir. Ayrıca, Şekil 5.4.'te görüldüğü üzere, toprak ile

temasta olan zemin döşemesi soğutma yüküne gün içerisinde sürekli yardımcı olmaktadır. Bu sebeple, bu bölümde son olarak, modelin zemin döşemesine yalıtım uygulanmadan simülasyonu yapılarak, ortaya çıkan enerji performansı tüm yapı kabuğuna yalıtım uygulanması ile oluşan sonuçlarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir.

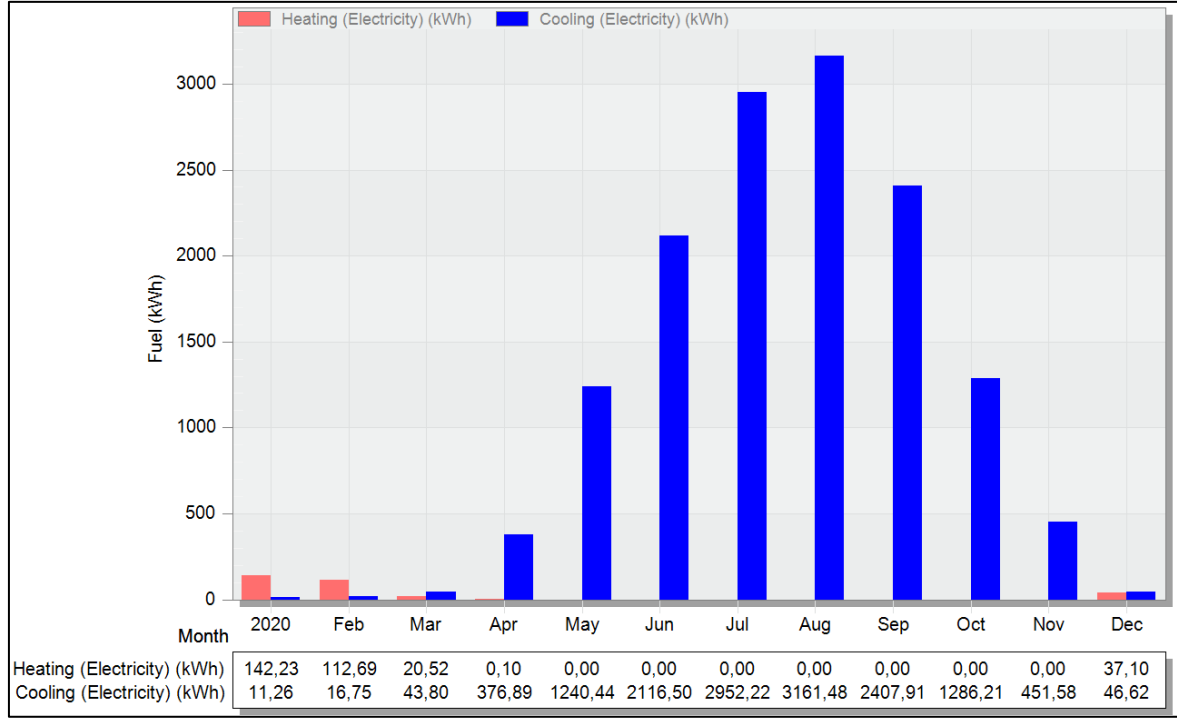
TBM'nin yapı kabuğuna 20 cm kalınlığındaki taşıyıcı yalıtım tabakası uygulanması sonucu, modelin yıllık soğutma yükü 12,305,35 kWh'dan (Şekil 5.15.) 14.111,68 kWh'a (Şekil 5.18.) yükselerek, 1.806,33 kWh'lık bir artışla enerji performansında yaklaşık %13'lük bir kötüleşme gözlemlenmiştir. Yıllık ısıtma yüküne bakıldığında ise değer 2.953,82 kWh'dan (Şekil 5.15.) 312,63 kWh'a (Şekil 5.18.) düşerek, 2.641,19 kWh'lık bir farkla enerji performansında yaklaşık %89'luk bir iyileşme söz konusudur. Modelin tahmini toplam enerji kullanımı çerçevesinde ise değer 24.569,59 kWh'dan (Çizelge 5.9.) 23.734,73 kWh'a (Çizelge 5.10.) düşerek, 834,86 kWh'lık farkla yaklaşık %3'lük enerji performansında iyileşme söz konusudur.

Çizelge 5.10. TBM'nin yapı kabuğuna 20cm ısı yalıtımı eklenmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

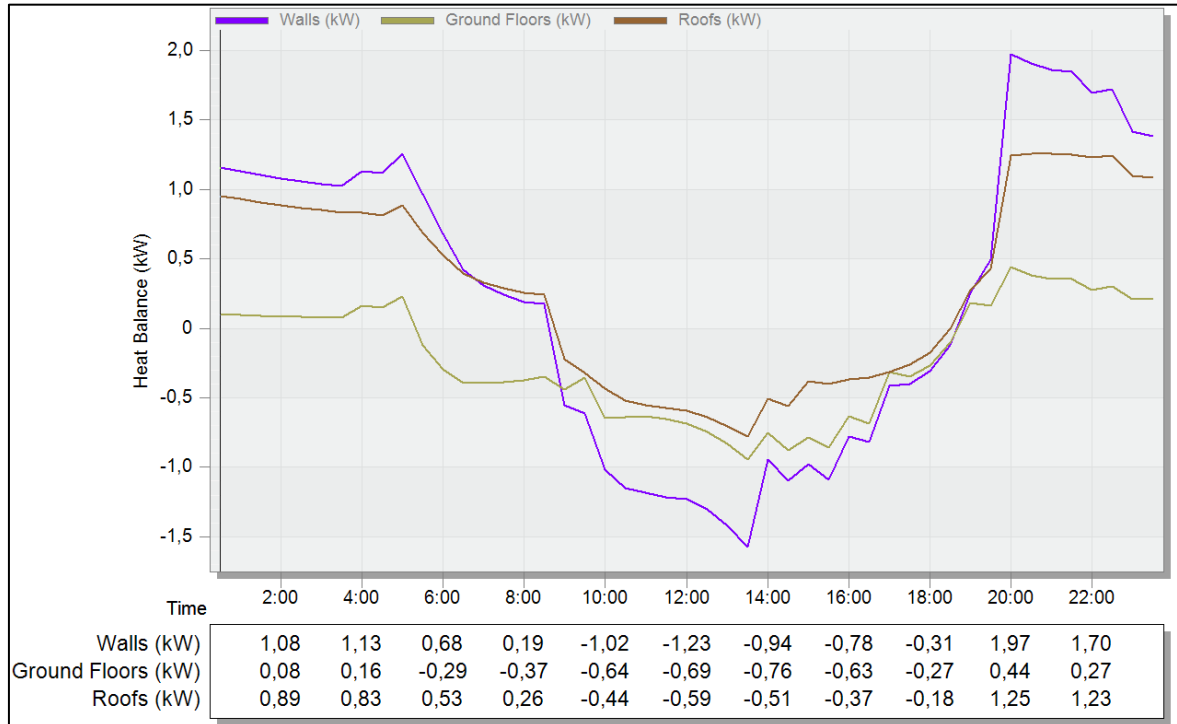
Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
23734,73	103,42



Şekil 5.18. TBM'nin yapı kabuğuna 20cm ısı yalıtımı eklenmesi ile yıllık enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.19. TBM'nin yapı kabuğuna 20cm ısı yalıtımı eklenmesi ile aylık soğutma ve ısıtma yükü (DesignBuilder program çıktısıdır)



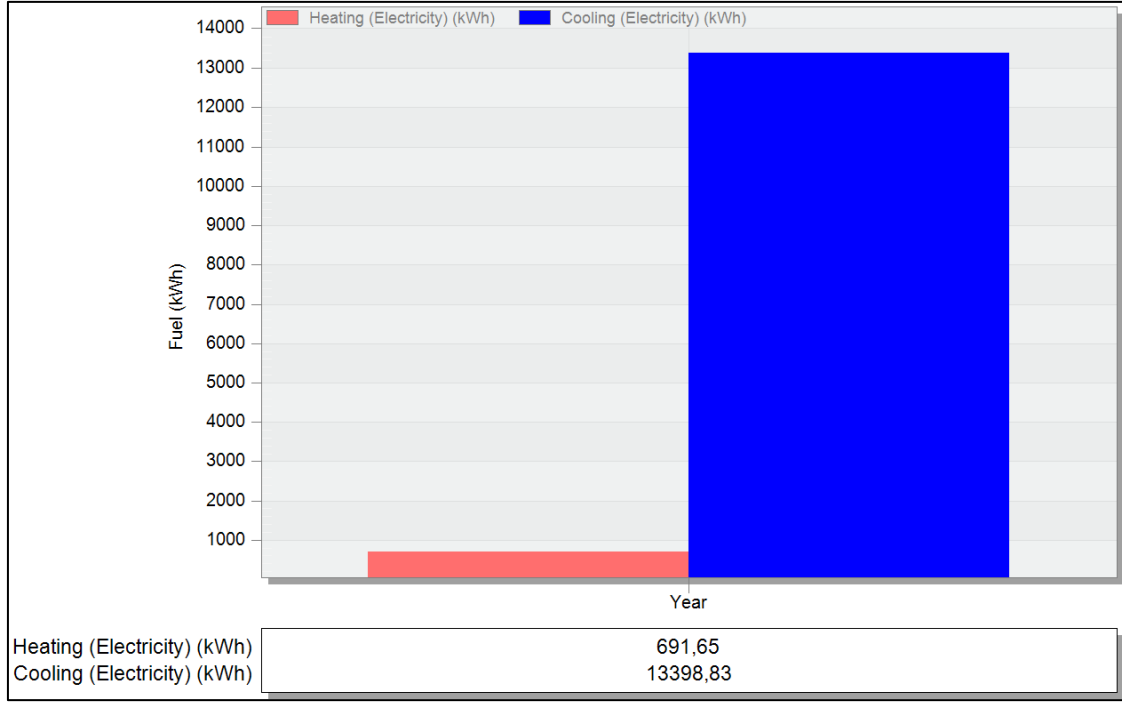
Şekil 5.20. TBM'nin yapı kabuğuna 20cm ısı yalıtımı eklenmesi ile 21 haziran günü ısı kazanımları (DesignBuilder program çıktısıdır)

Pasif Ev gereksinimleri gereği yapının duvarlarının minimum $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ u-değerinin sağlanması sonucunda, yapının ısıtma yükü %89 oranında azalarak, standardın $15 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$ sınırı olan değerin çok altında kalarak $1,36 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$ değere ulaşmıştır. Bunun aksine, uygulanan süper yalıtımın tüm kabuğa uygulanması sonucu yapının soğutma yükünün %13 arttığı görülmektedir. Toplam yıllık enerji tüketim verilerine bakıldığında ise sadece %3'lük bir iyileşme sağlandığı görülmektedir. Bu sebeple, soğutma yükünü azaltmak ve ısıtma yükünü talep edilen değere yaklaştırmak adına, TBM'nin yapı kabuğuna 20cm ısı yalıtım kalınlığı yerine, Türkiye şartlarında bulunması daha kolay olan ve maliyeti çok daha düşük olan 8cm taşıyıcı levha uygulanarak simülasyon çalışması yapılacaktır.

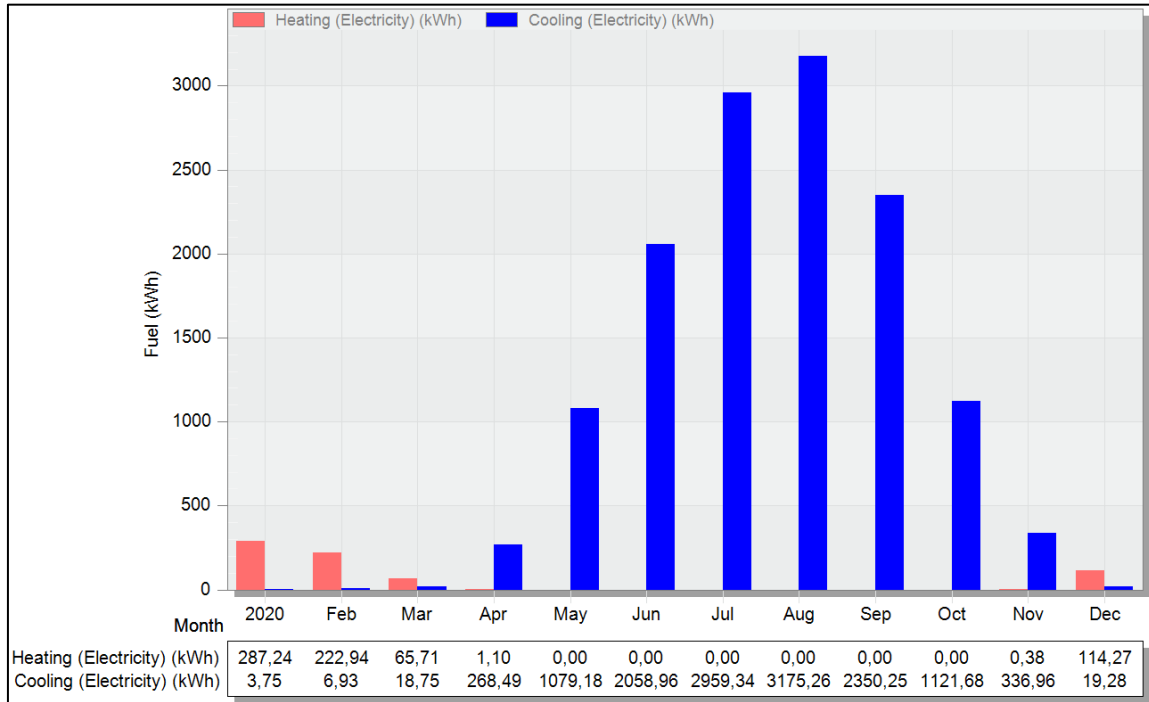
TBM'nin yalıtımsız yapı kabuğuna, 8 cm kalınlığındaki taşıyıcı levhaların uygulanması sonucu, modelin yıllık soğutma yükü $12,305,35 \text{ kWh}$ 'dan (Şekil 5.15.) $13.398,83 \text{ kWh}$ 'a (Şekil 5.21.) yükselerek, $1.093,48 \text{ kWh}$ 'lık bir artışla enerji performansında yaklaşık %8'lik bir kötüleşme gözlemlenmiştir. Yıllık ısıtma yüküne bakıldığında ise değer $2.953,82 \text{ kWh}$ 'dan (Şekil 5.15.) $691,65 \text{ kWh}$ 'a (Şekil 5.21.) düşerek, $2.262,17 \text{ kWh}$ 'lık bir farkla enerji performansında yaklaşık %77'lik bir iyileşme söz konusudur. Modelin tahmini toplam enerji kullanımı çerçevesinde ise değer $24.569,59 \text{ kWh}$ 'dan (Çizelge 5.9.) $23.400,90 \text{ kWh}$ 'a (Çizelge 5.11.) gerileyerek, $1.168,69 \text{ kWh}$ 'lık farkla yaklaşık %5'lik enerji performansında iyileşme söz konusudur.

Çizelge 5.11. TBM'nin yapı kabuğuna 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

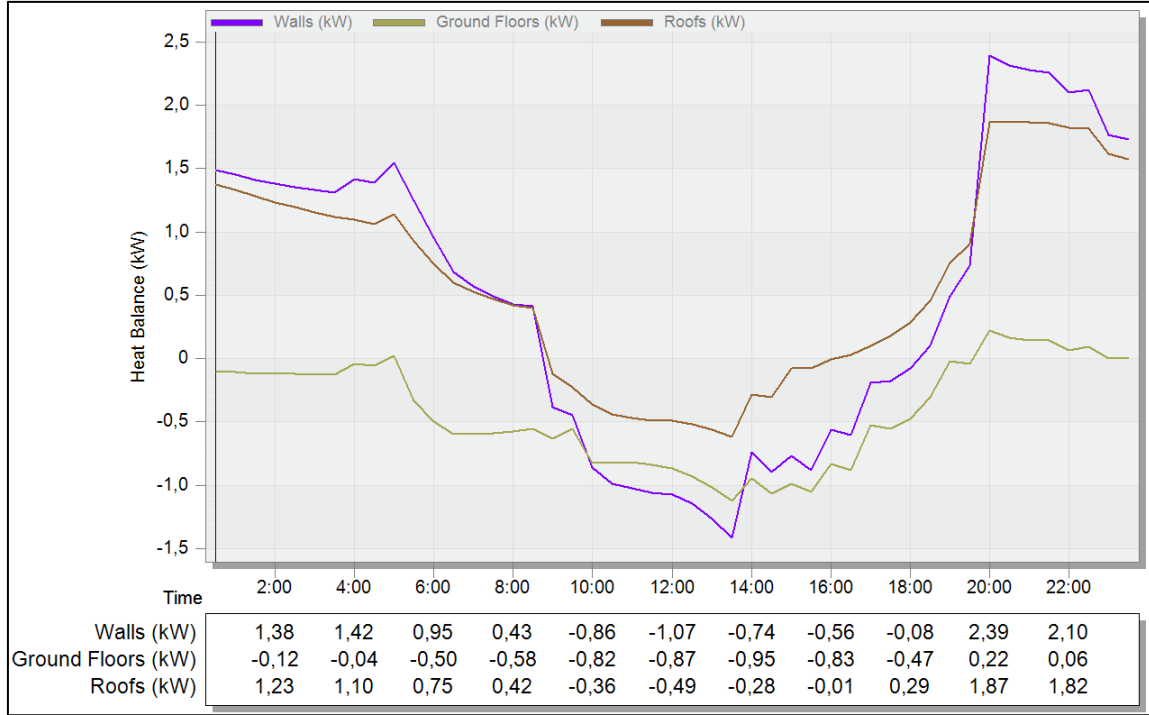
Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m^2]
23400,90	101,96



Şekil 5.21. TBM'nin yapı kabuğuna 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile yıllık enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.22. TBM'nin yapı kabuğuna 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile aylık soğutma ve ısıtma yükü (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.23. TBM'nin yapı kabuğuna 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile 21 Haziran günü ısı kazanımları (DesignBuilder program çıktısıdır)

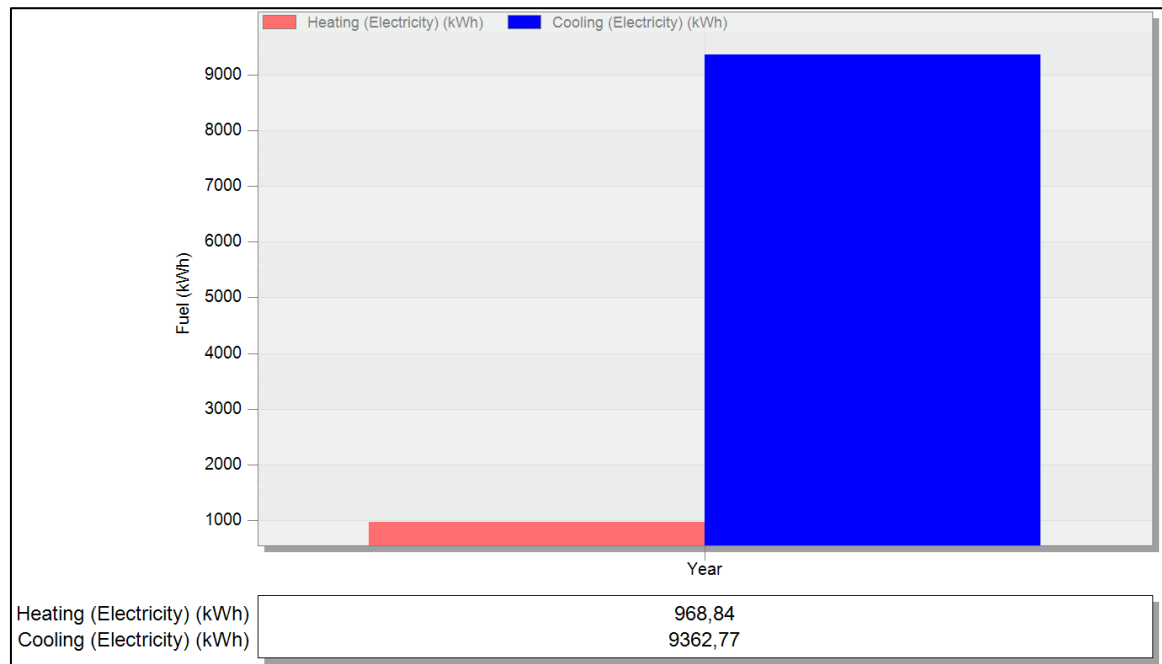
TBM'ye 8 cm taşıyıcı yalıtımı yapılması sonucunda, 20 cm taşıyıcı yalıtımına oranla toplam yıllık enerji tüketimi ve soğutma yükünde daha yüksek performans görülmüştür. Her ne kadar ısıtma yükünde daha az performans göstermiş olsa da 8 cm taşıyıcı uygulanması ile model Pasif Ev Standardı'nın talebi olan 15 kWh/ m²/yıl ısıtma yükünün yine çok altında kalarak 3,01 kWh/ m²/yıl ısıtma yükü değerine ulaşmıştır. Ayrıca, her iki yalıtım kalınlığı uygulamasında da görüldüğü üzere (Şekil 5.20 ve Şekil 5.23.) toprak ile temasta olan zemin döşemesine yalıtım yapılması ile toprağın daha düşük olan sıcaklığı dolayısıyla soğutma yüküne yardımının azaldığı görülmektedir. Bu sebeple, simülasyon çalışmasına daha yüksek performans veren 8 cm taşıyıcı yalıtım katmanından zemin döşemesi yalıtım katmanı çıkartılarak devam edilecektir.

TBM'nin toprak ile temas eden zemin döşemesi hariç yapı kabuğuna, 8 cm kalınlığındaki taşıyıcı uygulanması sonucu, modelin yıllık soğutma yükü 12,305,35 kWh'dan (Şekil 5.15.) 9.362,77 kWh'a (Şekil 5.24.) düşerek, 2.942,58 kWh'lık bir farkla enerji performansında yaklaşık %24'lük bir iyileşme gözlemlenmiştir. Yıllık ısıtma yüküne enerji performansına bakıldığında değer 2.953,82 kWh'dan (Şekil 5.15.) 968,84 kWh'a (Şekil 5.24.) düşerek, 1.984,98 kWh'lık bir farkla yaklaşık %67'lik bir iyileşme söz konusudur. Modelin tahmini toplam enerji kullanımı çerçevesinde ise değer 24.569,59 kWh'dan (Çizelge 5.9.) 19.642,03

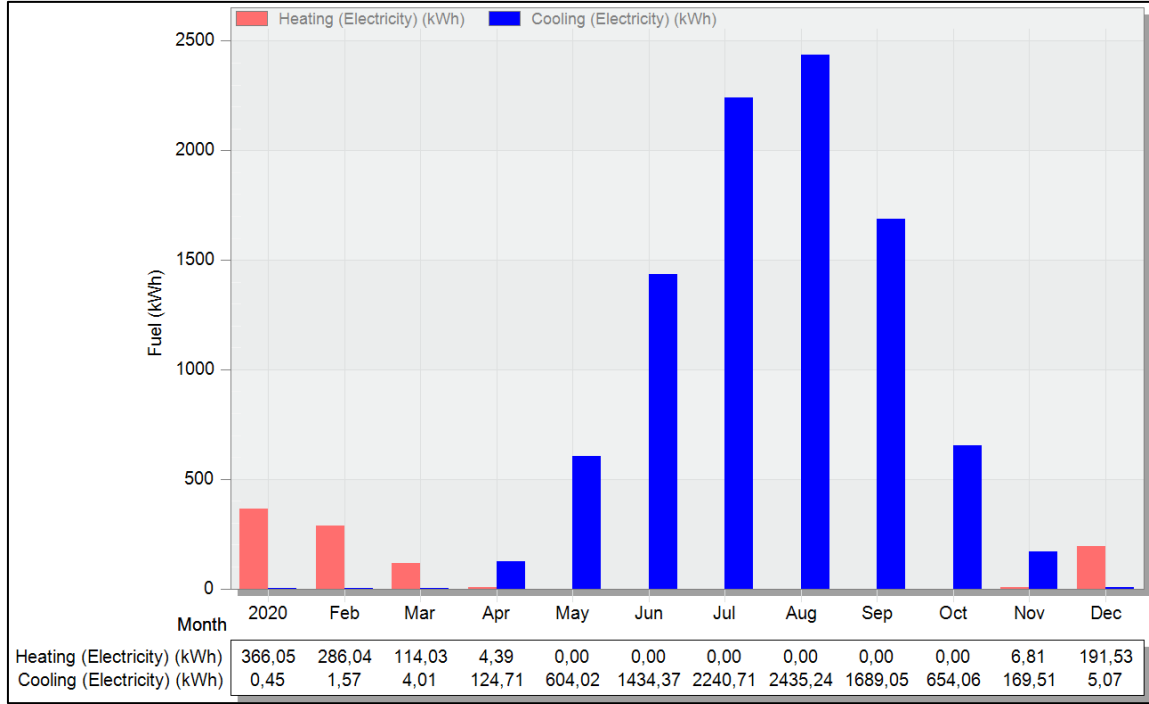
kWh'a (Çizelge 5.12.) gerileyerek, 4.927,56 kWh'lık farkla yaklaşık %20'lik enerji performansında iyileşme söz konusudur.

Çizelge 5.12. TBM'nin yapı kabuğuna zemin döşemesi hariç 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

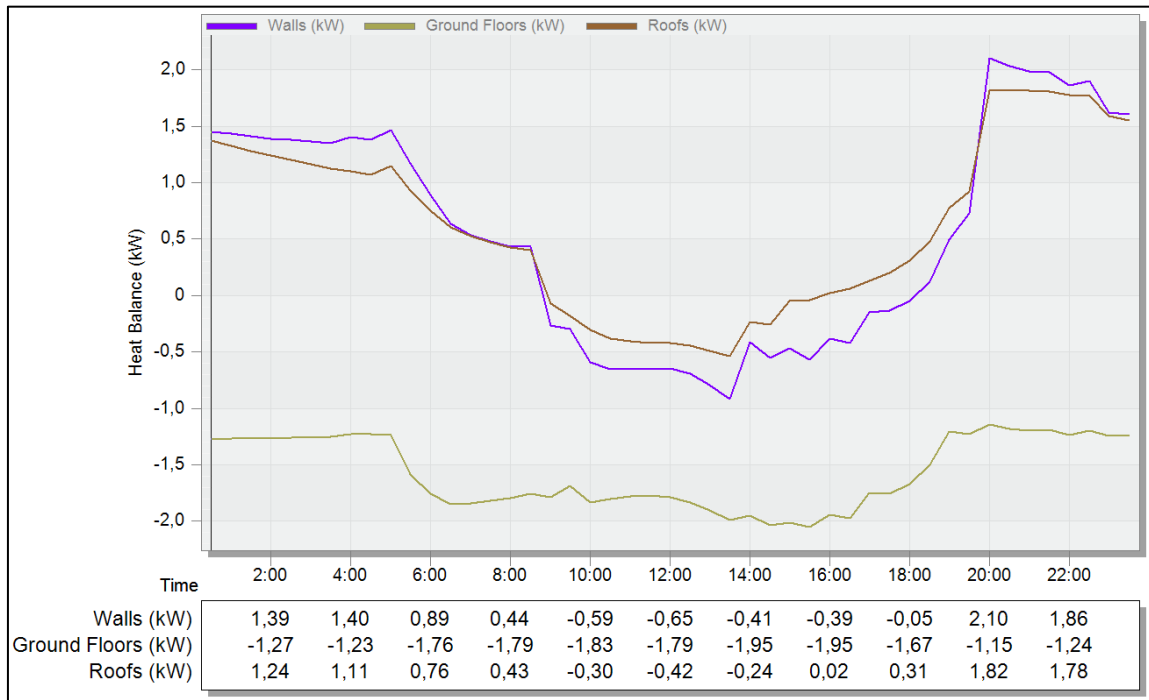
Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
19642,03	85,58



Şekil 5.24. TBM'nin yapı kabuğuna zemin döşemesi hariç 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile yıllık enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.25. TBM'nin yapı kabuğuna zemin döşemesi hariç 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile aylık enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.26. TBM'nin yapı kabuğuna zemin döşemesi hariç 8cm ısı yalıtımı eklenmesi ile 21 haziran günü ısı kazanımları (DesignBuilder program çıktısıdır)

TBM'nin her iki yalıtım kalınlığı uygulamasında zemin döşemesine ısı yalıtımı eklenmesi ile oluşan sonuçlar Çizelge 5.10., Çizelge 5.11., Şekil 5.18. ve Şekil 5.21. üzerinde gösterilmiştir. Sonuçlarda görülebileceği üzere, her iki durumda da ısıtma yükü yüzdesel olarak çok fazla düşse de soğutma yükünün arttığı görülmektedir. Yıllık toplam yüklere bakıldığında ise, 20 cm taşıyıcı uygulamasında %3, 8 cm taşıyıcı uygulamasında %5'lik bir azalma görülmektedir. Son olarak, zemin döşemesinden yalıtım katmanının kaldırılması ile yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda, zemin döşemesinin yalıtılmamasının toplam yıllık enerji tüketimine ve soğutma yüküne faydası olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple, bir sonraki bölümde pasif tasarım eklentileri incelenirken bu durum göz önüne alınacaktır ve simülasyonlar çalışmaları zemin döşemesinde yalıtım katmanı olmadan devam edilecektir.

Ayrıca, modele sadece zemin döşemesi hariç 8 cm yalıtım uygulanması sonrasında bile, TBM'nin 4,22 kWh/m²/yıl olan ısıtma talebi ile Pasif Ev Standardı maksimum ısıtma yükü talebi olan 15 kWh/m²/yıl değerinin çok altında kaldığı görülmektedir. Bu sebeple, sonraki bölümde araştırılacak soğutma yükünü azaltmaya yönelik entegre edilecek olan geleneksel pasif yöntemler sonrası alınan sonuçlar değerlendirilerek, gerekirse yalıtım kalınlığının daha da azaltılabileceği öngörülmektedir.

5.2.4. Isı geri kazanımlı iklimlendirme sistemi

Literatür çalışmasında incelenen, ısı geri kazanımı sağlayan havalandırma sistemi (MVHR) temelde enerji kayıplarını azaltmak adına iç mekandan çekilen havadaki ısıнын geri kazanılması üzerine kurulu bir aktif sistemdir. Her ne kadar bu sistem soğutma üzerinde etkisi olsa da ısıtma performansı temelli yapılarda daha yüksek verimli çalıştığı belirtilmektedir.

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda, Antalya gibi sıcak iklim bölgelerinde, özellikle yapı kabuğuna müdahale edilmesi ile aslında ısıtma yükünün bir sorun teşkil etmeyeceği görülmüştür. Bu bağlamda, çoğunlukla aktif soğutma sistemi gerekli olmaktadır. Isıtma yükünün Pasif Ev Standardı çerçevesinde aktif mekanik sistemin ısı geri kazanımına ihtiyaç olmadan sağlanmış olması sebebiyle, ısı geri kazanımı sağlayan havalandırma sistemlerinin kurulumu yapıya ek maliyet getirecektir.

Antalya'daki güncel konutlar incelendiğinde, iç mekanın soğutma ve ısıtma talebinin her ikisi için 'Split Klima' veya bazı bölgelerde ısıtma talebi için doğalgaz kullandığı görülmektedir. Geleneksel konutlara baktığımız zaman, her ne kadar inşa edildiği ilk dönemlerde yalnız pasif teknikler ile soğutma problemleri çözülmüş olsa da günümüzde aktif olarak kullanılan yapılarda iklimlendirme amaçlı klima sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu bağlamda baz modeller bu bilgiler çerçevesinde tasarlanmıştır (Çizelge 4.5.).

Bu tez çalışması, sıcak iklim bölgesinde tek aileli konut projeleri üzerinde pasif sistemlerin enerji performansına etkisi üzerine yoğunlaşması sebebiyle, aktif sistem olan iklimlendirme sistemleri, baz modellerde simülasyon programı üzerinden belirlenen klima ile sabit kalacak şekilde sınırlandırılmıştır.

5.2.5. Pasif ev tasarım kriterlerinin tümünün entegrasi ile oluşan sonuçların değerlendirilmesi

Tüm Pasif Ev tasarım ilkelerin TBM'ye tek bir modelde uygulanması ile oluşan model, Test Pasif Ev Modeli (TPEM) olarak adlandırılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmalarında TBM'ye yapılan entegreler ve entegrelerin yıllık toplam enerji yüküne etkileri Çizelge 5.13.'te gösterilmiştir. Modelde ısı köprülerinden kaçınılması ve hava sızdırmazlığın sağlanması ile yıllık toplam enerji yükünde %5'lik bir iyileşme olmuştur. Pencere tipinin, sıcak iklim şartları ve maliyet göz önünde bulundurularak, çift cam (renkli) low-e (argon dolgulu) + yalıtımlı PVC çerçeve ile değiştirilmesi ile yıllık toplam enerji yükü %20 azalmaktadır. Son olarak, yine sıcak iklim şartları ve maliyet göz önünde bulundurularak optimize edilen ısı yalıtım tabakasının eklenmesi ile yıllık toplam enerji tüketiminin %20 azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak, tüm Pasif Ev Standartları tasarım kriterlerinin TBM'ye tek seferde uygulanması sonucunda oluşan TPEM'nin TBM'ye göre, toplam yıllık soğutma yükünde yaklaşık %50, toplam yıllık ısıtma yükünde yaklaşık %76 ve toplam yıllık enerji tüketiminde ise toplamda yaklaşık %39 daha fazla performans gösterdiği görülmektedir (Çizelge 5.14.).

TBM'ye Pasif Ev Tasarım entegre edilmesi ile oluşan TPEM'nin Pasif Ev Standartları taleplerini, soğutma yükü hariç karşıladığı görülmektedir. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda; TPEM'nin toplam yıllık enerji talebinin 120 kWh/m²/yıl'lık Pasif Ev Standardı

talebine karşılık, 85,58 kWh/m²/yıl değeri ile sağladığı görülmektedir. Aynı şekilde, toplam ısıtma yüküne bakıldığında, Pasif Ev Standardı'nın 15 kWh/m²/yıl'lık maksimum talebine karşılık 4,22 kWh/m²/yıl'lık değer ile talebin karşılandığı görülmektedir. Ancak, direkt ve iklim şartlarına göre optimize edilerek uygulanan tüm entegrelere rağmen TPEM, Pasif Ev Standardı'nın 15 kWh/m²/yıl'lık yıllık soğutma yükü talebini karşılayamamıştır. Ancak TBM'ye göre %50 oranında iyileşerek 40,79 kWh/m²/yıl değerine ulaştığı görülmektedir. Bu bağlamda, bir sonraki bölümde uygulanacak soğutma yükünü düşürmeye yönelik geleneksel pasif uygulamaların gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.13. TBM'ye yapılan Pasif Ev entegreleri ve etkileri

PASİF EV ENTEGRELERİ	DETAYLAR	TEST BAZ MODELİ (TBM)	TEST PASİF EV MODELİ (TPEM)	TOPLAM ENERJİ YÜKÜNE ETKİSİ
	1 Isı Köprülerinin Engellenmesi / Hava Sızdırmazlık	1,0 ac/h	0,6 ac/h	5%
	2 Pencere Camı ve Çerçevesi Tipi	Tek Cam 6mm + Ahşap Çerçeve	Çift Cam (renkli) Low-e (argon) + Yalıtımlı PVC Çerçeve	20%
	3 Yapı Kabuğu Isı Yalıtımı (Duvar ve Çatı)	Isı Yalıtım örtüsü bulunmamaktadır	8 cm Taşyünü (Duvar, Çatı Döşemesi)	20%

Çizelge 5.14. Pasif Ev Standardı tasarım kriterlerinin uygulanması sonucu TBM ve TPEM'nin enerji performans sonuçları

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	DETAYLAR	TEST BAZ MODELİ (TBM)	TEST PASİF EV MODELİ (TPEM)	DEĞİŞİM ORANI (%)
	1 Yıllık Toplam Enerji Tüketimi	32.223,42 kWh	19.642,03 kWh	39%
	2 Toplam Alan Başına Enerji Talebi	140,40 kWh/m ² /yıl	85,58 kWh/m ² /yıl	
	3 Yıllık Toplam Soğutma Yükü	18.800,47 kWh	9.362,77 kWh	50%
	4 Yıllık Soğutma Talebi	81,92 kWh/m ² /yıl	40,79 kWh/m ² /yıl	
	5 Aylık En Yüksek Soğutma Yükü	4.960,81 kWh (AĞUSTOS)	2.435,24 kWh (AĞUSTOS)	51%
	6 Yıllık Toplam Isıtma Yükü	4.112,53 kWh	968,84 kWh	76%
	7 Yıllık Isıtma Talebi	17,92 kWh/m ² /yıl	4,22 kWh/m ² /yıl	

5.3. Soğutma Yükü için Geleneksel Çözümlerin Entegrasyonu ve Simülasyonu

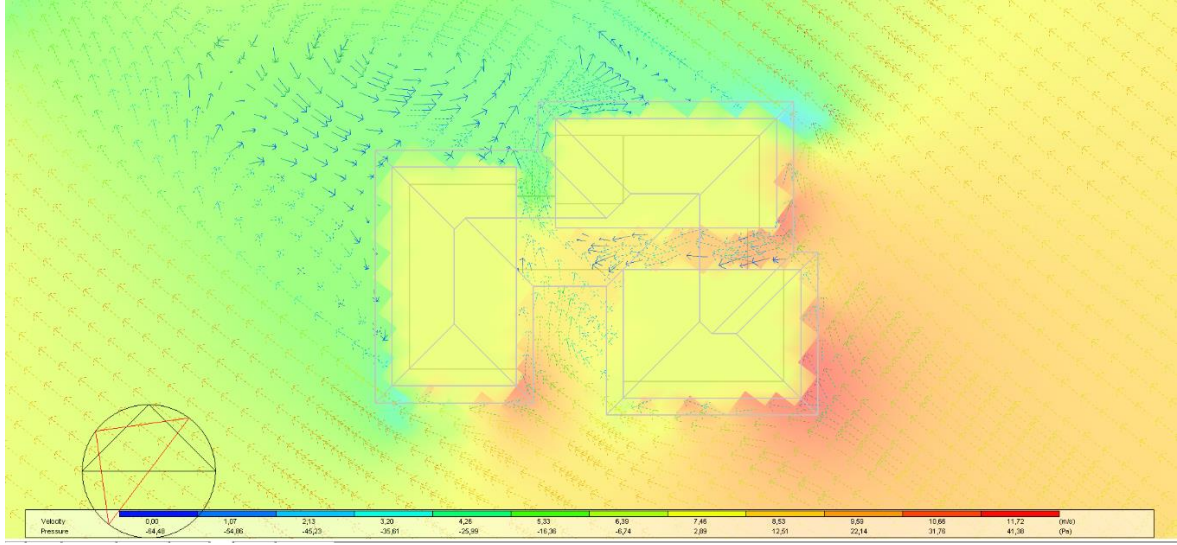
Bu bölümde, alan çalışmasında incelenen geleneksel Antalya Kaleiçi konutlarının enerji korunumu sağlayan mimari öğelerinin, TPEM'ye Çizelge 5.3.'teki sırayla entegrasyonu sonucu enerji performansındaki değişiklikler incelenecektir. Pasif Ev tasarım kriterleri ile

sağlanamayan soğutma yükü değerinin ya maliyet artırılarak daha gelişmiş Pasif Ev sistemleri (daha kalın, maliyetli ve performanslı yalıtım örtüsü, daha performanslı pencereler ve enerji verimi yüksek iklimlendirme sistemleri) kullanılarak ya da geleneksel ve pasif çözümlerin entegrasi ile sağlanabileceği öngörülmektedir. Geleneksel yöntemlerin kullanılmasıyla gereksiz maliyet, malzeme ve enerji kullanımı önlenebilir.

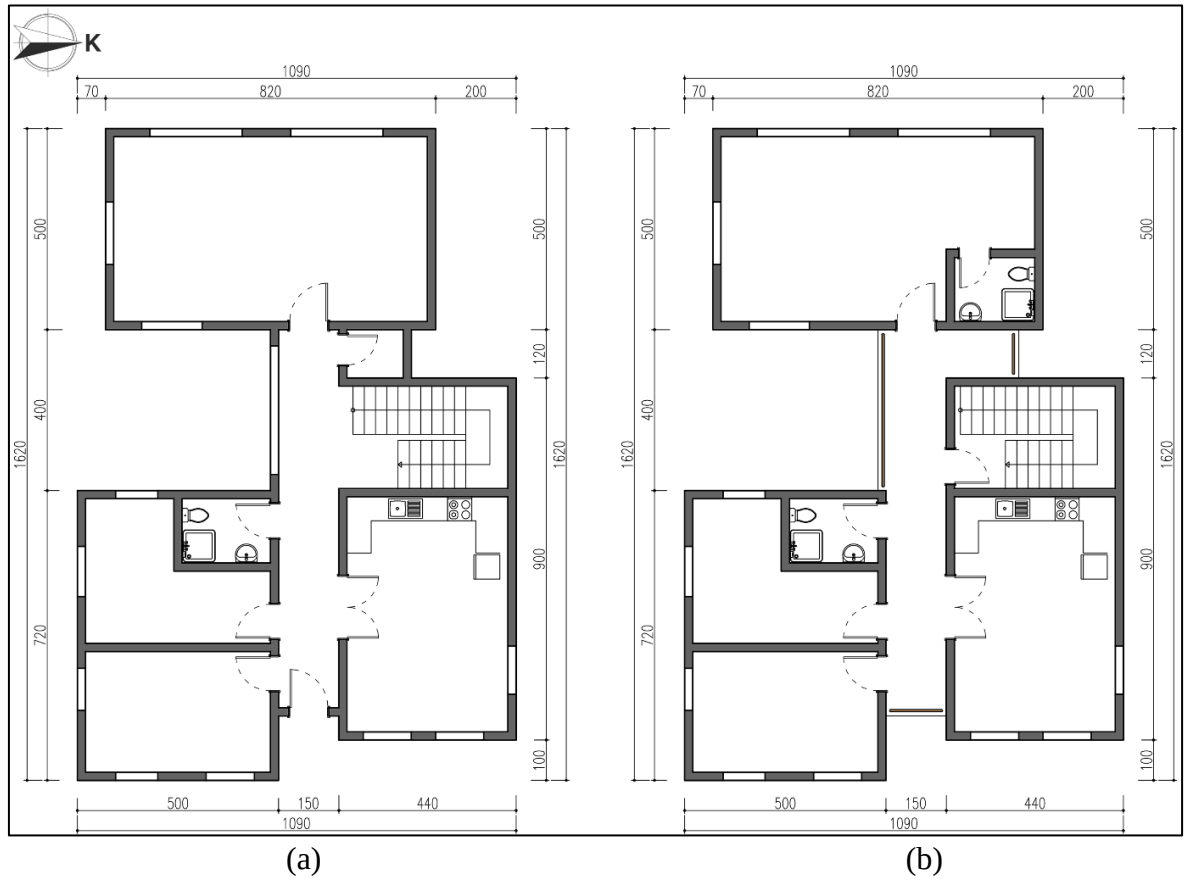
Bu bağlamda bu bölümde soğutma yükünün azaltılabilmesi için alan çalışmasında incelenen; plan tipi değişikliği, kırma çatı-saçak ve çıkma eklenmesi, pencere-duvar oranı değişikliği, geleneksel kepenk kullanımı, doğal havalandırma ve yapı kabuğu renklendirilmesi değerlendirilecektir. Sonuç olarak, her bir tekniğin tek tek TPPEM'ye entegre edilmesi ile elde edilen sonuçlar kendi içerisinde ve Pasif Ev Standardı çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir.

5.3.1. Plan tipi değişikliği

Antalya'nın Kaleiçi bölgesinde yapılan alan çalışmasında incelendiği üzere, geleneksel yapıların plan tipleri modern yapıların dikdörtgen plan tipolojisine göre farklılık göstermektedir. Bu bağlamda, plan tipi geleneksel konut mimarisine uygun olarak, "U" plan şemasına uygun ve birinci katta yarı açık sofa alanı ile değiştirilecektir (Şekil 5.28.). Bu sayede, yarı açık alan kullanımı ile hava sirkülasyonu sağlanırken (Şekil 5.27.), plan şeması sebebiyle yapının kendi içerisinde gölge oluşumu sağlanacağı öngörülmektedir. Plan şeması TBM'ye benzer şekilde, üç yatak odalı iki katlı bir konut olarak değerlendirilmiştir. Yine benzer şekilde, zemin katı yaşam alanı, birinci kat ise yatak odalarının bulunduğu alan olarak tasarlanmıştır (Çizelge 5.15). Plan değişikliği sonrası Çizelge 4.3.'te görülen 229,51 m² olan yapının net alanı küçük bir fark ile 232,74 m²'ye çıkmıştır. Yapının diğer özellikleri ise Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'deki modelleme varsayımları ve simülasyon parametreleri çerçevesinde sabit bırakılmıştır.



Şekil 5.27. TP EM'nin plan tipolojisinin değıştirilmesi sonrası rüzgar (CFD) şeması (DesignBuilder program çıktısıdır)

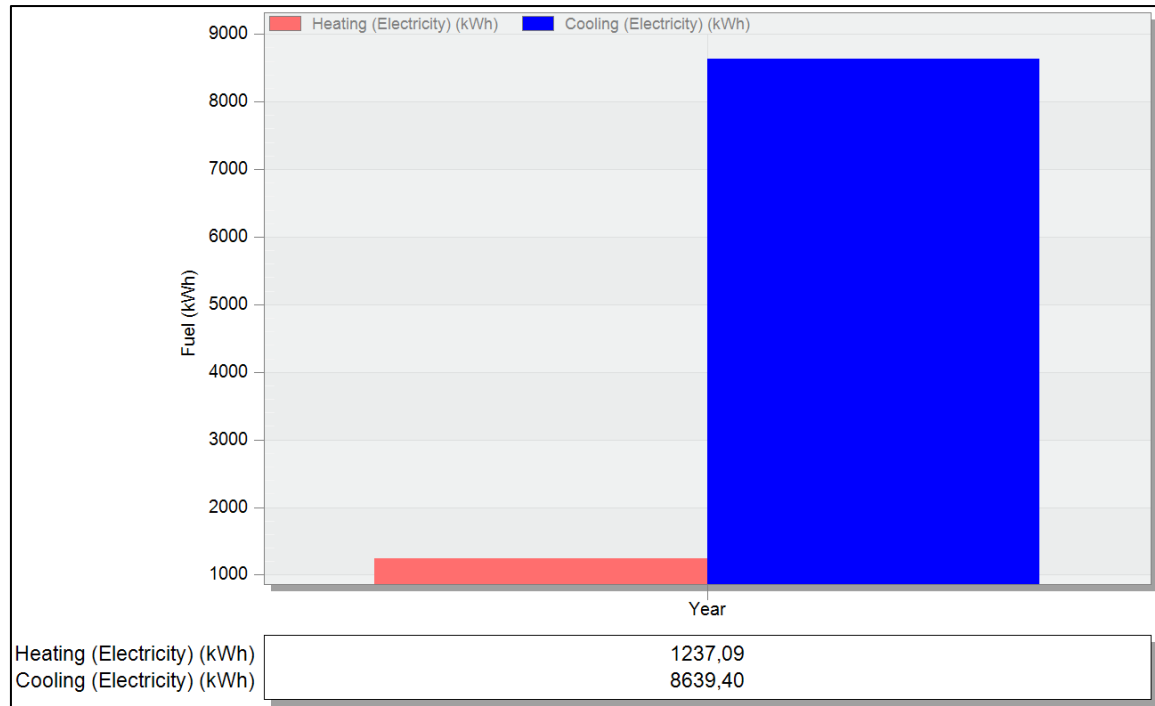


Şekil 5.28. TP EM'nin plan tipolojisinin değıştirilmesi ile zemin kat planı (a) birinci kat planı (b) (yazar tarafından hazırlanmıştır)

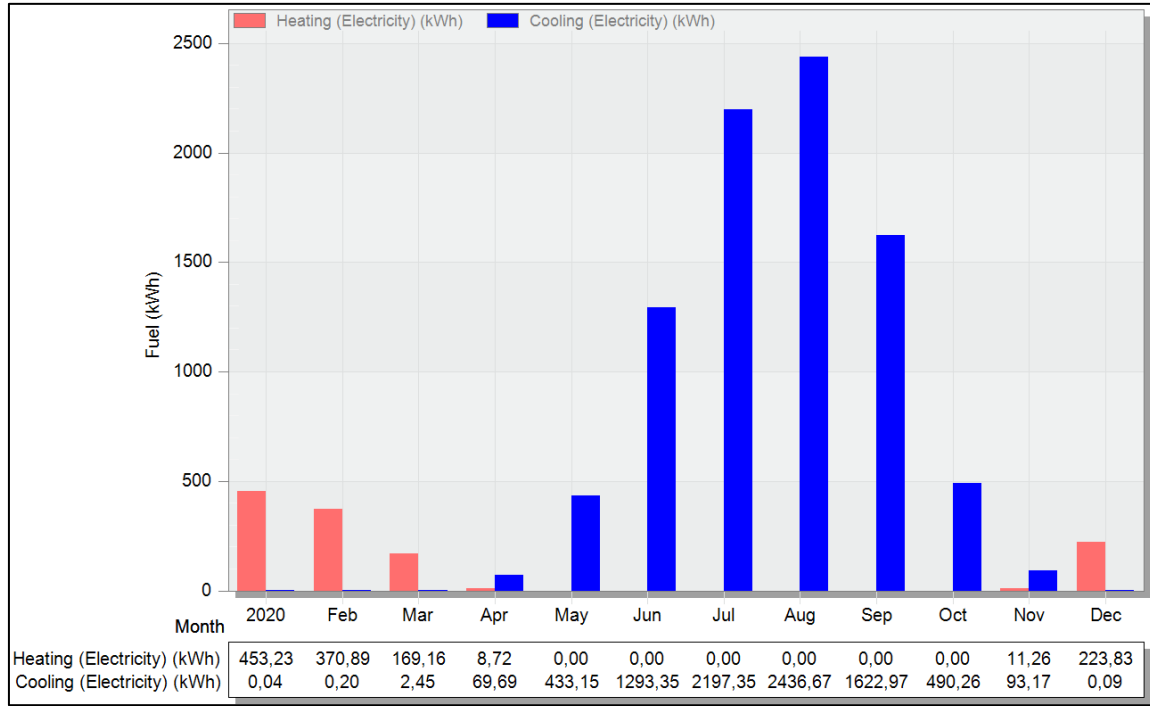
TPEM'nin plan tipinin geleneksel evlere uygun olarak değiştirilmesi sonucunda modelin yıllık soğutma yükü 9.362,77 kWh'tan (Çizelge 5.14.) 8.639,40 kWh'a (Şekil 5.29) düştüğü görülmektedir. Bu veriler ışığında, yıllık soğutma yükünde yaklaşık %8 oranında enerji tasarrufu sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, yıllık toplam enerji yükü 85,58 kWh/m²/yıl değerden 84,76 kWh/m²/yıl değere gerileyerek %1 oranında toplam enerji kullanımında tasarruf sağlanmıştır.

Çizelge 5.15. TPED'nin plan tipolojisinin değiştirilmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
19727,43	84,76



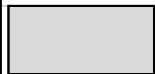
Şekil 5.29. TPED'nin plan tipolojisinin değiştirilmesi ile yıllık enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.30. TPEM'nin plan tipolojisinin değiştirilmesi ile aylık enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)

5.3.2. Kıрма çatı, saçak ve kat çıkması entegrasyonu

Çizelge 5.16. Değişiklikler sonrası modelin kat planları, mahaller ve alanları

ZEMİN KAT	MAHALLER		ALAN
		1 Sirkülasyon	28,87 m ²
		2 Oturma Odası	15,18 m ²
		3 Yemek Odası	11,96 m ²
		4 Salon	33,44 m ²
		5 Mutfak	21,28 m ²
		6 Tuvalet	3,22 m ²
BİRİNCİ KAT	MAHALLER		ALAN
		1 Sirkülasyon	4,76 m ²
		2 Ana Yatak Odası	42,54 m ²
		3 Yatak Odası 1	16,13 m ²
		4 Yatak Odası 2	19,35 m ²
		5 Oturma Odası	28,35 m ²
		6 Banyo	3,22 m ²
		7 Tuvalet	3,36 m ²

Bu bölümde, soğutma yükünün en aza indirilebilmesi için geleneksel yöntemlerden olan kırma çatı, saçak ve kat çıkması eklemesi incelenecektir. TBM'deki teras çatı yerine, geleneksel evlerde görülen %15 eğimli kiremit kaplamalı kırma çatı eklenmiştir. Bunun yanı sıra yapılan çatıya geleneksel evlere uygun olarak 110cm'lik saçaklar yapılmıştır. Son olarak, modelin metrekaresi yaklaşık olarak aynı kalacak şekilde, birinci kat seviyesinden 70cm kat çıkması yapılarak modelin enerji simülasyonu yapılmıştır. Yapının mekan planlaması değiştirilmeden yapılan kat çıkması sonrası 232,74 m² olan net kullanım alanı küçük bir fark ile 231,66 m² olarak güncellenmiştir. Geleneksel yöntemlere göre düzenlenen mekânsal düzenleme sonucu mahallerin kullanım alanları Çizelge 5.16'de görülmektedir.

Yapının diğer özellikleri ise yine Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'deki modelleme varsayımları ve simülasyon parametreleri çerçevesinde sabit bırakılmıştır.

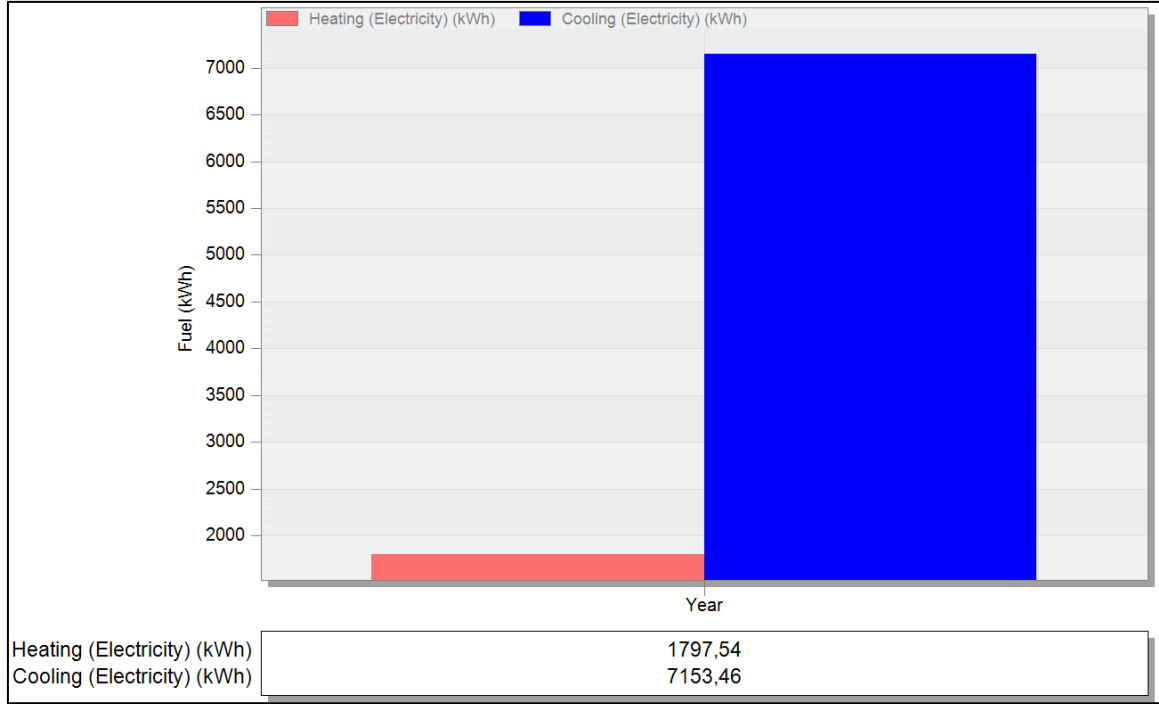
Çizelge 5.17. Değişiklikler sonrası modelin bina detayları şeması

	BİNA DETAYLARI		AÇIKLAMA
ZEMİN KAT	1	Kat Alanı	126,05 m ²
	2	Net Alan	113,95 m ²
	3	Termal Bölgeler, Mahaller	6 Termal Bölge <i>Sirkülasyon, Salon, Oturma Odası, Yemek Odası, Mutfak ve Tuvalet</i>
BİRİNCİ KAT	1	Kat Alanı	140,60 m ²
	2	Net Alan	117,71 m ²
	3	Termal Bölgeler, Mahaller	7 Termal Bölge <i>Sirkülasyon, Ana Yatak Odası, 2 Yatak Odası, Oturma Odası, Banyo ve Tuvalet</i>

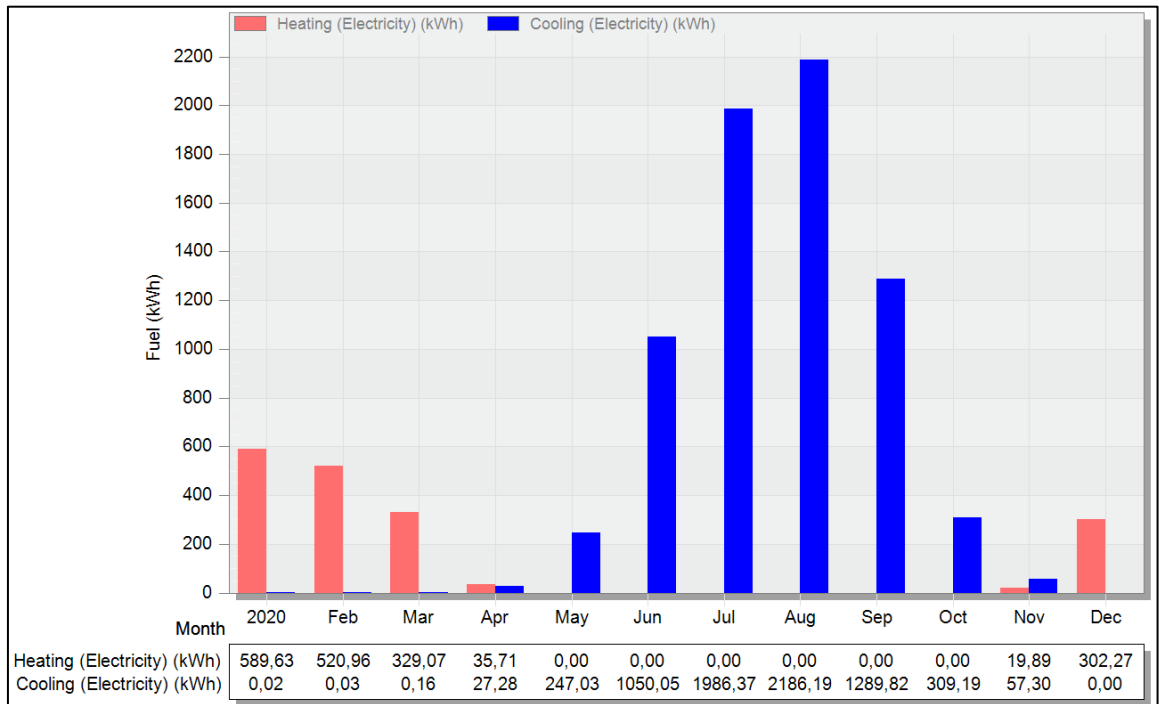
TPEM'nin plan tipinin değiştirilmesi sonrası kırma çatı, saçak ve kat çıkması eklenmesi sonucunda modelin yıllık soğutma yükü 8.639,40 kWh'tan (Şekil 5.29.) 7.153,46 kWh'a (Şekil 5.31) düştüğü görülmektedir. Bu veriler ışığında, yıllık soğutma yükünde yaklaşık %17 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca, yıllık toplam enerji yükü 84,76 kWh/m²/yıl değerden (Çizelge 5.15.) 79,50 kWh/m²/yıl (Çizelge 5.18) değere gerileyerek %6 oranında toplam enerji kullanımında tasarruf sağlanmıştır. Sonuç olarak ihtiyaç durumunda, entegre edilecek tüm yerel tekniklerin uygulanması sonunda, yapının ısı performansı optimize edilmesi adına saçak ve çıkma miktarı artırılıp azaltılabileceği görülmektedir.

Çizelge 5.18. Kırma çatı, saçak ve kat çıkması eklenmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
18416,12	79,50



Şekil 5.31. Kıırma çatı, saçak ve kat çıkması eklenmesi ile yıllık enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.32. Kıırma çatı, saçak ve kat çıkması eklenmesi ile aylık enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)

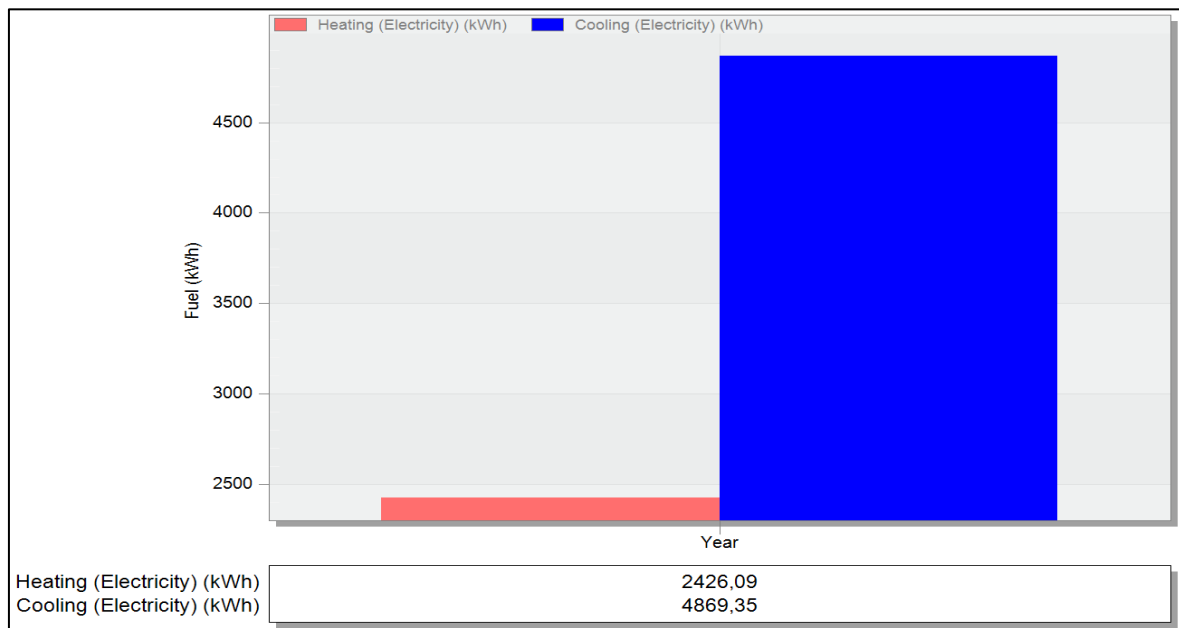
5.3.3. Pencere-duvar oranı ve pencere tipolojisi

Alan çalışması bölümünde incelendiği üzere, geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinde pencere boyutları zemin kat ve birinci kat arasında farklılık göstermektedir. Zemin kat pencerelerinin cepheye oranları, dış ortam ile ilişkinin azaltılması adına %10-15 seviyelerinde tutulurken, üst katlarda daha büyük kullanılarak %20-40 oranları arasında olduğu görülmüştür. Ayrıca, üst katlarda tepe penceresi olarak adlandırılan pencere tipinin kullanılması yapıya hem aydınlatma hem de ısınan havanın iç mekandan dışarıya atılması için doğal havalandırma sağlamaktadır.

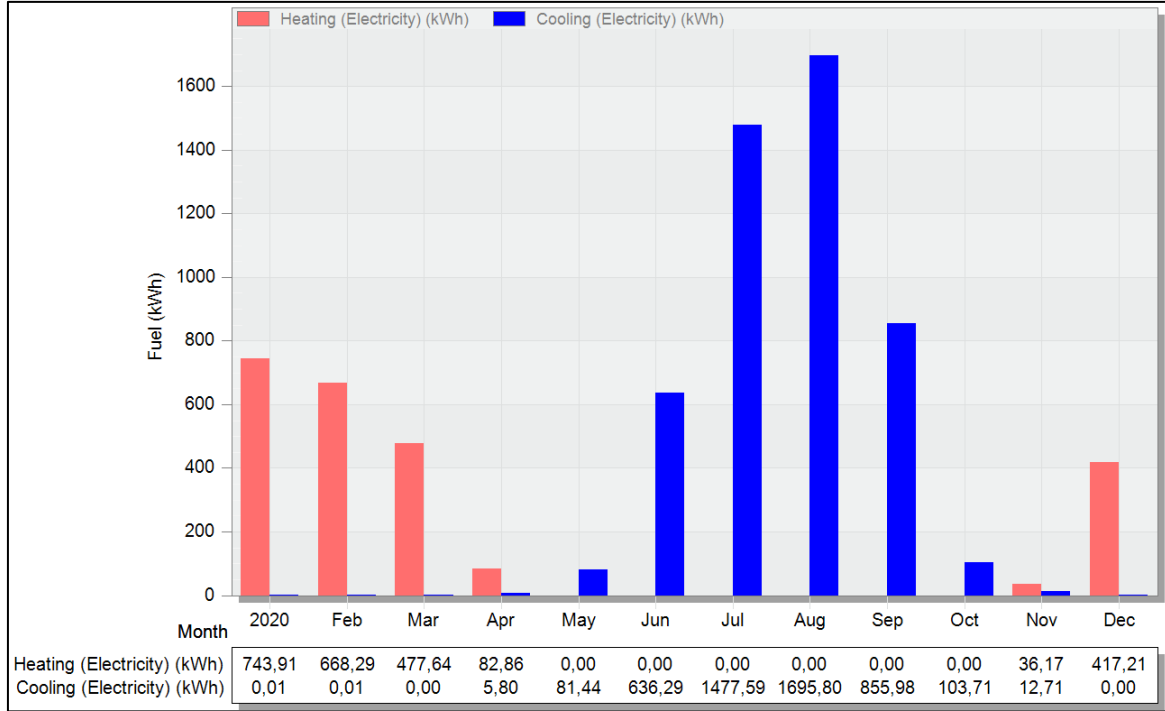
Bu bölümde, TPEDM'nin halihazırda %30 değere sahip pencere-duvar oranları geleneksel dokuya uygun olarak zemin katta %10, birinci katta %20 olacak şekilde değiştirilmiş ve birinci katta tepe pencereleri eklenmiştir. Son olarak, oluşan modellerin simülasyonu yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.19. Pencere-duvar oranlarının geleneksel dokuya uygun olarak değiştirilmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
16760,55	72,35

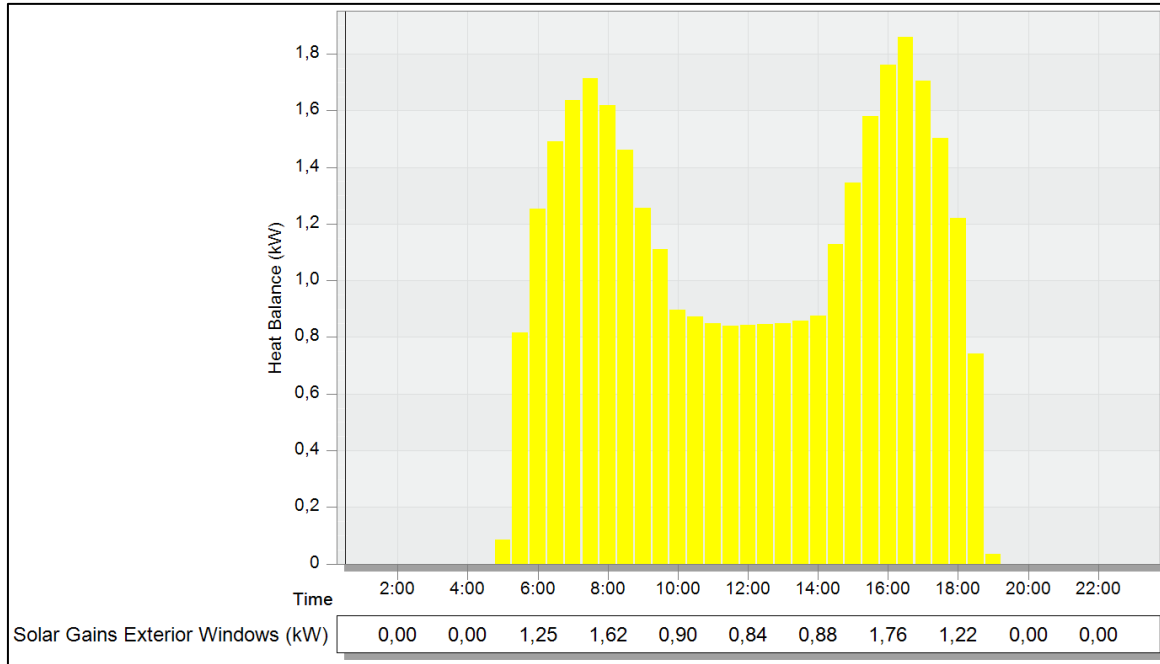


Şekil 5.33. Pencere-duvar oranlarının geleneksel dokuya uygun olarak değiştirilmesi ile yıllık toplam enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.34. Pencere-duvar oranlarının geleneksel dokuya uygun olarak değiştirilmesi ile aylık toplam enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)

TPEM'ye buraya kadar yapılan entegrelere ek olarak pencere-duvar oranlarının geleneksel dokuya uygun olarak değiştirilmesi sonucunda modelin yıllık soğutma yükü 7.153,46 kWh'tan (Şekil 5.31.) 4.869,35 kWh'a (Şekil 5.33) düştüğü görülmektedir. Bu veriler ışığında, yıllık soğutma yükünde yaklaşık %32 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca, yıllık toplam enerji yükü 79,50 kWh/m²/yıl değerden (Çizelge 5.18.) 72,35 kWh/m²/yıl (Çizelge 5.19) değere gerileyerek %9 oranında toplam enerji kullanımında tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 5.35. Pencere-duvar oranlarının geleneksel dokuya uygun olarak değiştirilmesi ile 21 Haziran günü pencerelerden güneş ışıını kazanımı (DesignBuilder program çıktısıdır)

Ayrıca, pencere-duvar oranlarının değiştirilmesi ile TPÉM'nin 21 Haziran günü pencerelerden maksimum güneş ışıını kazanımları saat 08:00'da 3,21 kWh, 16:00'da 3,22 kWh'dan (Şekil 5.17.) sırasıyla 1,62 kWh ve 1,75 kWh'a (Şekil 5.35) gerilemiştir. Bu çerçevede, yapının plan tipolojisinin ve pencere-duvar oranlarının değişmesi sonucu öğleden sonra etki eden batı yönlü güneş ışıınlarının yapıya daha çok ısı kazandırdığı görülmektedir.

Bunların yanı sıra, bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiş olan farklı ekstra yansıtıcı cam tipleri de uygulanarak, modelin soğutma performansı artırılabilceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, entegre edilecek yerel tekniklerin uygulanması sonunda, yapının ısıı performansı optimize edilmesi adına gerekirse cam tipi değiştirilebilir.

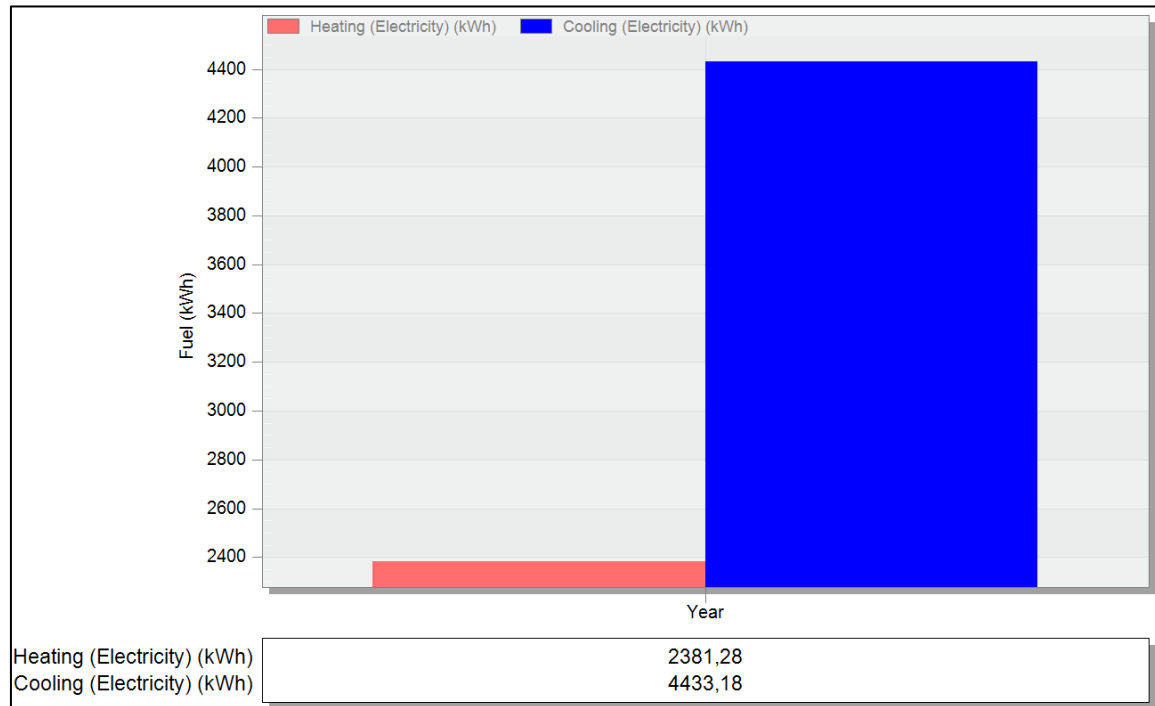
5.3.4. Ahşap kepenklerin entegrəsi

Geleneksel Antalya Kaleiçi evi incelendiğinde, özellikle güney ve batı cephelerdeki pencerelere kapanıp açılabilen ahşap kepenkler uygulanarak güneş kontrolünün sağlandığı görülmektedir. Bu bağlamda, bu bölümde DesignBuilder simülasyon programının açıklıklar bölümünde bulunan pencere gölgelendirme kısmından, yapının dışında kalacak şekilde açılıp kapatılabilen opak kepenkler seçilmiştir. Kapatıp açılma zamanlamasının

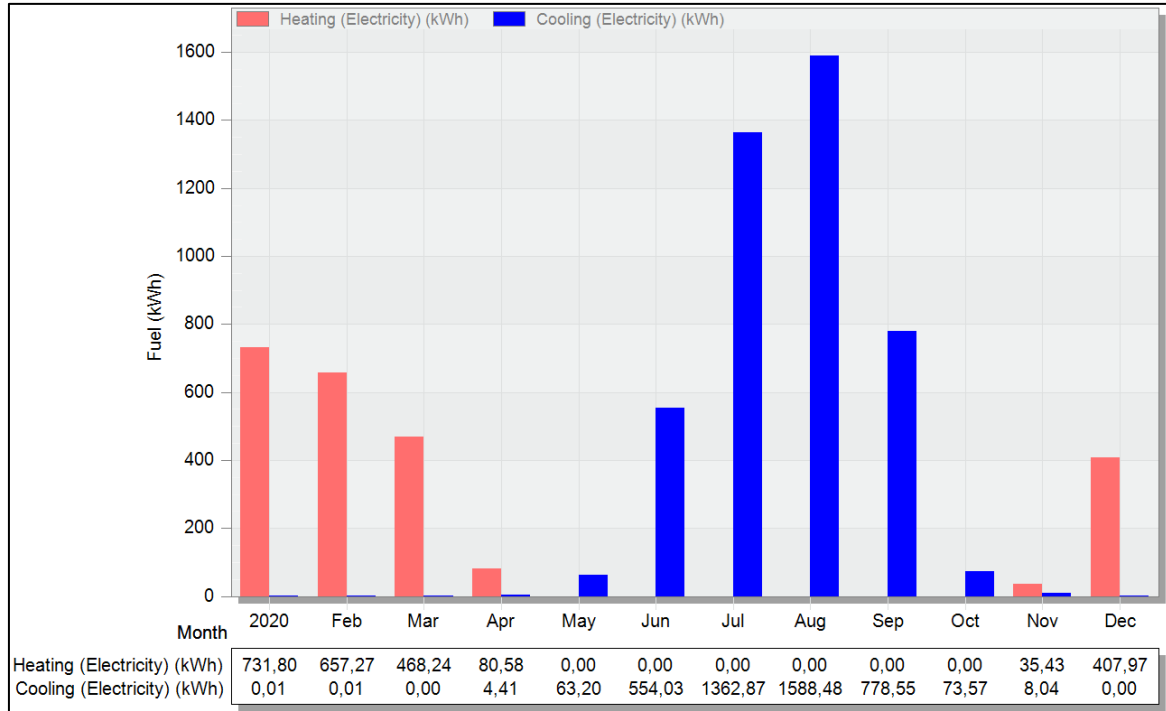
ayarlanabilmesi için bir kontrol çizelgesi oluşturulmuştur. Bu çizelge, Çizelge 4.5.'te gösterilen 4.3.3. no'lu 'Modelleme Varsayımları ve Simülasyon Parametrelerinin Tanımlanması' bölümünde belirtilen sıcaklık ayarına dayandırılarak, yalnızca soğutma mevsiminde güneşin etkin olduğu ve dış ortamın 15 °C'nin üzerinde olduğu zaman dilimlerinde kepenkler kapatılacak şekilde ayarlanmış ve simülasyonu yapılmıştır.

Çizelge 5.20. Geleneksel ahşap kepenklerin eklenmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
16279,58	70,27

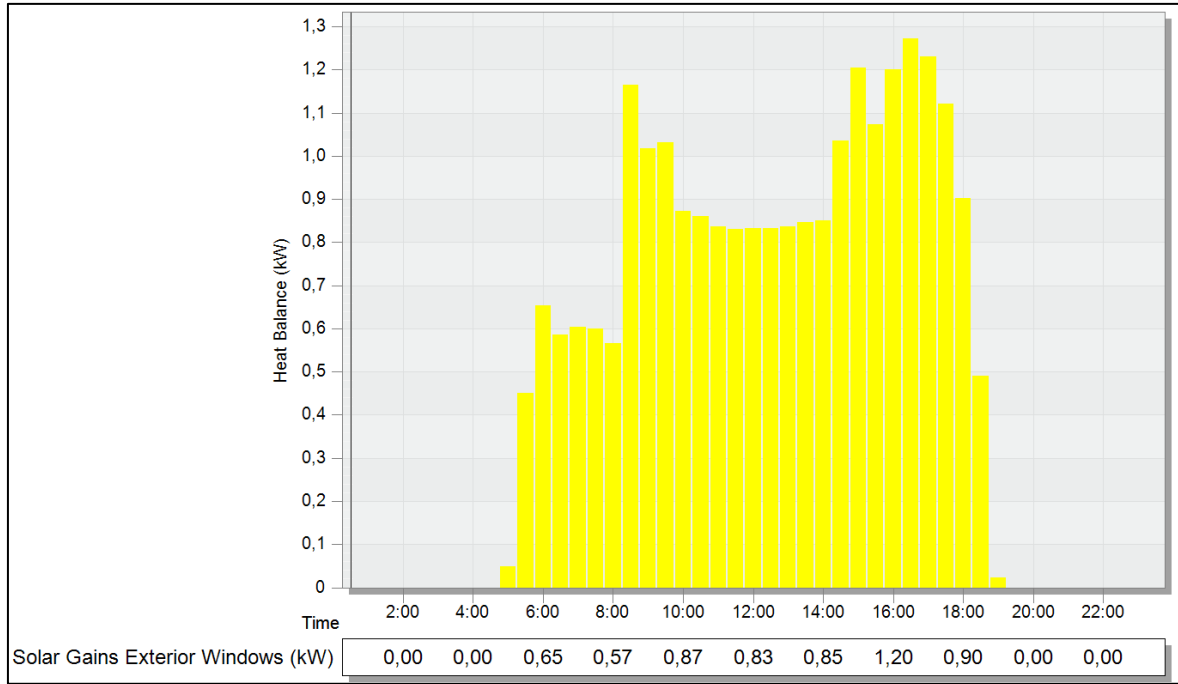


Şekil 5.36. Geleneksel ahşap kepenklerin eklenmesi ile yıllık toplam enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.37. Geleneksel ahşap kepenklerin eklenmesi ile aylık toplam enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)

Ahşap kepenklerin uygulanması ile modelin yıllık soğutma yükü 4.869,35 kWh'tan (Şekil 5.33.) 4.433,18 kWh'a (Şekil 5.36) düştüğü görülmektedir. Bu veriler ışığında, yıllık soğutma yükünde yaklaşık %9 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca, yıllık toplam enerji yükü 72,35 kWh/m²/yıl değerden (Çizelge 5.19.) 70,27 kWh/m²/yıl (Çizelge 5.20) değere gerileyerek %3 oranında toplam enerji kullanımında tasarruf sağlanmıştır. Ek olarak, kontrol çizelgesi sayesinde, kepenklerin kış aylarında güneş ışınları kazanımını engellemeyecek şekilde çalıştırılması sonucunda, ısıtma yükünde neredeyse hiç değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Son olarak, 21 Haziran günü pencerelerden maksimum güneş ışını kazanımları Şekil 5.38.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.38. Geleneksel ahşap kepenklerin eklenmesi ile 21 Haziran günü pencerelerden güneş ışını kazanımı (DesignBuilder program çıktısıdır)

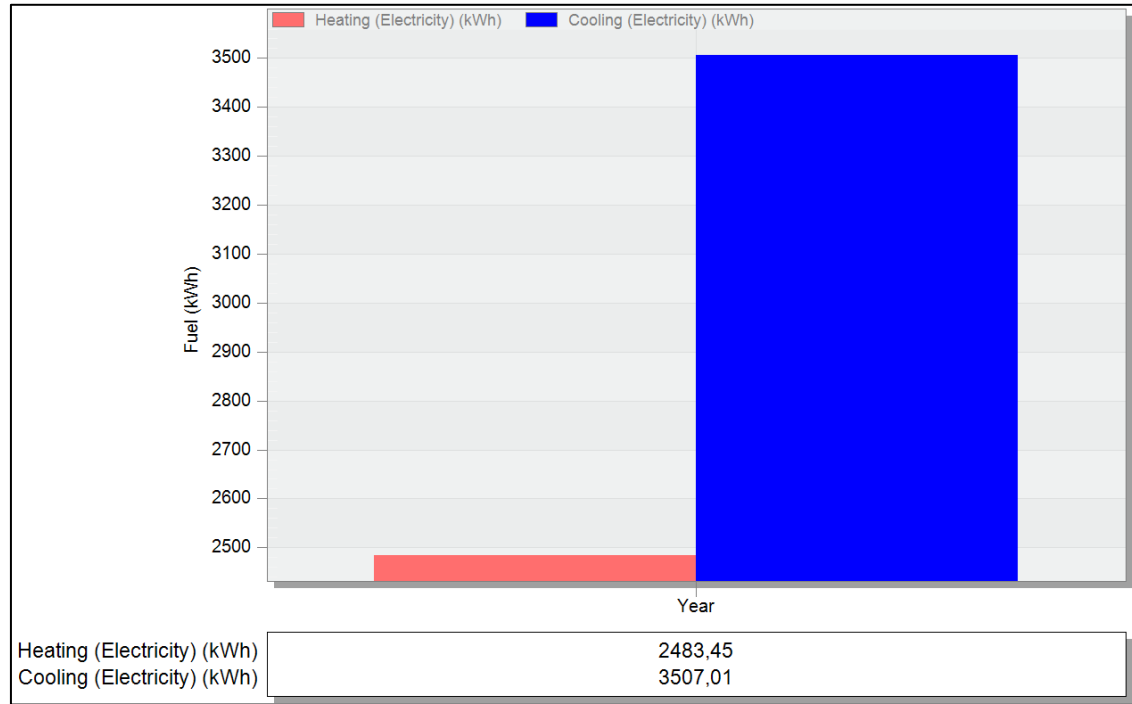
5.3.5. Doğal havalandırma

Sıcak iklimlerde ana problemin soğutma yükü olmasından ötürü, soğutma enerjisini mümkün olduğunca en aza indirmeye çalışmak için değerlendirilen yerel ve pasif soğutma sistemlerinden bir tanesi de alan çalışmasında incelenen doğal havalandırma tekniğidir. Pasif Ev prensiplerinden biri olan hava sızdırmazlık prensibi temelinde kontrolsüz hava sızıntısını önlemeyi hedeflediği için doğal havalandırma yöntemi bu çerçevede aslında sanıldığı gibi bu prensip ile çelişmemektedir.

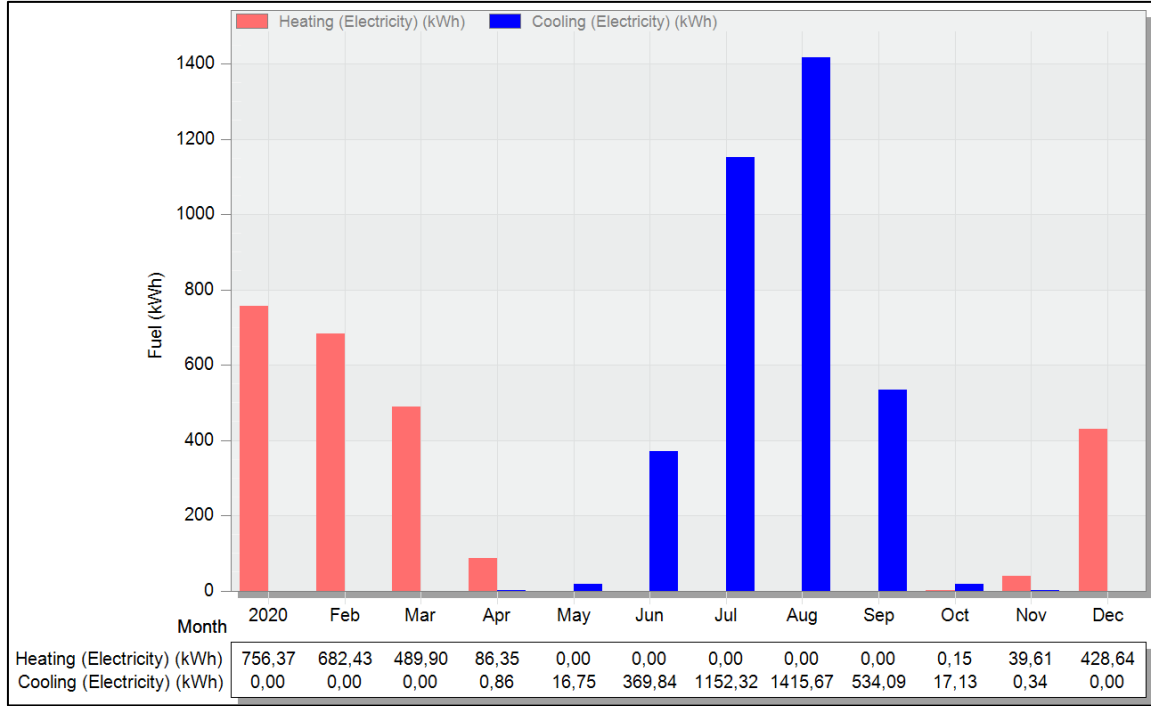
Bu bölümde, TPEDM üzerinde yapılan değişikliklere ek olarak doğal havalandırma tekniğinin değerlendirilmesi yapılacaktır. Bunun için, DesignBuilder simülasyon programındaki ‘Natural Ventilation (Doğal Havalandırma)’ seçeneği aktifleştirilmiştir. Ayrıca programın doğal havalandırma sekmesindeki, doğal havalandırma ile iklimlendirme sistemini kontrollü bir biçimde birleştiren hibrit bir yaklaşım olan ‘Mixed Mode (Karma Mod)’ aktifleştirilmiştir. Karma moda ek olarak soğutma yükünü hafifletmek adına dış ortam sıcaklığından doğal havalandırma dolayısıyla fayda sağlanabilecek şekilde gece saatleri ve diğer saatlerde doğal havalandırmanın aktif edilmesini sağlayan zaman çizelgesi aktif edilmiştir.

Çizelge 5.21. Doğal havalandırma tekniğinin uygulanması ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
15455,58	66,72

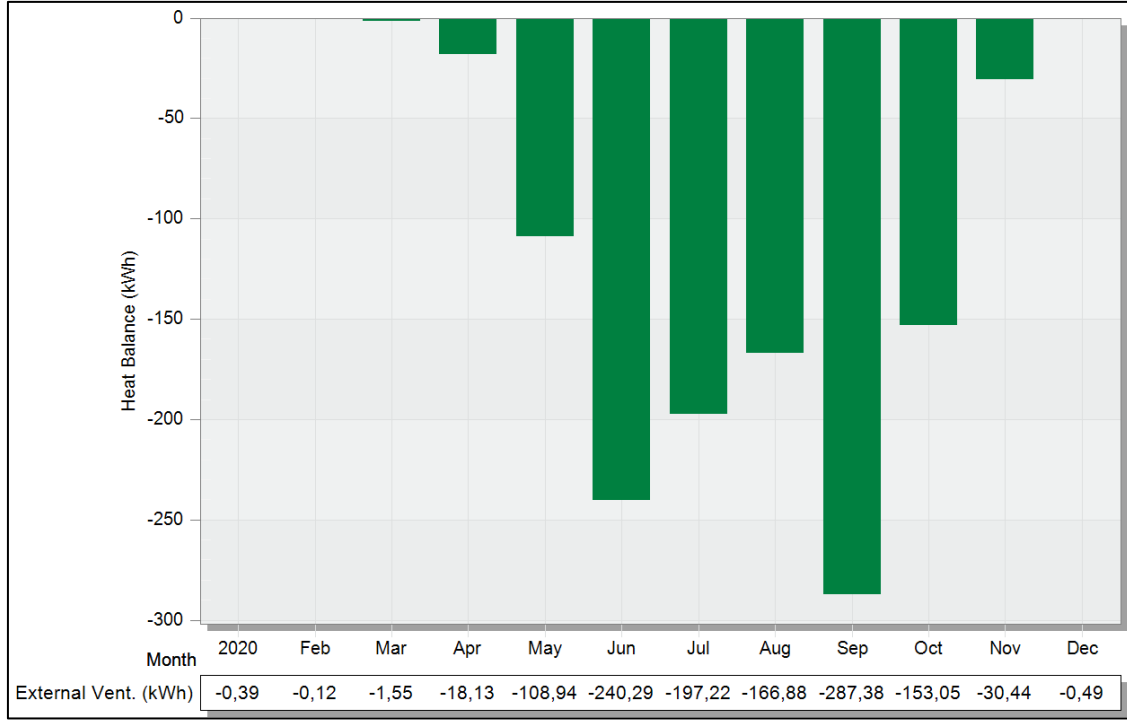


Şekil 5.39. Doğal havalandırma tekniğinin uygulanması ile yıllık toplam enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.40. Doğal havalandırma tekniğinin uygulanması ile aylık toplam enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)

Doğal havalandırma tekniğinin uygulanması sonucunda modelin yıllık soğutma yükü 4.433,18 kWh'tan (Şekil 5.36.) 3.507,01 kWh'a (Şekil 5.39) düştüğü görülmektedir. Bu veriler ışığında, yıllık soğutma yükünde yaklaşık %21 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca, yıllık toplam enerji yükü 70,27 kWh/m²/yıl değerden (Çizelge 5.20.) 66,72 kWh/m²/yıl (Çizelge 5.21) değere gerileyerek %5 oranında toplam enerji kullanımında tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca, Doğal havalandırma sayesinde yıl boyunca dış ortamdan kazanılan enerji Şekil 5.41.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.41. Doğal havalandırma tekniğinin uygulanması ile dış ortamdan kazanılan yıllık soğutma yükü (DesignBuilder program çıktısıdır)

5.3.6. Yapı kabuğunun renklendirilmesi

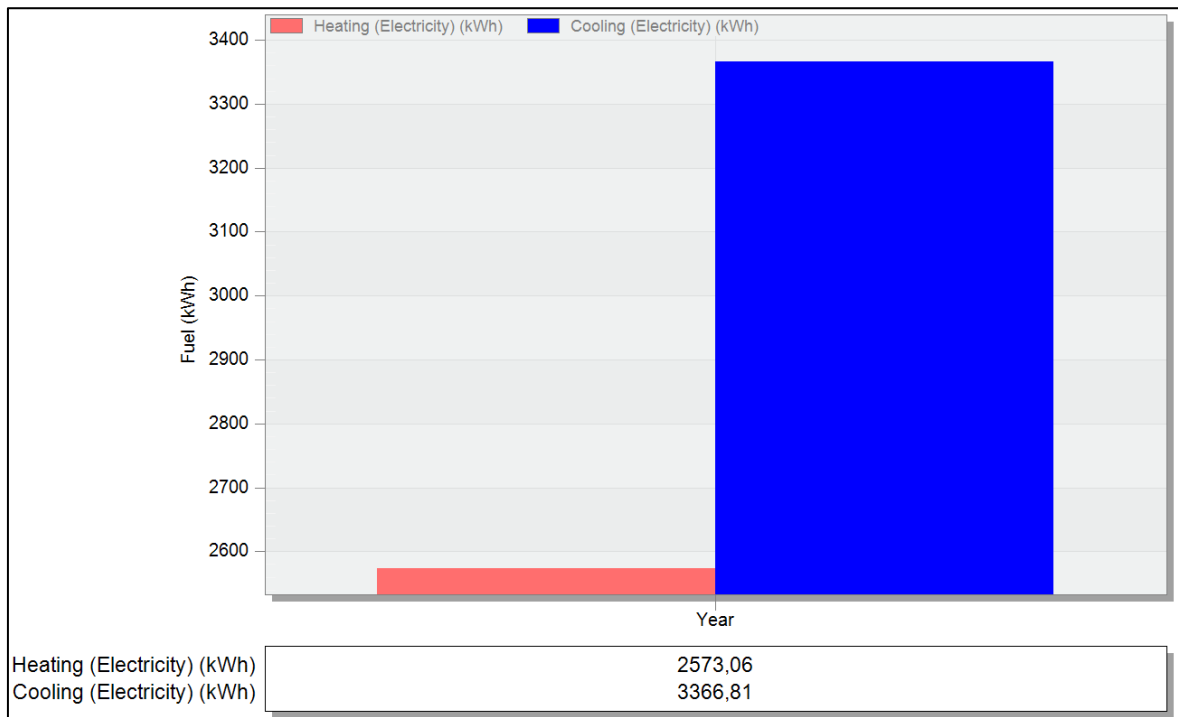
Geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinin sıcak iklimde bulunması dolayısıyla, güneş ışınlarından korunmak adına, özellikle birinci katların dış cephelerinde açık renklere yer verildiği görülmektedir. Zemin katlar ise genellikle yörede bulunan yine açık renkli taşlar kullanılarak inşa edilmiştir. Baz modellerin oluşturulma evresinde, cephe renkleri açık sarı olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu sebeple, bu bölümde, DesignBuilder simülasyon programı ile cepheler için daha yüksek yansıtıcılığa sahip dış cephe boyaları seçilecektir. Ayrıca, literatür çalışmasında araştırılan enerji performansını iyileştirdiği raporlanan çatının renklendirilmesi tekniği çerçevesinde yapının çatısı açık renge boyanacaktır. Tüm bu tekniklerin uygulanması sonucunda modelin simülasyonu yapılacak ve enerji performansı değerlendirilecektir.

Yapı kabuğunun renklendirilmesi sonucunda modelin yıllık soğutma yükü 3.507,01 kWh'tan (Şekil 5.39.) 3.366,81 kWh'a (Şekil 5.42) düştüğü görülmektedir. Bu veriler ışığında, yıllık soğutma yükünde yaklaşık %4 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca, yıllık toplam enerji yükü 66,72 kWh/m²/yıl değerden (Çizelge 5.21.) 66,50 kWh/m²/yıl

(Çizelge 5.22) değere gerileyerek %0,5 oranında toplam enerji kullanımında tasarruf sağlanmıştır.

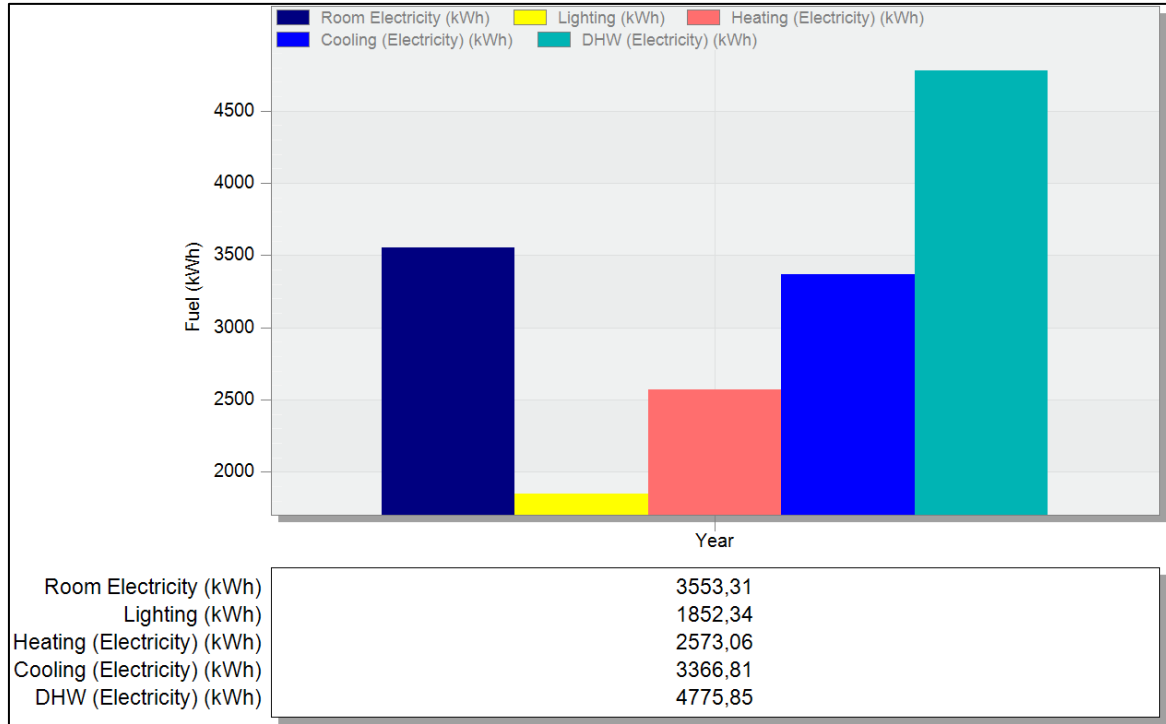
Çizelge 5.22. Yapı kabuğunun renklendirilmesi ile tahmini yıllık toplam enerji tüketimi (DesignBuilder program çıktısıdır)

Toplam Enerji [kWh]	Toplam Bina Alanı Başına Enerji [kWh/m ²]
15404,98	66,50

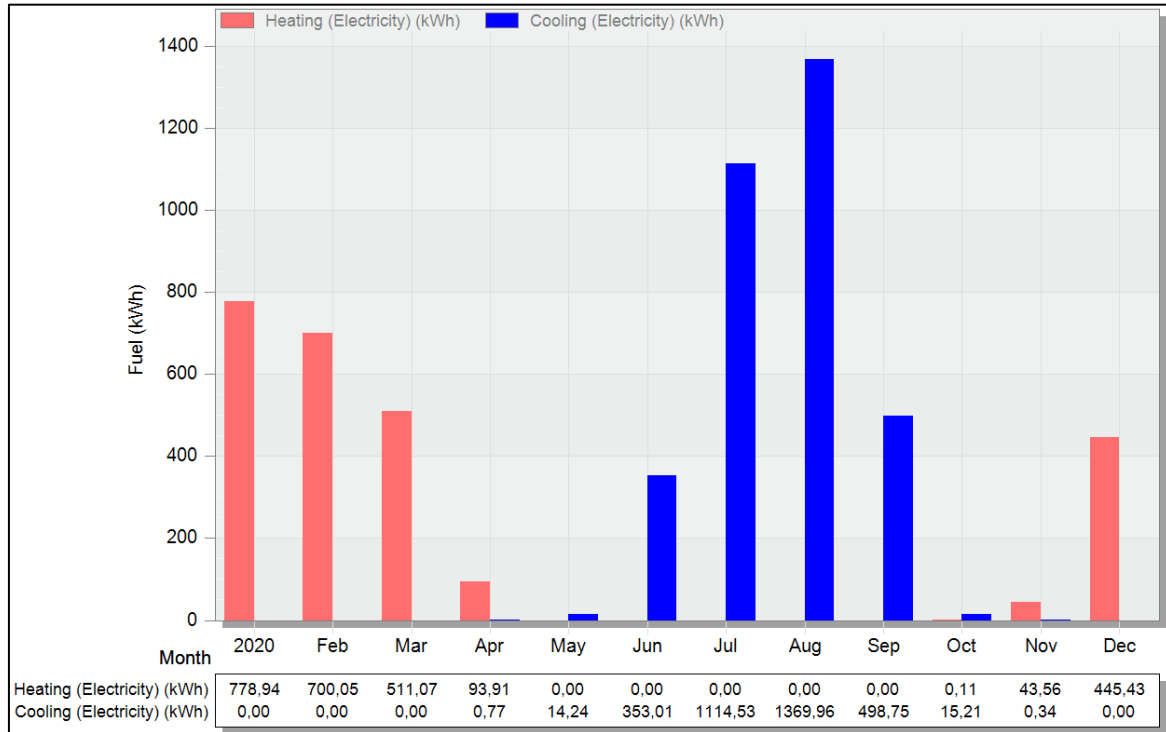


Şekil 5.42. Yapı kabuğunun renklendirilmesi ile yıllık toplam enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)

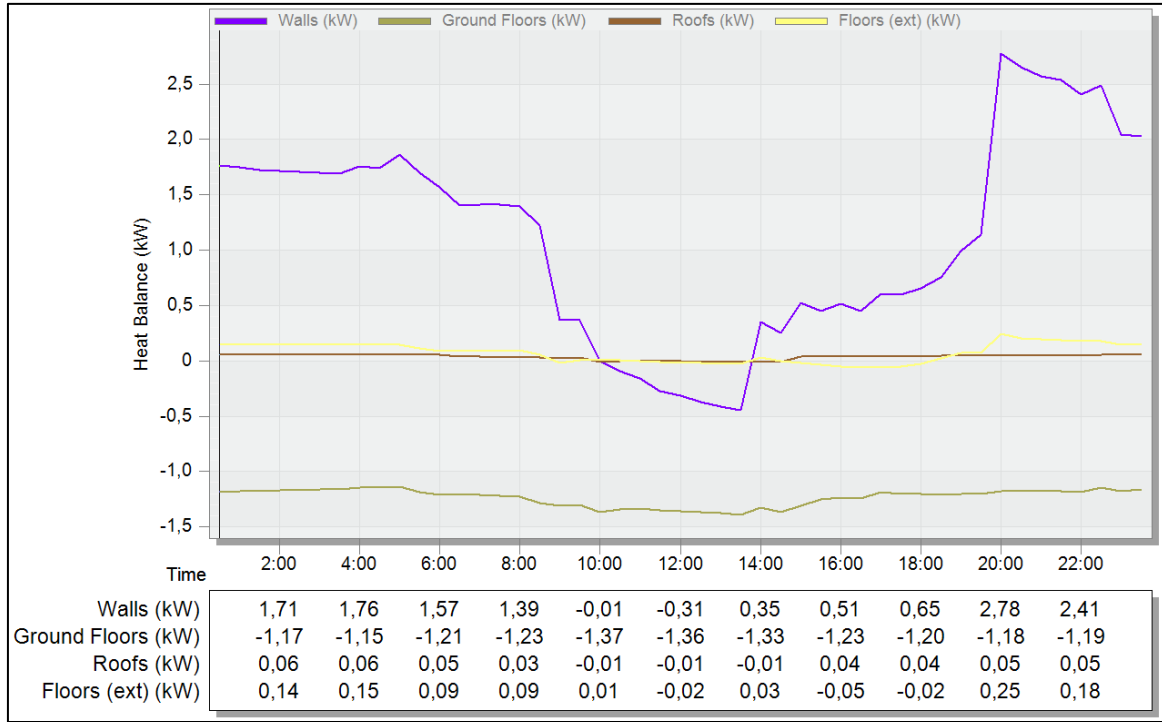
Son olarak, yapı kabuğunun renklendirilmesi ile geleneksel Antalya Kaleiçi evinin enerji korunumu sağlayan mimari yöntemlerinin tamamının eklenmiş olması sebebiyle daha geniş çaplı bir simülasyon değerlendirmesi yapılmıştır. Bu sebeple bu bölümde diğer bölümlerden farklı olarak aylık/yıllık tüm birimlerin enerji tüketimleri, yapı kabuğunun ısı geçirgenliği ve günlük/aylık pencerelerden güneş ışığı kazanımı vb. değerlendirmeleri DesignBuilder program çıktıları ile gösterilmiştir (Şekil 5.43., Şekil 5.44. ve Şekil 5.45.).



Şekil 5.43. Geleneksel yöntemlerin entegrasi ile yıllık toplam enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.44. Geleneksel yöntemlerin entegrasi ile aylık toplam enerji tüketimleri (DesignBuilder program çıktısıdır)



Şekil 5.45. Geleneksel yöntemlerin entegrasi ile 21 haziran günü ısı kazanımları (DesignBuilder program çıktısıdır)

5.3.7. Geleneksel çözümlerin tamamının entegrasi ile oluşan modelin değerlendirilmesi

Antalya Kaleiçi bölgesinde yapılan alan çalışması sonucunda geleneksel evlerdeki enerji korunumu sağlayan mimari öğelerin TPem'ye entegre edilmesi ile ortaya çıkan model 'Geleneksel Pasif Ev Modeli (GPEM)' olarak adlandırılmıştır. Bu bölümde, geleneksel yöntemlerin tek tek enerji tasarrufuna etkileri ve GPEM'nin enerji simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca GPEM'nin enerji performansları TPem ile karşılaştırılmıştır.

İncelemesi yapılan geleneksel çözümlerin TPem'ye entegrasi sonucu soğutma yüküne katkıları yüzdesel olarak Çizelge 5.23.'te değerlendirilmiştir. Yıllık soğutma yükünde; TPem'nin plan tipinin değiştirilmesi ile %8, kırma çatı, saçak ve kat çıkması eklenmesi ile %17, pencere-duvar oranlarının değiştirilmesi ile %32, ahşap kepenklerin entegre edilmesi ile %9, doğal havalandırma eklenmesi ile %21, ve yapı kabuğunun renklendirilmesi ile %4 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Çizelge 5.23. Geleneksel çözümlerin eklenmesi ile soğutma yükü performans değişimleri

GELENEKSEL ÇÖZÜMLERİN ENTEGRESİ	DETAYLAR	MÜDAHALELER	SOĞUTMA YÜKÜNE ETKİSİ (%)
	1 Plan Tipi Değişikliği	Güncel yapı tipolojisine göre tasarlanan planın, geleneksel yapı tipine uygun olarak "U" plan şeması ile değiştirilmesi	8%
	2 Kırmı Çatı, Saçak ve Kat Çıkması (Geleneksel Gölgeleme)	%15 Eğimli Kırmı Çatı Çatı Saçağı: 110cm Kat Çıkması: 70cm	17%
	3 Pencere-Duvar Oranı	(Mevcut: %30) Zemin Kat: %10 Birinci Kat: %20	32%
	4 Ahşap Kepenkler (Geleneksel Gölgeleme)	Soğutma mevsiminde aktif olacak şekilde planlanan ahşap panjur uygulaması	9%
	5 Doğal Havalandırma	Soğutma yükünün azaltılması için programlanan doğal havalandırma ve gece havalandırması	21%
	6 Yapı Kabuğunun Renklendirilmesi	Duvarlar ve Çatının güneş ışığını yansıtacak şekilde renklendirilmesi	4%

Tüm yerel pasif çözümlerin TPEM'ye tek seferde uygulanması sonucunda oluşan GPEM'nin, toplam yıllık soğutma yükünde yaklaşık %64 ve toplam yıllık enerji tüketiminde yaklaşık %23 daha fazla performans gösterdiği görülmektedir (Çizelge 5.24.). Bunun yanı sıra, yıllık ısıtma yükü incelendiğinde GPEM, TPEM'den %62 daha az performans göstermektedir. Ancak tüm entegreler sonucunda ortaya çıkan ısıtma yükü Pasif Ev Standartları talebinin yine çok altında kaldığı için önem teşkil etmemektedir.

Daha önceki bölümlerde incelenen TPEM'nin karşılayamamış olduğu yıllık soğutma yükü talebinin, GPEM'de karşılandığı görülmektedir. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda; GPEM'nin yıllık enerji talebinin, 120 kWh/m²/yıl'lık Pasif Ev Standardı talebine karşılık, 66,50 kWh/m²/yıl değeri ile sağladığı görülmektedir. Yine aynı şekilde Pasif Ev Standardı'nın 15 kWh/m²/yıl'lık maksimum ısıtma ve soğutma talebine karşılık, GPEM'nin 14,53 kWh/m²/yıl'lık soğutma yükü ve 11,11 kWh/m²/yıl'lık ısıtma yükü değerleri standardın gereksinimlerini karşılamaktadır (Çizelge 5.24.).

Çizelge 5.24. Geleneksel çözümlerin uygulanması sonucu TPEM ve GPEM'nin enerji performans sonuçları

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	DETAYLAR		TEST PASİF EV MODELİ	GELENEKSEL PASİF EV MODELİ	DEĞİŞİM ORANI (%)
	1	Yıllık Toplam Enerji Tüketimi	19.642,03 kWh	15.404,98 kWh	23%
	2	Toplam Alan Başına Enerji Talebi	85,58 kWh/m²/yıl	66,50 kWh/m²/yıl	
	3	Yıllık Toplam Soğutma Yüğü	9.362,77 kWh	3.366,81 kWh	64%
	4	Yıllık Soğutma Talebi	40,79 kWh/m²/yıl	14,53 kWh/m²/yıl	
	6	Yıllık Toplam Isıtma Yüğü	968,84 kWh	2.573,06 kWh	-62%
	7	Yıllık Isıtma Talebi	4,22 kWh/m²/yıl	11,11 kWh/m²/yıl	

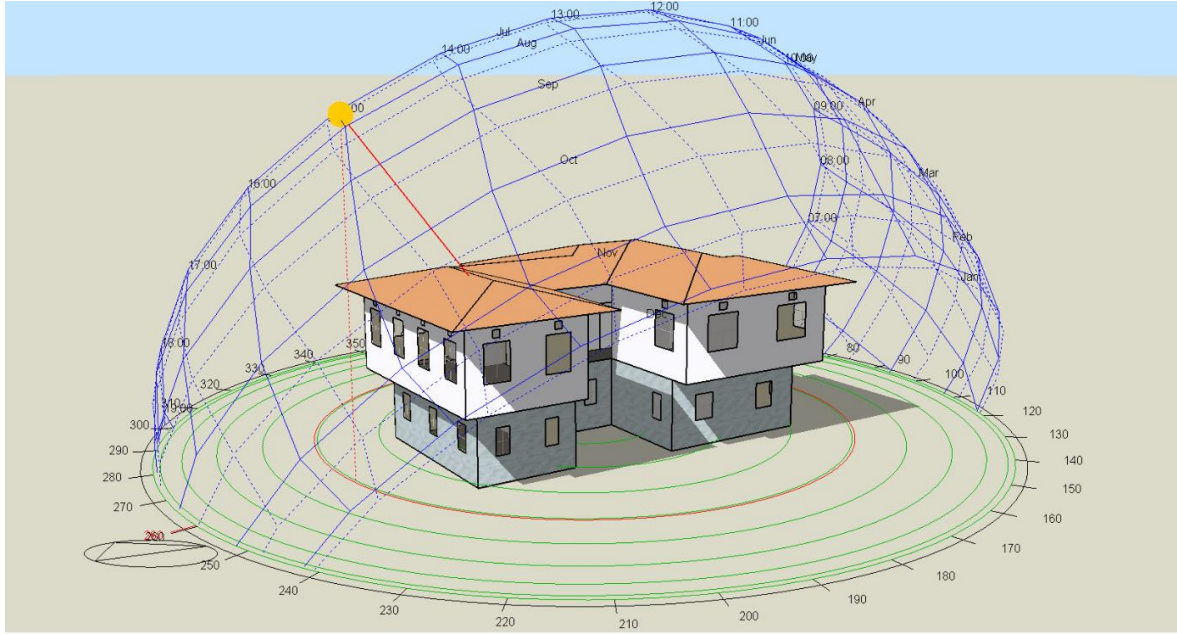
Sonuç olarak, sıcak iklim bölgesinde yer alan Antalya ilinde yapılan TBM'ye Pasif Ev Standartlarının uygulanması ile karşılanamamış olan yıllık soğutma yükünün, geleneksel Kaleiçi evleri incelenmesiyle ortaya çıkarılan yerel çözümlerin modele uygulanması ile sağlandığı görülmektedir. Isıtma yükü bağlamında ise yapılan müdahalelerin negatif etki ettiği görülse de modelin yine de Pasif Ev Standardı talebinin altında kaldığı görülmektedir. Ayrıca geleneksel çözümlerin yıllık toplam enerji yükü kapsamında da katkı sağladığı bulunmuştur.

5.4. Modellerin Simülasyon Verilerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde, Test Baz Modeli (TBM), Test Pasif Ev Modeli (TPEM) ve Geleneksel Pasif Ev Modelinin (GPEM) (Şekil 5.46.) simülasyon çalışmalarından elde edilen enerji performans sonuçları karşılaştırmalı incelenecektir. Yapılan tüm enerji simülasyon çalışmaları sonucunda modellere ait elde edilen veriler Çizelge 5.25.'te karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yapılan simülasyon çalışmalarına göre, modellerin oransal sonuçları aşağıdaki gibi özetlenmiştir (Çizelge 5.25.):

- Enerji kullanımı: Elde edilen sonuçlara göre, GPEM'nin TBM'ye göre tahmini yıllık enerji tüketimi olarak en az %52 daha az enerji tükettiği görülmektedir.
- GPEM'nin TPEM'ye göre değerlendirilmesi sonucunda, GPEM'nin yıllık enerji tüketimi olarak en az %22 daha az enerji tükettiği görülmektedir.

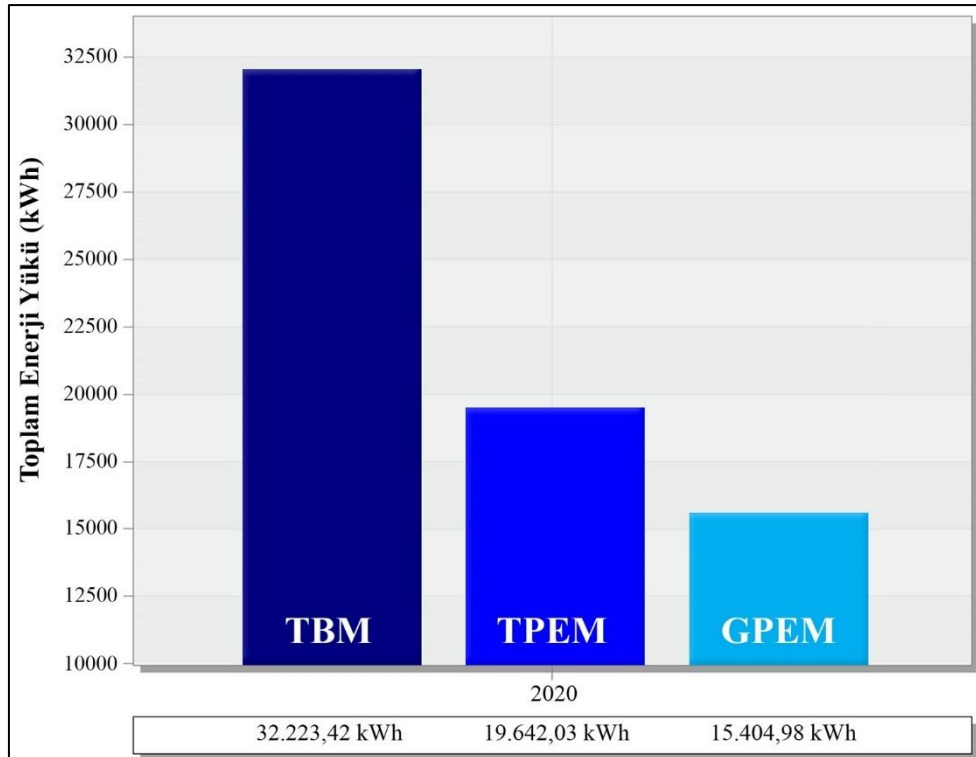
- Soğutma yükü değerlendirildiğinde: GPEM'nin TBM'ye göre yıllık soğutma enerji tüketimi olarak en az %82 daha az enerji tükettiği bulunmuştur.
- Soğutma yükü değerlendirildiğinde: GPEM'nin TPEM'ye göre yıllık soğutma enerji tüketimi olarak en az %64 daha az enerji tükettiği bulunmuştur.



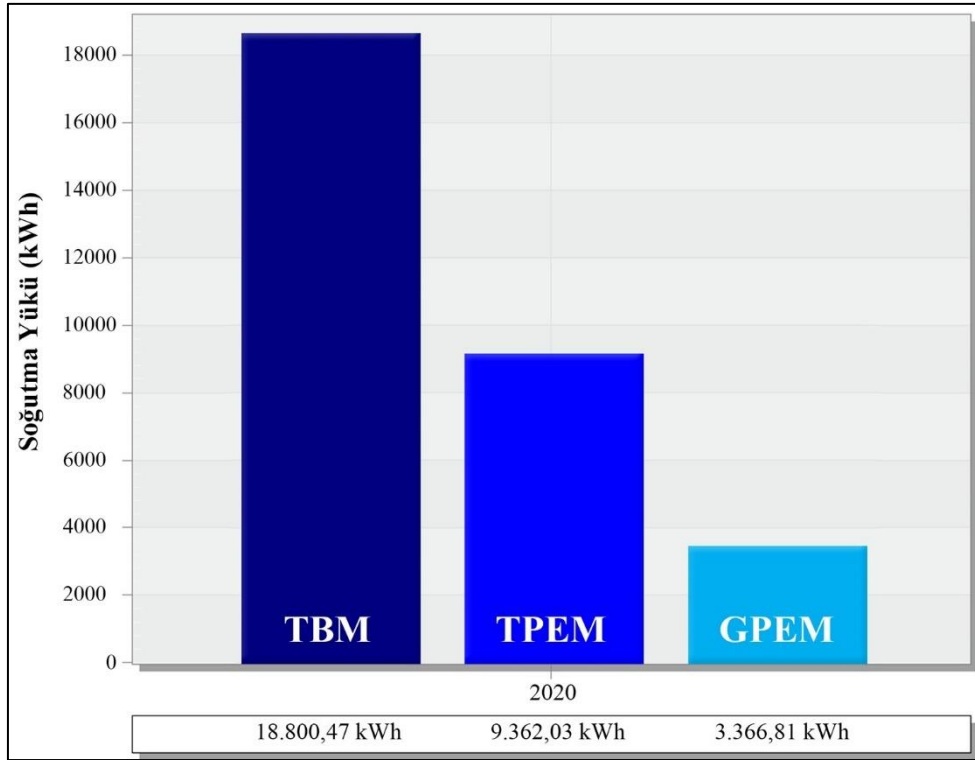
Şekil 5.46. DesignBuilder simülasyon programı kullanarak oluşturulan GPEM'nin 3 Boyutlu render görünümü (yazar tarafından hazırlanmıştır)

Çizelge 5.25. Modellerin simülasyonu sonuçlarının karşılaştırılması

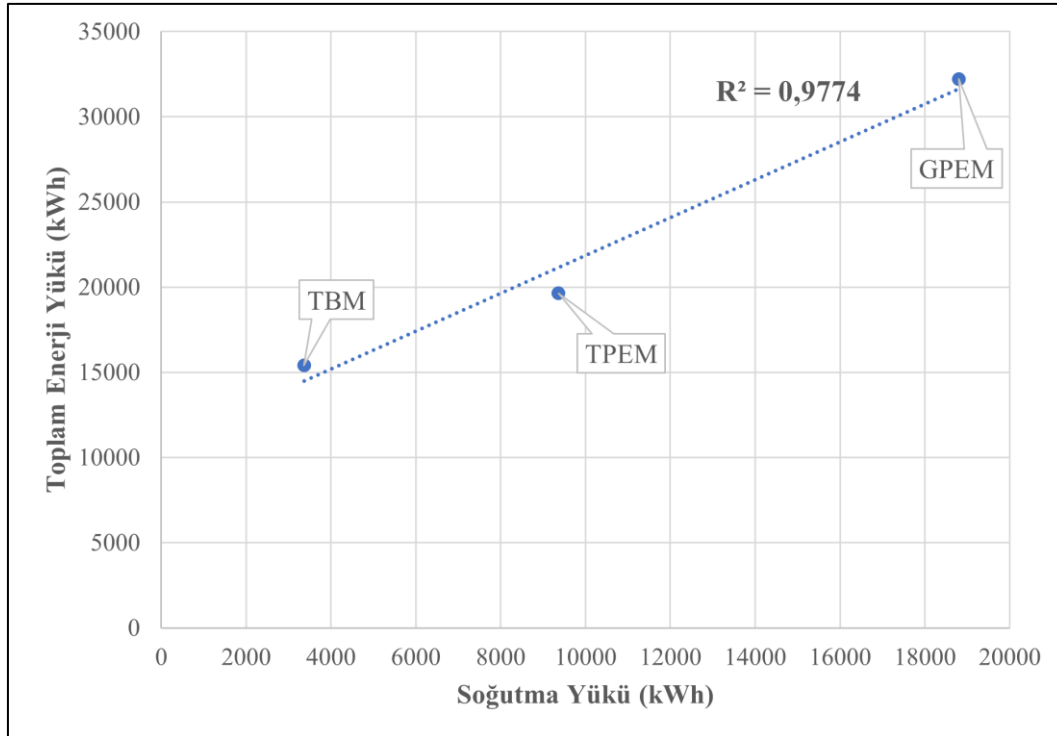
DETAYLAR		TBM	TPEM	GPEM
SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	1 Yıllık Toplam Enerji Tüketimi	32.223,42 kWh	19.642,03 kWh	15.404,98 kWh
	2 Toplam Alan Başına Enerji Talebi	140,40 kWh/m ² /yıl	85,58 kWh/m ² /yıl	66,50 kWh/m ² /yıl
	3 Yıllık Toplam Soğutma Yüğü	18.800,47 kWh	9.362,77 kWh	3.366,81 kWh
	4 Yıllık Soğutma Talebi	81,92 kWh/m ² /yıl	40,79 kWh/m ² /yıl	14,53 kWh/m ² /yıl
	5 Yıllık Toplam Isıtma Yüğü	4.112,53 kWh	968,84 kWh	2.573,06 kWh
	6 Yıllık Isıtma Talebi	17,92 kWh/m ² /yıl	4,22 kWh/m ² /yıl	11,11 kWh/m ² /yıl
	7 Aylık En Yüksek Soğutma Yüğü	4.960,81 kWh (AĞUSTOS)	2.435,24 kWh (AĞUSTOS)	1.369,96 kWh (AĞUSTOS)
	8 Pencerelerden Maksimum Isı Kazancı (21 Haziran)	13,65 kWh (08:00) 13,67 kWh (16:00)	3,21 kWh (08:00) 3,22 kWh (16:00)	1,20 kWh (16:00)



Şekil 5.47. Modellerin yıllık toplam enerji yükleri karşılaştırılması



Şekil 5.48. Modellerin yıllık toplam soğutma yükleri karşılaştırılması



Şekil 5.49. Simülasyonu yapılan modellerin regresyon analizi (R^2 : 0,9774)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’deki toplam enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturan konut sektörünün enerji tüketiminin azaltılması, sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır. Antalya kentinin sıcak ve nemli ikliminde soğutma yükü toplam enerji tüketiminin ana sorumlusu olduğundan, iklimlendirme sistemlerine bağımlılığın azaltılması için pasif tekniklerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tez, Antalya ilinin konut sektöründeki enerji korunumu çerçevesinde, pasif tekniklere dayalı Pasif Ev Standardı’nın uygulanabilirliğini değerlendirmek ve geleneksel Antalya Kaleiçi evlerinin yere özgü mimari çözümlerinin enerji tüketimine olan etkisini anlamak amacıyla yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, günümüzde yapılarda enerji korunumu amacıyla dünya çapında uygulanan Pasif Ev Standardı araştırılmıştır. Sıcak iklim özelliklerine sahip, soğutma yükünün önem taşıdığı Antalya ilinde bu standardın uygulanabilirliği, literatür taraması ve simülasyon çalışmaları çerçevesinde incelemiştir. Literatür taramaları sonucunda, sıcak iklim bölgelerinde Pasif Ev Standardı’nın uygulandığı yapılarda soğutma yükü ile ilgili sorunların ortaya çıktığı görülmüştür. Bu sebeple, sonrasında simülasyon çalışması yapılacak modellerde uygulanacak pasif soğutma stratejilerini yeniden değerlendirmek ve özetlemek için sıcak iklim bölgelerinde uygulanan enerji verimli, düşük enerjili yöntemler ve yerel pasif soğutma teknikleri hakkında bir literatür taraması yapılmıştır. Bu bilgiler ışığında, Antalya’nın Kaleiçi bölgesindeki geleneksel evlerin mimari öğelerinin enerji korunumu kapsamında özellikleri; yönelim ve yerleşim, bina formu, mekansal düzenleme, cephede doluluk-boşluk oranları (açıklıklar), güneş kontrolü, bitki kullanımı, serinletici elemanlar ve yapı malzemeleri başlıkları altında incelenmesi için alan çalışması yapılmıştır. Alan çalışmasında ek olarak, simülasyon çalışmasının ilk aşamasında kullanılan baz modelin (TBM) tasarım kararlarının belirlenmesi için 1950 sonrası artan nüfus sebebiyle imar çalışması sonucu ortaya çıkan Antalya’nın Şarampol Bölgesindeki güncel evlerinin mimari öğeleri analiz edilmiştir. Son olarak, güncel yapı tipine öykünen sanal modele, Pasif Ev Standardı’nın uygulanabilirliğinin anlaşılması ve sonrasında entegre edilecek olan Kaleiçi evlerinin yerel pasif soğutma tekniklerinin enerji korunumuna etkisinin değerlendirilebilmesi için DesignBuilder simülasyon programı ile sayısal verilere dayalı simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalar sonucunda, DesignBuilder simülasyon programı kullanılarak modellenen ve modern Antalya evini temsil eden TBM, Pasif Ev Standardı'nın enerji taleplerini (ısıtma, soğutma ve yıllık toplam enerji yükü) sağlayamamıştır. TBM'ye Pasif Ev Standardı'nın entegre edilmesi ile oluşturulan TPem'de, baz modele (TBM) göre yıllık soğutma yükünde %50, yıllık ısıtma yükünde %76 ve yıllık toplam enerji tüketiminde %39 oranında tasarruf sağlanmıştır. Ancak, yapılan eklemeler sonucunda yüzdesel olarak önemli miktarda tasarruf sağlanmış olsa da Pasif Ev Standardı'nın maksimum 120 kWh/m²/yıl değerindeki yıllık toplam enerji yükü ve maksimum 15 kWh/m²/yıl değerindeki ısıtma ve soğutma yükü taleplerinin sadece yıllık toplam enerji yükü (85,58 kWh/m²/yıl) ve ısıtma yükü (4,22 kWh/m²/yıl) açısından karşılandığı anlaşılmıştır. Bu sebeple, Pasif Ev Standardı eklemeleri ile sağlanamayan soğutma yükü talebinin (40,79 kWh/m²/yıl) karşılanabilmesi için geleneksel yapım tekniklerinin TPem'ye entegrasyonu ile yeni simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışma çerçevesinde, plan tipi değişikliği, kırma çatı-saçak ve çıkma eklenmesi, pencere-duvar oranı değişikliği, geleneksel kepenk kullanımı, doğal havalandırma ve yapı kabuğunun renklendirilmesi değerlendirilmiştir. Soğutma yüküne etkisi araştırılan bu tekniklerin uygulanması sonucu sırasıyla %8, %17, %32, %9, %21 ve %4 oranlarında soğutma enerjisi tasarrufu sağlanmıştır. Tüm yerel pasif çözümlerin TPem'ye uygulanması sonucunda oluşan GPem'nin, toplam yıllık soğutma yükünde yaklaşık %64 ve toplam yıllık enerji tüketiminde yaklaşık %23 daha fazla performans gösterdiği görülmüştür. Bunun yanı sıra, yıllık ısıtma yükü incelendiğinde GPem, TPem'den %62 daha az performans göstermiştir. Ancak, GPem'nin ısıtma yükü (11,11 kWh/m²/yıl), Pasif Ev Standardı ısıtma talebinin yine altında kaldığı için GPem'nin daha az performans göstermesi önem teşkil etmemektedir. Toplamda ise, baz modele Pasif Ev Standardı ve yerel mimari çözümlerin entegre edilmesi ile oluşan GPem'nin TBM'ye göre yıllık toplam enerji tüketiminde %52, yıllık soğutma yükünde %82 ve yıllık ısıtma yükünde %37 tasarruf sağlanmıştır. Ek olarak, tüm entegreler sonucu ortaya çıkan GPem'nin enerji yükleri; 66,50 kWh/m²/yıl toplam enerji yükü, 14,53 kWh/m²/yıl soğutma yükü ve 11,11 kWh/m²/yıl ısıtma yükü değerleri ile Pasif Ev Standardı'nın gereksinimlerini karşılamıştır.

Sonuç olarak, Antalya şehrinde tek aileli güncel konut yapısına Pasif Ev Standardı'nın uygulanması ile yalnızca yıllık toplam enerji yükü ve yıllık ısıtma yükü talepleri sağlanabilmiştir. Yıllık soğutma yükünde önemli miktarda enerji tasarrufu sağlansa da, literatür taramasında görülen soğutma yükü problemleri bu çalışmada da gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, Antalya güncel yapı tipini temsil eden baz modele (TBM) Pasif Ev Standardı

eklemeleri ile sağlanamayan soğutma yükü talebinin, geleneksel mimari çözümler ile desteklendiği durumda sağlanabileceği ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca tüm bu enerji tasarruflarının yanı sıra, Pasif Ev Standardı kriterlerinin gerekliliği olan süper yalıtım tabakası ve üçlü cam gibi ileri teknoloji, maliyeti yüksek ve edinilmesi zor olan yapı malzemelerinin kullanılmasına gerek olmayabileceği gösterilmiştir. Bu bağlamda, yerel iklim koşullarından yola çıkarak yere özgü yapılan mimari tasarımların, Antalya kentinin iklim şartlarında gereksiz malzeme kullanımının önüne geçilebileceği kanıtlanmıştır. Çalışmanın ana hipotezi çerçevesinde, Antalya ilinde Pasif Ev Standardı'nın tek başına kullanılamayacağı, kullanıldığı durumda standardın enerji yükü şartlarını sağlamak için çok fazla ek malzeme ve sistemlerin kullanılması gerektiği görülmüştür. Bu sebeple Pasif Ev Standardı tarafından talep edilen enerji tasarrufunun sağlanması ve gereksiz malzeme kullanımının önlenmesi için geleneksel mimari yöntemlerin gerekliliği kanıtlanmıştır.

Mevcut tez bazı değerli sonuçlar ortaya çıkarmış olsa da birtakım sınırlamaları olduğundan bahsetmek gerekmektedir. Türkiye'de çeşitli iklim tipleri görüldüğünden sonuçlar Türkiye'deki tüm şehirleri için geçerli olmayacaktır. Özellikle Antalya'da kış mevsimi ülke geneline göre daha ılıman geçtiği için ısıtma talebi farklı iklim bölgelerindeki illerde farklılık gösterecektir. Ayrıca tez kapsamında simülasyonu yapılan tasarımlar, boş bir parsel içerisinde komşu yapıların modele gölge etkisinin olmadığı şartlarda, tek aile için iki katlı müstakil bir konut olarak modellenmiştir. Binanın formu, yerleşimi, açıklıkları ve güneş ışınlarının yapıya etkisi farklı bağlamlarda değişiklik göstereceğinden, modelin her yerde ve her kullanım tipi için tekrarlanamayacağına dikkat edilmelidir.

Bu sınırlamalar çerçevesinde, tez çalışması, simülasyon analizleri ile elde edilen sonuçlar ışığında Pasif Ev Standardı'nın ve standarda ek olarak uygulanan geleneksel mimari çözümlerin yapıya etkisini sayısal veriler ile ortaya koymuştur. Bu bağlamda, hedeflenen bina performansına ulaşabilmek için Pasif Ev Standardı gibi standartların uygulanmasının tek başına yeterli olmayabileceği, bununla birlikte yerel mimari çözümlerin incelenmesinin gerekliliğinin ve bu çözümlerin yapıları hangi oranlarda etkilediğinin bilinmesi sağlanmıştır.

Gelecekteki çalışmalar için öneriler;

- Yapılan çalışma, Akdeniz Bölgesi Antalya kenti iklim koşulları çerçevesinde DesignBuilder simülasyon programı ile yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde, makro ve mikro iklim özelliklerine uygun parametreler içeren farklı simülasyon programları ile çalışılabilir.
- Çalışma genel olarak Pasif Ev Standardı ve yerel çözümler çerçevesinde; yapı biçimi, bina yönelimi, gölgelendirme elemanları ve yapı kabuğunu incelemiştir. Bu nedenle pencere ve cam çeşitlerinin enerji korunumuna etkisi, gri su sistemlerini kullanarak konutlarda su tüketimini azaltmak ve toprak ısıyı kullanılarak yapının iç mekan konforunun sağlanması gibi diğer enerji korunumu önlemleri üzerinde çalışılabilir.
- Yapılan simülasyon çalışmaları, iç mekan sıcaklık konfor seviyelerine göre yapılmıştır. Gelecek çalışmalar, iç mekan nem oranları, iç hava partikül seviyesi ve hava kalitesi gibi farklı konular üzerine yoğunlaşabilir.
- Araştırılan ve çalışmada kullanılan yerel pasif tasarım yöntemlerin kullanıldığı bu çalışmanın yanı sıra, düşük soğutma enerjili konut tasarlamak için; havalandırmada mekanik fan kullanımı, nem ve toz kontrolü, açıklıklar için güneş ışıını kontrollü otomasyon sistemi gibi aktif yöntemlerin entegre edilmesi, başka bir araştırma alanı olabilir. Örneğin çatıda ya da cephelerde güneş (fotovoltaik) panellerinin kullanılması enerji üreterek enerji yükünü azaltırken yapının gölgelenmesine yardımcı olabilir.
- Bu çalışmada sadece tek aileli müstakil konut yapıları incelenmiştir. Bu sebeple gelecek çalışmalarda; yüksek katlı yapılar, bitişik nizam konut yapıları, site olarak adlandırılan yapı kompleksleri ya da ofis vb. farklı kullanım tipleri değerlendirilebilir.
- Bu çalışma çerçevesinde incelenmeyen, düşük enerjili binaların inşası ve kullanılan malzemelerin toplam maliyetinin belirlenmesi ve yapılan entegrelerin uzun vadede maliyet açısından nasıl etki edeceğinin tespit edilmesi için farklı bir çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Abulafia, D., Balard, M., Black, J., Greene, M., Pryor, J., Rackham, O., Rickman, G., Suano, M., Torelli, M. (2005). *Tarih Boyunca Akdeniz Uygarlıkları*. İstanbul: Oğlak Yayıncılık, 11-33.
2. Aksoy, U. T., Inalli, M. (2006). Impacts of some building passive design parameters on heating demand for a cold region. *Building and Environment*, 41(12), 1742-1754.
3. Aktuna, M. (2007). *Geleneksel mimaride binaların sürdürülebilir tasarım kriterleri bağlamında değerlendirilmesi Antalya Kaleiçi evleri örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 60-88.
4. Alalouch, C., Saleh, M. S.-e., Al-Saadi, S. (2016). Energy-efficient house in the GCC region. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, 736-743. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.071>
5. Alshenaif, M. (2015). *High performance homes in Saudi Arabia Revised Passivhaus principles for hot and arid climates*. Yüksek Lisans Tezi, Philadelphia University, Philadelphia, 7-9.
6. Amato, A., Skelhorn, C., Council, Q. G. B. (2014). Qatar Case Study Passivhaus Project: The Baytna Scientific Partnership. *Doha, Qatar: Qatar Green Building Council*. 1-8.
7. Amer, M., Hamdy, M., Wortmann, T., Mustafa, A., Attia, S. (2020). Methodology for design decision support of cost-optimal zero-energy lightweight construction. *Energy and Buildings*, 223, 110170. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110170>
8. Atalay, I., Efe, R., Soykan, A. (2008). Mediterranean ecosystems of Turkey: ecology of the Taurus Mountains. *Natural Environment and Culture in the Mediterranean Region*, 3(38), 3-37.
9. Aydın, M., O. (1996). *Antalya kıyı yerleşmeleri planlama yapılanma kullanma ve sorunları*. Antalya: TMMOB Mimarlar Odası Antalya Şubesi, 42-46.
10. Bacanlı, Ü. G., Çukurluoğlu, S. (2018). Antalya ilinin bazı meteorolojik verilerinin trend analizi. *SETSCI Conference Indexing System*, 2(2018), 371-375.
11. Bajcinovci, B., Jerliu, F. (2016). Achieving energy efficiency in accordance with bioclimatic architecture principles. *Environmental and Climate Technologies*, 18(1), 54-63. <https://doi.org/10.1515/rtuect-2016-0013>
12. Bektaş, C. (2005). *Antalya Evleri: Anadolu Evleri Dizisi 2*. (1. Baskı). İstanbul: Bileşim. 99-101.
13. Brundtland, G. H. (1987). Our common future. *Environmental Conservation*, 14(4), 291-294.
14. Bolle, H. J. (2003). *Mediterranean climate: variability and trends*. Berlin: Springer Science & Business Media, 5-86.

15. Canan, F., Kobya, H. B., Aköz, A. B., Temizci, A. (2020). Vernaküler ve Çağdaş Mimarlık Örneklerinin Sürdürülebilirlik Bağlamında Karşılaştırmalı Analizi: Antalya Kaleiçi ve Deniz Mahallesi Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 256-266.
16. Catalina, T., Virgone, J., Iordache, V. (2011). Study on the impact of the building form on the energy consumption. *Proceedings of the 12th International Building Performance Simulation Association (IBPSA)*, 1726-1729.
17. Chiesa, G., Acquaviva, A., Grosso, M., Bottaccioli, L., Floridia, M., Pristeri, E., Sanna, E. M. (2019). Parametric optimization of window-to-wall ratio for passive buildings adopting a scripting methodology to dynamic-energy simulation. *Sustainability*, 11(11), 3078. <https://doi.org/10.3390/su11113078>
18. Colclough, S., Kinnane, O., Hewitt, N., Griffiths, P. (2018). Investigation of nZEB social housing built to the Passive House standard. *Energy and buildings*, 179, 344-359.
19. Cotterell, J., Dadeby, A. (2012). *The Passivhaus Handbook: A Practical Guide to Constructing and Retrofitting Buildings for Ultra-Low Energy Performance*. Cambridge: Green Books, 189.
20. Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and environment*, 43(4), 661-673.
21. Cruz, A. S., de Carvalho, R. S., da Cunha, E. G. (2020). Passive house alternative proposal for the Brazilian Bioclimatic Zone 8. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 15(6), 827-833.
22. Çakmanus, İ. (2011). Bina Enerji Simülasyonu. *Yeşil Bina Dergisi*, (8), 36-39.
23. Dalbem, R., da Cunha, E. G., Vicente, R., Figueiredo, A., Oliveira, R., da Silva, A. C. S. B. (2019). Optimisation of a social housing for south of Brazil: From basic performance standard to passive house concept. *Energy*, 167, 1278-1296.
24. Dörter, C. H. (1994). *Konutlarda ısıtma enerjisi korunumu amaçlı mimari tasarıma yön verici ilkelerin ve çözümlerin belirlenmesinde bir yaklaşım araştırması*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 87.
25. Ekici, B. B., Aksoy, U. T. (2011). Prediction of building energy needs in early stage of design by using ANFIS. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5352-5358.
26. Engin, N. (2012). Enerji Etkin Tasarımda Pasif İklimlendirme: Doğal Havalandırma. *Tesisat Mühendisliği*, 129, 62-70.
27. Feist, W. (2007). What is a passive house. *Passivhaus Institute*, 2-3.
28. Feist, W., Schnieders, J. (2009). Energy efficiency—a key to sustainable housing. *The European Physical Journal Special Topics*, 176(1), 141-153.

29. Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., Haas, A. (2005). Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. *Energy and buildings*, 37(11), 1186-1203.
30. Feng, W., Zhang, Q., Ji, H., Wang, R., Zhou, N., Ye, Q., Hao, B., Li, Y., Luo, D., Lau, S. S. Y. (2019). A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109303. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109303>
31. Fernandes, J. E. P., Dabaieh, M., Mateus, R., Bragança, L. (2014). The influence of the Mediterranean climate on vernacular architecture: a comparative analysis between the vernacular responsive architecture of southern Portugal and north of Egypt. *World Sustainable Buildings (WSB)*, 14, 773. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3067.8247>
32. Figueiredo, A., Kämpf, J., Vicente, R. (2016). Passive house optimization for Portugal: Overheating evaluation and energy performance. *Energy and Buildings*, 118, 181-196.
33. Fokaides, P. A., Christoforou, E., Ilic, M., Papadopoulos, A. (2016). Performance of a Passive House under subtropical climatic conditions. *Energy and buildings*, 133, 14-31.
34. Giorgi, F., Francisco, R. (2000). Uncertainties in regional climate change prediction: a regional analysis of ensemble simulations with the HADCM2 coupled AOGCM. *Climate Dynamics*, 16(2-3), 169-182.
35. Giouri, E. D., Tenpierik, M., Turrin, M. (2020). Zero energy potential of a high-rise office building in a Mediterranean climate: Using multi-objective optimization to understand the impact of design decisions towards zero-energy high-rise buildings. *Energy and Buildings*, 209, 109666.
36. Goncalves, V., Ogunjimi, Y., Heo, Y. (2021). Scrutinizing modeling and analysis methods for evaluating overheating risks in passive houses. *Energy and Buildings*, 234, 110701.
37. Gratia, E., Bruyere, I., De Herde, A. (2004). How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. *Building and environment*, 39(10), 1157-1170.
38. Gupta, N., Tiwari, G. N. (2016). Review of passive heating/cooling systems of buildings. *Energy Science & Engineering*, 4(5), 305-333.
39. Gupta, R., Gregg, M. (2012). Using UK climate change projections to adapt existing English homes for a warming climate. *Building and Environment*, 55, 20-42.
40. Hamdy, M., Hasan, A., Siren, K. (2013). A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast 2010. *Energy and Buildings*, 56, 189-203.
41. Hensen, J., Djunaedy, E., Radošević, M., Yahiaoui, A. (2004, September). Building performance simulation for better design: some issues and solutions. *Proceedings of the 21st Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA)*, 2, 1185-1190.

42. Hidalgo, J. M., Psomas, T., García-Gáfaró, C., Heiselberg, P., Millán, J. A. (2015). Overheating assessment of a passive house case study in Spain. *Effective ventilation in high performance buildings: 36th Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC) Conference*, 36, 645-655.
43. Hopfe, C. J., McLeod, R. S. (2015). *The Passivhaus Designer's Manual: A technical guide to low and zero energy buildings*. Londra: Routledge, 1-12. <https://doi.org/10.4324/9781315726434>
44. Hui, S. C. (2003). Effective use of building energy simulation for enhancing building energy codes. *Proceedings of the 8th International Building Performance Simulation Association (IBPSA), Building Simulation 2003 Conference*, 532-530.
45. İnternet: Altensis (2015). DesignBuilder Software. Web: <https://www.altensis.com/en/services/designbuilder-software/> Son Erişim Tarihi: 21.02.2022.
46. İnternet: Certified Buildings Map. (t.y.). Web: <https://database.passivehouse.com/en/buildings/map/> Son Erişim Tarihi: 21.01.2022.
47. İnternet: Doha İklimi, Aylık Hava Durumu, Ortalama Sıcaklığı (Katar) - Weather Spark. (t.y.). Web: <https://tr.weatherspark.com/y/105083/Doha-Katar-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1l-Boyunca> Son Erişim Tarihi: 21.01.2022.
48. İnternet: Climate limits of the Mediterranean Basin (2005). Web: <http://www.grabovrat.com/mapsViews/mapsViewsMB06.html> Son Erişim Tarihi: 07.07.2022.
49. İnternet: Merriam-Webster. (t.y.). Bioclimatic In Merriam-Webster.com dictionary. Web: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/bioclimatic> Son Erişim Tarihi: 02.01.2022.
50. İnternet: Nouri, A., Frisch, J., van Treeck, C. (2021). Statistical Methodologies for Verification of Building Energy Performance Simulation. Web: https://www.researchgate.net/publication/354655916_Statistical_Methodologies_for_Verification_of_Building_Energy_Performance_Simulation Son Erişim Tarihi: 07.07.2022.
51. İnternet: Lafayette İklimi, Hava Durumu, Ortalama Sıcaklığı (Louisiana, United States) - Weather Spark. (t.y.). Web: <https://tr.weatherspark.com/y/10821/Lafayette-Louisiana-Amerika-Birle%C5%9Fik-Devletleri-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1l-Boyunca> Son Erişim Tarihi: 21.01.2022.
52. İnternet: Passivhaus Institut. (t.y.). Passive House requirements. Web: https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm Son Erişim Tarihi: 05.01.2022.
53. İnternet: Saft, C., Helton, E. (2012). Hot Humid and still Cool'. *7th Annual North American Passive House Conference*. Web: <https://pdfs.semanticscholar.org/presentation/e7ed/d2a85730bd74a707f932fb33cf3fb3561ed3.pdf> Son Erişim Tarihi: 18.12.2020.

54. İnternet: Schiano-Phan, R., Ford, B., Gillott, M., Rodrigues, L. T. (2008). 432: The Passivhaus standard in the UK: Is it desirable? Is it achievable?. *Conference on Passive and Low Energy Architecture Conference*. Web: https://www.researchgate.net/publication/237699813_432_The_Passivhaus_standard_in_the_UK_Is_it_desirable_Is_it_achievable Son Erişim Tarihi: 07.07.2022.
55. İnternet: Schnieders, J. (2003). CEPHEUS—measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses. *European Council for an Energy Efficient Economy: Summer Study*. 1-11. Web: https://grist.org/wp-content/uploads/2009/06/cepheus_eceee.pdf Son Erişim Tarihi: 07.07.2022.
56. İnternet: Sensoy, S., Demircan, M., Ulupinar, Y. (2016). Climate of turkey. *Turkish state meteorological service*, 401. Web: https://www.researchgate.net/publication/296597022_Climate_of_Turkey Son Erişim Tarihi: 07.07.2022.
57. İnternet: Sousa, J. (2012). Energy simulation software for buildings: review and comparison. *International Workshop on Information Technology for Energy Applicatons-IT4Energy*, 12. Web: <http://ceur-ws.org/Vol-923/paper08.pdf> Son Erişim Tarihi: 07.07.2022.
58. İnternet: Sustainability Banner (t.y.). Web: https://www.artarchitects.com/v2/wp-content/uploads/2019/04/Sustainability_Banner.jpg Son Erişim Tarihi: 05.01.2022.
59. İnternet: The world's first Passive House, Darmstadt-Kranichstein, Germany (t.y.). Web: https://passipedia.org/examples/residential_buildings/multi-family_buildings/central_europe/the_world_s_first_passive_house_darmstadt-kranichstein_germany Son Erişim Tarihi: 05.01.2022.
60. James, M., Bill, J. (2016). *Passive house in different climates: the path to net zero*. Londra: Routledge. 14-15. <https://doi.org/10.4324/9781315696553>
61. Johnston, D., Siddall, M. (2016). The building fabric thermal performance of Passivhaus dwellings—does it do what it says on the tin?. *Sustainability*, 8(1), 97. <https://doi.org/10.3390/su8010097>
62. Kachkouch, S., Ait-Nouh, F., Benhamou, B., Limam, K. (2018). Experimental assessment of thermal performance of three passive cooling techniques for roofs in a semi-arid climate. *Energy and Buildings*, 164, 153-164.
63. Kamar, K. A. M., Hamid, Z. A. (2012). Sustainable construction and green building: the case of Malaysia. *Sustainability Today, WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 167, 15-22.
64. Kaur, H. (1994). *Antalya 'da Eski ve Yeni Yerleşmelerin İklimle Dengeli Yapı Tasarımı Yönünden Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5-43.
65. Khalfan, M. (2019). Lessons Learned from the First Passivhaus Building in Qatar. *International Journal of Environmental Science & Sustainable Development*, 4(3), 77-91.

66. Khalfan, M., Sharples, S. (2016). Thermal comfort analysis for the first Passivhaus project in Qatar'. *Proceedings of The Sustainable Built Environment (SBE16) conference*, 16, 115-123.
67. Khalfan, M., Sharples, S., Amato, A., Skelhorn, C., Bryant, J. (2015). The first Passivhaus in Qatar: initial monitoring and modelling energy performance. *Proceedings of 31st International PLEA Conference, Passive Low Energy Architecture: Architecture in (R)Evolution*, 1-8.
68. Khosla, S., Singh, S. (2014). Energy efficient buildings. *International Journal of Civil Engineering Research*, 5(4), 361-366.
69. Kinnane, O., Grey, T., Dyer, M. (2016). Adaptable housing design for climate change adaptation. *Engineering Sustainability*, 170(5), 249-267.
<https://doi.org/10.1680/jensu.15.00029>
70. Kuennecke, B. (2008). *Temperate Forest Biomes*. Connecticut: Greenwood Press, 137-173.
71. Küçükerman, Ö. (1985). *Kendi mekanının arayışı içinde türk evi: turkish house in search of spatial identity*. İstanbul: Apa Ofset Basımevi, 53.
72. Lafqir, F. E., Sobhy, I., Benhamou, B., Bennouna, A., Limam, K. (2020). Thermal performance of passive techniques integrated to a house and the concept of passive house in the six climates of Morocco. *Science and Technology for the Built Environment*, 26(10), 1490-1508.
73. LaFrance, M. (2013). *Technology Roadmap: Energy efficient building envelopes*. Paris: International Energy Agency, 20-21.
74. Lee, J., Lee, K. S., Lim, J. (2015). Passive Design Techniques Aplied To Green Buildings As An Aesthetic And Spatial Design Concept. *Journal of Green Building*, 10(2), 79-109.
75. Lewis, S. (2014). *PHPP Illustrated. A Designer's Companion to the Passive House Planning Package*. Londra: Riba publishing, 6-9.
76. Lomas, K. J., Porritt, S. M. (2017). Overheating in buildings: lessons from research. *Building Research & Information*, 45(1-2), 1-18.
77. Looman, R. (2017). Climate-responsive design: A framework for an energy concept design-decision support tool for architects using principles of climate-responsive design. *A+ BE| Architecture and the Built Environment*, (1), 1-282.
78. Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736-755.
79. Marin, D. M. (2017). *The impact of building orientation on energy usage: Using simulation software IDA ICE 4.7.1*. Yüksek Lisans Tezi, University of Gävle, İsviçre, 20.

80. Mlakar, J., Štrancar, J. (2011). Overheating in residential passive house: Solution strategies revealed and confirmed through data analysis and simulations. *Energy and Buildings*, 43(6), 1443-1451.
81. Mohsen, M. S., Akash, B. A. (2001). Some prospects of energy savings in buildings. *Energy conversion and management*, 42(11), 1307-1315.
82. Moreno-Rangel, A. (2021). Passivhaus. *Encyclopedia*, 1(1), 20-29.
83. Moreno-Rangel, A., Sharpe, T., McGill, G., Musau, F. (2020). Indoor air quality in Passivhaus dwellings: A literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4749.
84. O'Donovan, A., Murphy, M. D., O'Sullivan, P. D. (2021). Passive control strategies for cooling a non-residential nearly zero energy office: Simulated comfort resilience now and in the future. *Energy and Buildings*, 231, 110607.
85. Olgyay, V. (2015). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism-new and expanded edition*. New Jersey: Princeton University Press, 14-23.
86. Özfidaner, M., Şapolyo, D., Topaloğlu, F. (2017). Antalya Ortalama Sıcaklık Verisinde Gidişlerin Yeni Bir Gidiş Analiz Yöntemi ile Belirlenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı, 223-228.
87. Özgür, Ş. (2011). *Akdeniz kentlerinin karakteristik özelliklerinin peyzaj mimarlığı açısından irdelenmesi: Antalya örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 51-56.
88. Özmehmet, Ö. G. E. (2007). Avrupa ve Türkiye'deki Sürdürülebilir Mimarlık Anlayışına Eleştirel Bir Bakış. *Journal of Yaşar University*, 2(7), 809-826.
89. Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G., Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri. *Coğrafya Dergisi*, (35), 17-27. <https://doi.org/10.26650/JGEOG295515>
90. Pellegrini, T. (2013). *Improvement of summer comfort by passive cooling with increased ventilation and night cooling*. Yüksek Lisans Tezi, Technical University of Denmark, Kopenhagen, 115-137.
91. Persson, M. L., Roos, A., Wall, M. (2006). Influence of window size on the energy balance of low energy houses. *Energy and buildings*, 38(3), 181-188.
92. Pino, A., Bustamante, W., Escobar, R., Pino, F. E. (2012). Thermal and lighting behavior of office buildings in Santiago of Chile. *Energy and Buildings*, 47, 441-449.
93. Poirazis, H., Blomsterberg, Å., Wall, M. (2008). Energy simulations for glazed office buildings in Sweden. *Energy and buildings*, 40(7), 1161-1170.
94. Rinaldi, A., Roccotelli, M., Mangini, A. M., Fanti, M. P., Iannone, F. (2017). Natural ventilation for passive cooling by means of optimized control logics. *Procedia engineering*, 180, 841-850.

95. Sameni, S. M. T., Gaterell, M., Montazami, A., Ahmed, A. (2015). Overheating investigation in UK social housing flats built to the Passivhaus standard. *Building and Environment*, 92, 222-235.
96. Sarı, S., İnan, N. (2010). Antalya-Anamur Kıyı Bölgesindeki İklim Farklılıkları. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (22), 325-362.
97. Sassi, P. (2013). A natural ventilation alternative to the Passivhaus standard for a mild maritime climate. *Buildings*, 3(1), 61-78.
98. Schnieders, J. (2009). *Passiv houses in South West Europe: a quantitative investigation of some passive and active space conditioning techniques for highly energy efficient dwellings in the South West European region*. Darmstadt: Passivhaus Institute, 145-148.
99. Schnieders, J., Hermelink, A. (2006). CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. *Energy Policy*, 34(2), 151-171.
100. Schnieders, J., Eian, T. D., Filippi, M., Florez, J., Kaufmann, B., Pallantzas, S., Paulsen M., Reyes E., Wassouf M., Yeh, S. C. (2020). Design and realisation of the Passive House concept in different climate zones. *Energy Efficiency*, 13(8), 1561-1604.
101. Schnieders, J., Feist, W., Rongen, L. (2015). Passive Houses for different climate zones. *Energy and buildings*, 105, 71-87.
102. Schulze, T., Eicker, U. (2013). Controlled natural ventilation for energy efficient buildings. *Energy and buildings*, 56, 221-232.
103. Sherif, A., El-Zafarany, A., Arafa, R. (2012). External perforated window Solar Screens: The effect of screen depth and perforation ratio on energy performance in extreme desert environments. *Energy and Buildings*, 52, 1-10.
104. Sigalingging, R. C., Chow, D., Sharples, S. (2020). Applying the Passivhaus standard to a terraced house in a hot and humid tropical climate–Evaluation of comfort and energy performance. *Building Services Engineering Research and Technology*, 41(3), 247-260.
105. Taleb, H. M. (2014). Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in UAE buildings. *Frontiers of Architectural Research*, 3(2), 154-165.
106. Tian, C., Chen, T., Yang, H., Chung, T. M. (2010). A generalized window energy rating system for typical office buildings. *Solar Energy*, 84(7), 1232-1243.
107. Trubiano, F. (2013). *Design and construction of high-performance homes: building envelopes, renewable energies and integrated practice*. Londra: Routledge, 41-52. <https://doi.org/10.4324/9780203721797>
108. Truong, H., Garvie, A. M. (2017). Chifley passive house: a case study in energy efficiency and comfort. *Energy Procedia*, 121, 214-221.

109. Tzikopoulos, A. F., Karatza, M. C., Paravantis, J. A. (2005). Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings. *Energy and buildings*, 37(5), 529-544.
110. Tzonis, A. (2007). Rethinking design methodology for sustainable social quality. *Tropical Sustainable Architecture: Social and Environmental Dimensions*, Londra: Routledge, 17-27.
111. Urfalıoğlu, N. (2010). *Antalya, Isparta ve Burdur evlerinde cephe biçimlenişi*. Antalya: Suna-İnan Kiraç Akdeniz Medeniyetleri Araştırma Enstitüsü, 39.
112. Utkutuğ, G. (1999). Binayı Oluşturan Sistemler Arasındaki Etkileşim ve Ekip Çalışmasının Önemi, Mimar Tesisat Mühendisi İş Birliği. *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongre ve Sergisi*, 229(1), 19-36.
113. Vettorazzi, E., Figueiredo, A., Rebelo, F., Vicente, R., & da Cunha, E. G. (2021). Optimization of the passive house concept for residential buildings in the South-Brazilian region. *Energy and Buildings*, 240, 110871.
114. Wong, K. D., Fan, Q. (2013). Building information modelling (BIM) for sustainable building design. *Facilities*, 31(3-4), 138-157. <https://doi.org/10.1108/02632771311299412>
115. Yu, C. R., Guo, H. S., Wang, Q. C., Chang, R. D. (2020). Revealing the impacts of passive cooling techniques on building energy performance: a residential case in Hong Kong. *Applied Sciences*, 10(12), 4188.
116. Yuan, Y., Shim, J., Lee, S., Song, D., Kim, J. (2020). Prediction for Overheating Risk Based on Deep Learning in a Zero Energy Building. *Sustainability*, 12(21), 8974.
117. Zabihi, H., Habib, F. (2012). Sustainability in building and construction: revising definitions and concepts. *International Journal of Emerging Sciences*, 2(4), 570.
118. Zinzi, M. (2016). Characterisation and assessment of near infrared reflective paintings for building facade applications. *Energy and Buildings*, 114, 206-213.



GAZİ GELECEKTİR..