T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ ETKİN BİNALARIN TASARIMI

EDİP İMİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2017

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ ETKİN BİNALARIN TASARIMI

EDİP İMİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2017

Tezin Başlığı: Enerji Etkin Binaların Tasarımı

Tezi Hazırlayan: Edip İMİK

Sınav Tarihi: 05.07.2017

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Mehmet YILMAZ** .....
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN .....
Fırat Üniversitesi

Doç. Dr. Rasim BEHÇET .....
İnönü Üniversitesi

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Enerji Etkin Binaların Tasarımı" başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Edip İMİK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENERJİ ETKİN BİNALARIN TASARIMI

Edip İMİK

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

143 + xvi SAYFA

2017

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Yılmaz

Küresel ısınma, iklim değişikliği ve tatlı su temini gibi çevresel zorluklar son zamanlarda önemli bir konu haline gelmiştir. Dünyanın dört bir yanındaki büyük miktarda enerji tüketimi ve su kullanımı binalardan kaynaklanmaktadır ve ayrıca insan yaşamının büyük bir kısmı binalarda geçirilmektedir. Tüm bu nedenler çevre dostu, sürdürülebilir, daha rahat, enerji açısından verimli ve düşük enerji tüketen yapılar olan enerji etkin binaları ön plana çıkarmaktadır.

Bu tezde, İnönü Üniversitesi kampüsünde "İnönü Enerji Etkin Binası" olarak isimlendirilen 2 katlı enerji etkin bir binanın tasarımı yapılmıştır. Mevcut yasal düzenlemelere uygun olarak tasarlanan bina "referans bina" olarak adlandırılmış ve bu binanın DesignBuilder v5 ile modellemesi yapılmıştır. Referans binanın simülasyonu EnergyPlus v8.5 ile yapılarak binanın enerji tüketimi, iç ısı kazançları, ısı kayıpları, ısıtma yükü ve CO_2 üretimi hesaplanmıştır.

Enerji etkin bina tasarım ilkeleri ile pasif ev/yeşil bina ölçütlerine uygun alternatif tasarımlar oluşturulmuştur. Alternatif tasarımlar "*Enerji Talebinin Azaltılması*", "*Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması*" ve "*Su Kaynaklarının Verimli Kullanılması*" temel başlıkları altında gruplandırılarak incelenmiştir. Referans binanın enerji talebinin azaltılmasına yönelik olarak "*Bina dış kabuk opak bileşenleri alternatifi*", "*Bina pencere alternatifi*" ve "*Hava sızdırmazlık alternatifi*" olmak üzere üç farklı alternatif incelenmiştir. Referans binada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması kapsamında "*Isı pompası alternatifi*", "*Trombe duvar alternatifi*", "*Fotovoltaik sistem alternatifi*" ve "*Rüzgâr türbini alternatifi*" olmak üzere dört farklı alternatif incelenmiştir. Ayrıca su kaynaklarının verimli kullanılmasına yönelik olarak "*Yağmur Suyu Depolama Sisteminin Kullanılması*" tasarımı incelenmiştir. Her bir alternatifin kullanılabilirliği belirlenmiştir. Tüm sistemlerin ilk yatırım maliyetleri ve yıllık enerji tüketimi

hesaplanmış ve elde edilen değerler kullanılarak para geri ödeme süresi tespit edilmiştir.

Tüm simülasyon sonuçları incelendiğinde; hava sızdırmazlık alternatifi, Trombe duvar alternatifi, fotovoltaik panel alternatifi ve yağmur suyu depolama sistemi alternatifinin günümüz şartlarında ekonomik olduğu bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Sürdürülebilirlik, enerji etkin binalar, düşük-enerjili binalar, pasif evler, yenilenebilir enerji, İnönü Üniversitesi, maliyet analizi, para geri ödeme süresi

ABSTRACT

Master's Thesis

DESIGN OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS

Edip İMİK

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

143 + xvi PAGES

2017

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

Environmental challenges like global warming, climate change and fresh water supply have recently become important issues. Large amounts of energy consumption and water use all over the world result from buildings and also a large part of human lifetime is spent in buildings. All these reasons bring energy efficient buildings into the front scene that are environmental friendly, sustainable, more comfortable, energy efficient and low consuming structures.

In this thesis, a two storey energy efficient building called "İnönü Energy Efficient Building" is designed at Inonu University Campus. The building, which is designed in accordance with the existing legal regulations, is called the "reference building" and this building is modeled with DesignBuilder v5. Simulation of the reference building is done with EnergyPlus v8.5 to calculate the energy consumption, internal heat gains, heat losses, heating load and CO_2 production of the building.

Alternative designs according to energy efficient building design principles and passive house / green building criteria are established. Alternative designs are investigated by grouping them under the headings of "*Reduction of Energy Demands*", "*Use of Renewable Energy Resources*" and "*Efficient Use of Water Resources*". Three alternatives, "*Building exterior shell opaque components alternative*", "*Building window alternative*" and "*Airtight sealing alternative*", are examined in order to reduce the energy demand of the reference building. Within the scope of the use of renewable energy resources in the reference building, four different alternatives are investigated as "*Heat pump alternative*", "*Trombe wall alternative*", "*Photovoltaic system alternative*" and "*Wind turbine alternative*". In addition, the design of "*Use of Rainwater Storage System*" is examined for efficient use of water resources. The value of employing each alternative is explored. Initial investment costs and annual energy consumption of all systems have been calculated and duration of repayment of the money has been found over the values obtained.

When all simulation results are examined; air sealing alternative, Trombe wall alternative, photovoltaic panel alternative and rainwater storage system alternative are found to be economical in today's conditions.

KEY WORDS: Sustainability, energy efficient buildings, low-energy buildings, passive houses, renewable energy, Inonu University, cost analysis, repayment period of money

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını yaparken, en iyisini oluşturmak için bu sürecin her aşamasında bana yol gösteren, yardım eden; bilgi, tecrübe ve kaynaklarını benimle paylaşan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet YILMAZ'a,

Her konuda yardımlarını esirgemeyen müdürüm Sayın Sezai ŞİRECİ'ye ve mesai arkadaşlarım Sayın Hulusi KAYIŞ'a, M. Ali CANPOLAT'a, İbrahim GÖKÇE'ye,

Tez çalışmasında hiçbir yardımı esirgemeyen değerli arkadaşlarım Makine Mühendisi Nevzat Utkan ALP'e, Makine Mühendisi Mustafa KARAGÖZ'e, Dr. M. Mustafa Eyol'a, Ecz. Hüseyin BAĞATIR'a, Dr. Serdar KARAMAN'a ve Arş. Gör. Engin Eren KORKMAZ'a,

Bugüne gelmemde en büyük paya sahip olan ve benden hiçbir şeyi esirgemeyen Anneme teşekkürü bir borç bilirim.

Edip İMİK

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER DİZİNİ x
ÇİZELGELER DİZİNİ xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR xv
1. GİRİŞ 1
1.1. Literatür Taraması 4
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı 13
2. KURAMSAL TEMELLER 15
2.1. Sürdürülebilir Yapı Tasarımı 15
2.1.1. Düşük enerjili ev (low-energy house) 16
2.1.2. Yeşil binalar 16
2.1.3. Pasif evler 18
2.1.4. Net sıfır enerjili binalar (nZEB) 20
2.1.5. Enerji etkin bina elemanları 21
2.2. Güneş Enerjili Sistemler 22
2.2.1. Pasif sistemler 24
2.2.1.1. Doğrudan kazanım sistemleri 24
2.2.1.2. Dolaylı kazanım sistemleri 25
2.2.1.2.1. Trombe duvarlar 25
2.2.1.2.2. Bidon duvarlar 26
2.2.1.2.3. Çatı havuz sistemleri 26
2.2.1.2.4. Termosifon sistemler 28
2.2.1.2.5. Seralar 28
2.2.1.2.6. Güneş bacaları 29
2.2.2. Aktif sistemler 30
2.2.2.1. Güneş kolektörleri 30
2.2.2.2. Fotovoltaik sistemler 31
2.2.2.3. Işık rafları 35
2.2.2.4. Işık tüpleri 35

2.2.2.5. Andolik tavanlar 36
2.2.2.6. Heliostatlar 36
2.3. Rüzgar Enerjili Sistemler 37
2.3.1. Rüzgar türbinleri 37
2.4. Isı Pompaları 39
2.4.1. Isı pompası elemanları ve çalışma prensibi 40
2.4.2. Toprak kaynaklı ısı pompası 41
2.4.2.1. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası 42
2.4.2.2. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası 43
2.5. Yerden Isıtma ve Soğutma Sistemleri 44
3. ENERJİ ETKİN BİNA TASARIM İLKELERİ 46
3.1. Kullanıcıya İlişkin Parametreler 48
3.1.1. Kullanıcı niteliği ve durumuna ilişkin parametreler 48
3.1.2. Fizyolojik parametreler 49
3.2. Dış Çevreye İlişkin Parametreler 49
3.2.1. Sıcak-nemli iklim bölgesi 50
3.2.2. Sıcak-kuru iklim bölgesi 50
3.2.3. Ilımlı-nemli/ılım-kuru iklim bölgesi 51
3.2.4. Soğuk iklim bölgesi 51
3.3. Yapma Çevreye ve Binaya İlişkin Parametreler 53
3.3.1. Binanın yeri, yönlendiriliş durumu ve hacim organizasyonu 53
3.3.2. Bina aralıkları 56
3.3.3. Bina formu 57
3.3.4. Bina kabuğu 58
3.3.4.1. Isı yalıtımı 61
3.3.4.2. Bina hava sızdırmazlığı 63
3.3.4.3. Isı köprüleri 64
3.3.5. Enerji etkin aydınlatma tasarlanması 65
3.3.6. Bina ısıtma ve havalandırma sistemleri 65
3.3.7. Mekanik tesisat 67
3.3.8. Bina otomasyon sistemi 68
4. MATERYAL VE YÖNTEM 69
4.1. Materyal 69
4.1.1. İnönü Üniversitesi 69

4.1.2. İklimsel koşullar 70
4.2. Yöntem 71
4.2.1. Designbuilder ile modelleme 71
4.2.2. Energyplus ile simülasyon 72
4.2.3. Enerji hesaplama yöntemi 74
4.2.4. İnönü enerji etkin binası tasarımı 77
4.2.4.1. Bina yerinin belirlenmesi 77
4.2.4.2. Bina formu ve yönünün belirlenmesi 79
4.2.4.3. Referans bina oluşturulması 80
4.2.5. Toprak kaynaklı ısı pompası tasarımı 83
4.2.5.1. Toprak ısı değiştiricisi hesabı 88
4.2.5.2. Toprak alanı hesabı 91
4.2.5.3. Gerekli ısı taşıyıcı akışkan miktarı hesabı 93
4.2.6. Trombe duvar tasarımı 94
4.2.7. Güneş panelleri tasarımı 100
4.2.8. Yağmur suyu depolama sistemi tasarımı 102
4.2.9. Ekonomik Analiz 104
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 105
5.1. Malatya İli İklimsel Karakteristikleri 105
5.2. Referans Bina Simülasyon Sonuçları 108
5.3. Bina Enerji Talebinin Azaltılması 112
5.3.1. Bina dış kabuk opak bileşenleri alternatifi 112
5.3.2. Bina pencere alternatifi 114
5.3.3. Hava sızdırmazlık alternatifi 116
5.4. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması 118
5.4.1. Isı pompası alternatifi 118
5.4.2. Trombe duvar alternatifi 121
5.4.3. Fotovoltaik sistem alternatifi 122
5.4.4. Rüzgâr türbini alternatifi 125
5.5. Yağmur Suyu Depolama Sisteminin Kullanılması 125
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 127
6.1. Sonuçlar 127
6.2. Öneriler 131
KAYNAKLAR 133

EKLER 137
EK-1. Binanın giriş katında bulunan mahaller için, programın “Activity” , “Construction” , “Lighting” , “HVAC” sekmesine girilen veriler. 137
EK-2. Binanın 1. katında bulunan mahaller için, programın “Activity” , “Construction” , “Lighting” , “HVAC” sekmesine girilen veriler. 138
EK-3. Bina Kullanım Takvimi 139
Ek-4. Yerden Isıtma Sistemi Tasarım Hesapları 140
Ek-5. Referans Bina ve Pasif Ev Dış Kabuk Opak Bileşen Değerlerine Getirilen Alternatif Tasarımın İnşaat Kalemi Yaklaşık Maliyet Hesabı 141
ÖZGEÇMİŞ 143

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Binanın yaşam döngüsünde enerji tüketiminin dağılımı 2
Şekil 1.2. Konut ve ticari binaların enerji tüketim dağılımları 2
Şekil 1.3. Türkiye nihai enerji tüketiminin sektörel dağılımı 3
Şekil 2.1. Yeşil bina örneği 17
Şekil 2.2. Pasif ev temel tasarım kriterleri 19
Şekil 2.3. Net-sıfır enerji tüketimin başarılması 21
Şekil 2.4. Güneş ışınım değerlerinin dünyaya ulaşan ve ulaşamayan değerleri 23
Şekil 2.5. Doğrudan kazanım sistemleri 24
Şekil 2.6. Trombe duvar ısıtma ve havalandırma çalışma sistemi 26
Şekil 2.7. Bidon duvar sistemi 27
Şekil 2.8. Çatı havuz sistemi 27
Şekil 2.9. Termosifon sistemler 28
Şekil 2.10. Sera sistemi 29
Şekil 2.11. Güneş baca sistemi 29
Şekil 2.12. Güneş kolektörü 31
Şekil 2.13. Güneş panel sistemini oluşturan temel donanımlar 32
Şekil 2.14. Şebekeden bağımsız sistemler (off grid) 34
Şekil 2.15. Şebeke bağlantılı sistemler (on grid) 34
Şekil 2.16. Işık rafları 35
Şekil 2.17. Işık tüpleri 35
Şekil 2.18. Andolik tavan sistemi 36
Şekil 2.19. Heliostat sistemi 37
Şekil 2.20. Bina entegreli rüzgar türbini örneği 39
Şekil 2.21. Isı pompasının termodinamiği 39
Şekil 2.22. Isı pompası çalışma sistemi 41
Şekil 2.23. Yıllık toprak altı sıcaklık değişimi 42
Şekil 2.24. Düz yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası 43
Şekil 2.25. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası 44
Şekil 2.26. Yerden ısıtma ve soğutma sistemi örneği 45
Şekil 3.1. Erken tasarımın faydaları 46
Şekil 3.2. Enerji kullanımında tasarımın etkisi 47
Şekil 3.3. Enerji etkin pasif bina tasarım parametreleri 47

Şekil 3.4. Sıcak-nemli iklim bölgesinde tasarlanmış ev örneği 50
Şekil 3.5. Sıcak-kuru iklim bölgesinde tasarlanmış yapı 51
Şekil 3.6. Ilımlı iklim bölgesinde tasarlanmış yapı 52
Şekil 3.7. Soğuk iklim bölgesinde tasarlanmış yapı 52
Şekil 3.8. Binaların iklim bölgesine göre konumlandırılması 54
Şekil 3.9. Bina formu enerji etkileşimi 58
Şekil 3.10. Yapılarda ısı kayıpları 61
Şekil 3.11. Yalıtımlı ve yalıtımsız bir binada termal ısı kaybının karşılaştırılması ... 62
Şekil 3.12. Optimum yalıtım değerinin analizi 62
Şekil 3.13. Binalarda hava sızdırma oluşabilecek yerler 63
Şekil 3.14. Hava boşluklarında su buharının geçişi 64
Şekil 4.1. İnönü Üniversitesi Google Earth görünümü 69
Şekil 4.2. Malatya ortalama dış hava sıcaklıkları 70
Şekil 4.3. DesignBuilder kullanıcı ara yüzü 72
Şekil 4.4. Energyplus programı çalışma prensibi 73
Şekil 4.5. Simülasyon yöneticisi yapısı 73
Şekil 4.6. ASHRAE Isıl denge metodu direnç şeması 74
Şekil 4.7. ASHRAE ısıl denge metodu akış şeması 76
Şekil 4.8. Bina sistemleri simülasyon yöneticisi 76
Şekil 4.9. Seçilen arazinin konumu 78
Şekil 4.10. Bina yön ve formuna bağlı ısıtma enerji tüketimi 79
Şekil 4.11. İnönü Üniversitesi Enerji Etkin Binasının 3 boyutlu görünümü 80
Şekil 4.12. Bina hacim organizasyonu 81
Şekil 4.13. Isı pompası ile ısıtma ve sıcak temini şematik gösterimi 84
Şekil 4.14. Referans bina ısıtma tasarım kapasitesi 86
Şekil 4.15. Malatya toprak yapısı 92
Şekil 4.16. Trombe duvardaki hava döngüsü 95
Şekil 4.17. Beton bloğun gündüzleri ısı depolama kapasitesinin duvar yoğunluğu ve duvar kalınlığına göre değişimi 96
Şekil 4.18. Trombe duvar koruyucu komponent bileşeni 97
Şekil 4.19. Enerji Etkin Binada Trombe duvar görünümü 99
Şekil 4.20. PV panellerin çatıya konumlandırılması 102
Şekil 4.21. Yağmur suyu depolama ve dağıtım sistemi örneği 103

Şekil 4.22. Çatı yatay alanı ve ilin yağış miktarına göre toplanabilecek yağmur suyu 103
Şekil 5.1. Malatya ili aylık dış hava kuru termometre sıcaklığı 106
Şekil 5.2. Malatya ili aylık ortalama rüzgar hızı değerleri 107
Şekil 5.3. Malatya ili aylık ortalama rüzgar yönleri 107
Şekil 5.4. Malatya iline ait aylık ortalama doğrudan normal güneş ve yatay difüz güneş miktarı 108
Şekil 5.5. Referans bina aylık ısı kayıpları ve kazançları 109
Şekil 5.6. Referans bina aylık enerji tüketim değerleri 110
Şekil 5.7. Referans bina yıllık enerji tüketim değerleri 111
Şekil 5.8. Referans bina yıllık doğal gaz ve elektrik enerji tüketim değerleri 111
Şekil 5.9. Referans bina aylık ortalama CO_2 üretim değerleri 112
Şekil 5.10. Bina hava sızdırmazlık değerinin 0,5 h^{-1} olarak ayarlanması 117
Şekil 5.11. Fotovoltaik sistemli binanın enerji üretim ve tüketim değerleri 123
Şekil 5.12. Referans bina ve Güneş panelli bina CO_2 üretim değerleri 124

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Enerji etkin bina elemanları 22
Çizelge 2.2. Fotovoltaik bileşenlerin yapıda kullanım şekilleri 32
Çizelge 2.3. Şebekeye bağımlı ve bağımsız sistemlerin karşılaştırmaları 34
Çizelge 3.1. Belirli eylem türleri için metabolizma düzeyleri 49
Çizelge 3.2. Hesaplamalarda kullanılan değerler 49
Çizelge 3.3. Farklı iklim bölgelerine göre uygun bina formu, yerin eğimi ve yönlendirilişi 55
Çizelge 3.4. Önerilen bina hacim organizasyonu 56
Çizelge 3.5. Farklı iklim bölgelerinde bina aralıklarının belirlenmesi 57
Çizelge 3.6. Bölgelere göre ısı geçiş katsayısı değerleri 59
Çizelge 3.7. Bina kabuğu elemanlarının iklimlere göre belirlenmesi 60
Çizelge 3.8. Hava sızdırmazlık değeri karşılaştırması 64
Çizelge 4.1. İnönü Enerji Etkin Binası kat planı 80
Çizelge 4.2. Referans bina dış kabuk elemanları ile TSE 825 standardı U değerleri 82
Çizelge 4.3. Bina dış kabuk elemanları ve U değerleri 82
Çizelge 4.4. Kombi teknik detayı 83
Çizelge 4.5. Yatay ve dikey TKIP karşılaştırılması 84
Çizelge 4.6. Yatay TKIP boyutlandırma ölçütleri 85
Çizelge 4.7. Referans bina sıcak su ihtiyacı 86
Çizelge 4.8. Isı pompası teknik özelikleri 87
Çizelge 4.9. Toprak direncinin toprak şartları ve boru çapına bağlı değişimi 90
Çizelge 4.10. Topraktan çekilen spesifik ısı kapasiteleri 93
Çizelge 4.11. PE boruların taşıma kapasitesi 93
Çizelge 4.12. Trombe duvar için koruyucu çatı faktörü (F) 98
Çizelge 4.13. Enerji Etkin Bina Trombe duvar özelikleri 99
Çizelge 5.1. Mahallerin ısıtma tasarım kapasiteleri 109
Çizelge 5.2. Pasif Ev kriterlerini sağlayan alternatif dış kabuk opak bileşenleri 113
Çizelge 5.3. Referans bina ve alternatif tasarım simülasyon sonuçları 113
Çizelge 5.4. Referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim değerleri ve maliyeti 114
Çizelge 5.5. Referans bina ve alternatif tasarım inşaat kalemi toplam yaklaşık maliyeti 114

Çizelge 5.6. Referans bina ve Pasif Ev pencere kriterlerine uygun hale getirilen binaya ait pencerelerin teknik özellikleri 115
Çizelge 5.7. Referans bina ve alternatif tasarımın simülasyon sonuçları 115
Çizelge 5.8. Referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim değerleri 116
Çizelge 5.9. Referans bina ve alternatif bina pencere yaklaşık maliyetleri 116
Çizelge 5.10. Referans bina ve alternatif tasarımın simülasyon sonuçları 117
Çizelge 5.11. Referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim değerleri 117
Çizelge 5.12. Hava sızdırmazlık alternatifinin yaklaşık maliyeti 118
Çizelge 5.13. Isı pompası kullanılması durumunda referans bina ve alternatif tasarımın karşılaştırılması 119
Çizelge 5.14. Isı pompası kullanılması durumunda referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim maliyetlerinin karşılaştırılması 120
Çizelge 5.15. Kombi ile ısıtma ve sıcak su eldesi için yaklaşık maliyet 120
Çizelge 5.16. Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) ile ısıtma ve sıcak su eldesi için yaklaşık maliyet 120
Çizelge 5.17. Referans bina ve Trombe duvarı içeren alternatif tasarımın karşılaştırması 121
Çizelge 5.18. Referans bina ve Trombe duvarı içeren alternatif tasarımın enerji tüketim maliyetlerinin karşılaştırılması 122
Çizelge 5.19. Trombe duvar yaklaşık maliyeti 122
Çizelge 5.20. Fotovoltaik panellerin üretim sonuçları 123
Çizelge 5.21. Referans bina ve fotovoltaik sistemli binanın elektrik tüketim ve üretim değerleri 124
Çizelge 5.22. Fotovoltaik panellerle elektrik eldesi yaklaşık toplam maliyeti 125
Çizelge 5.23. Yağmur suyu depolama sistemi ile elde edilecek tasarruf 126
Çizelge 5.24. Yağmur suyu depolama sistemi yaklaşık maliyeti 126
Çizelge 6.1. Bina dış kabuk alternatif tasarım sonuçları 128
Çizelge 6.2. Yenilebilir enerji kaynakları alternatifleri ve yağmur suyu depolama sistemi tasarım sonuçları 130
Çizelge 6.3. Ekonomik alternatif tasarımları içeren bina sonuçları 131

SİMGELER VE KISALTMALAR

A_{pv}	Güneş Paneli Alanı
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Akım
ASHRAE	The American Society Of Heating, Refrigerating And Air-Conditioning Engineers
BEP	Bina Enerji Performansı
BTS	Bütünsel Tasarım Süreci
^oC	Santigrat
ci	İç Taşınım
Clo	Giysilerin Yalıtım Direnci
co	Dış Taşınım
COP_H	Isı Pompası Etkinlik Katsayısı
cond	İletim
D	Doğu
D_i	İç Boru Çapı
D_o	Dış Boru Çapı
DIN	Alman Endüstri Normu
DOE	Department Of Energy
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
EPBD	Energy Performance Of Buildings Directive
epw	Energy Plus Weather
EPS	Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (Expanded Polystyren Foam)
F	Çatı Koruyucu Faktörü
F_E	Toprak Alanı
F_H	Çalışma Faktörü
h^{-1}	Saatte Metreküplük Hava Değişim Oranı
HDPE	Yüksek Dayanımlı Polietilen Boru
HVAC	Isıtma-Soğutma-Havalandırma
Hz	Hertz
I_{cl}	Giysi Türüne Bağlı Yalıtım Direnci
IDF	Ara Yüz Programı
IWEC	International Weather For Energy Calculations
ia	İç Hava
ilw	İç Uzun Dalga Radyasyonu
ir	İç Radyasyon
k_p	Borunun Isıl İletim Katsayısı
L_H	Isıtma İçin Gereken Isı Değiştiricisi Uzunluğu
m_{ss}	Konutun Sıcak Su İhtiyacı
MET	Metabolizma Düzeyi
n50	50 Pa'lık Basınç Farkında Saatlik Hava Değişimi (İç/Dış Ortam Arası)
nZEB	Sıfır Enerjili Bina (Net Zero Energy Building)
nnZEB	Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (Nearly Net Zero Energy Building)
ODTÜ	Ortadoğu Teknik Üniversitesi
olw	Dış Uzun Dalga Radyasyonu
Pa	Pascal
PE	Polietilen Boru
P_{pv}	Güneş Panelinin Gücü

PV	Güneş Paneli
Q	Isıtıcı Gücü
Q_E	Topraktan Çekilen Spesifik Isı Kapasitesi
Q_H	Isı Pompası Isıtma Gücü
Q_K	Isı Pompası Gücü
R_p	Boru Isıl Direnci
R_s	Toprak Isıl Direnci
S	Depolama
si	İç Yüzey
sol	Güneş
T_d	Ortalama Dış Hava Sıcaklığı
T_d	Yılın En Düşük Toprak Sıcaklığı
T_m	Ortalama Toprak Sıcaklığı
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
U	Isıl Geçirgenlik Değeri
U_D	Dış Duvar Isıl Geçirgenlik Değeri
U_T	Tavan Isıl Geçirgenlik Değeri
U_t	Taban Isıl Geçirgenlik Değeri
U_p	Pencere Isıl Geçirgenlik Değeri
Ψ	Doğrusal Isı Transfer Katsayısı

1. GİRİŞ

1973'lerde yaşanan enerji krizi, özellikle enerji açısından dışarıya bağımlı olan Avrupa ülkelerinde, enerji korunumunu ve enerji etkinliğini ön plana çıkartmıştır. Bu durum, çeşitli bilim adamları ve araştırmacıların mevcut enerji tüketimini azaltmayı amaçlayan yöntemler ve kendisini yenileyebilen, çevreyi kirletmeyen, doğada kendiliğinden var olan alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesini ve yaygınlaştırılmasını sağlaması yolunda yaptıkları araştırmaların artmasına neden olmuştur.

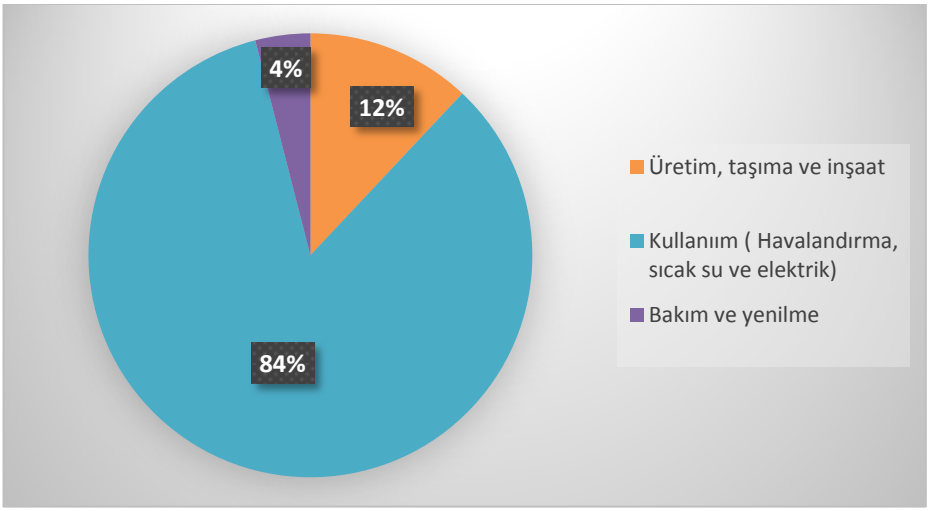
Bu gelişmelerin desteklediği bir tasarım anlayışı olarak "Enerji Etkin Tasarım Yaklaşımları" geliştirilmiştir. Enerji etkin tasarımları diğer tasarım yaklaşımlarından ayıran özellik, yapıyı oluşturan tüm malzeme ve bileşenlerin üretimi, yapının tasarımı yanı sıra kullanımı, bakımı, işletimi ve iklimlendirme sistemlerinin seçim ve yönetimine kadar geniş bir alan çerçevesinde, yapının standardını düşürmeden enerji girdilerinin bireysel ve toplumsal yarara yönelik olarak miktar ve maliyetini minimize etmeyi hedeflemesidir. Hem binanın çevreye uyum sağlamasını kolaylaştıran, kendini yenileyen enerji kaynaklarından yararlanmayı sağlayan hem de kullanılan enerjiyi koruma ve israfını önlemeye yönelik tedbirleri almayı hedefleyen, tasarım, üretim ve işletim yaklaşımlarıdır [1].

Lizbon, 1982'de enerji etkin tasarımı tanımlarken yapıyı iklimsel kuvvetlerden koruyan ve/veya mekanik sistemlerdeki enerji gereksinimini azaltmak için iklimsel kuvvetleri kullanan tasarım olduğunu vurgular [1, 2].

Enerji etkin tasarım kavramı; sonlu enerji kaynaklarına olan bağlılığın azaltılması için çevresel kaynaklardan en fazla yararlanan ve sonlu enerji kaynaklarının en fazla verim alınacak şekilde kullanılarak tasarım yapılması sonucunda geleneksel fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılmasını amaçlayan bir kuramdır.

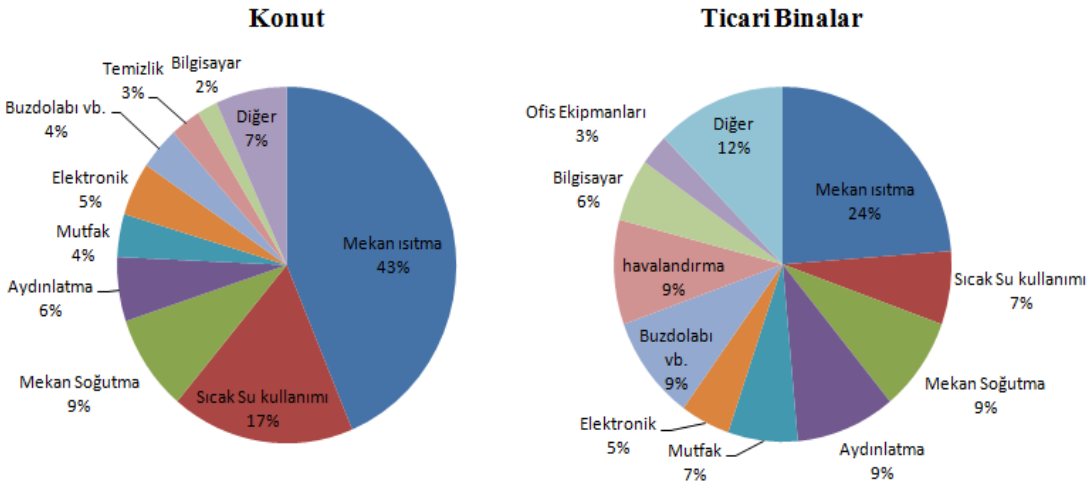
Enerji etkin binaların tasarımında, binanın yaşam döngüsünde enerji tüketimine etki eden tüm faktörler belirlenerek gerekli teknik tedbirlerin alınması ve enerjinin verimli kullanılması sağlanmalıdır. Bir binanın yaşam döngüsünde tükettiği toplam enerjinin %12'si üretim, taşıma ve inşaat aşamasında, %84'ü kullanımda (havalandırma, ısıtma, soğutma, elektrik vb.) ve %4'lük bir kısım da bakım ve yenilemede olmaktadır (Şekil 1.1). Bu değerler kıyaslandığında, enerji tüketiminin

beşte dördünden fazla olan kullanım/işletme aşamasında enerjinin etkin kullanılabilmesi için üzerinde hassasiyetle durulması gerektiği ortaya çıkmaktadır [3].



Şekil 1.1. Binanın yaşam döngüsünde enerji tüketiminin dağılımı [3]

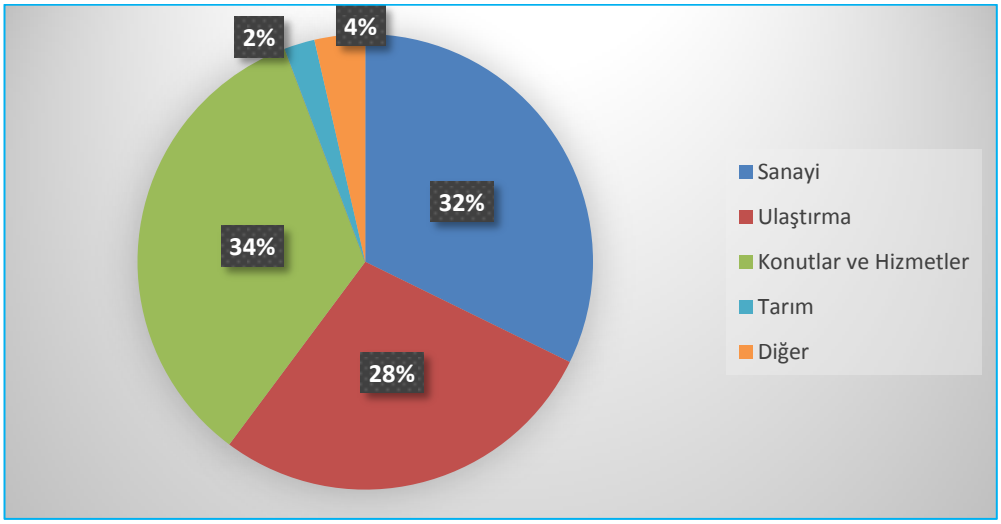
Şekil 1.2'de konut ve ticari binaların kullanım aşamasında enerji tüketim dağılımı verilmektedir. Bu dağılımda en fazla enerji tüketim değerlerinin ısıtma, soğutma ve sıcak su gereksiniminde olduğu görülmektedir. Binaların tasarımında bu ihtiyaçları karşılamak için tüketilen enerjiyi azaltacak; mimari pasif tasarımlar, aktif sistemlerin verimli seçilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gibi faktörlerin detaylı şekilde analiz edilmesi ve doğru kararların alınması gereklidir. Bu şekilde tasarlanan yapılar yaşamlarına %50 enerji tasarrufuyla başlayabilmektedir.



Şekil 1.2. Konut ve ticari binaların enerji tüketim dağılımları [4, 5]

Enerji etkin binaların tasarımında kullanılan yöntemlerden biri de Bütünsel Tasarım Süreci'dir (BTS). Bütünsel Tasarım Süreci yaklaşımı, bina yapılmadan önce tüm paydaşların karar alma sürecine dâhil edilmesidir. Bu paydaşlar; mimar, mühendisler, proje sahipleri ve diğer uzmanlar olmaktadır. Binayı bir bütün olarak ele alan BTS de disiplinler arası işbirliğiyle; binanın tasarımındaki aşamalar önce ve sonra yeniden değerlendirilmekte, alternatif tasarımlar ve tercihler simülasyon programlarıyla test edilmekte ve gerekli görüldüğü noktalarda enerji performans/verimlilik değerleri ve yapı maliyetlerinin optimize edilmesi açısından tasarımlar yeniden düzenlenebilmektedir. BTS ne kadar erken bir aşamada gerçekleşirse, bina performansı üzerindeki etkisi o kadar yüksek ve maliyetler üzerindeki etki ise o kadar düşük olmaktadır [3].

Türkiye hızlı gelişen bir ülkedir. Gelişmesini devam ettirebilmesi için enerjiye gereksinimi vardır. Bu nedenle de enerji talebi ve tüketimi hızla artmaktadır. Türkiye'nin 2103 yılında 120,3 milyon TEP, 2014 yılında 123,9 Milyon TEP, 2015 yılında ise 129,3 milyon TEP birincil enerji tüketimi olmuştur [6]. Türkiye'nin 2014 yılı 87.134 TEP olan nihai enerji tüketiminin dağılımına bakıldığında ise en fazla tüketiminin % 34 ile konut ve hizmet sektöründe olduğu akabinde sanayi sektörü ve ulaştırmanın geldiği görülmektedir (Şekil 1.3). Ülkemizin tükettiği enerjinin %70-75'ini ithal ettiği düşünüldüğünde nihai enerji tüketiminin en fazla olduğu binalarda enerjinin verimli kullanılması zorunlu bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır [7].



Şekil 1.3. Türkiye nihai enerji tüketiminin sektörel dağılımı [6]

1.1. Literatür Taraması

Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Güneş Evi [8], ülkemizde yapılan ilk güneş evlerinden birisi olup yapımı 1980 yılında tamamlanmıştır. Günümüzde ODTÜ öğretim elemanları tarafından ofis olarak kullanılmaktadır. Yapı asma katı, zemin katı ve güneş odasıyla birlikte 96,6 $m^{2'}$dir. Bu alanın 19,8 m^{2}'sini güneş odası oluşturmaktadır. Binada bulunan pasif yapılar; kış bahçesi, 19 cm kalınlığındaki duvar ve kış bahçesindeki ısıyı depolayan zemindir. Aktif elemanlar ise kolektör, sıcak su silindir tankı ve radyatörlerdir. Yapının ısıtma enerji ihtiyacının %22,4'ü, çatısında Mimarlık ve Makine Fakültesi işbirliğiyle yapılan düzlemsel sıvılı güneş toplayıcılarla karşılanmakta olup, sıcak su 10 m^{2}'lik bir silindir tankta depolanabilmektedir. Binada 1996 yılında iyileştirmeler yapılmıştır. Isı kayıplarının azaltılması için duvarlara, yere ve çatıya yalıtım malzemesi eklenmiş, pencerelere tek cam yerine çift ısıcam takılmış ve binanın kuzey cephesinde rüzgârlık yapılmıştır. Isıtma sisteminde su yerine havaya geçilmiş ve yer döşemelerine hava kanalları eklenmiştir. Ayrıca, çatısına da güneş panelleri kurulmuştur.

Darmstadt-Kranichstein Evi [9], Prof. Bott Ridder ve Westermeyer Firması tarafından özel bir müşteri için tasarlanan Almanya'nın Darmstadt ili Kranichstein ilçesinde Pasif ev standartlarıyla yapılmış ilk bina olup Ekim 1991'de kullanıma açılmıştır. Yapı 156 m^2 taban alanına sahip olup 3 katlı 4 sıra evden oluşmaktadır. Bina ahşap ve betonarme strüktür yapısında olup toplam 11.500 m^2 proje alanına sahiptir. Yapının çatısı 0,1 W/m^2K, dış duvarları 0,14 W/m^2K, bodrumun tavanları 0,13 W/m^2K ve pencereleri 0,7 W/m^2K ısıl geçirgenlik (U) değerlerinde olup bu sayede enerji kayıpları minimize edilmiştir. Binada ısı köprülerinin oluşmaması için gerekli tasarım kriterleri oluşturulmuş ve 50 Pa basınç farkındaki hava değişkenlik değeri 0,3 h^{-1} olarak ölçülmüştür. Yapıdaki mekanik havalandırma sisteminde, ters akışlı havadan havaya ısı değiştirici kullanılarak %80 oranında ısı geri kazanım sağlanmıştır. Havalandırma sisteminde taze hava yaşam alanlarına ve yatak odasına verilirken, kirli hava ise mutfak ve banyodan çekilerek atılmaktadır. Kullanıcıların sıcak su gereksinimini karşılamak için ev başına 5,3 m^2 güneş kolektörü kullanılmıştır. Böylece gerekli olan sıcak su ihtiyacının %66'sı yenilenebilir enerji kaynağı ile karşılanmıştır. Kranichstein Pasif Evi'nde yapılan ölçümlerde, düşük enerjili ev aletlerinin kullanılmasıyla elektrik miktarının ortalama değerinin üçte birine kadar düşürülebileceği ortaya çıkmıştır. 15 yıllık süre içinde, binanın

ısıtılmasında doğalgaz enerji tüketimi ortalama 9,2 kWh/m^2 gerçekleşmiş, Almanya'da ortalama ısıtma tüketim değeri olan 170 kWh/m^2 değerine göre %94,6 oranında azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Almanya'da o yıllarda yürürlükte bulunan mevcut Enerji Tasarruf Yönetmeliğinde belirtilen değerlere göre binanın toplam enerji tüketim değerleri kıyaslandığında %90 daha verimli olduğu belirlenmiştir.

Akgöz [10], yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında enerjinin korunumunu ve enerji etkin bina tasarımını zorunlu kılan etkenlere değinerek enerji etkin bina tasarımda etkili olan; dış çevreye ilişkin parametreler, yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri, bina dış kabuğu ve termofiziksel özellikleri, bina formu, binanın yönlendiriliş durumu ve bina aralıkları vb. faktörleri ayrıntılı olarak açıklamıştır. Enerji etkin bina tasarım parametreleri için uygun değerlerin belirlenmesinde kullanılan yöntem tezde anlatılmış ve bu yöntem İstanbul ili için uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir.

Süleyman Demirel Üniversitesi Temiz Enerji Evi [11], Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından 2003 yılında projelendirilip 2004 yılında hayata geçirilmiştir. Bu projede pilot olarak seçilen bir konuta yenilenebilir enerji kaynaklı; güneş enerjili ısıtma ve sıcak su sistemi, güneş pili ile elektrik ve aydınlatma sistemi, küçük rüzgâr türbini ile elektrik üretimi, güneş enerjisiyle yemek pişirme ve evsel atıklardan biyogaz üretimi sistemleri yapılmıştır. Temiz Enerji Evi'nin tüm elektrik ihtiyacı 1,5 kW kurulu güce sahip olan güneş pilleri ile karşılanmakta ve ihtiyaç fazlası üretimse akülerde depolanmaktadır. Ayrıca, Temiz Enerji Evi'nin yine sıcak su ve ısıtma ihtiyacı güneş enerjili destekli çalışmaktadır. Evin yakınında bulunan bir alana meteoroloji ölçüm istasyonu kurulmuştur. Sistemlere ait her türlü data toplama ve değerlendirme donanımı pilot olarak seçilen konuta yerleştirilmiştir. Bu konutta toplanan veriler wireless-RF ve internet hattından merkezde toplanmaktadır.

Özdemir [12], yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında sürdürülebilir çevre için binaların enerji etkin pasif sistemler olarak tasarlanmasını ele almıştır. Bu kapsamda; binalarda kullanılan aktif ve pasif sistemler irdelenmiş, enerji etkin pasif tasarımda etkili olan parametreler ve tasarım süreçleri ele alınmıştır. Tezde örnek olarak İstanbul iline ait en uygun tasarım parametre değerleri tasarım süreciyle ayrıntılı olarak belirlenmiş ve beş iklim bölgesine ait tasarım bilgileri de özet olarak verilmiştir.

Enerji araştırma laboratuvarı olarak kullanılan Pamukkale Üniversitesi Temiz Enerji Evi [13], Şubat 2007 yılında tamamlanmıştır. Binanın ısıtma ihtiyacı 40 m^2 güneş kolektörü ve güney cephesinde bulunan Trombe duvarlarıyla karşılanmaktadır. Elektrik gereksinimi ise toplam 5 kWp gücünde olan güneş-hidrojen sistemiyle sağlanmaktadır. Güneş panellerinden üretilen fazla elektrikle su elektroliz edilerek hidrojen elde edilmekte ve katı halde metal hibrid tanklarda depolanmaktadır. İhtiyaç halinde bu hidrojenden elektrik elde edilmektedir. Bu evde farklı disiplinlerdeki bilim insanlarının enerji konusunda disiplinler arası çalışmalar ve projeler üretmesi hedeflenmiştir. Pamukkale Üniversitesi Temiz Enerji Evi'nde şu çalışmalar yürütülmektedir: Enerji Kaynakları ve Teknolojileri, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Fotovoltaik Sistemler, Isıtma (Aktif/Pasif) ve Soğutma, Kurutma, Rüzgâr Enerjisi ve Uygulamaları, Hidrojen Enerjisi ve Teknolojisi, Hidrojen Üretim Yöntemleri, Hidrojen Depolama Yöntemleri, Yakıt Pilleri, Isıtma-Soğutma Teknolojileri, Geleneksel Soğutma Yöntemleri, Vakum Soğutma Yöntemi.

Diyarbakır Güneş Evi [14]; ahşap karkas strüktür yapısına sahip olup 2007-2008 yılları arasında Diyarbakır'da inşa edilmiştir. Yapı; 66 m^2 zemin katı, 38 m^2 asma katı ve 16 m^2 sera bahçesinden oluşmakta olup toplam kullanım alanı 120 m^2'dir. Binanın sadece banyosu eksik olup küçük bir ev tasarımı şeklindedir. Yapı doğru yönelim, malzeme seçimi ve tasarım ilkeleriyle %50 enerji tasarrufu ile yaşamına başlamıştır. Yapının doğal malzemelerle çatısına, dış duvarlarına ve tabanına iyi derecede yalıtım yapılmıştır. Evde; fotovoltaik panel, güneş kolektörü, sera, Trombe duvar, rüzgâr kepçesi ve venturi bacası, akıllı şömine ve toprak kaynaklı ısı pompası kullanımıyla ısıtma, soğutma ve havalandırmada gereksinimlerinin karşılanmasında enerji ihtiyacı sıfır olmaktadır. Ayrıca suyun verimli kullanılması amacıyla evsel atıklardan arıtılan su ve çatısında toplanan yağmur suyu borularla kuzey cephesindeki toprakta gömülü tankta depolanmaktadır. Elde edilen bu su bahçede kullanılmaktadır.

Yıldız Enerji Evi [15], Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesi'nde 46 m^2 döşeme alanına sahip bir konteyner şeklindedir. Bu konteynerde temiz ev olgusu kapsamında araştırmalar yapılmaktadır. 2008 yılında çalışmalar başlamış olup günümüze kadar yapılanlar şu şekildedir:

1. Yerleşkede ve konteynerin yanında bulunan kız yurdunun sıcak su ihtiyacı mevcut olan 50 kW doğalgaz kazanı ve 500 litre kapasitesindeki boyler yerine, çatıya yerleştirilen 10 m^2 alana sahip 4 l/adet güneş kolektörü ve 300

litre boyler ile karşılanmıştır. Sıcak su kullanımında optimizasyon sağlanması için kazan, boyler ve güneş kolektörüyle sıcaklık kontrollü otomasyon uygulanmıştır.

2. Aralarında 7,5 metre bulunan 2 adet 60 metre derinlikte sondaj yapılmış ve HDPE 40 borularla sondaja giriş ve çıkış sağlanmıştır. Kuyuların konteynere olan mesafesi yatayda 30 m olup boru iletim hattı 50 cm derinliğe yerleştirilerek konteynerin makine dairesindeki dikey kaynaklı ısı pompası ile bağlantıları yapılmıştır.
3. Kız yurdunun 50 $m^{2'}$lik oturma salonuna 70 m^2 duvardan ısıtma ve soğutma sistemi, konteynerin makine dairesi hariç 3 odasına toplam 60 m^2 duvardan ısıtma ve soğutma sistemi yapılmış ve bağlantıları dikey kaynaklı ısı pompasına yapılmıştır.
4. Duvardan ısıtma/soğutma boru demetlerinde su rejimi, ısıtma sezonunda 35/30 °C, soğutma sezonunda 18/23 °C olacaktır. Kullanılan ısı pompasının katalog değerleri: Isıtma Kapasitesi: 8,13 kW; Soğutma kapasitesi: 6,43 kW; kompresör elektrik tüketimi: 1,70 kW; COP_H: 4,78; COP_C: 3,78'dır.

Kanagawa Evi [10], Japonya'nın Kamakura şehrinde müstakil bir konut olarak inşa edilmiştir ve Japonya'da Pasif Ev Enstitüsü onaylı ilk pasif ev olma özelliğine sahiptir. Yapının inşaatına 2008 yılında başlanmış ve 2009 yılının Haziran ayında kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Yapı ahşap karkas strüktür yapısına sahiptir. Bina 78 m^2 taban alanına sahip olup çatı terası bulunan iki kattan oluşmaktadır. Zemin katta yatak odaları, üst katta ortak kullanım alanları bulunmaktadır. Binada bulunan çatı terasına ise üst kattan bir dış merdivenle erişim sağlanmaktadır. Bina dış kabuğu; çatı 0,101 W/m^2K, dış duvarlar 0,16 W/m^2K, bodrum zemini ve döşeme zemini 0,217 W/m^2K ve pencere 0,71 W/m^2K ısıl geçirgenlik (U) sağlanarak yapıda enerji kayıpları minimize edilmiştir. Yapının dış cephe kaplaması olarak çevreye uygun kavrulmuş sedir ağacı seçilmiştir. Bu ahşap malzeme, neme karşı dayanıklılık ve geçerli yerel iklim koşullarına uygunluk açısından büyük önem taşımaktadır. Yapıda gerçekleştirilen hava sızdırmazlık testi ölçüm sonuçlarında 50 Pa basınç farkı altında hava değişim oranı 0,14 h^{-1} olarak ölçülmüştür. Mekanik havalandırma sisteminde, çapraz ters akışlı ısı değiştiricisiyle %90 oranında ısı geri kazanım sağlanmıştır. Yapının ısıtması ve soğutması klima ile yapılmaktadır. Binada mekanik havalandırma sisteminde kullanılan havadan havaya

ısı değiştiricisi ve ısıtma sistemi sayesinde yıllık ısıtma ihtiyacı 15 kWh/m^2 olarak ölçülmüştür. Yapının ısıtma tesisatı, sıcak su, elektrik ve gereken yardımcı elektrik için toplam birincil enerji talebi yıllık 113 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler pasif ev ölçütlerini sağlamıştır. Yapıda geleneksel Japonya evlerine göre %85 oranında enerji tasarrufu olmuştur.

Tıkır [16] yüksek lisans tez çalışmasında, Ataköy'de bulunan bir bina bloğunu referans alarak DesingBuilder yazılım programıyla modellemesini ve bu yazılım programıyla bütünleşik olan EnergyPlus'la simülasyonunu gerçekleştirerek binanın enerji tüketimi ve CO_2 üretimi değerlerini belirlemiştir. Binada ilk aşamada enerji talebinin azaltılmasına yönelik bina dış kabuğunda alternatif tasarımlarla iyileştirmeler ve ekonomik analizler yapmıştır. İkinci aşamada ise güneş enerjisinin etkin kullanabilmesi için binanın cephesine fotovoltaik panel ve çatısına güneş kolektörü ekleyerek bu sistemlerin binanın enerji tüketimine ve CO_2 üretimine etkisini belirlemiştir. İlk aşamada, referans binanın dış kabuğunda yapılan ekonomik enerji etkin iyileştirmesiyle konutun enerji tüketiminde %54, CO_2 üretim değerinde %39 azalma olmuştur. İkinci aşamada, yenilenen bina kabuğuna cephede fotovoltaik panel ve çatıya güneş kolektörü eklenmesiyle enerji tüketiminde mevcut binaya göre enerji tüketiminde %61, CO_2 üretim değerinde %50 azalma meydana gelmiştir.

Özçiftçi [1] yaptığı yüksek lisans çalışmasında, yapılarda enerjinin etkin kullanılabilmesi için geliştirilen sistemler, çeşitli öneriler ve mimari tasarım stratejilerini belirterek, ekolojik bina niteliği kazanmış binaların enerjiyi nasıl etkin kullandığını irdelemiştir.

Yasan [17] yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, TOKİ tarafından inşa edilen Şanlıurfa ilinin Halfeti ilçesinin Yukarıgöklü Beldesinin Tarımköy konutlarını referans olarak ele almıştır. Buradaki bir konutun, DesingBuilder yazılım programıyla modellemesini ve bu yazılım programıyla bütünleşik olan EnergyPlus'la simülasyonunu gerçekleştirerek enerji tüketim değerlerini belirlemiştir. Referans konutun tasarım alternatifleri olarak; bina geometrisi sabit tutularak 45^o açıyla konutun baktığı yönünün değiştirilmesi, opak bileşenlerinin değiştirilmesi, saydamlık oranlarının değiştirilmesi, pencerelerin değiştirilmesi ve konutta Trombe duvar tasarımları yapmıştır. Alternatif tasarımlarının her birinin ayrı ayrı simülasyonları gerçekleştirilerek enerji tüketim değerlerini elde etmiştir. Elde edilen bu değerler referans binanınkiyle karşılaştırılarak en az enerji gereksiniminin olduğu tasarım alternatiflerini belirlemiştir. Konutta en az enerji tüketiminin; referans konutun

baktığı yön olan güney cephede, referans konutun tuğla opak bileşeninde, referans konutta olan %10 saydamlık oranında, PVC kaplamalı 3'lü cam pencerede (referans konutta PVC kaplamalı 2'li cam) ve iki hacme uygulanan Trombe duvarda olduğu sonucunu elde etmiştir.

Yeni bir tasarım yaparken veya mevcut bir binanın iyileştirilmesi önerilirken binaların enerji etkin amaçlı olarak ele alınması enerji tasarrufunun sağlanmasında önemli bir etkendir. Manioğlu [18] "*Enerji Etkin Tasarım ve Yenileme Çalışmalarının Örneklerle Değerlendirilmes*i" isimli çalışmasında enerji etkin tasarım parametreleri dikkate alınarak gerçekleştirilen tasarım ve yenileme çalışması örnekleri ele alınarak bir değerlendirme yapmıştır. Yapılan değerlendirilmelerin sonucunda;

- ✓ Enerji etkin bir bina tasarımı amaçlandığında, farklı ölçeklerde (yerleşme ölçeği, bina ölçeği, hacim ölçeği, yapı elemanı ölçeği) önlemler alarak ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmanın mümkün olabileceği,
- ✓ Enerji etkin tasarım kriterlerinin hem tasarım hem de kullanım sürecinde ele alınıp, bu değişkenlere ait doğru kararların alınmasıyla, binaların hem ekonomik hem de konforlu hale dönüştürülebileceği,
- ✓ Bina kabuğu termofiziksel özelliklerinin, birlikte çalıştığı aktif ısıtma sisteminin özelliklerine bağlı olarak farklı performans sergileyebileceği,
- ✓ Enerji etkin bina kabuğu seçeneklerinin ekonomik bir analiz sonrası, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin de göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi gerektiği,
- ✓ Bina formuna bağlı olarak ısı kayıplarının azaltılmasına olanak sağlayan bina dış kabuğu toplam ısı geçirme katsayısının belirlenebileceği,
- ✓ Tasarım aşamasında farklı bina formlarının ısı korunumu açısından irdelenebileceği, aynı hacme, fakat farklı dış yüzey alanına sahip birden fazla bina formu arasından en ekonomik ve konforlu olanı belirlemenin mümkün olabileceği,
- ✓ Mevcut binalarda bina kabuğunda yapılabilecek basit yenileme alternatifleri ile ısıtma ve soğutma enerji harcamalarının azaltılabileceği,

bulgularına varılmıştır. Daha genel sonuçlara ulaşmak ve enerji harcamalarının azaltılmasında optimum alternatifleri sağlamak için çok sayıda farklı alternatifler geliştirilerek tekrar edilmenin ve sonuçların enerji etkinliği ve ekonomiklik bakımından analiz edilmesinin önemi vurgulanmıştır.

Günümüzde ortaya çıkan "*Yeşil Bina*" ve "*Sıfır Enerjili Bina*" kavramları enerji kullanımının etkinliğine ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmıştır. Bu kapsamda Net Sıfır Enerjili Bina (nZEB); klasik binalara göre çok daha az enerji tüketen, bina dışı iklim ve çevre koşullarından etkileşimi minimum düzeye indirilmiş, ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş, rüzgâr, ısı pompası) sağlayan, ulusal enerji dağıtım hatları ile alışveriş yapabilen, çevre dostu, sürdürülebilir ve aynı zamanda sıfır CO_2 emisyonu hedefleyen binalardır. Net Sıfır Enerjili Binaları oluşturan özellikler sıralandığında; bina minimum enerji tüketecek ve güneş ışığından daha fazla faydalanacak şekilde ve uygun yönlerde yerleştirilmeli, enerji verimli pencereler kullanılmalı, ısı yalıtımı yapılarak bina kabuğundan kaynaklanan ısı kayıpları minimize edilmeli, sıcak su için güneş kolektörleri, elektrik enerjisi için fotovoltaik paneller veya rüzgar türbinleri kullanılmalı, ısı pompası ve ısıl depolama sistemleri kullanılmalı, güneş enerjisi veya atık ısı destekli absorbsiyonlu sistemlerle daha az elektrik tüketen soğutma sistemleri kullanılmalı, mekanik havalandırma ihtiyacı için ısı geri kazanım sistemleri tesis edilmeli, bina ile ulusal elektrik dağıtım hatları arasında alışveriş yapılmasını sağlayacak sistem entegre edilmelidir. Günümüzde net sıfır enerjili bina tasarımı; mimarlar, mühendisler ve yapı fizikçileri için gittikçe artan bir öneme sahip olmuştur. Sıfır enerjili bina tasarımı ile binanın yıllık enerji tüketiminin sıfıra yakın bir değere yaklaştırılması hedeflenmektedir. Bunun için binanın ısıtma, soğutma ve elektrik tüketim talebi asgari düzeye indirilmeli ve asgari düzeye indirilen bu talep de yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilme yoluna gidilmelidir [19].

Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (nnZEB), ısıtma veya soğutmaya bağlı olarak, binada oturanların da termal konforu düşünülerek, atmosfere çok az veya hiç CO_2 emisyon salınımı olmayan enerji tasarruflu binalar olarak tanımlanır. Genellikle enerji gereksinimini azaltarak ya da rüzgâr, güneş, jeotermal, su veya dalga gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak sağlanır [20]. Yaklaşık sıfır enerjili binaların temel özellikleri çok iyi yalıtılmış olmaları, hava sızdırmazlığı ve yazın güneş ısı kazançlarından çok iyi biçimde korunma şeklindedir. Kalan net enerji ihtiyacı ise yenilebilir enerji kaynaklarından karşılanabilir.

Genel olarak enerji etkin bina tasarım esasları; inşaat aşamasında ekolojik malzemelerin kullanılmasına özen gösterilmesi, alan ısıtma ve soğutması ve su ısıtma yüklerinin minimize edilerek enerji yüklerinin düşürülmesi, ısıtma ve soğutma sisteminin en yüksek verimde olması, evin enerji ihtiyacına uygun ideal fotovoltaik

panel seçimi, sıcak su temini için güneş enerjili sıcak su sisteminin kurulumu, yağmur sularının depolanabileceği bir oluk sistemi ile temiz su eldesi, yüksek enerji verimine sahip elektrikli ev aletleri ve aydınlatma sistemlerinin kullanılması ile bu aletlerin ve aydınlatma sistemlerinin kullanılmadıkları sürelerde kapatılması olarak sıralanabilir. Sadece enerji sistemlerinin dönüşümünü içermeyen bu esaslar aynı zamanda mimari projelerin ve kullanılan malzemelerin önemini de göstermektedir. Sarf edilen enerjinin minimize edilmesi için belirtilen tedbirler ile enerji etkin bina tasarımının ve kullanımının ne kadar detaylı bir çalışma gerektirdiği görülmektedir. Bu uygulamalar vasıtasıyla enerji etkin binaların enerji verimliliği maksimum düzeye çıkarılmaktadır [21].

Bayar ve Atılgan [21] yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılarak bir konutun enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla bir tasarım çalışması yapmıştır. Elektrik enerjisi için fotovoltaik güneş panelleri, ısıtma-soğutma ve sıcak su eldesi için toprak kaynaklı ısı pompası ve güneş kolektörleri, kullanım suyu için ise yağmur suyu depolama sistemleri kullanılmıştır. Elektrik için şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin ekonomik açıdan daha avantajlı olacağı belirlendiği için bu sistem tasarımda kullanılmıştır. Sağlanan enerji tasarrufunun ortaya çıkardığı maliyet incelenmiş ve sistemler ekonomik yönden analiz edilmiştir. Yeşil evde kullanılan sistemlerin geri ödeme süreleri hesaplanmış ve bu sürelerin makul olup olmadığı incelenmiştir. Yeşil evin tasarımının doğru olduğu ve yeşil ev kurulumunun uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

İstanbul Teknik Üniversitesi Eko-Yapı binası [22], İstanbul Teknik Üniversitesinin Maslak Kampüsü'nde yer alan, Araştırma ve Eğitim Merkezi olarak kullanılmakta olup ahşap karkas strüktür yapısına sahip bir yeşil bina örneğidir. Bina zemin ve bodrum kattan oluşmaktadır. Binanın zemin katı; araştırma görevlileri için çalışma odası, laboratuvar, WC/duş ve giriş/bekleme mahallerinden oluşmakta olup döşeme alanı 165 m^2'dır. Bodrum kat ise; çalışma/konferans salonu, depo, teknik hacim ve kış bahçesinden oluşmakta olup döşeme alanı 270 m^2'dir. Binada ısı adalarının önlenmesi için açık renk dış cephe, yansıtıcı çatı kaplaması ve gölge veren pergolalar kullanılmıştır. Yapıda suyun verimli kullanılmasına yönelik lavabolarda sensörlü armatürler tercih edilmiş ve yağmur suyu depolama sistemi kurularak tuvaletteki iki kademeli rezervuarlarda kullanımı sağlanmıştır. Yapının mimari tasarımında Pasif Ev standartlarına uyularak kompakt form, yapının toprağa gömülerek olumsuz iklimsel şartlardan korunması, doğru yönelim, yüksek yalıtım,

ısı köprülerinin önlenmesi, yüksek hava geçirmezliği sağlanmıştır. Ayrıca, binanın ısıtma, soğutma ve havalandırmasında aktif sistem bulunmamaktadır. Binanın ısıtılması, soğutulması ve havalandırılmasında; toprak altına döşenen kanallardan alınan hava geri kazanım ünitesinde geçmekte daha sonra iç dönüş hacim havaları ve kış bahçesinde ısınan hava ile karışım hücresinden su kaynaklı ısı pompasına aktarılmakta ve buradan da şartlandırılarak hacimlere verilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak, 13 kW gücünde 104 m^2 fotovoltaik paneller ve 2 adet 400 W'lık düşük hızlarda çalışabilen rüzgâr türbini kullanılmaktadır. Fotovoltaik panellerden yıllık 14235 kWh, rüzgâr türbinlerinde yıllık 720 kWh üretim gerçekleşmektedir. Yapıda doğal aydınlatma sağlamaya yönelik; pencere, tepe pencereleri, güneş tüpleri ve doğal ışığı algılayıp aydınlatma düzeyini sabit tutan aydınlatma kontrol sistemi kullanılmıştır.

Geleneksel binalarla "yeşil binalar" arasında kullanılan enerji çeşitleri ve miktarları bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Geleneksel binaların ısıtma, soğutma, aydınlatma ve elektrikli aletlerin çalıştırılması için harcanan enerjinin % 85'i fosil yakıt kaynakları olan petrol, kömür ve doğal gazdan sağlanırken, yenilenebilir olan hidroelektrik, güneş, rüzgâr ve toprak enerjisinin tüketimdeki payı %4'dür. Sürdürülebilir "yeşil binalarda" bu oranlar tam tersine döner. Kendi kendisine yetebilen bina yaklaşımını hayat geçirmek üzere güneş ve rüzgâr enerjisinden %75 oranında faydalanılır. Fosil yakıt tüketimi ise %25'e düşürülür [23].

Yüksek enerji performanslı binalara ilişkin araştırmalar gittikçe yaygınlaşmaktadır. Her ne kadar üzerinde çok konuşulsa da yüksek enerji performanslı net sıfır enerjili bina (net Zero Energy Building, nZEB) ve yaklaşık net sıfır enerjili bina (nearly net Zero Energy Building, nnZEB) kavramı tam olarak tanımlanmış ve içi doldurulmuş değildir. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Enerji Kimlik Belgesi metodolojisi gibi hususlar da bu kavramları açıklamakta yeterli olamamaktadır. AB Binalarda Enerji Performansı Direktifinde, nnZEB, yüksek enerji performansı ve düşük primer enerji (fosil tabanlı enerji) tüketimi olarak tanımlanmaktadır. Ülkemizde BEP Yönetmeliği'nde ilgili standartlar referans olarak verilmiş olmakla birlikte, bina sınıflarında müsaade edilen primer enerji dikkate alındığında A sınıfı binalar bile bu performanstan çok uzaktır. Bu tür binalarda binanın enerji ihtiyacının bir bölümü binada üretilen yenilenebilir enerjiden sağlanmaktadır. Net sıfır enerjinin anlamı binanın 0,0 kWh/m^2yıl primer enerji (fosil

tabanlı enerji) tüketimi, yaklaşık sıfır enerjinin anlamı ise binanın yaklaşık olarak 0,0 kWh/m^2yıl primer enerji tüketimine sahip olmasıdır. Bu kavramlar binada hangi tip enerji akışlarının olduğunu ve nasıl bir primer enerji faktörü kullanıldığını da içerir. Bu ise sistem sınırlarının tanımlanmasını gerektirir. Öte yandan AB Binalarda Enerji Performansı Direktifinde (EPBD), 2018'den sonra inşa edilecek binaların yaklaşık sıfır enerjili binalar olmasını öngörmektedir [24].

Net sıfır enerjili binaların (nZEB) yapılması çok büyük yatırımlar gerektirmemektedir. Bu bağlamda, bina kabuğunun performansının artırılması (ısıtma, soğutma ve havalandırma yükleri minimize edilmeli), kalan yükler için freecooling, ısı geri kazanım, ısıl depolama, doğal havalandırma, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, yüksek verimli HVAC sistemleri kullanımı, test, ayar, dengeleme vb. yapılması gerekir. Bütün bunlar HVAC sistemlerinin kapasitelerini düşürdüğü için böylesi binaların ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olacağı şeklindeki değerlendirmeler doğru olmamakta, buradaki ilk yatırım maliyeti artışı yüzde 10 mertebesini geçmemektedir. Ayrıca CO_2 salımları minimize edildiği için bu binalar çevre dostu binalar olmaktadırlar [24].

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu yüksek lisans tezinin amacı ayrıntılı bir literatür taraması ile Enerji Etkin Binalar'ın tasarım ilkelerini belirlemek ve İnönü Üniversitesinde "İnönü Enerji Etkin Binası" olarak isimlendirilen enerji etkin bir binanın tasarımını yapmaktır. Binanın, İnönü Üniversitesi Merkez Kampüsünde belirlenen bir arazide kurulması tasarlanmıştır. Mevcut yasal düzenlemelere ve enerji etkin bina tasarım ilkeleri, pasif ev/yeşil bina ölçütlerine uygun bir tasarım oluşturulmuştur.

İnönü Enerji Etkin Binası'nın tasarımına; i) Bina yerinin belirlenmesi, ii) Bina formu ve yönünün belirlenmesi ve iii) Referans bina oluşturulması ile başlanmıştır. Binanın DesignBuilder v5'te modellemesi yapılarak yapı ve sistem karakteristikleri programa girilmiştir. DesignBuilder ile entegre hale getirilmiş olan EnergyPlus v8.5 kullanılarak enerji simülasyonu yapılarak binanın enerji tüketimi, iç kazançlar, CO_2 üretimi hesaplanmıştır.

Referans binada enerji tasarrufu sağlamak ve binanın enerji gereksinimini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılamak ve su kaynaklarının verimli kullanılmasına yönelik olarak aşağıdaki tasarımlar yapılmıştır:

a) Bina dış kabuk iyileştirmesi ve tasarımı,
b) Isı pompası tasarımı,
c) Trombe duvarı tasarımı,
d) Fotovoltaik sistem tasarımı,
e) Yağmur suyu depolama sistemi tasarımı

Bu tasarımların enerji ve ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır.

Yüksek Lisans tezi 1. Giriş, 2. Kuramsal Temeller, 3. Enerji Etkin Bina Tasarım İlkeleri, 4. Materyal ve Yöntem, 5. Araştırma Bulguları ve Tartışma, 6. Sonuç ve Öneriler, 7. Kaynaklar, olmak üzere 7 bölümden oluşmaktadır. Tezin 1. Giriş bölümünde amaç, kapsam belirtilmiş ve literatür taramasına yer verilmiştir. Sürdürülebilir Yapı Tasarımına 2. Kuramsal Temeller kısmında yer verilmiştir. Bu kısımda Düşük enerjili ev, Yeşil binalar, Pasif evler, Net sıfır enerjili binalar (nZEB) tanımlanmış ve Enerji Etkin Bina Elemanları tanıtılmıştır. Ayrıntılı bir literatür taraması yapılarak Enerji Etkin Bina Tasarım İlkeleri 3. Bölümde toplu bir şekilde sunulmuştur. Tasarımı yapılacak binaya ilişkin bilgiler, Malatya'ya ait iklimsel veriler 4. Materyal ve Yöntem bölümünde verilmiştir. 4. Bölümde ayrıca analizde kullanılan DesignBuilder ve EnergyPlus yazılımları tanıtılmış; enerji hesaplama yöntemleri, toprak kaynaklı ısı pompası tasarımı, Trombe duvar tasarımı, fotovoltaik sistem tasarımı, yağmur suyu depolama sistem tasarımı bilgileri verilmiştir. Tasarlanan sistemlerin simülasyonu sonucu elde edilen veriler ve ekonomik analizleri 5. Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde sunulmuştur. Referans bina, enerji talebinin azaltılması alternatifleri ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılması alternatiflerinin simülasyon sonuçları 6. Sonuç ve Öneriler bölümünde vurgulanmış ve önerilerde bulunulmuştur. Tezde yararlanılan kaynaklar 7. Kaynaklar bölümünde sunulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Sürdürülebilir Yapı Tasarımı

Sürdürülebilirlik, daimi olma kabiliyeti olarak isimlendirilebilir. Günümüzde, sürdürülebilirlik, doğal kaynakların kullanıma devam ederken gelecek nesillerde kalmasını temin etmektir. Sürdürülebilir Kalkınma kavramı, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonunun 1987'deki yayımlanan ortak geleceğimiz (Bruntland) başlıklı raporunda: "İnsanlık, gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçlarını temin ederek, kalkınmayı sürdürülebilir kılma yeteneğine sahiptir." şeklinde ifade edilmiş ve raporda belirtilen "Ekolojik Sürdürülebilir Gelişme" dünya genelinde kabul görmüştür. Bu tarihten sonrada dünya genelinde sürdürülebilirlik çalışmaları başlamıştır [25].

Yapılar yaşam döngüsünde enerji kaynaklarını kullanmakta ve bunun sonucunda havaya, suya ve toprağa zarar vermekte, ekosistemdeki doğal döngüye geri dönüşümü olmayacak şekilde etki ederek yapısını bozmaktadır. Dünya genelinde kabul gören sürdürülebilirlik kavramı yapıyı ekolojik, ekonomik, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla incelemektedir. Bu kapsamda sürdürülebilir yapı tasarımı:

- ✓ Yapı dış kabuğunun ve formunun konum, topografya, iklim, manzara, hâkim rüzgâr vb. içeren fiziksel çevre verilerine uygun biçimlendirilerek enerji verimliliğinin sağlanması,
- ✓ Kaynakların korunumu, enerjinin verimli tüketilmesi ve alternatif enerji kullanımının yaygınlaştırılması,
- ✓ Enerjinin, bakım ve onarım maliyetlerinin, yapıyla ilişkili hastalıkların, atık ve kirliliğin azaltılması ve atıkların değerlendirilmesi,
- ✓ Sürdürülebilir, geri dönüştürülebilir ve çevreye duyarlı yapı malzemeleri kullanarak yapı ürünlerinin verimliliğinin ve konforunun, yapı ve bileşenlerinin dayanıklılığının ve esnekliğin attırılması,
- ✓ Zararlı ve tehlikeli maddelerden sakınılması ve yapıyla ilgili sağlık ve güvenlik risklerinin en aza indirgenmesi,
- ✓ Biyolojik çeşitliliğin ve habitatın korunumu,
- ✓ Kullanıcı konforu açısından iç hava kalitesi sağlanması,

- ✓ Isıtma ve soğutmada yüklerini azaltacak yapının çevresinde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının ve kaynak korunumu sağlayan alternatiflerin kullanılması,

olarak ele alınmaktadır. Sürdürülebilir yapı tasarım ilkeleri ile tasarlanmış olmalarına karşın bu tasarım ilkelerinden bir veya birkaçını ön plana çıkararak yapılmış tasarımlar enerji etkin yapı tasarımı, ekolojik mimari, yeşil/çevreci/doğaya uyumlu yapı tasarımı ve akıllı bina tasarımı gibi kavramlarla anılmaktadır [26].

Enerji etkin yapı tasarımı 3. ve 4. bölümde ele ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Bu bölümde Düşük Enerjili Ev, Yeşil Binalar, Pasif Evler ve Net Sıfır Enerjili binalar (nZEB) tanımlanmıştır.

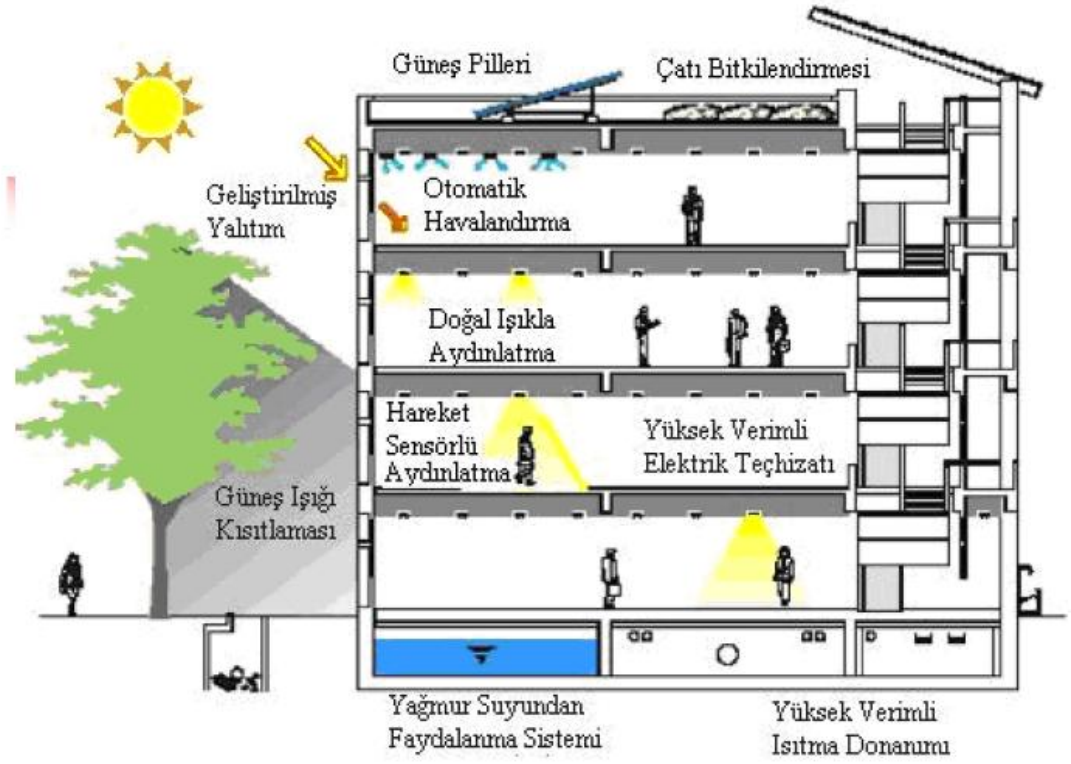
2.1.1. Düşük enerjili ev (Low-energy house)

Düşük enerjili ev, genellikle her ülke için farklı tanımlanmış ulusal standartlardaki sınır değerler çerçevesinde, yaygın yapı stokuna göre daha düşük ısıtma ihtiyacına sahip yapılardır. Düşük enerjili evler, bina kabuğunda yüksek verimle yalıtım yapılması, ısı kazanımlı havalandırma sisteminin kullanılması ve iklimin uygun olduğu bölgelerde pasif güneş kazanımlar için güneyde cam cephelerin ve pencerelerin kullanılması vb. yöntemler kullanılarak elde edilmektedir.

2.1.2. Yeşil binalar

Yeşil Binalar; insanların doğayla en verimli şekilde bütünleşmesini hedefleyerek içinde yaşayan kullanıcıların sağlık ve konfor şartlarını sağlayan; suyu, enerjiyi ve diğer kaynakları verimli kullanan; yapının çevresinde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarından en etkin şekilde yararlanan ve çevreye en az zarar verecek şekilde sürdürülebilirlik ilkeleriyle inşa edilen yapılardır. Şekil 2.1 yeşil bina örneğini göstermektedir. Yeşil binalar için 6 temel ölçüt bulunmaktadır [28]:

- ✓ Saha sürdürülebilirliği,
- ✓ Su kullanım verimliliği,
- ✓ Enerji verimliliği,
- ✓ İç ortam kalitesi,
- ✓ Binanın atmosfer, malzeme ve kaynaklar üzerindeki etkisi,
- ✓ Tasarım, yapım ve işletme planları.



Şekil 2.1. Yeşil bina örneği [27]

Saha sürdürülebilirliği: Kırsal ve kentsel sahalar arasında oluşan ısısal farklılığın etkisinin düşürülmesini, hava kirliliğinin azaltılmasını, alanların seçimini ve geliştirilmesini ele almaktadır. Saha sürdürülebilirliği; yeni veya mevcut yapılaşmalarda yerlerin seçimi, bina aralıklarının belirlenmesi, ulaşım, binaların gölgelendirilmesi, çatı yapıları ve pencerelerin seçimi, çatının yansıtıcılık değerlerinin belirlenmesi, peyzaj çalışması ve az su gereksinimi olan bitki türlerinin seçimi, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanımı, kaplama yapılacak cephelerde malzeme seçimine önem verilmesi, yağmur sularının depolanıp kullanılması vb. temel gereklilikleri kapsamaktadır.

Su kullanım verimliliği: Binanın ve binanın bulunduğu alanda bütün su kaynaklarının verimli ve kontrollü kullanılması ele alınmaktadır. Su kullanım verimliliğinin temel bileşenleri; peyzaj çalışmaları, az su gereksinimi olan bitki türlerinin kullanımı, bahçe sulamasının bölümlere ayrılması ve zaman kontrollü olması, binada kullanılan suyun azaltılması, tasarruflu ve kademeli armatür muslukların ve susuz pisuarların kullanımından oluşmaktadır.

Enerji verimliliği: Enerji tüketimlerinin ölçümlerini ve mevcut yenilenebilir enerjili sistemlerin verimli kullanılması için gereklilikleri içermektedir. Bu

gerekliliklер arasında yenilenebilir enerjilerin uygulanabilirliği, enerji kaynaklarının her biri için tüketim verileri günlük, aylık ve yıllık raporlanmalarının yapılması, bina dış kabuğu şartları ve çatı yalıtımı, kanal ve borularda oluşan kaçakların kontrolü ve izolasyonu, iklimlendirme sistemlerinde modifikasyonlar yapılması, otomatik kontrol sistemi, ısı geri kazanımı ve değişken hızlı fan otomasyonu, sıcak su sistemleri, gün ışığının kontrol edilmesi ve cihaz verimlikleri vb. sayılabilir.

İç ortam kalitesi: Yeşil binalarda iç mekânların hava kalitesi, duman kontrolü, ısıl konforu, akustiği; dış havanın izlenebilmesi; binada girişlerin kontrol edilmesi; gün ışığının kontrol edilmesi ve malzemelerin emisyonlarının kontrol şartları önemlidir. Bu kontrol şartlarına ulaşmak için asgari ventilasyon oranı, filtrasyon ve temiz hava oran değerleri, insan yoğunluğuna bağlı ısıl ortam kontrolleri, emisyon değerlerinin oranları, uçucu organik bileşiklerin yüzdesi, döşeme kaplamaları, duvar ve tavan kaplamalarına özen gösterilmelidir.

Binanın atmosfer, malzeme ve kaynaklar üzerindeki etkisi: Bu ölçüt, malzemeler, kaynaklar, atıkların kontrolü, soğutucu akışkanlar, geri dönüşümlü atıkların toplanması ve depolanmasında gerekli hususları ele almaktadır. İnşaatlarda atıkların kontrolü, kazılar ve imalatlar, atıklarda geri dönüşüm sağlanabilirliği, malzemelerin yerelden temini, soğutucu akışkan seçimleri, performansların izlenmesi ve raporlanması bina tasarımında dikkate alınması gerekli noktalardır.

Tasarım, yapım ve işletme planları: Bu ölçüt, binanın kullanıma alınması, binada kabul testlerinin, ölçümlerinin ve gerekli tetkiklerin uygulanması, nakliye işlemlerinin kontrolü ve yönetimi, enerji tüketimlerinin raporlanması, toprak ve erozyon kontrolü yapılması, inşaat süreci ve inşaat esnasında iç hava kalite gerekliliklerini belirtmektedir.

2.1.3. Pasif evler

Pasif Ev; enerji açısından verimli, konforlu ve aynı zamanda uygun fiyatlı bir yapı standardıdır. Pasif Evlerde, tipik inşaatlara kıyasla %90'a kadar ve ortalama yeni yapılara kıyasla %75'in üzerinde alan ısıtma ve soğutmada enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Pasif Evler, bir yıl boyunca bir metrekarelik bir yaşam alanını ısıtmak için 1,5 litre petrolden veya 1,5 m^3 gazdan daha az değerlerde enerji tüketmektedir. Bu da genel "*düşük enerjili*" binaların değerlerinden daha azdır [29].

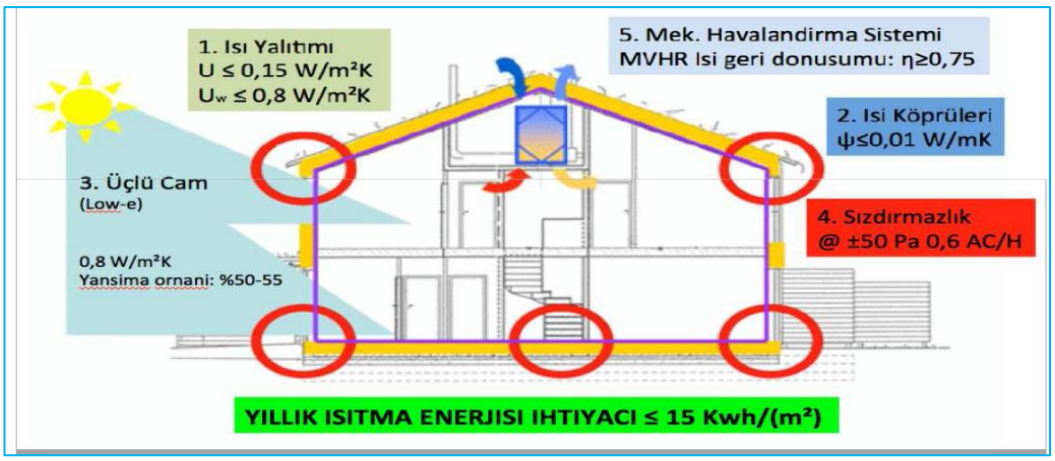
Pasif Evler, güneşin, iç ısı kaynaklarının ve ısı geri kazanımının verimli bir şekilde kullanılmasının sağlandığı yapılardır. Bu sayede aktif ısıtma sistemlerine kışın en soğuk zamanlarda bile ihtiyaç duyulmamaktadır. Pasif Evlerde, sıcak aylarda yapıyı serin tutmak için stratejik gölgeleme gibi pasif soğutma teknikleri kullanılmaktadır.

Pasif Evler kullanıcılarına yüksek düzeylerde konfor sunmaktadır. Bina dış yüzeyi ve iç yüzeyi arasında çok sıcaklık farkı olsa dahi, bina iç yüzeyi ile iç ortam sıcaklığı arasında çok az farklar olmaktadır. Bu durum; özel pencerelerin kullanımı ve çatının, zemin döşemenin ve dış duvarların yüksek yalıtımlı yapılmasıyla elde edilmektedir.

Pasif Ev standardı, bina sakinlerinin yaşam konforunu artırdığı gibi aynı zamanda küresel sürdürülebilirlik ilkesine uygun olarak, yeni binaların enerji talebini en aza indirip kullanıcıya maliyet-etkin bir yol sunmaktadır. Bu durum, yeni binaların tamamen yenilenebilir kaynaklardan enerji ihtiyacını karşılamayabilmesine temel oluşturmaktadır [30].

Pasif Ev standartlarına uygun tasarlanan yapılarda 5 ana ilke bulunmaktadır (Şekil 2.2):

- ✓ Bina dış kabuğu opak bileşenlerde yüksek ısı yalıtımı,
- ✓ Isı köprüsüz tasarım,
- ✓ Hava sızdırmaz yapı,
- ✓ Isı yalıtım direnci yüksek pencereler,
- ✓ Yüksek verimlilik özelliğine sahip ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi.



Şekil 2.2. Pasif ev temel tasarım kriterleri [30]

Pasif Ev standartlarında enerji tüketimi azaltmak için getirilen sınır değerler aşağıdaki gibidir [29]:

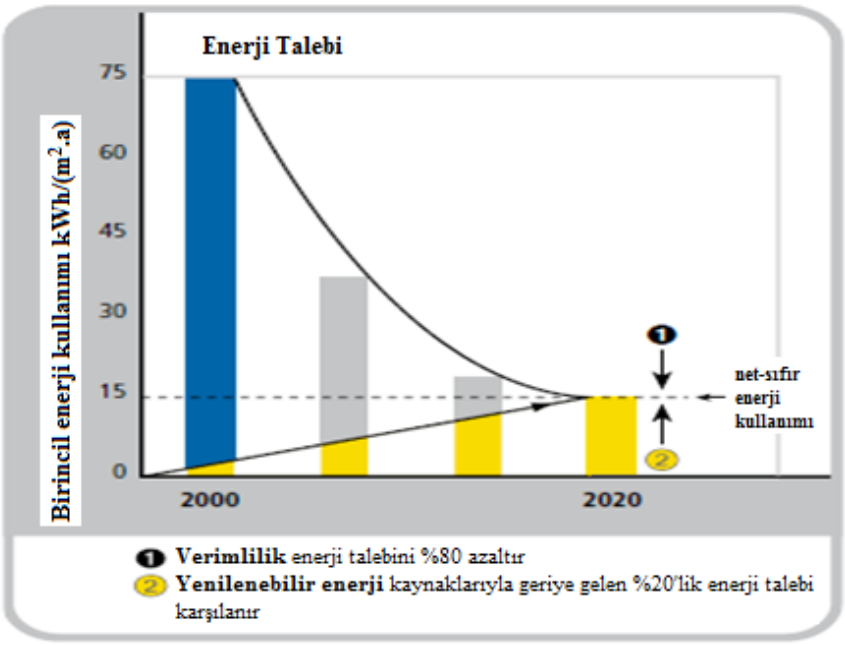
- ✓ Isıtma gereksinimi, net yaşanan alanlarda metrekare başına yıllık 15 kWh değerini aşmamalıdır.
- ✓ Soğutma talebi, net yaşanan alanlarda metrekare başına kabaca ısıtma gereksinimine eşitlenir.
- ✓ Binanın toplam birincil enerji talebi (ısıtma, soğutma, sıcak su ve elektrik) net yaşanan alanlarda metrekare başına 120 kWh değerini aşmamalıdır.
- ✓ U değeri, bina dış kabuk tüm opak bileşenlerinde 0,15 W/m^2K değerini aşmamalıdır.
- ✓ Çatlaklardan kontrol edilemeyen hava sızıntı değerleri 50 Pa altında 0,6 h^{-1} değerinden küçük olmalıdır.
- ✓ Kirli havanın temiz havayla ısı değişimini sağlayan en %75 verimlilik değerine sahip ısı geri kazanım sistemleri kullanılmalıdır.
- ✓ Yapıda doğrusal ısı geçiş katsayısının değeri 0,01 W/mK değerinin altında olmalıdır.
- ✓ İyi yalıtılmış çerçeveli, low-e sistemli ve camların arasındaki boşluklarda Argon veya Kripton gazı kullanılmış ısıl geçirgenliği 0,8 W/m^2K veya daha az olan pencereler kullanılmalıdır.

2.1.4. Net sıfır enerjili binalar (nZEB)

Net Sıfır Enerjili Bina (nZEB), düşük primer enerji kullanan ve üretilen yenilenebilir enerjinin bir kısmını satarak, yıllık enerji bilançosunu sıfır yapabilen bir binadır. Bir başka ifadeyle burada net bilanço olarak primer enerji tüketimi olmamaktadır [31].

İyi yalıtım yapılması, ısı köprülerinin önlenmesi, yüksek performanslı üçlü low-e camların kullanılması, ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemlerinin kullanılması vb. önlemlerle bina enerji kullanımı %80 oranında azaltılabilir, yapının geriye kalan %20'lik enerji kaynağı ise yenilebilir enerji kaynaklarından elde edilebilir. Böylelikle yapının toplam enerji tüketiminin sıfır olabilmesi sağlanabilmektedir. Şekil 2.3'de net-sıfır enerji tüketimine nasıl erişileceği gösterilmektedir.

Tsoutsos *et al.* [32] tarafından sıfır enerjili binalar, "yalnızca kullanıma geçtikten sonra yenilenebilir enerji kaynaklarından gereksinim duyduğu enerjiyi üretmek değil, inşaat aşamasındaki her ayrıntıyı dikkate alarak çevrenin sürdürülebilirliğini sağlayan, geri dönüşümlü malzemeler kullanan, karbon salınımı yapmayan ve yaşam döngüsü içinde akıllı bina uygulamalarını da barındıran çevreci bina veya sürdürülebilir bina olarak da tanımlanabilecek yapılar" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.3. Net-sıfır enerji tüketimin başarılması

2.1.5. Enerji etkin bina elemanları

Binanın enerji gereksinimlerini azaltan veya karşılayabilen maliyet açısından uygulanabilir olan sistemlere/bileşenlere enerji etkin bina elemanları denilebilir. Binada enerji etkinliği sağlayan elemanların kullanımıyla,

- ✓ Isıtma,
- ✓ Soğutma,
- ✓ Sıcak su eldesi,
- ✓ Havalandırma,
- ✓ Elektrik ve aydınlatma,

ihtiyaçları azaltılabilmekte veya tamamen karşılanabilmektedir. Çizelge 2.1'de bu elemanlar verilmektedir.

Çizelge 2.1. Enerji etkin bina elemanları

	Isıtma	**Soğutma/Serinletme**	**Havalandırma**
Bina Elemanı	Pencereler, Trombe duvarlar, Bidon duvarlar, Çatı havuzu, Termosifon sistemler, Seralar, Güneş bacaları, Isı pompası, Güneş kolektörü, Verimli cihazlar, Enerji etkin mimari.	Isı pompası, Enerji etkin mimari, Çatı havuzu, Güneş bacaları, Seralar, Trombe duvarlar.	Trombe duvar, Rüzgâr bacası, Seralar, Rüzgâr kepçesi, Kanada kuyusu sistemi, Pencereler, Enerji etkin mimari.
Bina Elemanı	**Sıcak Su Eldesi**	**Elektrik**	**Aydınlatma**
	Isı pompası, Güneş kolektörü.	Fotovoltaik sistem.	Pencereler, Işık rafları, Işık tüpleri, Andolik tavanlar, Heliostatlar, Enerji etkin mimari.

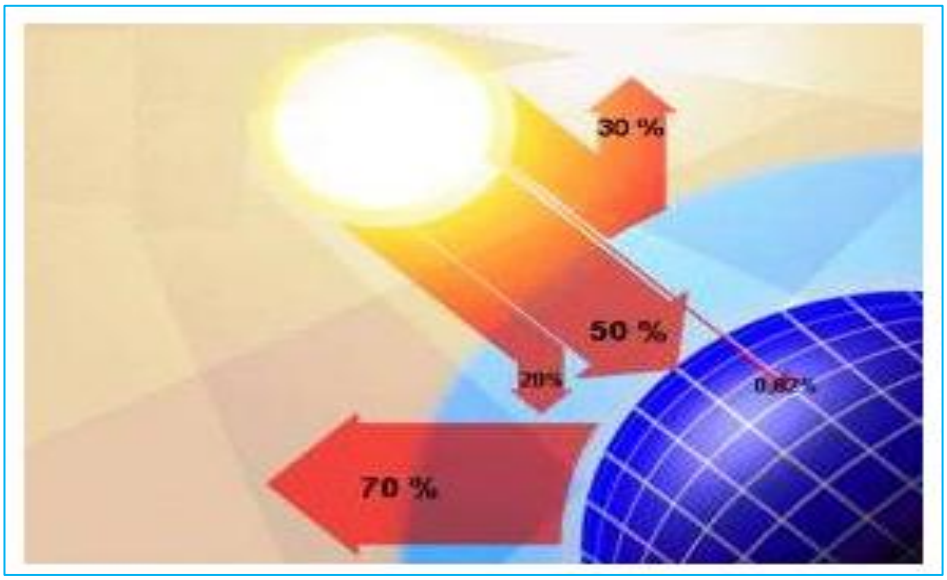
2.2. Güneş Enerjili Sistemler

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen hidrojen gazının helyuma (füzyon tepkimesi) dönüşmesi sonucu açığa çıkan ışıma enerjisidir. Atmosferin dışında yaklaşık 1370 W/m^2 olan güneş enerji şiddeti, yeryüzümüze ulaştığında 0-1100 W/m^2 civarlarında olmaktadır.

Dünya'ya, güneş ışınımının tamamı ulaşamamaktadır. Bu durumun nedeni Güneş ışınımının %30'nun atmosferden geri yansıması, %20'lik bir kısmının da bulut ve atmosferde tutulmasıdır. Nihai olarak ulaşan %50'lik güneş ışınım değeri, dünyamızın ısınmasını, rüzgarların oluşumunu ve okyanus dalgalarının oluşmasını sağlayarak yeryüzünde yaşamı olanaklı kılmaktadır (Şekil 2.4). Güneş enerjisi, nükleer enerji dışında bütün enerjilerin dolaylı veya doğrudan kaynağıdır [33].

Ülkemiz, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre [33], günlük 7,5 saat ve yıllık 2737 saat güneşlenme süresine sahiptir. Güneş enerjisi miktarı ise günlük 4,2 kWh/m^2 ve yıllık 1527 kWh/m^2 değerlerinde olmaktadır. Bu enerji binalarda aktif ve

pasif sistemler sayesinde aydınlatma, soğutma, ısıtma, havalandırma ve elektrik üretim amacıyla birçok alanda kullanılabilmektedir.



Şekil 2.4. Güneş ışınım değerlerinin dünyaya ulaşan ve ulaşamayan değerleri

Demircan ve Gültekin [34], güneş enerjisinin binalarda kullanımının pasif ve aktif sistemler olarak sınıflandırıldığını belirtmiştir. Binaların tasarım aşamasında mekânların ısıtılması için güneş enerjisinin kullanılması "pasif güneş sistemleri' olarak; tasarıma eklenen her teknolojik ürün ise "aktif güneş sistemleri' olarak tanımlanmıştır.

Ülgen [35], pasif güneş enerjisi sistemlerini, binaların yapı elemanlarını birer toplayıcı gibi kullanarak ve herhangi bir mekanik ekipmana ihtiyaç duymadan ısıyı depolayan, muhafaza eden ve ileten mekanizmalar olarak belirtmektedir.

Yukarıda belirtilen tanımlardan anlaşılacağı üzere güneş enerjisinin binada mekanik ve teknolojik cihazlar olmadan kullanımı "pasif güneş sistemleri" olarak, mekanik ve teknolojik cihazlar ile birlikte kullanımı ise "aktif güneş sistemleri" olarak tanımlanabilir.

Günümüzde güneş ışınımının çeşitli teknik ve cihazlarla aktarılmasını sağlayarak doğal aydınlatmaya yönelik geliştirilmiş sistemler bulunmaktadır. Bu sistemler sayesinde elektrik enerji tüketimi azaltılmakta ve mekânlarda kullanıcı görsel konforu sağlanmaktadır. Bu sistemler de aktif sistemler kapsamında değerlendirilmiştir.

2.2.1. Pasif sistemler

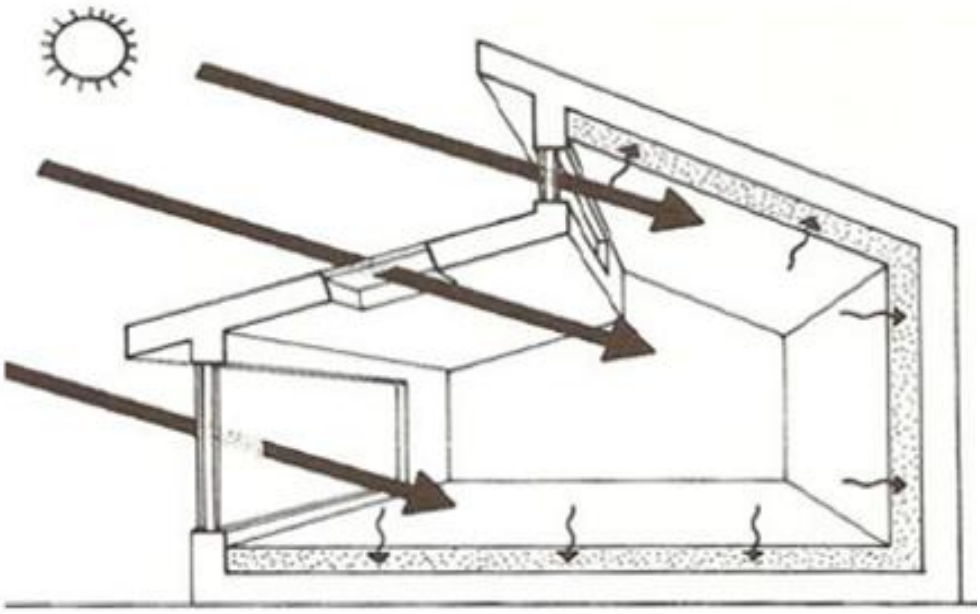
Pasif güneş sistemleri, güneş enerjisini kullanmak için geliştirilmiş sistemlerdir. Aşağıda belirtilen iki ana başlıktan oluşmaktadır [34]:

- ✓ Doğrudan kazanım sistemleri,
- ✓ Dolaylı kazanım sistemleri.

2.2.1.1. Doğrudan kazanım sistemleri

Ülkemiz kuzey yarım kürede bulunduğundan binaların güney cepheleri güneşe bakmaktadır. Doğrudan kazanım sistemleri tasarımda, binanın güney cephesine pencereler ve/veya çatıya açıklıklar konularak güneş ışınlarının direkt mahallere verilmesidir (Şekil 2.5).

Doğrudan kazanım sisteminin yapım maliyeti oldukça düşüktür. Döşeme, duvarlar ve hatta iç mekândaki duvarlar bile ısı depolama görevi yapmaktadır. Güney cephedeki pencerelerin büyüklüğü ve sayısı isteğe ve ihtiyaca göre ayarlanabilmekte fakat fazla miktarda kullanılan cam parlama, kamaşma ve mahremiyet gibi problemlere neden olabilmektedir. Güney cephesindeki pencereler, yazları aşırı ısınmayı önlemek için gölgeleme elemanlarına ve kış gecelerinde ise ısı kayıplarının azaltılması için yalıtıma ihtiyaç duymaktadır [12].



Şekil 2.5. Doğrudan kazanım sistemleri [34]

2.2.1.2. Dolaylı kazanım sistemleri

Dolaylı kazanım sistemlerinde, güneş enerjisi bir kolektör alanı oluşturularak depolanmakta ve toplanmaktadır. Daha sonra bu enerji istenilen mahalle aktarılmaktadır [34, 12]. Dolaylı kazanım sistemleri aşağıda verimiştir:

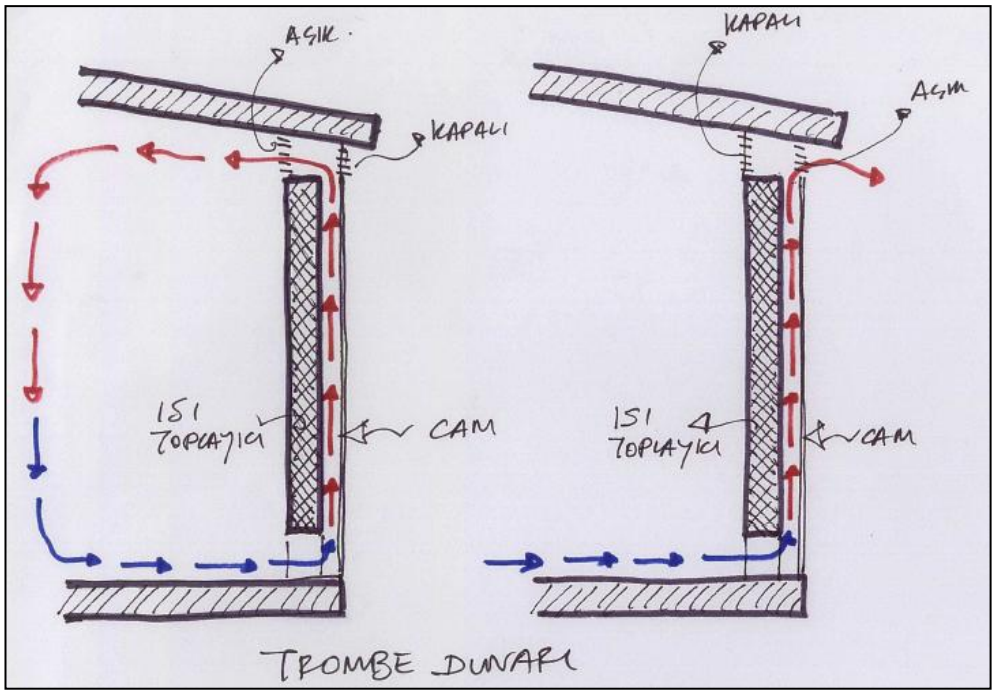
- ✓ Trombe duvarlar,
- ✓ Bidon duvarlar,
- ✓ Çatı havuz sistemleri,
- ✓ Termosifon sistemler,
- ✓ Seralar,
- ✓ Güneş bacaları.

2.2.1.2.1. Trombe duvarlar

Trombe duvar sistemi; cam bir yüzey ve arkasına yerleştirilmiş, tercihen siyaha boyanmış ya da seçici yüzeye sahip beton, dolu tuğla, kerpiç veya taş gibi ısı depolamaya uygun bir ısıl kütleden oluşmaktadır (Şekil 2.6). Camdan geçen kısa dalga boylu güneş ışınları ısıl kütlede ısıya dönüşmekte ve dalga boyu büyümektedir. Büyüyen dalga boyu fizik kuralları gereği girdiği camdan geri çıkamayıp "Sera Etkisi" oluşturarak içeriyi, cam ve ısıl kütle arasındaki havanın ısıtılmasını sağlamaktadır. Isınan havanın yoğunluğu azaldığından yükselerek (baca etkisi) duvarda bulunan menfezlerden ısıtılacak hacme geçmektedir. Benzer şekilde soğuk hava tekrar duvarda bulunan alt menfezlerden alınarak ısınır, bu işlem Trombe duvarda ısı olduğu sürece devam eder [17].

Gündüzleri ısı depolayıcı duvardaki havalandırma kanalları açık tutulmakta, geceleri kapatılmaktadır. Geceleri ısı depolayıcı duvarda bulunan enerji iletim yoluyla hacme geçişi denge kurulana kadar devam eder ve iç ortam kalitesindeki ısıl konfor artırılır. Isı geçişinin kontrollü sağlanabilmesi için duvar ile pencere arasına izolasyonlu perde konularak gündüz gölgeleme, akşam ise ısı kayıplarının önlenmesi sağlanabilmektedir.

Yaz aylarında ise ısıl depolayıcı duvardaki üst havalandırma kapatılarak dış camda üzerinde bulunan pencere açılmakta ve baca etkisiyle sürüklenen hava kuzey cephede açık olan pencerelerden soğuk havayı çekmekte ve böylece doğal vantilasyon ve serinletme sağlanmaktadır.



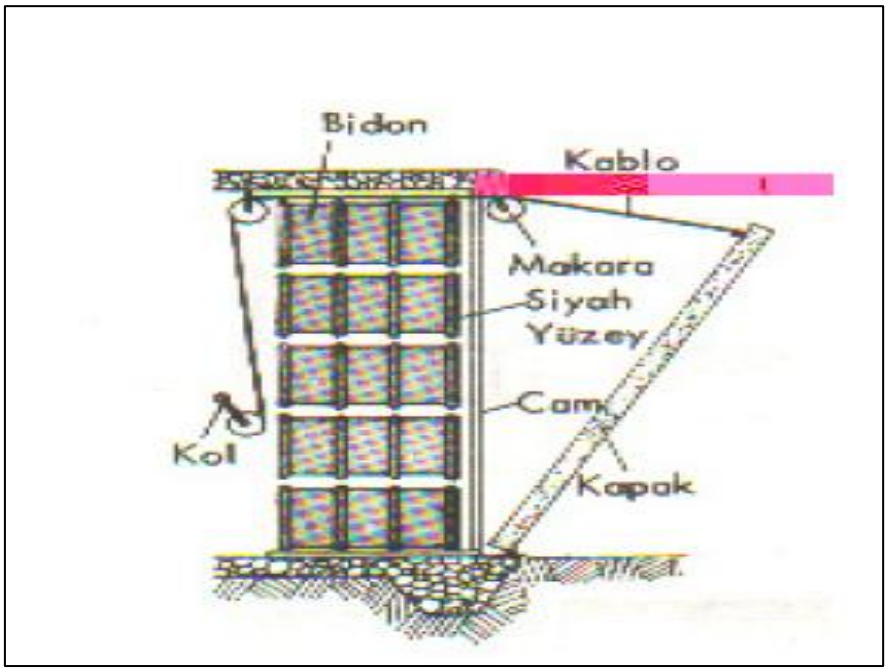
Şekil 2.6. Trombe duvar ısıtma ve havalandırma çalışma sistemi [34]

2.2.1.2.2. Bidon duvarlar

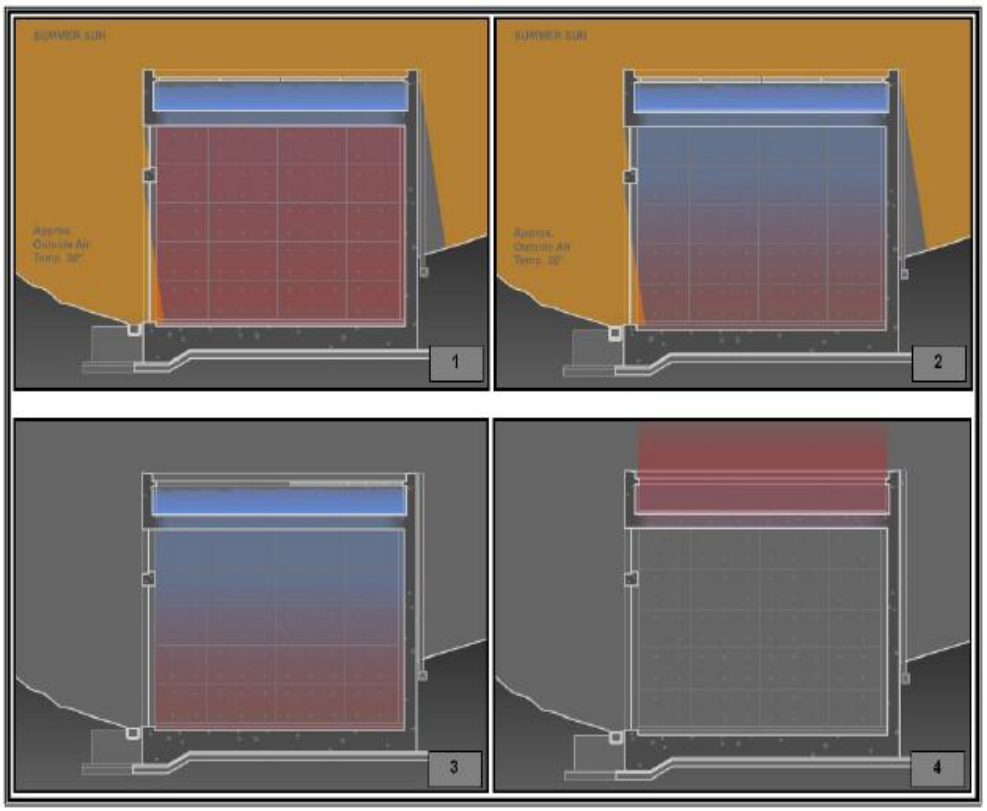
Bidon duvarların çalışma sistemi Trombe duvarlara benzerdir. Bu sistemde ısıl depolama kütlesi su veya bir başka sıvı ile doldurularak masif kütle oluşturulur (Şekil 2.7). Bidonlar siyaha boyanarak ısı tutma kapasitesi artırılır ve bu ısı depolanır. Daha sonra taşınım ve ışıma yoluyla ısıtılacak hacme aktarılır.

2.2.1.2.3. Çatı havuz sistemleri

Çatı havuz sistemleri, çatı üzerindeki havuzun içerisinde bulunan suda depolanan güneş enerjisinin tavandan hacme verilmesidir (Şekil 2.8). Çatı havuzlarında kullanılan paneller; kışın gündüzleri açılarak güneş enerjisi ile ısınma sağlanmakta, geceleri kapatılarak ısı kaybı önlenmektedir. Yaz durumunda ise, gündüzleri çatı havuzları kapatılarak hacmin aşırı ısınması önlenir, akşamları ise açılarak hacimden havuza ısı geçişi sağlanarak doğal serinletme sağlanmış olur. Bunun yanı sıra gündüz kapalı konumda bulunan havuz iç mekândaki havayı soğutarak serinleme sağlar.



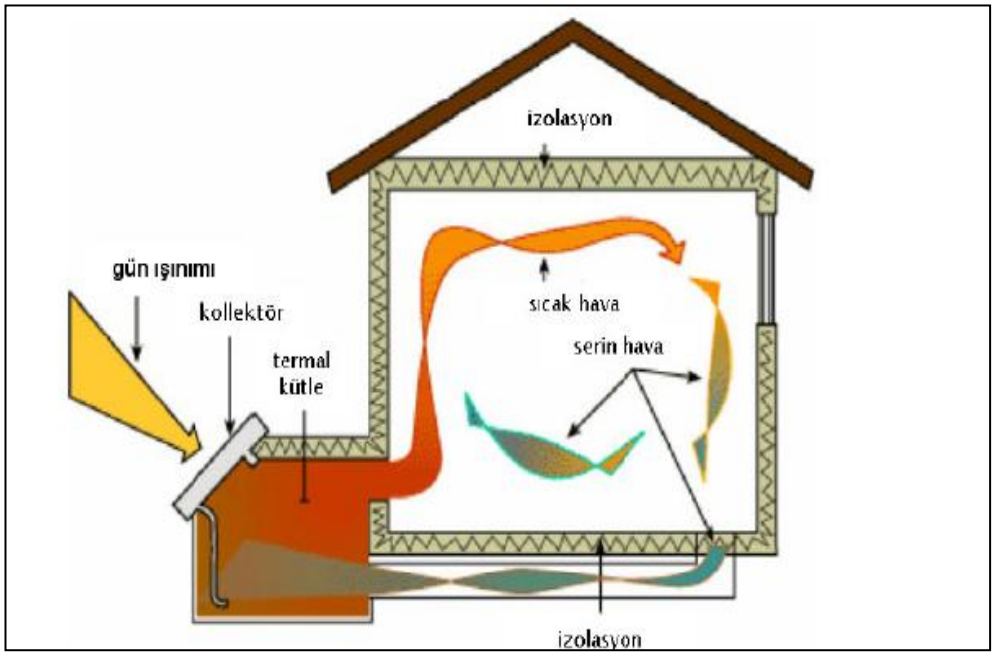
Şekil 2.7. Bidon duvar sistemi [12]



Şekil 2.8. Çatı havuz sistemi [12]

2.2.1.2.4. Termosifon sistemler

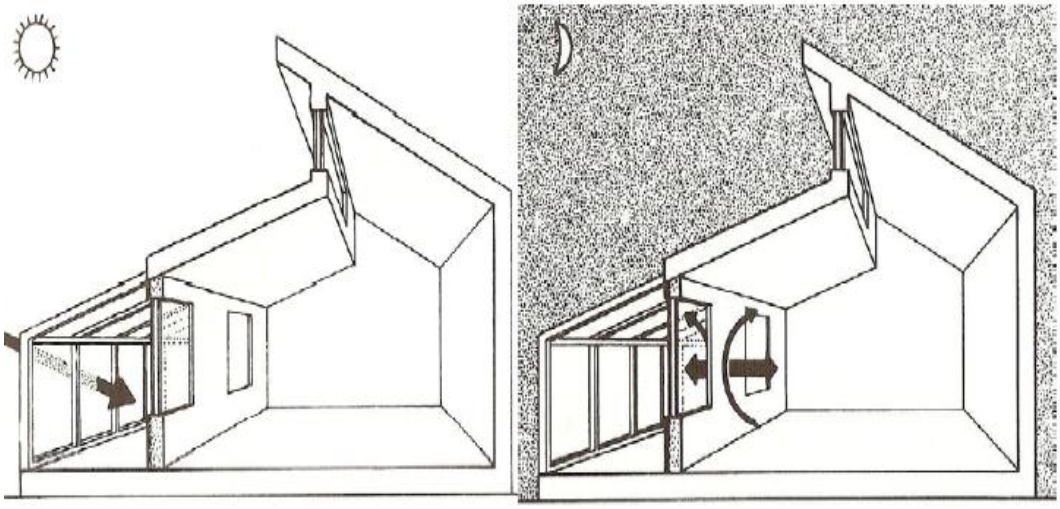
Termosifon sistemlerde, binanın dışarısında bulunan bir kolektör alanıyla güneş enerjisi toplanır. Soğuk hava veya farklı bir akışkan bu kolektör alanında ısınarak kullanılan hacme geçer ve ısıyı bu hacme aktarır. Bu şekilde döngü tamamlanmış olur (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Termosifon sistemler [12, 34]

2.2.1.2.5. Seralar

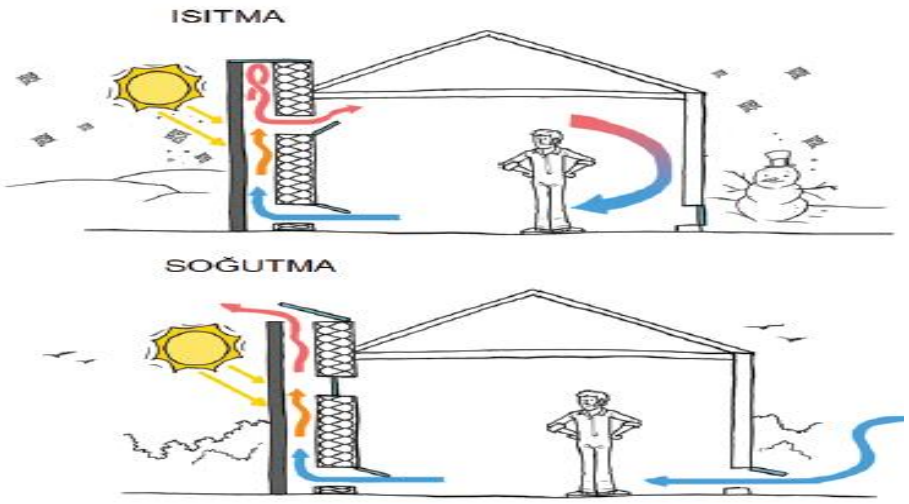
Seralar, doğrudan ve dolaylı sistemlerin kombinasyonu şeklindedir. Yaşam mahallerinin (özellikle salon ve oturma odalarının) dış duvarlarına eklenen sera ile dış ortam sıcaklığı yükseltilerek normalde olması gereken kayıptan daha az bir kayıp sağlanmaktadır. Dış duvar etrafında oluşturulan cam mekânlarda güneş ışınımları depo edilir, depolanan ısı havalandırma veya masif kütleyle ısıtılacak hacme aktarılır (Şekil 2.10). Ayrıca, küçük havalandırma kanalları vasıtasıyla yanında bulunan hacimden başka hacim de ısıtılabilir. Yazın cam mekanın üst taraflarında bulunan pencerenin/damperin açılmasıyla doğal sirkülasyon sağlanarak havalandırma yapılabilmektedir. Yazın aşırı ısıtmayı önleyecek tedbirlerin alınması gereklidir. Bunun için saçak ve hareketli güneş kontrol elemanı kullanılabilir [12, 34, 36].



Şekil 2.10. Sera sistemi [34]

2.2.1.2.6. Güneş bacaları

Bu pasif tasarım yapılarda ısıtma, soğutma ve havalandırma işlemlerinde kullanılır. Binanın çatısından uzun olmayan bir baca yapılarak dış yüzeyi şeffaf cam kaplama iç yüzeyi güneş ışınımını emmesi için koyu metal malzemeyle kaplanmaktadır. Isıtmada, duvarın alt kısmında bulanan soğuk hava sisteme girerek ısınarak yükselmekte ve duvarın üst kısmında bulunan açıklıktan hacme aktarılmaktadır. Soğutma ve havalandırmada ise; bina duvarının üst tarafında bulanan açıklık kapatılarak baca üzerinde kapak vb. açılır ve ısınan hava bacadan atılır (Şekil 2.11). Atılan havanın etkisiyle kuzey cephede bulunan açıklıktan soğuk hava alınarak serinletme ve doğal vantilasyon sağlanır.



Şekil 2.11. Güneş baca sistemi [34]

2.2.2. Aktif sistemler

Aktif güneş sistemleri, güneş enerjisinin binalarda etkin bir şekilde kullanımına olanak veren, alınan güneş ışınlarını elektrik ve ısı enerjisine dönüştüren sistemler olup çeşitli mekanik ve elektronik sistemlerin bütünüdür. Günümüzde doğal aydınlatmaya yönelik geliştirilmiş sistemler bulunmaktadır. Bu sistemler sayesinde elektrik enerji tüketimi azaltılmakta ve mekânlarda kullanıcı görsel konforu sağlanmaktadır. Bu sistemler de aktif sistemler başlığında değerlendirilmiştir. Aktif sistemler:

- ✓ Güneş kolektörü,
- ✓ Fotovoltaik sistemler,
- ✓ Işık rafları,
- ✓ Işık tüpleri,
- ✓ Andolik tavanlar,
- ✓ Heliostatlar,

olmaktadır.

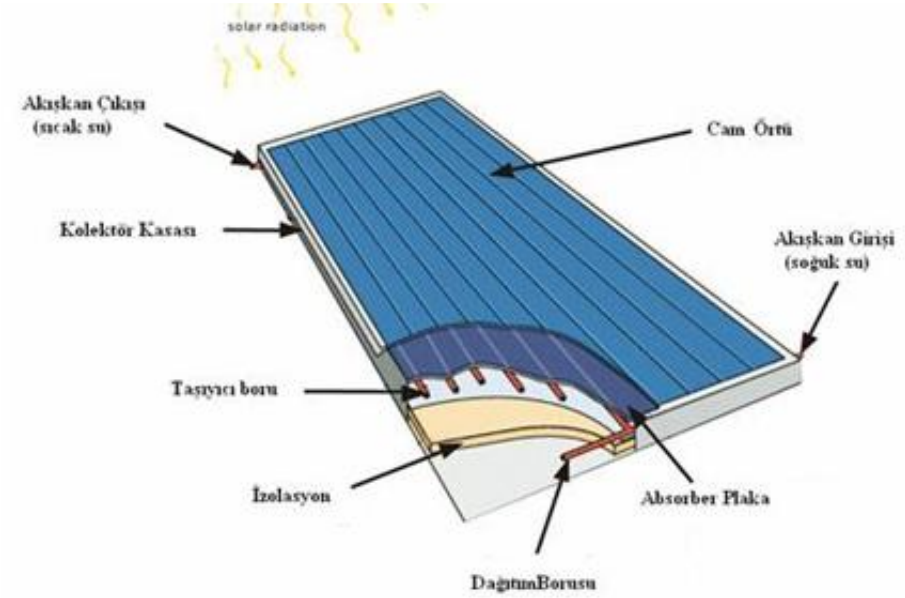
2.2.2.1. Güneş kolektörleri

Güneş kolektörleri; ısıtma, sıcak su eldesi ve elektrik üretimi gibi ihtiyaçların karşılanmasında kullanılabilen güneş enerjili ısıl sistemlerdir. Düzlemsel, vakumlu, yoğunlaştırıcı ve parabolik toplayıcıdan oluşan çeşitleri bulunmaktadır.

Binalarda sıcak su gereksiniminin karşılanması veya kombine sistemlerle ısıtmada kullanılmaktadır. Binalarda genellikle düşük sıcaklıklarda çalışan düzlemsel güneş kolektörleri tercih edilir. Bu sistemde, soğuk su kolektörün toplayıcı kısmındaki güneş ışınımlarını absorbe etmesi sonucu ısınır ve ısınan su istenilen bölgeye borularla aktarılır (Şekil 2.12). Düzlemsel kolektör, tabi dolaşımlı veya pompalı sistemler şeklindedir.

Tabi dolaşımlı sistemler, sistem içerisindeki akışkanın hareketinin kendiliğinden oluştuğu düzeneklerdir. Depo, güneş kolektörünün üst hizasından yukarısında olmaktadır. Deponun alt kısmındaki soğuk su kolektörlerde ısıtılır, yoğunluğu azalır ve dolayısıyla deponun üst kısmına yükselir.

Pompalı sistemlerde, tabi dolaşımının sağlanmadığı alanlarda sistem içerisindeki akış pompa ile sağlanmaktadır.



Şekil 2.12. Güneş kolektörü [37]

2.2.2.2. Fotovoltaik sistemler

Fotovoltaik hücreler, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen yarı iletken, ileri teknoloji ürünleridir. Fotovoltaik hücreler bir araya gelerek modülleri, modüller bir araya gelerek panelleri oluşturmaktadır. PV paneller, bir veya daha çok fotovoltaik hücre ile buna yardımcı elemanların birleştirilerek elde edilen sistem ile güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirirler. Fotovoltaik piller aynı zamanda PV panel olarak da adlandırılmaktadır [17].

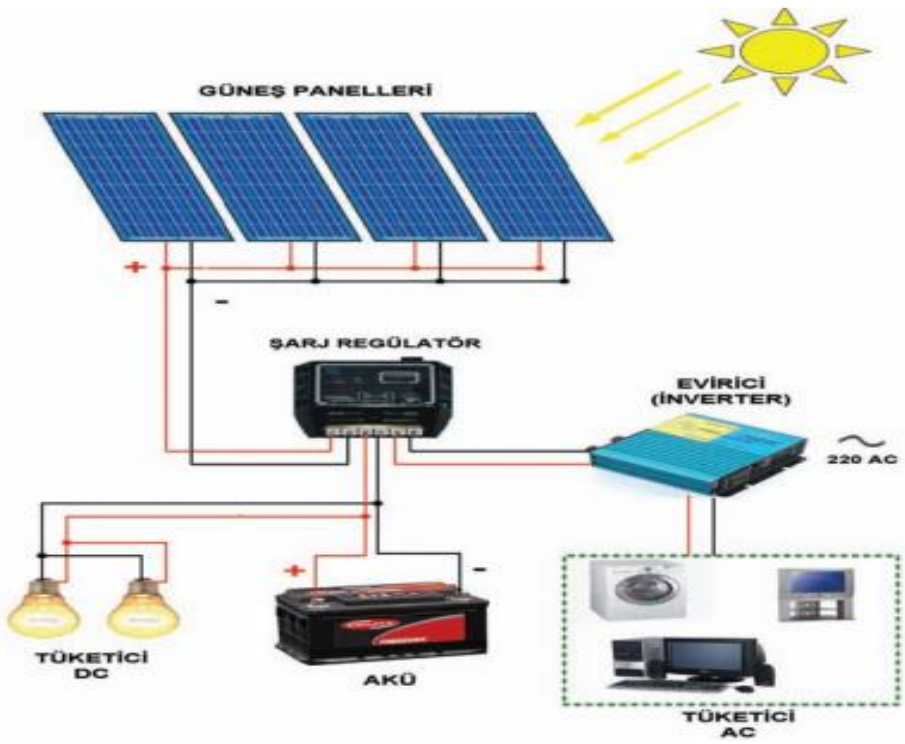
Fotovoltaik modüller (güneş pili modülleri) uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, eviriciler (invertörler), akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir fotovoltaik sistemi oluştururlar (Şekil 2.13). Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Fotovoltaik modüller gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar ve yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi (şarj regülatörü) ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir evirici (invertör) eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V-50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli elektronik

devreler sisteme entegre edilebilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur [39].

Fotovoltaik modüller, bir yapı bileşeni olarak yapılarda farklı bölümlerde ve farklı şekillerde kullanılabilirler. İlk etapta kullanımları çatıda, cephede ve farklı yapı bölümlerinde (giriş saçağı, parapet, korkuluk, vb) olmak üzere üçe ayrılabilir (Çizelge 2.2). Ayrıca bu bileşenlerin,

- ✓ Modüler panel şeklinde çerçeveler halinde hazır eleman olarak,
- ✓ Mimarın tasarımına göre hazırlanmış, 2 cam tabaka arasında lamine olarak,
- ✓ İnce metal levha çatı kaplama malzemesinin üzerine monte edilmiş olarak,
- ✓ Hazır shingle tabaka şeklinde,

kullanımları mümkündür.



Şekil 2.13. Güneş panel sistemini oluşturan temel donanımlar [39]

Çizelge 2.2. Fotovoltaik bileşenlerin yapıda kullanım şekilleri [40]

Çatıda	Cephede	Farklı Bölümlerinde
1- Çatı örtüsü üzerine ek bir strüktür ile	1- Kaplama malzemesi olarak (duvar önüne)	1- Giriş Saçağı
2- Çatı örtüsü olarak (Shingle gibi)	2- Giydirme cephe şeklinde	2- Parapet
		3- Güneş Kırıcılar

Fotovoltaik teknolojisinin avantajları şu şekilde özetlenebilir [41]:

a) Kullanılacak enerji kaynağı sonsuz ve bedavadır.
b) Sistemi yıpratacak veya sistemin bozulmasına neden olacak hareket eden parçalar yoktur.
c) Sistemi çalışır halde tutmak için çok düşük düzeyde bakım gerekir.
d) Sistemler modülerdir ve her yere kolayca monte edilebilir.
e) Çalışırken gürültü, zararlı emisyonlar ve kirletici gazlar açığa çıkarmaz.

Fotovoltaik teknolojisinin dezavantajları ise şu şekildedir [41]:

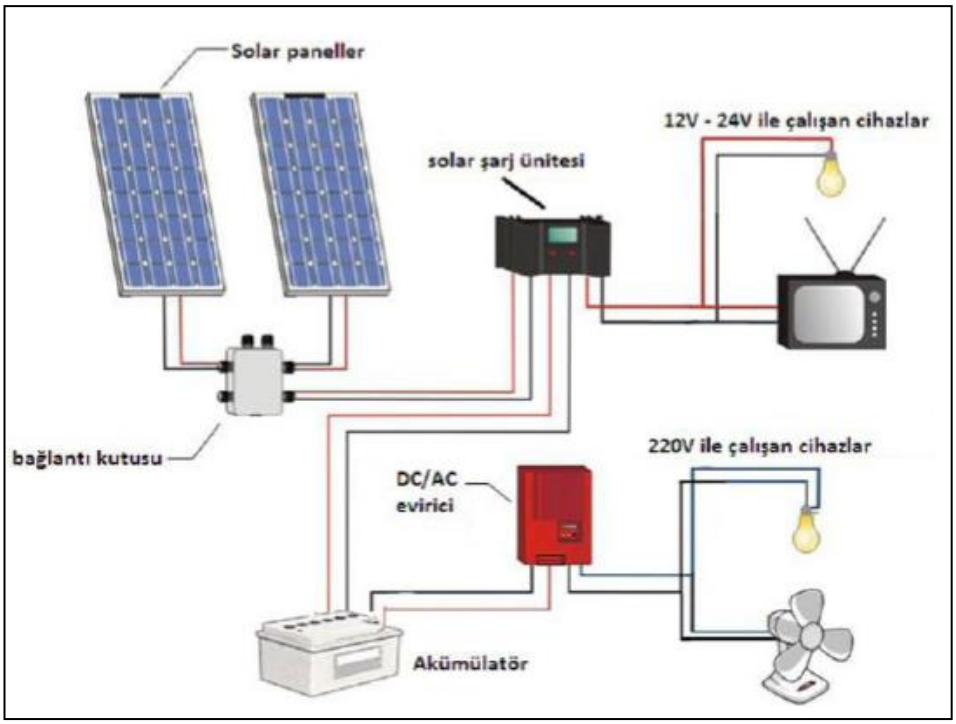
a) Enerji kaynağı dağınık durumda ve sabit değildir.
b) Ekonomik enerji depolama sistemleri yoktur.
c) Kurulum maliyeti yüksektir.

Fotovoltaik sistemler genel olarak şebekeden bağımsız (off grid) ve şebeke bağlantılı (on grid) olmak üzere iki tip şeklinde yapılırlar.

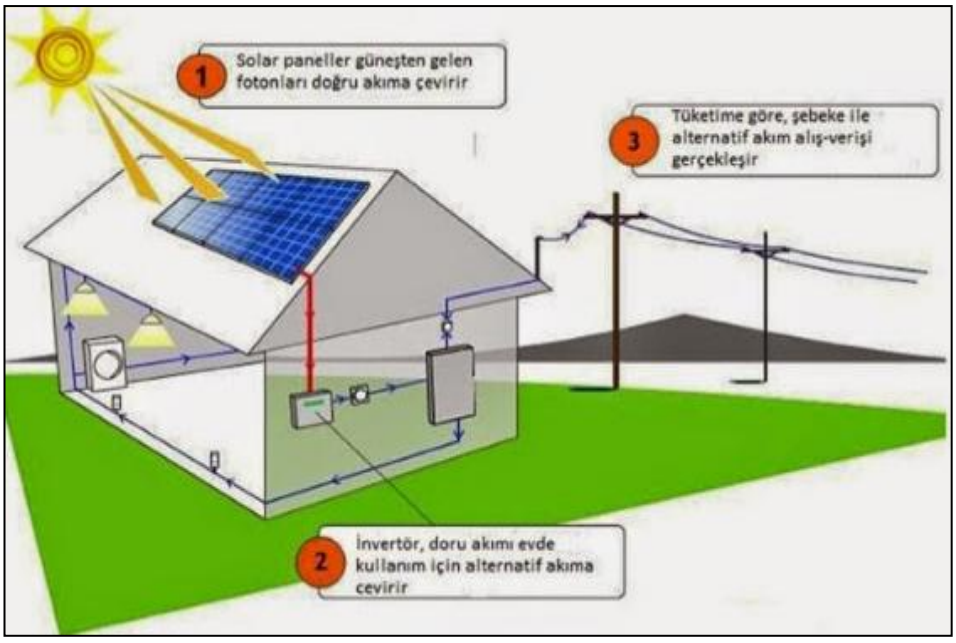
Şebekeden bağımsız sistemler: Bu sistemler genellikle elektrik şebekesinin mevcut olmadığı (dağ evleri, su kuyuları, otoyol tabela ve ikazları vb.) alanlarda elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Şekil 2.14'de şebekeden bağımsız sistemin çalışma sistemi verilmektedir. Solar şarj ünitesi PV panellerden gelen elektrik akımını akülere ve panellere zarar vermeyecek şekilde düzenleyerek akünün şarj edilmesini sağlar. Aynı zamanda doğrudan panelin ürettiği voltajla çalışabilecek cihazlar için bir gerilim köprüsü oluşturur. Sonraki aşamada şarj ünitesi tarafından doldurulan akümülatördeki gerilim evirici tarafından 220V AC gerilime dönüştürülerek bu voltaj ile çalışacak cihazlar beslenir. Bu sistemin en büyük avantajı gündüz depo edilen elektriğin akü kapasitesine bağlı olarak gece de kullanılabilmesidir [41].

Şebekeye bağlı sistemler: Bu sistemler şebekeye bağlı olup tüketiminden fazla elektrik üretildiğinde akıllı sayaçlar sayesinde şebekeye elektrik satılabilmekte veya tüketim PV'den karşılanamazsa şebekeden elektrik alınabilmektedir. Kullanım alanları çatılar veya boş araziler olmaktadır. Şekil 2.15'de şebekeye bağlı sistemin çalışma sistemi verilmektedir. Panellerden üretilen DC gerilim eviricilerde AC akımına dönüştürülür. Daha sonra çift yönlü (akıllı sayaç) tüketime göre şebekeye veya evdeki sistemlere elektrik verilmektedir.

Çizelge 2.3'de şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız sistemlerin karşılaştırmaları verilmektedir.



Şekil 2.14. Şebekeden bağımsız sistemler (off grid) [41]



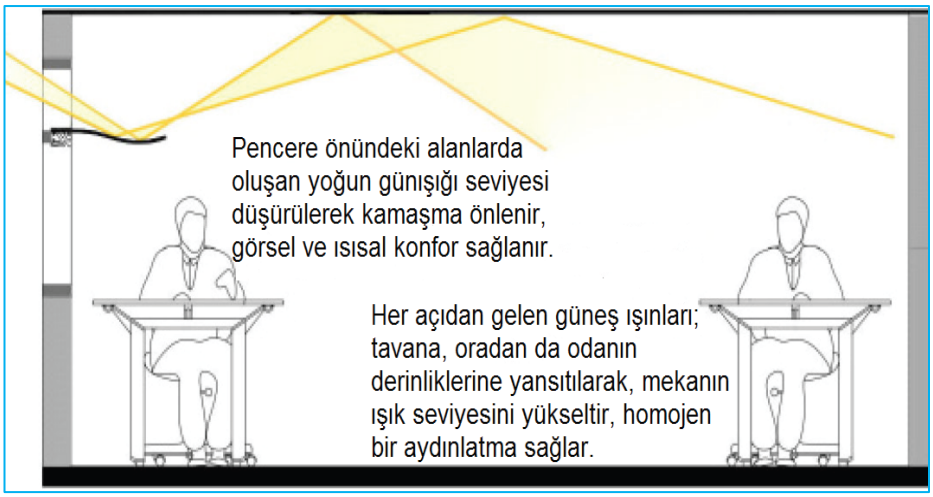
Şekil 2.15. Şebeke bağlantılı sistemler (on grid) [42]

Çizelge 2.3. Şebekeye bağımlı ve bağımsız sistemlerin karşılaştırmaları [39]

Şebekeden Bağımsız	Şebekeye Bağımlı
Limitli elektrik miktarı	Limitsiz enerji sunumu
Esnek olmayan besleme	Elektrik tüketimimden bağımsız
Enerjiyi depolama	Tamamen esnek
Taşınılabilir sistemler	Kullanıcıdan bağımsız

2.2.2.3. Işık rafları

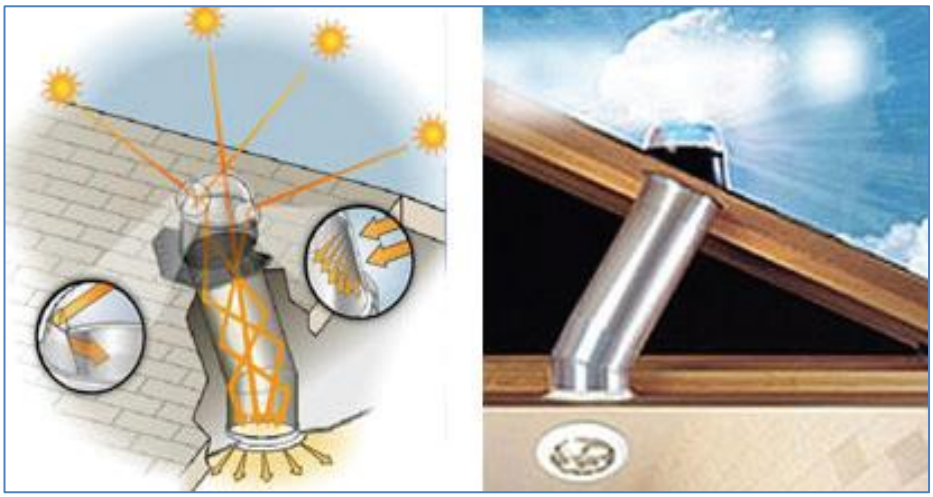
Işık rafı, pencere kenarlarında oluşabilecek aşırı güneş ışığını/kamaşmayı engelleyerek günışığını tavana yönlendirip ışığının hacme homojen dağılmasını sağlayan sistemlerdir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Işık rafları [34]

2.2.2.4. Işık tüpleri

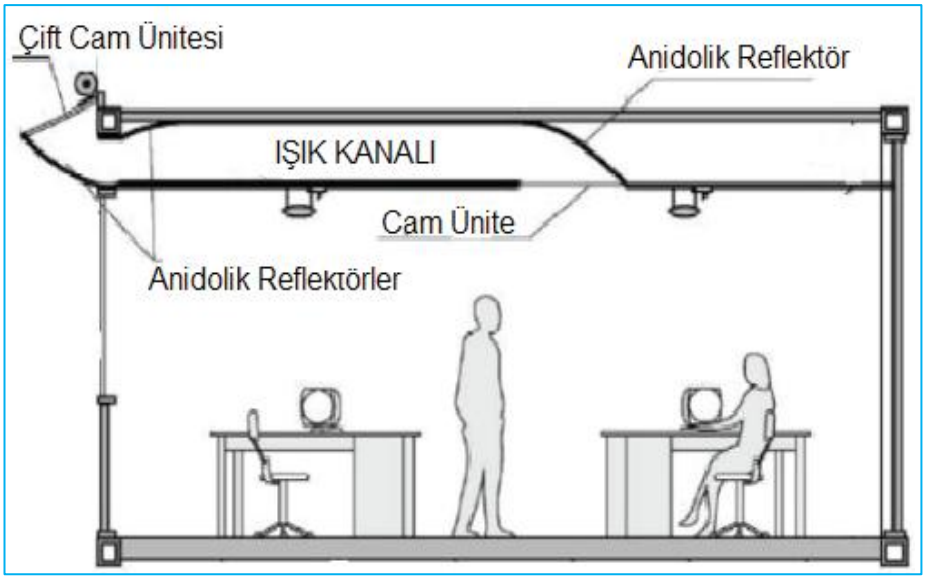
Işık tüpleri**,** çatılarda küçük açıklıklara yerleştirilen toplayıcı eleman olan ışıklıktan alınan güneş ışığını yansıtıcı borular vasıtasıyla binada karanlık ve küçük hacimlerin aydınlatmasını sağlayabilen sistemlerdir (Şekil 2.17). Büyük hacimlere uygulanmak istendiğinde ızgara düzenin sağlanması gereklidir [34].



Şekil 2.17. Işık tüpleri [34]

2.2.2.5. Andolik tavanlar

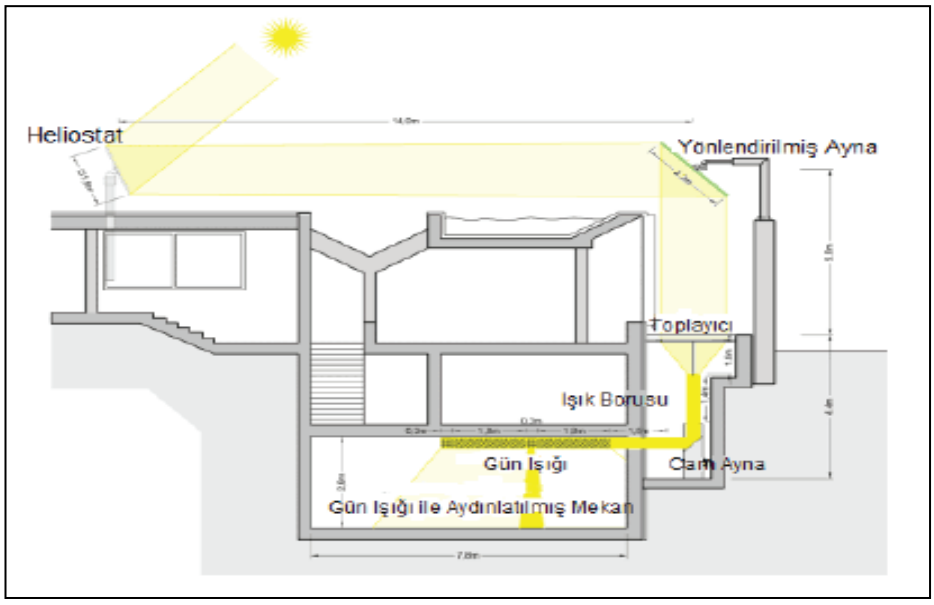
Andolik tavanlar, kapalı gök koşullarının olduğu yerlerde gökyüzündeki yayınık ışığının toplanarak binanın aydınlatmasını sağlayan sistemlerdir. Bu sistem, giriş ve çıkışında reflektör olan ışık kanalından oluşmaktadır (Şekil 2.18). Girişte bulunan reflektörlerde toplanan gün ışığı yüksek yansıtıcılığı olan ışık kanalına aktarılmaktadır. Işık kanalının çıkışındaki parabolik reflektör, yayınık ışığı hacim içine düzgün bir biçimde dağıtır. Ayrıca çıkışta bulunan cam ünite, güvenlik ve bakım masraflarını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır [34].



Şekil 2.18. Andolik tavan sistemi [34]

2.2.2.6. Heliostatlar

Heliostatlar, binalarda güneş ışığıyla aydınlatmanın doğal yollarla yapılamadığı mekânların aydınlatılmasında kullanılır. Şekil 2.19'da heliostatların çalışma sistemi verilmektedir. Güneş izleme sistemine sahip olan heliostatlarda toplanan güneş ışıkları yönlendirilmiş aynalara aktarılmakta, aynalardan ışık toplayıcı sisteme iletilmekte ve buradan ışık borularına geçmektedir. Sistemin sonunda bulunan dağıtıcı vasıtasıyla güneş ışığının hacme yayılması sağlanarak aydınlatma gerçekleştirilmektedir. Aydınlatmada güneş ışığı ihtiyaç duyulan gereksinimi karşılayamazsa ilave lambalar kullanılabilir [34].



Şekil 2.19. Heliostat sistemi [34]

2.3. Rüzgâr Enerjili Sistemler

Rüzgâr enerjisi, güneş enerjisinin %1-2'lik kısmının dönüşmesiyle oluşan yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr; güneşin yeryüzünü ve atmosferi homojen ısıtamaması sonucu oluşan sıcaklık ve basınç farkı nedeniyle meydana gelen hava hareketidir. Rüzgâr, yüksek basınçtan alçak basınca doğru gerçekleşir [42].

Tarihsel süreç içerisinde yel değirmenleri ile su pompalamak ve buğday öğütmek amacıyla kullanılan rüzgâr enerjisi günümüzde, binalarda havalandırma ve elektrik enerjisi üretmek için de kullanılmaya başlanmıştır. Rüzgâr türbinlerinin binalardaki elektrik ihtiyacının bir bölümünü karşılama konusu günümüzde oldukça yeni bir durum olmak ile birlikte, gelişmeye ve yaygınlaşmaya açık bir konudur. Bölgenin aldığı rüzgâra, binanın yüksekliğine ve türbinlerin kapasitesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [17].

Enerji etkin binaların tasarımında, rüzgârın debisini artıracak tasarımlarla var olan potansiyel artırılarak verim artışı sağlanabilir.

2.3.1. Rüzgâr türbinleri

Rüzgâr türbini, rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye ve ardından da elektrik enerjisine çevirir. Bir rüzgâr türbini genel olarak kule, jeneratör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur.

Rüzgârın kinetik enerjisi motorda mekanik enerjiye çevrilir. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılır. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır [43].

Rüzgâr türbinlerinden elektrik üretilmesi ancak belirli hızlardan sonra olmaktadır. Bu hız değerlerini ifade etmek için "Cut-in" terimi kullanılmaktadır. Rüzgâr türbinleri Cut-in değerinin altındaki rüzgâr hızlarının altındaki bir değerlerde çalışmazlar. Rüzgâr hızı değeri artıkça rüzgâr türbinlerinin elektrik üretim değerleri artmaktadır. Rüzgâr türbini için belirlenmiş bir değerde maksimum üretim gerçekleştirilir. Bu güç noktasına "nominal güç" ve bu değerdeki rüzgara "nominal rüzgar" denilmektedir. Bu rüzgâr değerinden sonra rüzgâr hızı artsa bile üretilen güç miktarı artmamaktadır. Belirli yüksek hızlardan sonra zarar görmemesi için rüzgâr türbini otomatik olarak kapatılmaktadır. Bu değerlere "Cut-out" denilmektedir. Modern rüzgar türbinlerinin Cut-in hızları 3-4 m/s, nominal hızları 11-15 m/s ve Cut-out hızları ise 25-30 m/s arasındadır [42].

Rüzgâr türbinleri binalarda,

- ✓ Binaya eklenmiş rüzgâr türbini,
- ✓ Bina entegreli rüzgâr türbini,

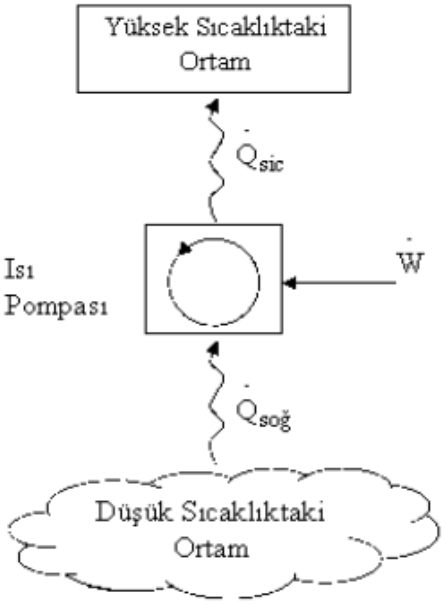
olmak üzere iki farklı şekilde kullanılmaktadır [17]. Binaya eklenmiş olan rüzgar türbinleri, binayı sadece kule gibi kullanırken, binaya tam entegre edilmiş rüzgar türbinlerinin aksine, bina formunu rüzgar akış yönü ve debisini değiştirecek şekilde tam olarak kullanamamaktadır. Mevcut bir binaya eklenebildiği gibi, tasarım aşamasında da binaya uygulanması öngörülebilir.

Bina entegreli rüzgâr türbinleri; binanın strüktür yapısında veya yanında olabilmektedir. Bina entegreli rüzgâr türbinleri binanın tasarımda ayrıntılı olarak ele alınarak binanın formu tarafından desteklenerek rüzgârın yönünü, hızını ya da yoğunluğunu değiştirmek veya arttırmak suretiyle, elde edilecek olan enerjinin maksimum seviyelere yükseltilmesi hedeflerine yönelik olarak tasarlanan türbinlerdir. Özetle, rüzgâr türbini mimari form üzerinde büyük bir etkiye sahip olup binanın, rüzgârı toplayarak türbine yönlendiren bir mekanizmaya dönüştürülmesi hedeflenmektedir [17]. Şekil 2.20'de bina entegreli rüzgâr türbini yapılmış olan Bahrenyn Ticaret Merkezi binası verilmektedir.

Şekil 2.20. Bina entegreli rüzgâr türbini örneği [44]

2.4. Isı Pompaları

Isı pompaları, düşük sıcaklıktaki bir ısı kaynağından, daha yüksek sıcaklıktaki bir ısı kaynağına ısı geçişinin gerçekleştirildiği termodinamik sistemlerdir (Şekil 2.21). Isı pompası adını, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama "pompalama" veya "taşıma" özelliğinden alır [45]. Binalar da ısıtma, soğutma ve sıcak su temininde kullanabilmektedir.



Şekil 2.21. Isı pompasının termodinamiği [46]

Avrupa'da ilk defa ev ısıtmak amacıyla 1927 yılında İskoçya'da daha sonra Zürih'te ve 1945 yıllarında İngiltere'de kaynak olarak nehir suyundan faydalanılan ısı pompası sistemleri kullanılmıştır. ABD'de ise 1940 yıllarında kullanılmaya başlanan ısı pompası sistemlerine olan ilgi, yüksek kuruluş maliyeti, doğalgaz ve petrol enerjisinin ucuzlaması nedeniyle 1960'lı yıllarda azalmıştır. Isı pompalarının bu duraklamadan sonra önem kazanması 1973'teki enerji krizinden sonra olmuş ve bu tarihten sonra binalarda ısı pompası kullanımına ilişkin birçok çalışma yapılmıştır

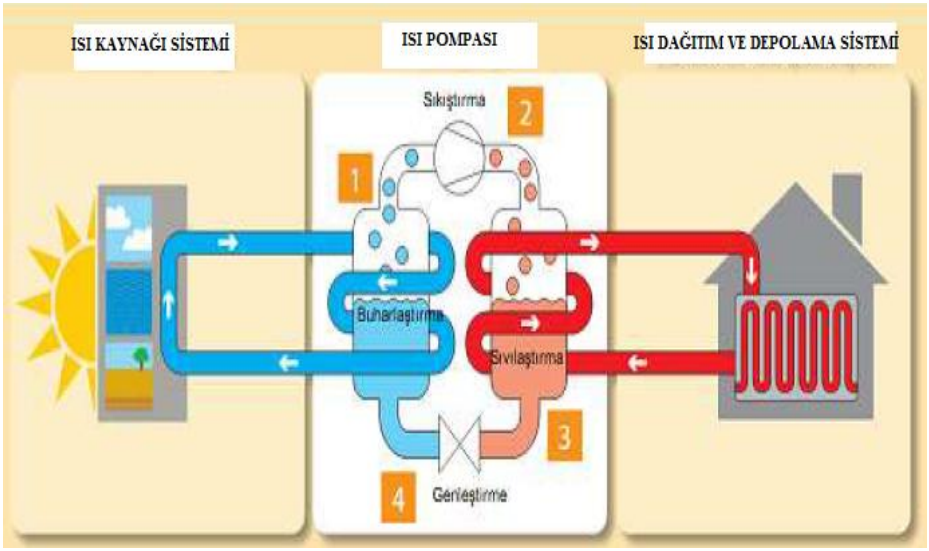
1980'li yıllarda ülkemizde ısı pompası ile teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. 1990'lü yıllarda ise uygulanmaya başlanmıştır. Ancak, uygulanan birkaç projelerin tasarruflu olmaması, ilk kurulum maliyetinin yüksek olması gibi nedenlerle ısı pompalarına olan ilgi azalsa da son 5 yılda ısı pompalarının kullanımı artmıştır [45].

2.4.1. Isı pompası elemanları ve çalışma prensibi

Isı pompası sistemleri; evaporatör, kondenser, genleşme valfı, kompresör ve ısı pompalarının çevriminde ısıyı taşıyıcı rolü üstlenen soğutucu akışkandan oluşmaktadır. Şekil 2.22'de ısı pompası çalışma sistemi verilmektedir. Isı pompasıyla ısıtma sistemi aşağıda belirten dört adımdan oluşmaktadır [45]:

1. Isı kaynağından ısının alınması: Evaporatörde içindeki soğutucu akışkanın basıncı ve sıcaklığı düşüktür. Kaynaktan alınan ısıyla soğutucu akışkanın sıcaklığı artarak kaynar ve buhar haline gelir.
2. Kompresörde sıcaklık artırılması: Buhar hale gelen soğutucu akışkan sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı artırılır.
3. Isıtma sistemine ısının aktarılması: Sıcaklığı ve basıncı artırılmış akışkan kondensere geçer. Burada ısısını, ısıtma çevrimdeki ısıtma suyuna aktarır.
4. Genleşme valfinde kısılma: Akışkanın genleşme valfinde sıcaklığı ve basıncı iyice düşürülerek sıvı hale getirilmesi sağlanır.

Bu şekilde çevrim tamamlanmış olmaktadır. Bu işlemin tersi uygulandığında ise soğutma gerçekleşmektedir.



Şekil 2.22. Isı pompası çalışma sistemi [47]

Isı pompası sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesinde etkinlik katsayı (COP) terimi kullanılmaktadır. COP, sisteme verilen ısı enerjisinin kullanılan elektrik enerjisine oranı olarak tanımlanır:

$$COP = \frac{Sistem\,e\,verilen\,ısı\,enerjisi}{Kullanilan elektrik\,enerjisi} \tag{3.1}$$

Isı pompasında evaporatörün ısı çektiği ortamlara "ısı kaynağı" denilmektedir. Bu kaynak [47]:

- ✓ Toprak kaynaklı,
- ✓ Hava kaynaklı,
- ✓ Su kaynaklı,

şeklinde olmaktadır.

2.4.2. Toprak kaynaklı ısı pompası

Isı değiştiricileri yerin altına gömülerek toprak ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Toprak, güneşten aldığı ısıyı soğutucu akışkana iletir, soğutucu akışkan ise topraktan aldığı ısı enerjisini bina içerisine ileterek binada ısıtma sağlanmaktadır. Tam tersi durumda ise soğutucu akışkan yardımıyla bina içindeki ısı toprağa atılarak bina içi soğutma sağlanmaktadır. Toprağın birkaç metre altı yıl

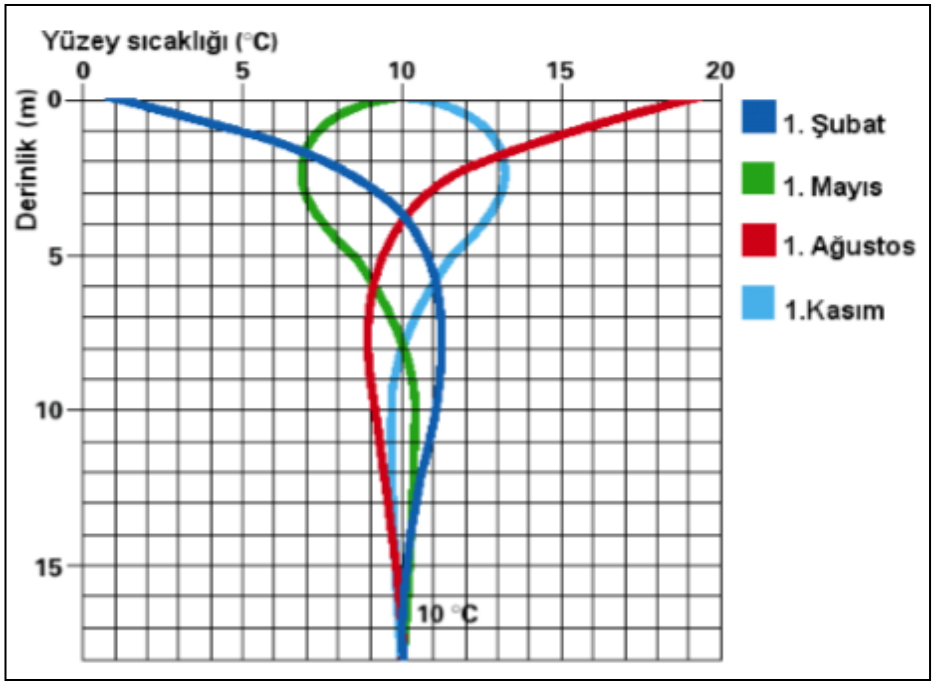
boyunca 5-13°C arasında bir sıcaklık değerlerinde olmaktadır (Şekil 2.23). Toprak kaynaklı ısı pompalarında yüksek etkinlik katsayısı elde edilmektedir [47].

Isı pompasının ısı değiştiricisi seçimi ve boyutlandırması; mevcut toprak alanı, toprağın kimyasal ve fiziksel yapısı, türü, içerdiği nem oranı, boruların gömüldüğü derinlik gibi faktörlere göre belirlenir [45]. Hava sıcaklığının gün içinde çok değişken olması ve kış aylarında negatif değerlere düşebilmesine karşın toprak sıcaklıklarının yıl boyunca belli bir aralıktaki sıcaklık değeriyle kararlı yapıda olması, karasal iklimler için toprağın iyi bir kaynak olduğunu göstermektedir.

Toprak kaynaklı ısı pompaları, ısı değiştiricileri uygulamalarına göre [47],

- ✓ Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası,
- ✓ Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası,

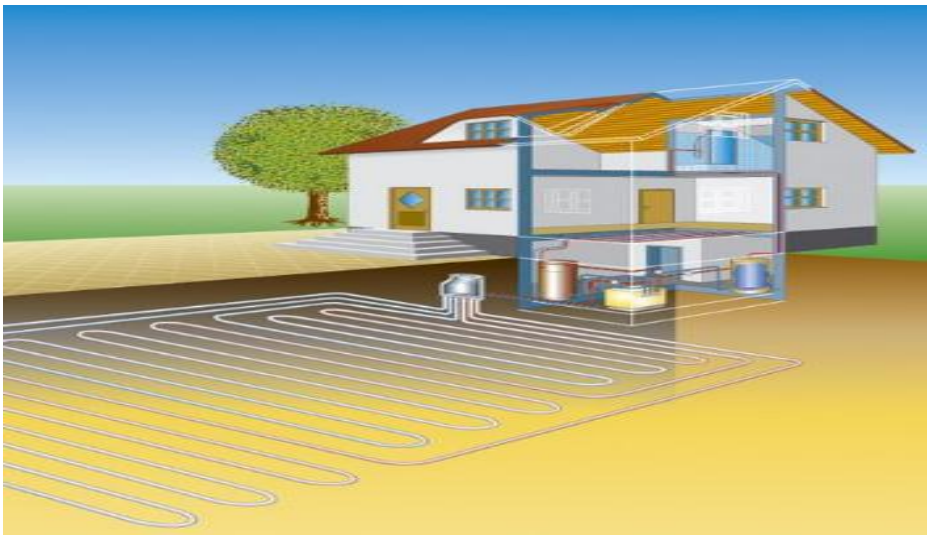
olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2.23. Yıllık toprak altı sıcaklık değişimi [47]

2.4.2.1. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası

Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompasında; toprak ısısının çekilmesi, toprak yüzeyine 1,2 - 1,5 metre derinliğinde, genellikle çok devreli olarak düz veya sprial şeklinde serilen geniş yüzeyli toprak kolektörleriyle gerçekleşmektedir. Şekil 2.24'de düz yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemi verilmektedir.



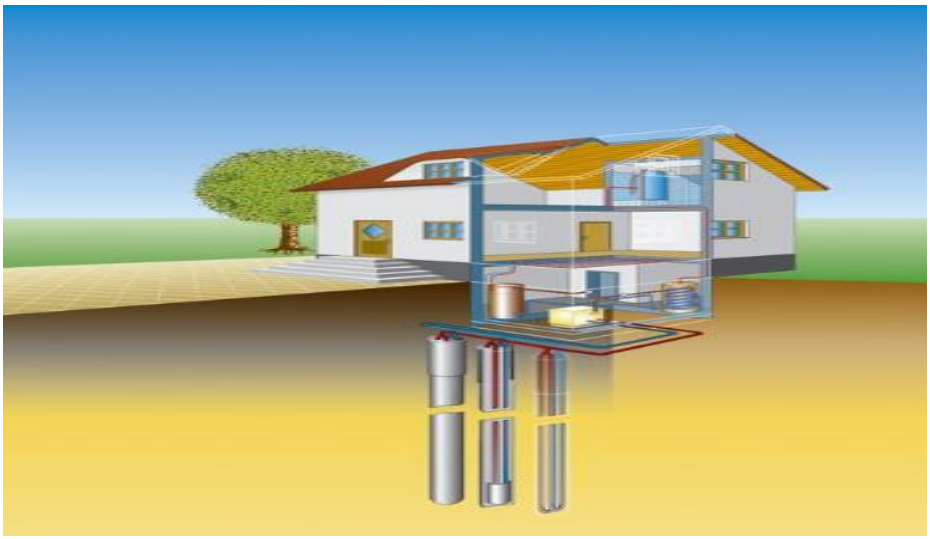
Şekil 2.24. Düz yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası [48]

Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompalarının uygulamalarında dikkat edilecek hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [45]:

- ✓ Bir devrenin uzunluğu, ısı taşıyıcı akışkan sirkülâsyonu için gerekli pompa gücünün yüksek olması gerektiğinden 100 metreyi geçmemelidir.
- ✓ Özellikle nemli ve killi topraklarda, topraktan çekilebilecek ısı miktarının artmasıyla ısı pompalarının verimi de artmaktadır.
- ✓ Zaman zaman toprakta oluşan buzlanmanın, sistemin işletimine ve yüzey bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Derin kök yapan bitkilerin toprak ısı değiştiricilerinin uygulandığı bölgelere dikilmemesine dikkat edilmelidir.
- ✓ Yatay tip kaynaklı ısı pompalarının uygun maliyet ve sahip olduğu yüksek yıllık performans katsayısı gibi avantajları olmasına rağmen, geniş alan gereksinimi, uygulanan arazinin yapılaşma için kullanılamaması, hassas uygulama yapılmadığında hava birikimi problemleri gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

2.4.2.2. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası

Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasında amaç yeryüzünün derinliklerinde bulunan kayaçların jeotermal ısısından ısı pompasının genel çalışma prensibiyle yararlanmaktır. Yeteri kadar toprak alanı olmadığı zaman, sondaj kuyuları açılarak şekil 2.25'de gösterildiği üzere toprak kolektörleri dikey olarak yerleştirilir.



Şekil 2.25. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası [48]

Dikey tip kaynaklı ısı pompalarının uygulamalarında dikkat edilecek hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [45]:

- ✓ Kuyunun derinliği sondaj koşullarına, yapılan hesaplarla elde edilen basınç düşümü ve ısı iletim değerlerine, kullanılacak ekipmanlara ve uygulanacak projenin koşullarına göre değişmektedir. Yüksek ısıl kapasite istenildiğinde, açılan kuyular büyük bir kayaç hacmine ulaşıncaya kadar ilerletilir.
- ✓ Dikey toprak ısı değiştiricilerinin yerleştirilmesi ve planlanması için toprak özellikleri ve yeraltı şartları hakkında tam bir bilgiye sahip olunması şarttır.
- ✓ Dikey toprak ısı değiştiricileri konusunda uzmanlaşmış, malzeme seçimi ve yerleştirilmesinin yanı sıra gerekli ruhsatların alınması ile ilgili hizmetleri de sunan jeoloji ile ilgili makamlara danışılmalıdır.

Dikey tip kaynaklı ısı pompalarının az yer gereksinimi ve sahip olduğu yüksek yıllık performans katsayısı gibi avantajları olmasına rağmen, yüksek yatırım maliyeti, bazı zeminlerde uygulama zorlukları gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

2.5. Yerden Isıtma ve Soğutma Sistemleri

Yerden ısıtma ve soğutma sistemi, binanın ısıtma ve soğutma gereksiniminin döşeme altına yerleştirilen borular vasıtasıyla sağlanmasıdır (Şekil 2.26). Bu sistemler düşük sıcaklık döngülerinde çalışabildiğinden klasik sistemlere göre daha

verimli olabilmektedir. Isı pompası ve güneş kolektörleriyle kombine kullanılabilmektedir [49].

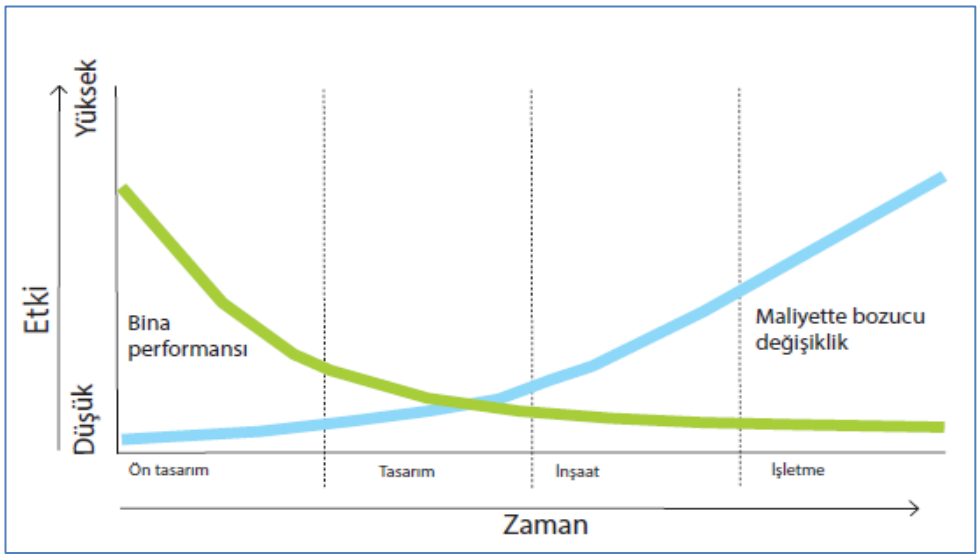
Şekil 2.26. Yerden ısıtma ve soğutma sistemi örneği [49]

Tasarımlarında korozyona dayanıklı, kullanımı kolay ve maliyeti uygun olan plastik borular kullanılmaktadır. Sağlık ve hijyen açısından zemin sıcaklığı 27^{o}C üzerine çıkılmamalıdır. Bu sıcaklık değerlerinin üzerine çıkıldığında zemindeki tozların kalkmasına ve varisli kişilerin konforunu olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle zeminde dolaşan su sıcaklığının 50^{o}C altında tutulmasına özen gösterilmelidir. Diğer dikkat edilmesi gereken bir husus da soğutmada, zeminde yoğuşma olmaması için sıcaklık değerlerinin 14^{o}C altına düşmemesine özen gösterilmesidir.

3. ENERJİ ETKİN BİNA TASARIM İLKELERİ

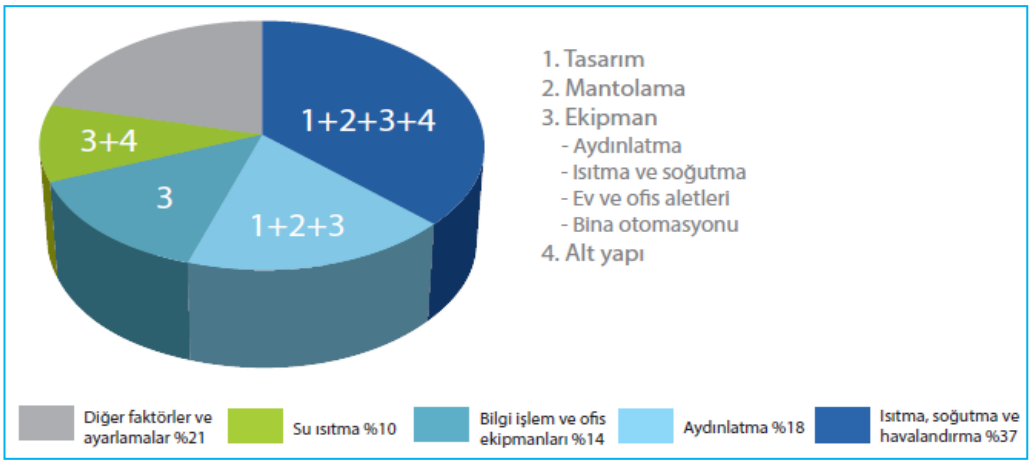
Enerji etkin binaların tasarım yöntemlerinden birisi de Bütünsel Tasarım Süreci (BTS) yaklaşımıdır. BTS, bina yapılmadan önce tüm paydaşların karar alma sürecine dâhil edilmesi ve disiplinler arası işbirliğinin yapılmasıdır. Bu paydaşlar; mimar, mühendisler, proje sahipleri ve diğer uzmanlar olmaktadır. Binanın yapıldığı iklim şartları, binanın formu, kullanıcı konfor koşulları, malzeme ve sistemleri, oturanların sağlığı ve güvenliği gibi birçok değişken değerlendirilerek tasarımın yapılması gerekmektedir. Birçok proje bir aşamayı bitirdikten sonra diğerine geçerek ücret yapılarının bu doğrusal yaklaşım ve bölümlendirmeye göre oluşturulduğu, sıralı bir yaklaşım benimsemektedir. Tasarımcıların birçok faktörü optimize edebilmesi ve maliyet verimli inovasyonları uygulamaya alabilmesi için, gerekli tedbirleri erken bir aşamada almaları gerekmektedir.

BTS tasarım sürecinde, alternatif tasarımlar ve tercihler simülasyon programlarıyla test edilmekte ve gerekli görüldüğü noktalarda enerji performans/verimlilik değerleri ve yapı maliyetlerinin optimize edilmesi için tasarımlar yeniden düzenlenebilmektedir. Şekil 3.1, BTS ne kadar erken bir aşamada gerçekleşirse, bina performansı üzerindeki etkisinin o kadar yüksek ve maliyetler üzerindeki etkinin ise o kadar düşük olacağını göstermektedir [3].



Şekil 3.1. Erken tasarımın faydaları [3]

Bina performansı bileşenlerin sadece birinin performansına bağlı değildir, bunların bütünleşik sistemler olarak nasıl performans gösterebildiğidir. Enerji kullanımında tasarımın etkisi şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Enerji kullanımında tasarımın etkisi [3]

Özdemir'e [51, 12] göre enerji etkin pasif bina tasarım sürecinde etkili olan parametreler üç ana başlıkta toplanabilir (Şekil 3.3). Bu parametreler; kullanıcıya ilişkin parametreler, iklime ilişkin parametreler ve binaya ilişkin parametreler olarak sıralanabilir.

Şekil 3.3. Enerji etkin pasif bina tasarım parametreleri [51]

Binalar tasarlanırken enerjinin en verimli şekilde kullanılması hedeflenmelidir. Kullanıcı konfor şartlarından ödün vermeden tasarımın en uygun enerji verimliliği sağlaması gereklidir. Yıllın belirli bir dönemlerinde kullanıcı konforu sağlamak için yapma ısıtma enerjisine ve soğutma enerjine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işlemler yapılırken mümkün olduğunca verimli sistemler ve yenilenebilir enerji kullanılarak bu sistemlerin yüklerinin azaltılması gereklidir.

Binalar tasarlanırken;

- ✓ Kullanıcıya ilişkin parametreler,
- ✓ Dış çevreye ilişkin parametreler,
- ✓ Yapma çevreye ilişkin parametreler,
- ✓ Bina kullanım aşamasında HVAC sistemleri, mekanik sistemler, aydınlatma sistemleri,

en iyi şekilde analiz edilerek enerji verimliliğinin sağlanması için bina tasarımında belirtilen parametrelerin en uygun değerlerinin belirlenmesi gereklidir [12, 50].

3.1. Kullanıcıya İlişkin Parametreler

Kullanıcıya ilişkin parametreler kullanıcı niteliğine - durumuna ilişkin parametreler ve fizyolojik parametreler olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.1.1. Kullanıcı niteliği ve durumuna ilişkin parametreler

Kullanıcı niteliğine ve durumuna ilişkin parametreler, ırk, yaş, cinsiyet, eylem şiddeti ve giysi türü olarak sıralanabilir.

Eylem şiddeti (aktivite düzeyi), insan vücudunun aldığı yiyecekleri yakarak birim zamanda ürettiği ve metabolizma düzeyi olarak adlandırılan enerji miktarını etkileyen önemli bir değişkendir. Metabolizma düzeyi insanın yaptığı eylem türü ile yani aktivite düzeyi ile doğrudan ilişkilidir ve çoğu kez MET birimi olarak ifade edilmektedir [12]. ASHRAE standartlarından alınan belirli eylem türleri için metabolizma düzeyleri çizelge 3.1'de verilmiştir.

Giysilerin türü (termal düzeyi), giysilerin ısı yalıtım direncini belirlediğinden ve dolayısıyla insanla çevresi arasındaki ısı transferi miktarını etkilediğinden iklimsel konfor koşullarının belirlenmesinde bilinmesi gereken önemli kişisel değişkenlerden biridir. Giysilerin ısı yalıtım direnci Clo birimi ile ifade edilmektedir [12]. Çizelge

3.2'de giysi türlerine bağlı olarak tanımlanan Isı Geçirme Direnci (I_{cl}) değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Belirli eylem türleri için metabolizma düzeyleri [12]

Eylem Türü	Metabolizma Düzeyi (MET)
Yatarak dinlenme	0,8
İş yapmadan oturma	1,0
Oturarak yapılan işler (okulda, ofiste, evde, vb.)	1,2
Ayakta iş yapmadan durma	1,2
Ayakta hafif işler yapma (alışveriş vb.)	1,2
Ayakta orta ağırlıkta iş yapma (tezgâhtarlık, vb.)	2,0
Ayakta ağır iş yapma	2,0

Çizelge 3.2. Hesaplamalarda kullanılan değerler [12]

Giysi Tipi	Isı Geçirme Direnci (Clo)
Kışlık giysiler	0,80 – 1,20 (0,90)
Yazlık giysiler	0,35 – 0,60 (0,50)
Mevsimlik giysiler	0,60 – 0,80 (0,70)

3.1.2. Fizyolojik parametreler

Fizyolojik parametreler ortalama vücut sıcaklığı, deri sıcaklığı, terleme miktarı ve kalp atışı gibi objektif, görülür terleme ve termal duygu (veya hissediş) gibi sübjektif parametreler olarak açıklanabilmektedir [52].

3.2. Dış Çevreye İlişkin Parametreler

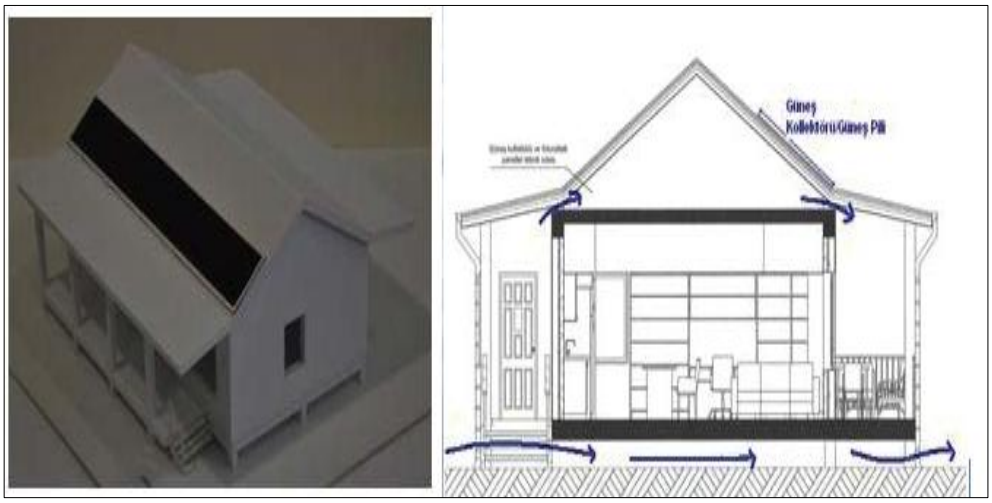
Binalarda kullanıcı konforu sağlanması için öncelikle dış çevreye ilişkin değerler iyi belirlenmeli ve çevrenin şartlarına en uygun tasarım yapılmalıdır. Dış çevreye ilişkin değerler tasarımcıların kontrolünde olmayan yerin enlem ve boylamına bağlı olarak iklim ve iklim elemanları: rüzgâr, dış hava sıcaklığı, hava nemliliği gibi değerlerdir. Bu kapsamda ülkemiz 5 iklim bölgesine ayrılmıştır [10]:

- ✓ Soğuk iklim bölgesi
- ✓ Sıcak-nemli iklim bölgesi,
- ✓ Sıcak-kuru iklim bölgesi,
- ✓ Ilımlı-nemli iklim bölgesi,
- ✓ Ilımlı-kuru iklim bölgesi.

Ülkemizde mevcut TSE 825 standardında ise tasarım için değerler 4 iklim bölgesi için belirlenmiştir. Ilımlı-nemli ve sıcak-kuru iklim bölgesi aynı değerler kabul edilmiştir [53].

3.2.1. Sıcak-nemli iklim bölgesi

Sıcak-nemli iklim bölgesinde yüksek yağış aldığından nemliliği önlemek için rüzgârdan yararlanacak hacim organizasyonu ve bina formu yapılmalıdır. Bu iklim bölgesinde yüzey alanı fazla parçalı yapılarak doğal havalandırma ile serinletme ve sıcak havanın dışarı atımı sağlanmalıdır. Bu nedenle yapının ana cepheleri hâkim rüzgâra bakmalıdır. Ayrıca, yapının zeminden ayakları yükseltilerek döşemenin rüzgâr hareketleriyle soğutulması sağlanabilir. Çatılarda rüzgâr bacası kullanılabilir. Şekil 3.4 sıcak-nemli iklim bölgesinde tasarlanmış bir yapıyı göstermektedir [54, 55].



Şekil 3.4. Sıcak-nemli iklim bölgesinde tasarlanmış ev örneği [54]

3.2.2. Sıcak-kuru iklim bölgesi

Bu iklim bölgesinde yapıların fazla güneş ışınımları, kum, toz, rüzgâr, kuruluk gibi etkenlerden korunması gereklidir. Yağmur etkisinden mümkün olduğunca yararlanılması gereklidir. Bu bölgedeki yapılar, birbirine gölge yapacak ve güneş ışınlarına çok uzun süre maruz kalmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bitişik yapılar arasında gölgeli, rüzgâr ve güneşe karşı korunaklı, avlu gibi dış mekânlar oluşturulmalıdır. Geleneksel mimaride olduğu gibi revaklar oluşturarak, hacimlerin ikincil mekânlarla gölgelenmesi sağlanabilir. Göletler, çim alanları, havuzlar

oluşturulmalı, avluda hâkim rüzgâr yönünde su kullanılmalıdır. Açık renk yüzeylerin kullanılması ile yansıtma fazla olacağından istenmeyen fazla ısınma önlenebilir. Şekil 3.5 sıcak-kuru iklim bölgesinde tasarlanmış bir yapıyı göstermektedir [54, 55].

Şekil 3.5. Sıcak-kuru iklim bölgesinde tasarlanmış yapı [54]

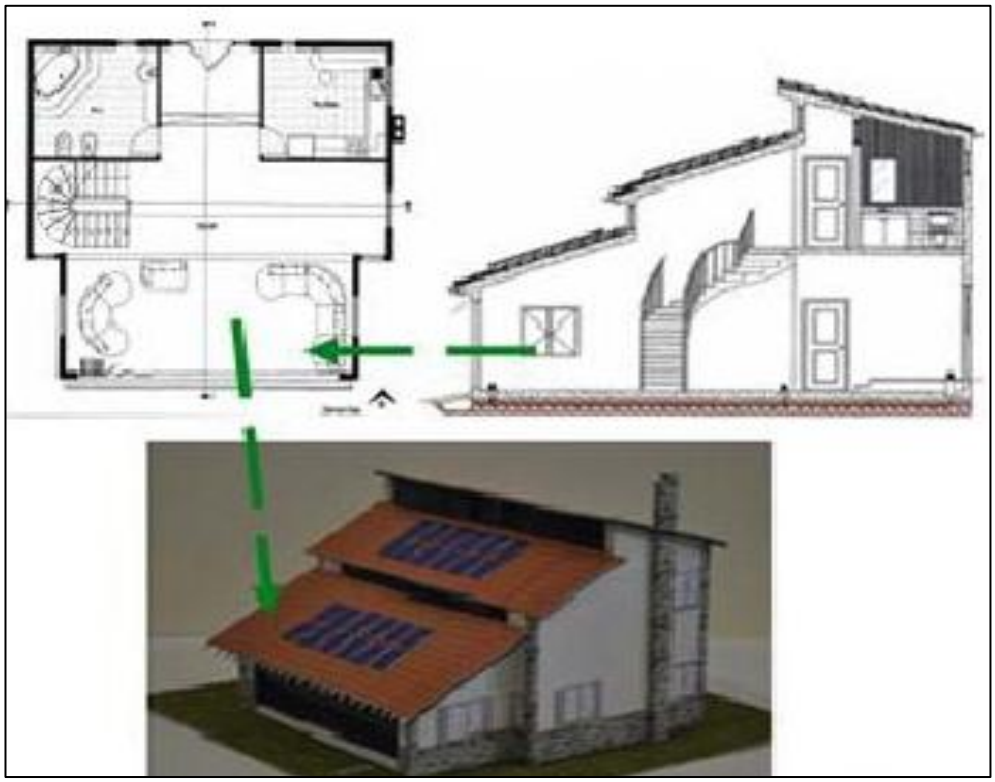
3.2.3. Ilımlı-nemli/ılım-kuru iklim bölgesi

Bu iklim bölgesinde yapı; yağmur, kar, soğuk rüzgârlar, yaz sıcağı, kış soğuğundan koruyacak şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca, yapıda minimum ısı kaybı, kışın güneş ışınlarından yararlanma, yazın gölgeleme ve havalandırma sağlanmalıdır. Bu bölgelerde bina formu daha esnek bir tasarımda yapılabilir. Genelde doğu-batı doğrultusunda uzanmış binaların yapılması önerilir. Sıcak hava koşulları için açık renk beton taş yüzeylerle birlikte geniş çim alanlar; soğuk hava koşulları da düşünüldüğünde, açık ve koyu renk yüzey dengesi sağlanmış yüzey kaplamaları, yapraklarını kışın döken ağaçların kullanılması tavsiye edilir. Böylece yaz aylarında güneş ışınımlarından korunma sağlanırken kış aylarında yararlanma engellenmez [54, 55]. Şekil 3.6'da ılımlı bölgede yapılmış bir yapı örneği gösterilmiştir.

3.2.4. Soğuk iklim bölgesi

Soğuk iklim bölgesinde yapının rüzgâr, soğuk, kar yükü, kar yığıntısından koruyacak ve minimum ısı kaybedecek şekilde yapılması gereklidir. Soğuk iklim bölgelerinde ısı kaybını minimum seviye indirmek ve sert çevre etkilerden korumak için yüzey alanının asgari seviyede olması sağlanmalıdır. Bu nedenle kompakt,

boyutları arasındaki fark küçük olan yani kareye yakın biçimler tercih edilmelidir [54, 55]. Şekil 3.7'de soğuk iklim bölgesinde tasarlanmış bir yapı görülmektedir.



Şekil 3.6. Ilımlı iklim bölgesinde tasarlanmış yapı [54]

Şekil 3.7. Soğuk iklim bölgesinde tasarlanmış yapı [54]

3.3. Yapma Çevreye ve Binaya İlişkin Parametreler

Binaya ve yapma çevreye ilişkin parametreler tasarımcının kontrolünde olup bina tasarlanırken kullanıcı konforu açısından yapay iklimlendirmede (ısıtma ve soğutmada) ve aydınlatmada sistemlerin yüklerini azaltacak şekilde tasarım yapılmalıdır. Isıtma, iklimlendirme ve aydınlatmada harcanan enerjinin korunmasında yapay çevreye ve binaya ilişkin parametreler,

- ✓ Binanın yeri ve yönlendiriliş durumu,
- ✓ Bina aralıkları,
- ✓ Bina formu,
- ✓ Bina kabuğu,
- ✓ Enerji etkin aydınlatma,
- ✓ Bina ısıtma sistemleri,
- ✓ Bina mekanik sistemleri,
- ✓ Bina otomasyonu sistemleri,

şeklinde ele alınabilir.

3.3.1. Binanın yeri, yönlendiriliş durumu ve hacim organizasyonu

Binanın yeri ve yönlendirilmesi, iklim kontrolünde ve enerjinin etkin kullanılmasında önemli bir yere sahip tasarım parametresidir. Bu parametreler,

1) Binanın baktığı yön,
2) Yerin eğimi,
3) Yerin konumu,
4) Yerey parçasının örtüsü

gibi alt parametrelerin bütünüdür.

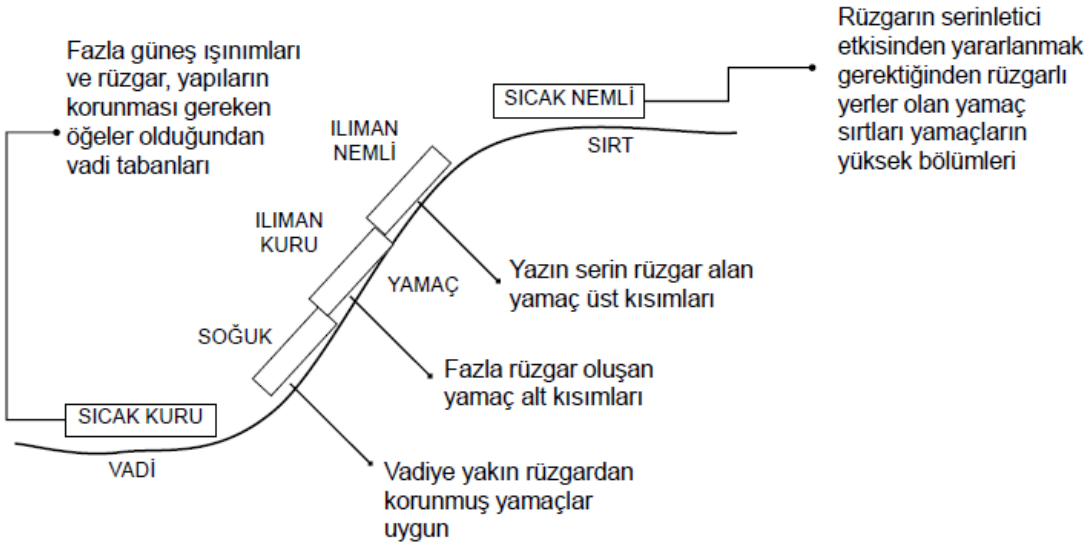
Yerleşme bölgeleri için iklimsel etkilerin optimizasyonunu hedefleyerek yapılan doğru bir yer seçimi aşağıdaki olumlu sonuçların elde edilmesini olanaklı kılar [56]:

1. Yapma ısıtma ve iklimlendirme ihtiyacının ve buna bağlı olarak enerji harcamalarının minimize edilmesi ve dolayısıyla hava kirliliğinin önlenmesi,
2. Kirletici niteliğe sahip yerleşme birimlerinin (endüstriyel) diğer fonksiyonlara sahip yerleşme birimlerine olan kirletici etkilerinin önlenmesi,
3. Maksimum bina yoğunluğunu insan sağlığından ödün vermeksizin gerçekleştirerek arazinin rasyonel kullanımının sağlanması,

4. Bahçe-şehir anlayışı çerçevesinde sağlıklı ve konforlu açık mekânların (parklar, oturma-oyun terasları, spor alanları vb.) oluşturulması.

Binaların iklim bölgelerine göre konumlandırılması şekil 3.8'de gösterilmiştir. Sıcak nemli iklim bölgelerinde yerleşmede; rüzgârın serinletici etkisinden yararlanmak için yamaçların yüksek bölgelerinde veya yamaç sırtlarına yapı konumlandırılmalıdır. Ayrıca, ayrık yapıdaki binalar birbirinin rüzgâr konumunda olmamalıdır. Yüzeylerin açık renkte olması gereklidir.

Sıcak-kuru iklim bölgesinde yerleşmede; fazla güneş ışınımları, toz ve kum taşıyacak rüzgârın etkisinden korunmak için vadi tabanlarına yerleşmelidir. Bu bölgede rüzgâr istenmediğinden binaların birbirinin gölgesinde kalacak biçimde arka arkaya sıralanması sağlanmalıdır. Yapma ve doğal yollarla rüzgârın engellenmesi tasarlanmalıdır. Ağaçlar rüzgâra ve güneşe karşı konumlandırılır. Yollar hâkim rüzgâra kapatılmalı, yapı yüksekliği ve yol genişliği ilişkisi ile gölgeli yollar elde edilmelidir.



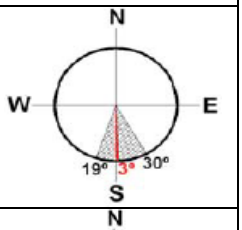
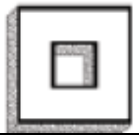
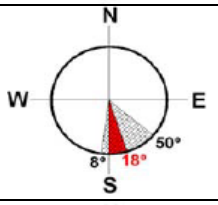
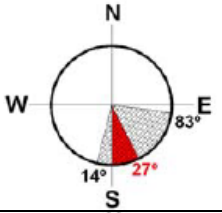
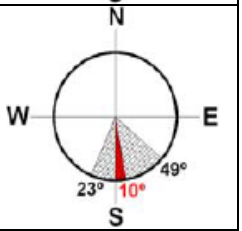
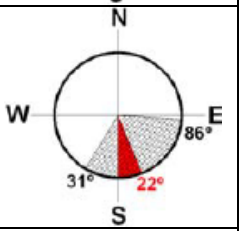
Şekil 3.8. Binaların iklim bölgesine göre konumlandırılması [55]

Ilıman iklim bölgelerinde yerleşmede; ılıman-nemli, sıcak hava koşullarında serin rüzgâr alan yamaçların üst kısmına yerleşme olmalıdır. Ilıman-kuru iklim bölgesinde yamaçların alt kısımları, kıyılarda ise yaz aylarında meltem rüzgârlarının serinletici etkisinden yararlanılabilen alanlarda yerleşim yapılmalıdır. Yaz ve kış aylarında değişen ısı koşullarına göre rüzgâr denetimi yapılması gerekir. Soğuk hava koşullarında baskın rüzgâra kapanan çözümler alınmalıdır.

Soğuk iklim bölgesinde yerleşmede; vadiye yakın rüzgârlardan korunmuş yamaçlarda yapı konumlandırılmalıdır. Ayrıca, yapılar bitişik ve yoğun, kompakt, küp biçimlerinde olmalıdır. Binaların güney cephelerinin kışın yararlı güneş etkisini engellemeyecek ve rüzgârdan da korunacak biçimde arka arkaya sıralanması olmalıdır. Isı absorbe etmesinden dolayı koyu renk yüzeyler tercih edilmelidir [55].

Enerji etkin yapı tasarımlarında yapıların eğimleri, yönlendirilmesi ve geçerli formlarının iklim bölgelerine göre nasıl olması gerektiği çizelge 3.3'de gösterilmiştir. Ayrıca binaların yönlendirilmesinden sonra doğru hacim organizasyonlarının da yapılması gereklidir. Sık kullanılan yaşam alanlarının güney cephede, az kullanılan alanların ise kuzey cephede olması enerji tasarrufu açısından büyük öneme haizdir.

Çizelge 3.3. Farklı iklim bölgelerine göre uygun bina formu, yerin eğimi ve yönlendirilişi [12, 17, 55]

İklim Bölgesi **Uygun Arazi Eğimi**	**Bina Formu**	**Bina Yönlendirişi**
Sıcak Nemli İklim Bölgesi Arazi Eğimi:0º- 6º (Pilot Şehir: Antalya)	Rüzgâra açık yüzeyli, uzun dikdörtgene yakın	
Sıcak Kuru İklim Bölgesi Arazi Eğimi:0º- 6º (Pilot Şehir: Diyarbakır)	Avlulu, karetabanlı, avlulu mekân açık yüzeyli 	
Ilımlı Kuru İklim Bölgesi Arazi Eğimi: Max 24º (Pilot Şehir: Ankara)	Isıtmanın istenmediği dönemde rüzgâra kapalı, kareye yakın kompakt,	
Ilımlı-Nemli İklim Bölgesi Arazi Eğimi: Max 24º (Pilot Şehir: İstanbul)	Isıtmanın istenmediği dönemdeki rüzgâra geniş yüzeyli, dikdörtgen ya da serbest planlı	
Soğuk İklim bölgesi Arazi Eğimi:Max 24º (Pilot Şehir: Erzurum)	Rüzgâra az yüzey veren, dış yüzeyi minimize eden, kompakt kare tabanlı	
Not: optimum yön geçerli yön		

Çizelge 3.4'de enerjinin etkin kullanılmasına yönelik önerilen bina hacim organizasyonu verilmektedir. Hacimsel organizasyonlar yapılırken aktif ve pasif sistemlerin güney cephede bulundurulmasına özen gösterilmelidir.

Çizelge 3.4. Önerilen bina hacim organizasyonu [12]

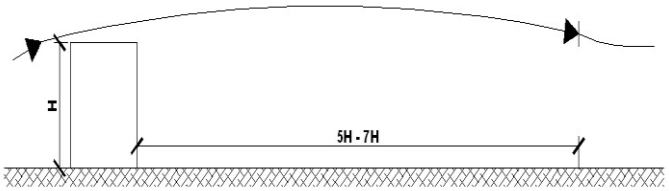
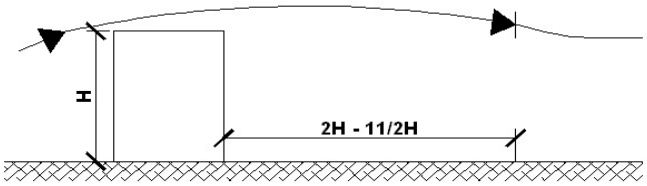
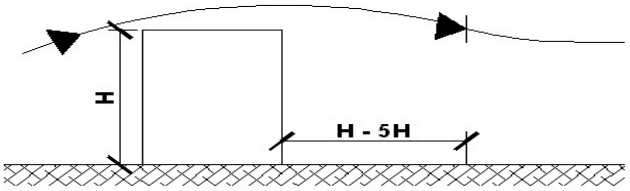
Hacimlerin Önerilen Yönleri	**K**	**KD**	**D**	**GD**	**G**	**GB**	**B**	**KB**
Yatak Odası	■	■	■	■	■	■		
Yemek odası				■	■	■	■	
Yaşam odası			■	■	■	■	■	
Mutfak			■	■	■	■		
Kütüphane	■	■						■
Çamaşır odası	■	■						■
Banyo	■	■	■	■	■	■	■	■
Garaj	■	■	■	■	■	■	■	■
Teras			■	■	■	■	■	
Güneş Sundurma				■	■	■	■	

3.3.2. Bina aralıkları

Binalar; aralarındaki aralıklara, yüksekliklerine ve birbirlerine göre olan konumlarına bağlı olarak, birbirleri için güneş ışınımı ve rüzgârı engelleyici olarak işlev görebilir. Dolayısıyla güneş ışınımının ısıtıcı etkisinden pasif ısıtma ve iklimlendirmede yararlanma veya kaçınma, binalar arasındaki açık mekânların ölçülerinin bir fonksiyonu olmaktadır [56]. Güneş ışınımı bir engele çarptığında (örneğin çevredeki bir bina) engelin etrafında, gün boyunca güneşin açısal durumuna bağlı olarak, bu engelin yaratacağı gölgelenmiş alanda boyutsal değişimler olacaktır. Güneş ışınımının cepheleri en üst yeğinlikte etkilemesi istendiğinde bina aralıkları, komşu (veya çevre) binaların verdiği en uzun gölgeli alan derinliğine eşit ya da bu gölge derinliğinden daha fazla olmalıdır.

Çizelge 3.5 farklı iklim bölgelerinde bina aralıklarının belirlenmesini göstermektedir. Örneğin soğuk iklim bölgesinde açıklık bırakılmaması ve gölgelendirme güney cephelerinde istenilmezken, sıcak iklim bölgesinde binaların birbirlerine konumlarının hâkim rüzgârı engellemeyecek şekilde olması istenir. Sıcak kuru iklim bölgesinde de güneş ışınımı fazla olduğundan gölgelenme tercih edilebilmektedir.

Çizelge 3.5. Farklı iklim bölgelerinde bina aralıklarının belirlenmesi [12]

Sıcak-Nemli İklim Bölgesi (5H-7H)	
Sıcak Kuru İklim Bölgesi (2H-5,5H)	
Ilımlı-Kuru, Ilımlı-Nemli ve Soğuk İklim Bölgesi (H-5H)	

3.3.3. Bina formu

Herhangi bir yaşama alanını örten ve onu dış çevreden ayıran bina kabuğunun formuna bağlı olarak;

- ✓ Binanın toplam dış yüzey alanı,
- ✓ Farklı yönlere bakan ve farklı eğimlerdeki cephe ve çatı yüzeyleri alanları,
- ✓ Cephe ve çatı yüzeyleri arasındaki oranlar,

değişim gösterir. Bina formu,

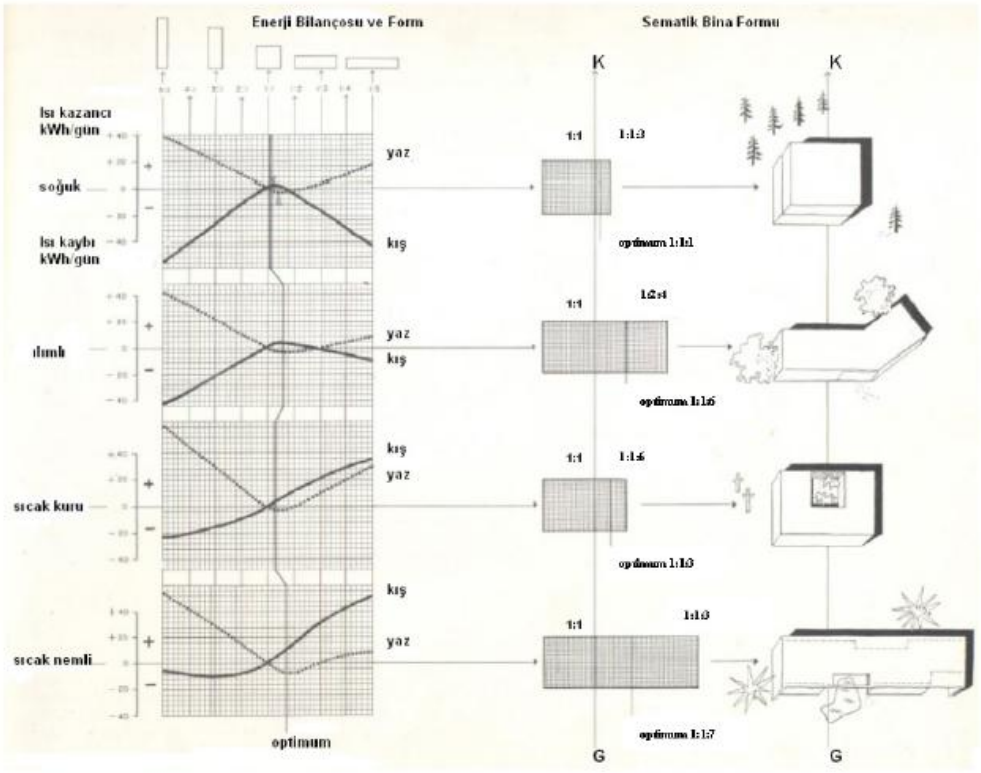
- ✓ Biçim faktörü (plandaki bina uzunluğunun bina derinliğine oranı),
- ✓ Bina yüksekliği,
- ✓ Çatı türü (düz, beşik ve kırma çatı),
- ✓ Çatı eğimi,
- ✓ Cephe eğimi,

gibi binaya ilişkin geometrik değişkenler aracılığıyla tanımlanabilir [56].

Bina formu enerjinin korunması açısından önemlidir. Çünkü Alan/Hacim (A/V) oranı değişimi enerji tüketimini etkilemektedir. Bina formu belirlenirken iklim

özellikleri dikkate alınmadır. Örneğin, soğuk iklim bölgesinde ısıtma kaybının en az olması için bina yüzey alanı mümkün olduğunca en az olacak tasarlanmalı bu nedenle kare biçim ve kompakt form seçilmelidir. Sıcak iklim bölgesinde ise ısıtma fazla istenmediğinden dikdörtgen form sağlanarak ısı kazancı azaltılmış olur. Geçiş iklimlerinde ılımlı-nemli bölgede dikdörtgen forma yakın, ılımlı kuru iklim bölgesinde ise kare forma yakın seçilmesi gereklidir [1, 12, 55, 56].

Ayrıca binalar kompakt olmalıdır. Binaların çok girintili çıkıntılı olması ya da sade olmaması halinde birleşme bölümlerinde ısı köprüleri meydana gelmektedir. Isı köprüleri yapılarda enerji kaybına neden olmaktadır. Şekil 3.9'da iklimlere göre bina formu ve enerji etkileşimi verilmiştir [30].



Şekil 3.9. Bina formu enerji etkileşimi [30]

3.3.4. Bina kabuğu

Bina kabuğu, binanın içindeki çevreyi, bina dışındaki çevreden ayıran, yatay, düşey ve eğimli tüm yapı bileşenlerden oluşmaktadır. Enerji etkin bina tasarımında, enerjinin korunumunda kullanıcı iklimsel konforunun sağlanmasında tasarımcının kontrolünde olan en önemli değişkendir.

Binalarda kullanıcı konforu sağlamada yıllın belirli dönemlerinde ısıtma ve soğutma gereksinimi olmaktadır. Bina kabuğu kazanılan ve kaybedilen ısı enerji miktarının belirlenmesinde önemli olmaktadır. İklime ve çevre koşullarına göre en iyi şekilde bina kabuğu yapma, ısıtma ve soğutma yüklerini azaltarak enerjinin verimli kullanılmasını sağlamaktadır.

Amaç minimum yapma ısıtma ve iklimlendirme enerjisi tüketimine dayalı konforlu bir iç çevre oluşturma olduğundan, bina kabuğunun minimum yapma ısıtma ve iklimlendirme takviyesine ihtiyaç duyulmasına olanak veren optimal pasif sistem öğesi olarak işlevini yerine getirmesi sağlanmalıdır. Ancak bina kabuğunun optimallık niteliğini koruyabilmesi, bina kabuğunda yoğuşma nedeniyle oluşabilecek bozulmaların ve bu bozulmalara bağlı olarak termofiziksel özelliklerde meydana gelebilecek değişmelerin önlenmesiyle olanaklıdır [56].

Kabuk içerisinde buharlaşan nem miktarının izin verilen değeri aşmaması gerekir. Bunun yıl içerisinde yoğuşan nem miktarı yatay bileşenler için 0,05 kg/m^2, düşey bileşenler için 0,5 kg/m^2 olmalıdır [56]. Ayrıca TSE 825 yoğuşma tahkiki hesaplamaları yapılarak bu sınırların aşılmadığının bina projesinde gösterilmesi zorunludur.

Ayrıca, yapılarda TSE 825 standardında belirtilen sınır "U" değerleri sağlanmalıdır. Enerji etkin bina yapılırken bu U değerlerinin düşük enerji evleri veya pasif evlerdeki standartlarda belirtilen değerlere kadar daha da düşürülmesi gerekir. Ülkemizde bölgelere göre tavsiye edilen U değerleri çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Bölgelere göre ısı geçiş katsayısı değerleri [53]

	U_D (W/m^{2}K)	U_T (W/m^{2}K)	U_t (W/m^{2}K)	U_p (W/m^{2}K)
1. Bölge	0,70	0,45	0,70	2,40
2. Bölge	0,60	0,40	0,60	2,40
3. Bölge	0,50	0,30	0,45	2,40
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,40

İklimsel şartların denetimi yönünden çok önemli olan yapı kabuğu öncelikli olarak rüzgâra, yağmura, sıcağa ve soğuğa karşı korumayı en iyi biçimde sağlamalıdır. Bunun için ısı kayıplarının azaltılması ve iç çevre sıcaklıklarının denetiminde, ısıl kütleden faydalanılmasında, ısı ve nem köprülerinin, hava sızıntılarının önlenmesinde kabuk kuruluş biçimi, onu oluşturan opak ve şeffaf

bileşenlerin özellikleri önem kazanmaktadır. Ayrıca, kapılar, pencereler, çatılar ve duvarlar iklim gereksinimine göre olmalıdır. Yönlendirme ve tasarımda bu yapıların iklime göre dikkate alınması gereklidir. Çizelge 3.7'de bina kabuğu elemanlarının iklimsel gereksinimleri belirtilmiştir.

Toprağa oturan döşemeler ısı ve nem yönünden istenen performansı sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Soğuk ve ılımlı iklim bölgelerinde iyi izole edilmiş döşemeler tercih edilmelidir. Sıcak nemli iklim bölgelerinde ise hava akımları önem kazandığından yükseltilmiş döşemeler tercih edilebilir [12].

Yapılarda enerji tüketimi en fazla kullanım aşamasında olmaktadır. Bu kullanım içerisinde en fazla enerji ısıtma ve soğutma enerjisi harcamaları olmaktadır. Bu enerjinin minimize edilmesinde yapı kabuğu tasarımı ve kontrolü önem arz etmektedir. Bir yapıda ısı denetimi ancak yapı kabuğunda alınacak önlemlerle büyük ölçüde kontrol edilebilir ve enerji verimliliği sağlanabilir. Bir bina kabuk elemanlarında yalıtım, sızdırmazlık ve ısı köprüleri gibi önlemler alınmazsa Şekil 3.10'da gösterilen kayıplar meydana gelmektedir.

Çizelge 3.7. Bina kabuğu elemanlarının iklimlere göre belirlenmesi [12]

İklim Bölgesi	**Dış Kapılar Konumu**	**Pencereler**	**Duvarlar**	**Çatılar**
Sıcak Nemli	Rüzgâra açık yüzey	Güneş kontrolü sağlanan geniş açıklıklar.	Isı depolama kapasitesi düşük, açık renkli, yansıtıcılığı yüksek, hafif duvarlar	Hava akışlarına izin veren, yükseltilmiş veya eğimli çatı
Sıcak Kuru	Rüzgâra kapalı yüzey	Dış duvarlarda küçük açıklıklar, avlu yününde gölgelendirilmiş büyük açıklıklar.	Isı depolama kapasitesi yüksek (termal kütle etkisi sağlayan), açık renk, kalın duvarlar	Güneş ışınımının etkisini minimize eden düz çatılar
Ilımlı Kuru	Rüzgâra Kapalı yüzey	Isı kontrolü sağlanacak büyüklükte açıklıklar	İç mekânda gerekli konfor koşullarını sağlayan yalıtım değerlerine sahip duvarlar	İyi izole edilmiş, eğimli çatı
Ilımlı Nemli	Serbest	Isı kontrolü ve vantilasyon sağlanacak büyüklükte açıklıklar	İç mekânda gerekli konfor koşullarını sağlayan yalıtım değerlerine sahip duvarlar	İyi izole edilmiş, eğimli çatı
Soğuk İklim bölgesi	Rüzgâra kapalı (rüzgârlıklı çift)	Isı korunumlu küçük açıklıklar	Isı depolama kapasitesi yüksek, iyi izole edilmiş, koyu renk, güneş ışınımı yutuculuğu yüksek, masif duvarlar	İyi izole edilmiş, eğimli çatı

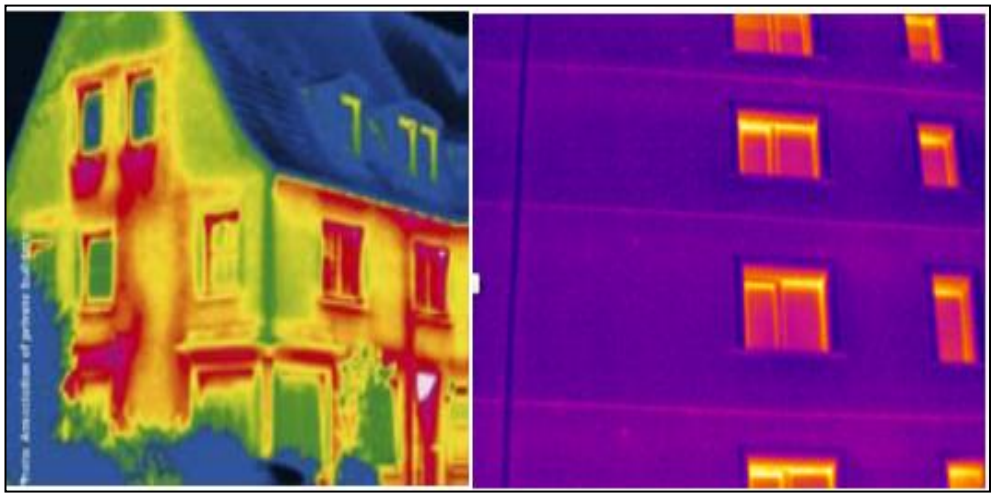
Şekil 3.10. Yapılarda ısı kayıpları [57]

3.3.4.1. Isı yalıtımı

Isı yalıtımı, iç ortamla dış ortamı ayıran yapı bileşenleriyle ısı kaybının veya kazancının azaltılması için yapılan işlemlerdir. Yalıtımda asıl amaç ısıtma istendiği dönemde ısı kaybını azaltmak, soğutma istenildiği dönemde ısı kazancını azaltmaktır. Böylelikle yapma ısıtma ve soğutma sistemlerin yüklerini azaltarak enerji verimliliği sağlamaktır. Binalarda ısı yalıtımının başka bir hedefiyse binaya zarar verebilecek değerlerdeki ısı olayları ve buhar yoğuşması sonucu zamanla görülen don zararları, nem hasarı, küflenme, bozulma, demir aksamının korozyonu gibi binalarda gelebilecek zararların önlenmesidir. Böylece yapı işletme masrafları azaltılmış ve binanın dayanıklılığı artırılmış olur. Bunun yanında yazın ısı kazançları ve kışın ısı kayıpları azaltılarak enerji verimliliği sağlanmış olur [25].

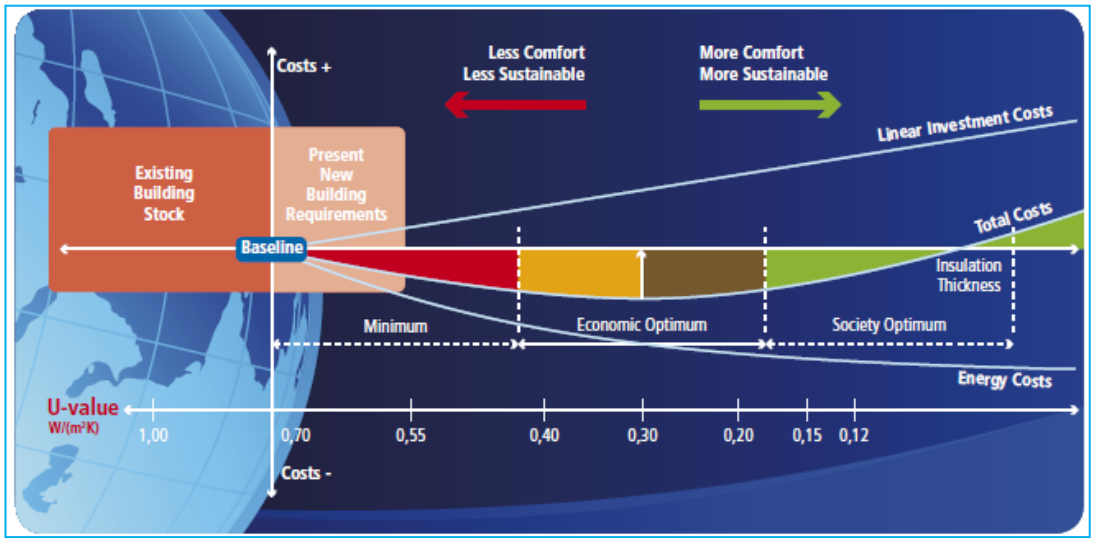
Bir malzemenin ısı yalıtım malzemesi sayılabilmesi ısıl geçirgenlik katsayısının 0,065 W/mK değerinden küçük olması gereklidir. Diğer malzemelerse yapı malzemesi olarak kabul edilir. Yalıtım malzemesi heterojen bir yapıdadır, aralıklarında hava boşlukları vardır. Bu nedenle hafif malzemelerdir. Bunlar cam yünü, taş yünü, köpük vb. malzemelerdir. Binalar yalıtırken yalıtım sürekliliği sağlanmalı ve ısı köprüsü oluşmaması için gerekli önlemler alınmalıdır. Enerji verimliliği, yapı malzemelerinin ısıl depolama özelliği ve korunumu, ısı köprülerinin önlenmesi için binanın dıştan yalıtım yapılması gereklidir. Bir binada gereken özenle yalıtım yapıldığı takdirde enerji kayıpları azaltılmış ve enerji verimliliği kazanılmış

olur. Şekil 3.11'de sol taraftaki yapıda yalıtım yapılmadığından bir ısı kaybı görülürken, sağdaki yalıtılmış binada ısı kaybı olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.11. Yalıtımlı ve yalıtımsız bir binada termal ısı kaybı karşılaştırılması

Yalıtım yapılırken ekonomik ve enerji maliyeti kıyaslanarak optimum maliyet ve enerji verimliliği sağlayacak değerlerin seçilmesi gereklidir. Yalıtım değerlerini artırırken enerji maliyeti azalmaktadır. Ancak, bununla birlikte toplam maliyet de artmaktadır. Konforlu ve sürdürülebilir yapı tasarımında hem maliyet hem enerji verimliliği kıstas alınarak uygun yalıtım kalınlığı ve değeri belirlenmelidir. En uygun yalıtım değerlerinin analizi şekil 3.12'de gösterilmiştir.

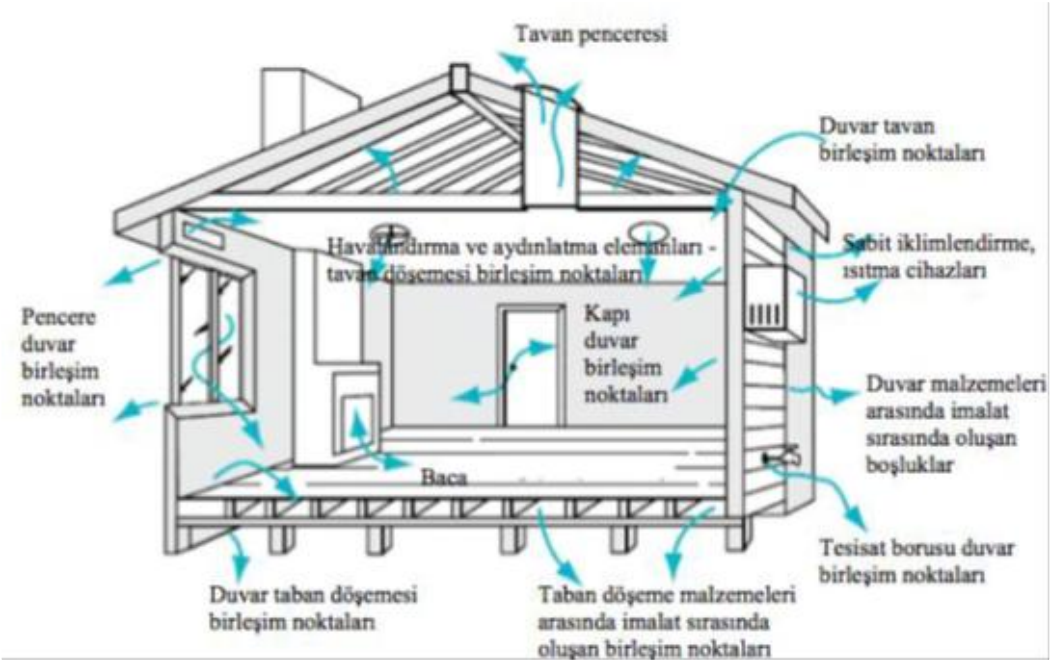


Şekil 3.12. Optimum yalıtım değerinin analizi [38]

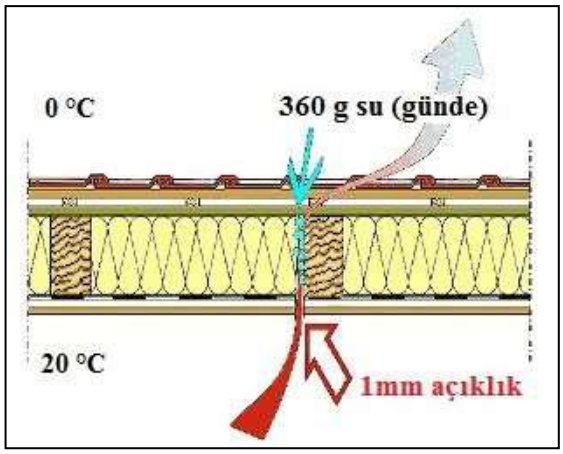
3.3.4.2. Bina hava sızdırmazlığı

Binalarda ısı kayıplarının temel nedenlerinden birisi de hava sızıntılarının oluşmasıdır. Bir yapıda hava sızdırabilecek yerler şekil 3.13'de gösterilmiştir. Yapıda bina sızıntısı olması enerji kaybına, yoğuşma ve iç ortam hava kalitesine etki etmektedir. İç ortamda oluşan su buharı basınç farkıyla bu sızıntılardan geçer, bu geçiş sırasında su buharının bir kısmı sıcaklı farkı ve kısmi doyma sonucu suya dönüşür (Şekil 3.14). Bu su, zamanla yapı elemanında çürüme ve küflenme oluşturur. Bu zararlı etken hem sağlığa hem de yapıya zarar vermektedir. Enerji etkin bina tasarımında hava sızdırmazlığına önlem alınması gereklidir [25].

Binada hava sızdırmazlığı iç ve dış ortam arasında 50 pascal basınç farkı oluşturarak ölçülür. Bu basınç altında hava değişim oranı enerji etkin binalarda fazla olmamalıdır. Çizelge 3.8 Pasif ev ve TSE 825 standardına göre hava sızdırmazlık değerlerini vermektedir. Enerji etkin bir bina yapılmak isteniyorsa, yapılarda hava sızdırmazlık değerleri yüksek derecede Çizelge 3.8'de belirtilen değerleri sağlamalıdır. Yapılarda hava sızdırmazlık ısı enerjisinde %20-50 arasında bir kayba neden olabildiğinden oluşabilecek pencere duvar bileşimi, kapı duvar bileşimi, tesisat duvar bileşimi vb. noktalarda önlemlerin alınması gereklidir.



Şekil 3.13. Binalarda hava sızdırma oluşabilecek yerler [25]



Şekil 3.14. Hava boşluklarında su buharının geçişi [25]

Çizelge 3.8. Hava sızdırmazlık değeri karşılaştırması [30]

Pasif Evler	Katta Çok Daireli Binalar (TS 825‘ e göre)	Katta Tek Daireli Binalar (TS 825‘ e göre)	Bina Kabuğunun Sızdırmazlık Durumu
n50 < 0,2	n50 < 2	n50 < 4	Yüksek
0,2 ≤ n50 ≤ 0,6	2 ≤ n50 ≤ 5	4 ≤ n50 ≤ 10	Orta
0,6 < n50	5 < n50	10 < n50	Düşük

3.3.4.3. Isı köprüleri

Isıtılan bir mekânda ısı, en az direnç gösteren noktadan dışa doğru en kolay yoldan geçecektir. Ayrıca yapıyı çevreleyen yapı malzemesi yüksek ısıl geçirgenliğe de sahipse ısı geçişi olmasına “ısı köprüsü” denilmektedir.

Yapılarda; farklı ısıl iletkenlik katsayısına sahip malzemelerin tam ya da kısmi olarak delinmesi, yapı elemanı kalınlıklarında farklılıklar olması ve özellikle duvar/zemin/tavan/ birleşim noktalarında ısıl direncin farklılıklar göstermesi nedeni ile ısı köprüleri meydana gelir [30]. Bu ısı köprüleri ısı enerji tüketimine ve yapı malzemesinde küf ve nem gibi oluşumlara neden olduğundan yapı inşa aşamasında ısı köprülerinin oluşmasına karşı gerekli önlemlerin alınması gereklidir. Bunun için yapı, dıştan yalıtımlı yapılarak yapı yalıtım sürekliliği sağlanmalıdır. TSE 825 standardının ekinde belirtilen önlemler alındığı takdirde yapılarda ısı köprüsü olmadığı kabul edilir ve ısı kaybı hesaplarına katılmaz.

3.3.5. Enerji etkin aydınlatma tasarlanması

Kullanıcı görsel konforundan (renk, kamaşma, ışık lüksü) ödün vermeden binanın aydınlatma gereksinimini minimum düzeyde tutarak enerji etkin aydınlatma sağlanması gerekir. Bir yapının enerji etkin aydınlatma tasarımının yapılması;

- ✓ Göğün parıltı dağılımı ve aydınlığı,
- ✓ Güneşin durumu, parıltı ve aydınlık etkisi,
- ✓ Yer örtüsünün ışık yansıtma özelliği,
- ✓ Dış engellerin (doğal-yapma) boyutları, konumları ve ışık yansıtma özellikleri,
- ✓ Pencerelerin baktığı yön,
- ✓ Pencerelerin boyutları, konumları ve yerleştiriliş düzenleri,
- ✓ Pencerelerin ışık geçirme özellikleri,
- ✓ Hacim boyutları,
- ✓ İç yüzeylerin ışık yansıtma özellikleri,
- ✓ Yapma ışık kaynaklarının niteliksel ve niceliksel özellikleri,
- ✓ Yapma aydınlatma araçlarının donatım ve kontrol özellikleri,

olarak ele alınmaktadır [56]. Dış aydınlık koşullarının, iç aydınlatmaya etkisi yukarıdan belirtilen özelliklerin en uygun değerlerinin belirlenmesine bağlıdır. Bir yapı, enerji etkin olarak tasarlanırken gündüz saatlerinde yapının doğal aydınlatmayla gereksinimleri karşılanacak şekilde tasarlanmalıdır. Geceleri zorunlu yapma aydınlatma ihtiyacı olmaktadır. Burada ise verimli aydınlatma cihazlarının kullanılması yapının enerji tüketimini azaltacaktır [58].

3.3.6. Bina ısıtma ve havalandırma sistemleri

Enerji etkin binalarda ısıl geçirgenlik değerleri; yüksek yalıtım, sızdırmazlık ve ısı köprüleri önlendiğinden çok küçük değerlerde olmaktadır. Bu nedenle yapma ısıtma ve soğutma enerji gereksinim miktarı daha az olabilmektedir. Isıtma sistemlerinde küçük sıcaklıklarda çalışan yerden ısıtma, soğutma veya duvardan ısıtma ve soğutma sistemleri kullanılmalıdır. Bu sistemlerin çalışması için gerekli enerjinin büyük bir bölümünün güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması sağlanmalıdır.

Havalandırmanın neden olduğu ısı kaybını önlerken aynı zamanda sağlıklı bir iç mekân oluşturmalıdır. Dışarı atılan havanın ısısının temiz havayı ısıtması enerji

verimliliği sağlaması açısından önemli olduğundan binalarda ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemlerinin kullanılması gereklidir. Özellikle pasif binalarda yüksek verimli ısı geri kazanım sistemlerinin kullanılması önemli bir tasarım unsurudur. Bu bakımdan tasarım ve inşa aşamasında aşağıda belirten önlemlerin alınması gereklidir

Havalandırma kanalları [50]:

- ✓ Soğuk kanallar ısıtılan bina kabuğu hacminin dışında tutulmalıdır. Eğer bina hacmi içinde yer alması gerekiyorsa da sadece mümkün olduğunca kısa uzunluklarda ve çok iyi yalıtılmış olmaları önemlidir.
- ✓ Sıcak kanallar ise ısıtılan bina kabuğu hacminin içinde yer almalıdırlar. Eğer bina hacmi dışında yer alması gerekiyorsa da mümkün olduğunca kısa uzunluklarda ve çok iyi yalıtılmış olmaları önemlidir.
- ✓ Düz (pürüzsüz) duvarlı kısa kanallar kullanılmalıdır.
- ✓ Akım hızları 3 m/sn'nin altında tutulmalıdır.
- ✓ Sistemde ölçüm ve akım dengeleme sistemleri tasarlanmalıdır.
- ✓ Yangın güvenliği ve yangından korunma mutlaka dikkate alınmalıdır.
- ✓ Gürültü azaltma da dâhil gürültü faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Hava girişleri [50]:

- ✓ Hava akımlarının kısa devre (bypass) oluşturmasından kaçınılmalıdır.
- ✓ Egzost eni (genişliği) değerlendirilmelidir.
- ✓ Akım regülâsyonu dâhil edilmelidir.

Kirli hava tahliyesi:

- ✓ Isıtma elemanlarının (eğer varsa) üzerine yerleştirilmemelidir.

Merkezi havalandırma ve ısı geri kazanım ünitesi:

- ✓ Isı eşanjörleri klima santralinde taze hava alış ağzına yakın yerleştirilmelidir.
- ✓ Hava ısıtma üniteleri termal kabuğun içine yerleştirilmelidir. Bu sırada ses seviyesi dikkate alınmalı ve konfor şartlarını bozacak bir duruma sebebiyet verilmemelidir.

Ünite aşağıdaki özellikleri sağlamalı veya (tercihen) aşmalıdır [50]:

- ✓ Toplam verim >= %75
- ✓ Kaçak hava < %3 nominal hacim
- ✓ Dahili kaçak (giriş ve çıkış hava akımları arasında) < %3 nominal hacim
- ✓ Uygun regülasyon/kontrol araçlarının olması
- ✓ Düşük gürültü oranı

- ✓ Mükemmel ısı yalıtımı

Havalandırma araçları kullanıcı kontrolleri [50]:

- ✓ Ayarlar: yüksek, normal, düşük
- ✓ Mutfak, tuvalet ve banyolarda zaman sınırlı yardımcı fonksiyonlar

Havalandırma sistemine bağlı mutfak aspiratörlerinin düşük akımda iyi bir çekme kapasitesi olmalı ve yağ filtreleri içermelidir. Ancak, aktif kömür ve yağ filtreleri ile devridaim yapan aspiratörler tercih edilir.

Ayrıca bir seçenek olarak, giriş havasının buzlanmaması için toprak ısı eşanjörü düşünülebilir. Bu, havalandırma ünitesine yakın yerleştirilmiş sıvı-hava eşanjörlü bir toprak-hava eşanjörü olabilir veya toprak-sıvı eşanjörü olabilir. Bazı iklimlerde, buna muhtemelen ihtiyaç olmayacaktır. Aşağıdakiler ayrıca değerlendirilmelidir:

- ✓ Hava sızdırmazlık,
- ✓ Soğuk kanallar ile bina arasındaki mesafe,
- ✓ Yaz bypass/soğutma araçları,
- ✓ Kondensat çekme,
- ✓ Temizlik,
- ✓ HEPA Filtre (Filtre kullanımı ve kirliliği verim azalmasına neden olsa da üst seviyede hijyen gereken bazı mahallerin havalandırılmasında kullanımı zorunludur. Periyodik bakımların ve temizliğin düzenli yapılması önem arz etmektedir.)

3.3.7. Mekanik tesisat

Enerji etkin binaların tasarım ilkelerinden biri de mekanik tesisatlarda alınması gereken önlemlerdir. Mekanik tesisatlarda enerji kaybının azaltılması için binanın tasarım aşamasında ilgili mühendis tarafından aşağıda belirtilen hususlara uyulmalı ve inşaat aşamasında sürekli kontrollerinin yapılması gereklidir.

Sıhhi tesisat, sıcak su [50]:

- ✓ İyi yalıtılmış kısa uzunlukta borulama kullanılmalıdır.
- ✓ Termal kabuğun (bina kabuğunun) içinde tutulmalıdır.

Sıhhi tesisat, soğuk su:

- ✓ Yoğuşmayı önlemek için yalıtımlı kısa borulama kullanılmalıdır.
- ✓ Isı kanalları ve bağlantı elemanları çok iyi yalıtılmalıdır.

- ✓ Su tasarrufu sağlayan sıhhi tesisat ürünleri kullanılmalıdır.

Atık su:

- ✓ Kısa branşman boruları, tercihen tek bir drenaj borusu (dâhili) kullanılmalıdır.
- ✓ Yalıtılmış harici bir boru ile baca çatı boşluğu (veya her nereye gerekiyorsa) havalandırılmalıdır.
- ✓ Tesisat, hava sızdırmazlık katmanına girmemelidir. Hava sızdırmazlık katmanının içinden geçilmesi gereken yerlerde yüksek performanslı bir sızdırmazlık elemanı (manşon, bant, dolgu) kullanılmalıdır.
- ✓ Binanın mümkün olan her yerinde, maliyet etkinliği de sağlanarak yüksek enerji verimli ekipmanlar kullanılmalıdır.

Gri su kullanımı, çift hazneli rezervuar seçimi, fotoselli bataryalar ve yağmur suyu toplama sistemleri gibi bazı yenilikçi çözümler projenin uygunluğuna göre değerlendirilebilir.

3.3.8. Bina otomasyon sistemi

Bina otomasyon sistemi, bina ya da bina alt gruplarındaki ısıtma kazanları, klima santralleri, soğutma grupları gibi mekanik cihazların otomatik kontrolünü yapan düzenlere verilen isimdir. Bina otomasyon sistemleriyle istenilen konfor düzeyi yazılımla belirlenerek sahaya ve HVAC sistemlerine yerleştirilen kontrol üniteleriyle set değerlerinde çalışması sağlanarak enerji verimliliği sağlanmaktadır. Otomasyon sisteminde kontroller insan inisiyatifine bırakılmadan kontrol edildiğinden dolayı insan hatalarından veya gecikmelerden oluşabilecek gereksiz enerji tüketimi ortadan kaldırılabilmektedir. Otomasyon sistemi tarafından, sahada çalışan ekipmanların (fan motoru, pompa, kazan, chiller, filtre, vana, damper gibi) çalışma süreleri sürekli olarak toplanmaktadır. Çalışma süreleri toplanan ekipmanların set edilen çalışma sürelerini doldurma durumunda, sistem söz konusu ekipmanın bakımının yapılma zamanı geldiğini görsel ve yazılı olarak operatöre bildirmektedir. Zamanında bakım yapılması sayesinde, ekipmanların arızalanması engellenerek, verimliliği arttırmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Bu tezde İnönü Üniversitesinde "İnönü Enerji Etkin Binası" olarak isimlendirilen enerji etkin bir binanın tasarımı yapılmıştır. Binanın, İnönü Üniversitesi Merkez Kampüsünde belirlenen bir arazide kurulması tasarlanmıştır.

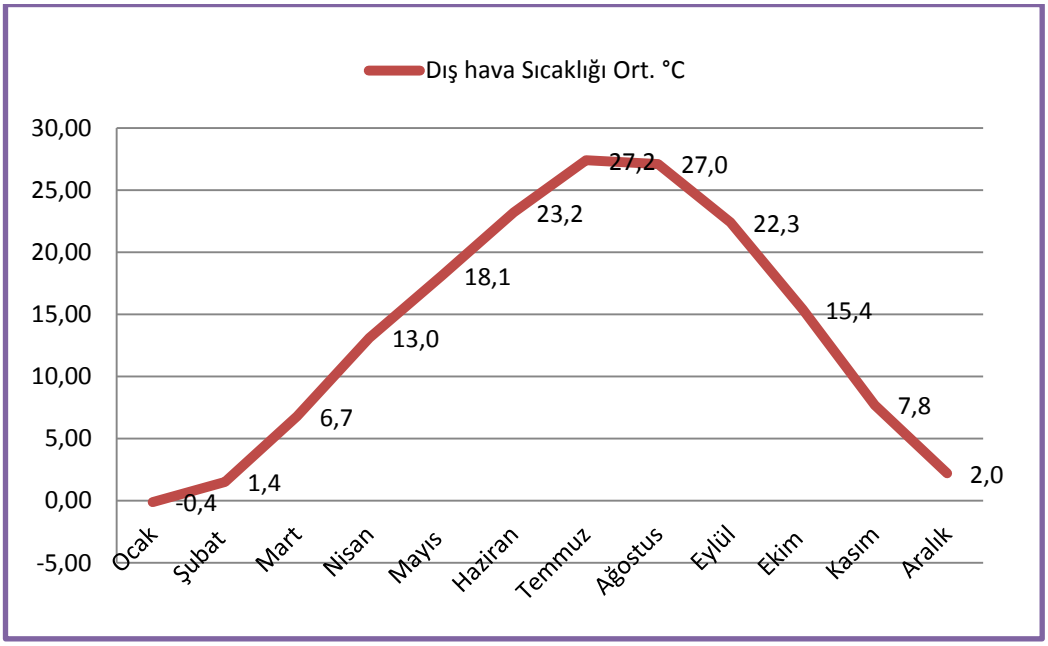
4.1.1. İnönü üniversitesi

İnönü Üniversitesi; 14 Fakülte, 4 Yüksekokul, 11 Meslek Yüksekokulu, 5 Enstitü ve 1 Teknokent'ten oluşmaktadır. Bunun yanı sıra Turgut Özal Tıp Merkezinin de aralarında bulunduğu 24 araştırma ve uygulama merkezine sahiptir. Üniversitenin öğrenci kapasitesi 43.000 civarındadır. Şehir merkezine 10 km uzaklıkta olan üniversitenin merkez kampüsü 7000 dekar, Battalgazi kampüsü 620 dönüm olup 2'si şehir merkezinde 7'si ilçelerde olmak üzere 11 yerleşkede bilimsel araştırma ve eğitim-öğretim faaliyetleri sürdürülmektedir [59]. İnönü Üniversitesi, 38°19'57,21" K 38°26'24,03" D coğrafi koordinatlarında bulunmaktadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 953 metredir. Merkez kampüsünün Google Earth görünümü şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Şekil 4.1. İnönü Üniversitesi Google Earth görünümü

4.1.2. İklimsel koşullar

Malatya TSE 825 standardına göre 3. derece gün iklim bölgesinde bulunmakta olup ılımlı-kuru iklim koşullarına sahiptir [53]. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Denizden uzak olduğundan sert iklim koşulları görülmektedir. Ancak, Malatya ovasının çöküntüde olması ve Karakaya barajının etkisiyle mikro klima alanları olmakta, Akdeniz iklim özelliği görülebilmektedir. 1950-2015 yılları arasında yapılan ölçümlerde en soğuk gün ocak ayında -19,2 derece, en sıcak gün temmuz ayında 42,5 derece olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama yağış miktarı 380-400 mm arasında olmaktadır. Malatya iline ait dış hava ortalama sıcaklık değerleri şekil 4.2'de verilmiştir [60].



Şekil 4.2. Malatya ortalama dış hava sıcaklıkları [60]

Tasarlanan İnönü Enerji Etkin Binasının simülasyonu EnergyPlus ile gerçekleştirilmiştir. EnergyPlus, simülasyonu gerçekleştirebilmek için ASHRAE tarafından üretilen ve iklimsel verilen tamamının kayıtlı olduğu IWEC (International Weather for Energy Calculations) verilerini kullanmaktadır.

IWEC verileri Amerika Birleşik Devletleri İklim Veri Merkezi'nde arşivlenen genelde 18 senelik DATSAV3 verilerinden elde edilmektedir. Bu veriler dünya ve güneşin geometrisinden saatlik güneş ışınımı tahminleri ve bulutluluk oranı gibi saatlik iklim elemanları bilgilerinden üretilmektedir [61, 16].

Bu veriler İstanbul, Ankara ve İzmir için EnergyPlus tarafından indirilebilmektedir. EnergyPlus'ın resmi internet sayfasında iklimsel veri bilgileri bulunmayan iller için iklimsel verilerin temin edilme yöntemleri kullanılarak Malatya için ihtiyaç duyulan IWEC veri dosyası temin edilmiş ve simülasyon gerçekleştirilmiştir.

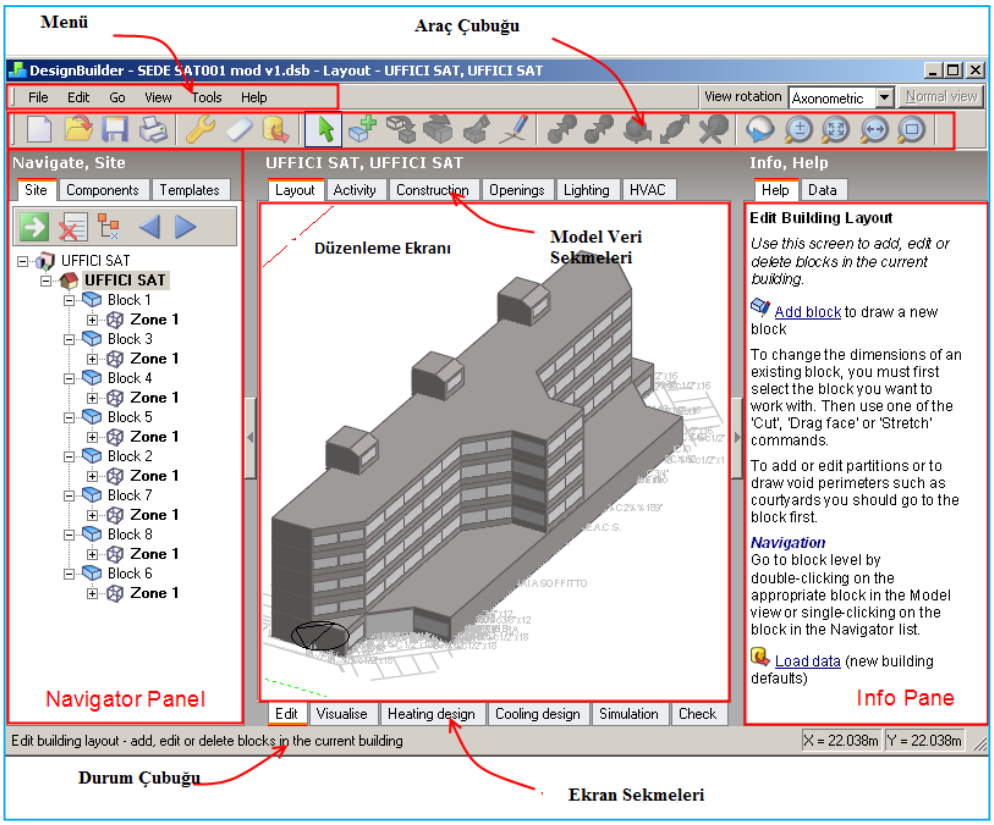
4.2. Yöntem

Mevcut yasal düzenlemelere, *2.1. Sürdürülebilir Yapı Tasarımı* bölümünde verilen Pasif ev/Yeşil bina ölçütlerine ve *3. Enerji Etkin Bina Tasarım İlkeleri* bölümünde anlatılanlara uygun bir tasarım oluşturulmuştur. Bu tasarım için DesingBuilder v5 programıyla modelleme yapılarak EnergyPlus v8.5 programı ile bina simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Designbuilder ile modelleme

Desingbuilder, sanal bina modelleriyle çalışılabilen ve kullanımı kolay bir bina modelleme programıdır. DesignBuilder'ın tipik kullanım alanları; binanın enerji tüketimini hesaplama, cephelerin aşırı ısınma ve görsel görünümü için değerlendirilmesi, binaların ısıl simülasyonu, doğal aydınlatma kontrolü, ışık simülasyonları yoluyla doğal gün ışığının tahmini, yer düzenlerinin ve güneş gölgelendirilmesinin görselleştirilmesi, ısıtma ve soğutma ekipmanları boyutlandırılmasının belirlenmesi, havalandırma sisteminin ve doğal havalandırma sistemlerinin detaylı simülasyonu ve tasarımı, arz hava dağılımının bir oda içindeki sıcaklık ve hız dağılımı üzerine CFD kullanarak etkisi, LEED enerji modelleri, birden fazla hedef ve tasarım değişkenleri ile optimizasyon gibi işlemlerde kullanılmaktadır [62].

DesignBuilder'de kullanıcı ara yüzü bulunmaktadır. Bu ara yüzde bina modellemesi yapılması, binanın mahallere ayrılması yapılabilmektedir. Daha sonra binaya ilişkin bilgiler (konstrüksiyon, aktiviteler, çevre sıcaklık kontrolleri, HVAC sistemleri, yapı opak bileşenlerinin yalıtım özellikleri, pencere boyutları vb.) girilmektedir (Şekil 4.3). DesignBuilder programına bu verilerin girişi yapıldıktan sonra, gerçek hava verileriyle, EnergyPlus simülasyon motoru kullanılarak binanın enerji tüketim değerleri belirlenmektedir. Bu programa girilen veriler değiştirilerek enerji tüketim değerleri değerlendirilerek gerekli optimizasyon yapılabilmektedir.



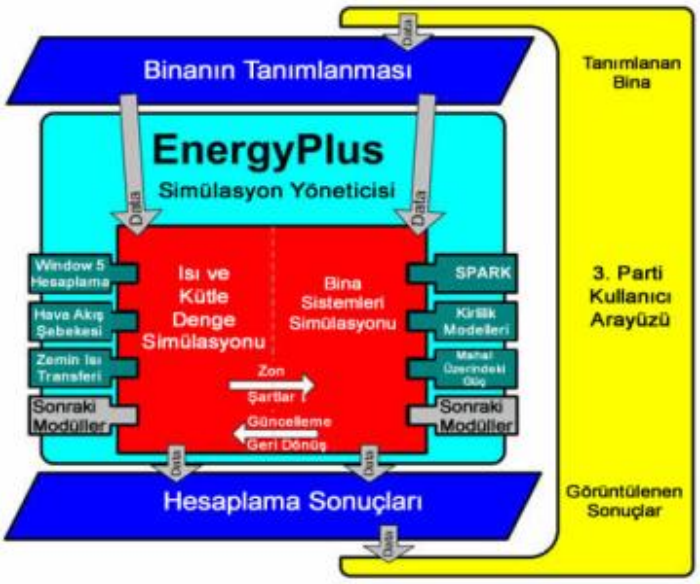
Şekil 4.3. DesignBuilder kullanıcı ara yüzü [62]

4.2.2. Energyplus ile simülasyon

EnergyPlus, tasarım aşamasında veya kullanımda olan binaların ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemlerinin enerji tüketimlerini dinamik olarak hesaplayabilen bir simülasyon programıdır. Yüksek hesaplama kapasitesine sahip olan EnergyPlus, DOE-2 ve BLAST programları temel alınarak geliştirilmiştir. EnergyPlus programıyla tasarlanan veya kullanımda olan binaların enerji performansları belirlenebildiğinden, yapı inşaatına başlanılmadan önce mimar ve mühendisler tarafından tasarımlar, alternatifler değerlendirilerek enerji optimizasyonu yapılabilmektedir. EnergyPlus programının çalışma prensibi şekil 4.4'de verilmiştir. EnergyPlus programı üç temel yapıdan oluşmaktadır: ısı ve kütle denge simülasyon modülü, simülasyon yöneticisi ve bina sistem simülasyonu. Bütün simülasyon aşamaları simülasyon yönetici tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 4.5) [63].

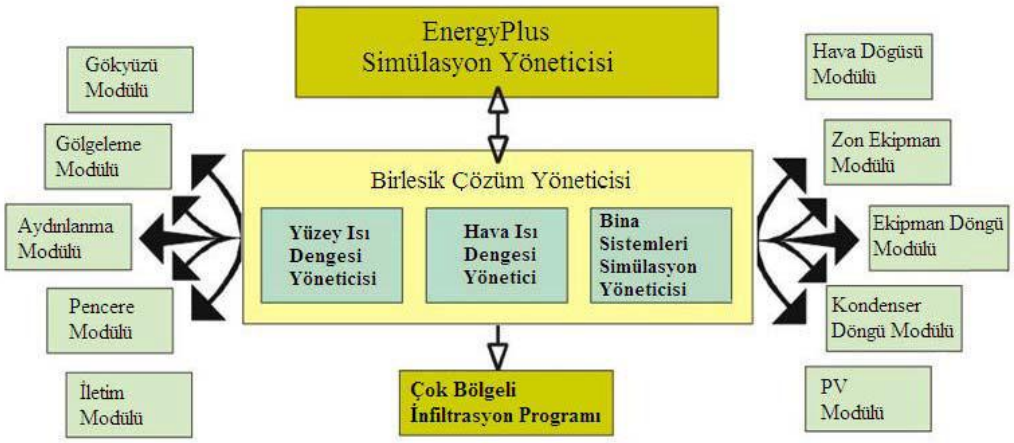
EnergyPlus programına, IDF editörüyle veri girişleri yapılmaktadır. IDF editörüne verilerin teker teker girilmesi gerekmektedir. Ancak, bu işlem çok uzun sürdüğünden EnergyPlus programı için 3. parti bir ara yüz programına ihtiyaç vardır.

Programcılar tarafından bu ihtiyaç için DesignBuilder, EP-Quick, EP-interface gibi ara yüz programlar yapılmıştır. DesignBuilder bunlar arasından en gelişmiş IDF editörüdür [63].



Şekil 4.4. EnergyPlus programı çalışma prensibi [63]

İnönü Enerji Etkin Binasının DesignBuilder v5'te modellemesi yapılmış ve belirlenen sistem karakteristikleri modele girilmiştir. DesignBuilder ile modelleme yapıldıktan sonra, DesignBuilder ile entegre hale getirilmiş olan EnergyPlus v8.5 ile binanın enerji simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucu bina yükleri, CO_2 üretimi ve HVAC sistem tasarımlarının enerji tüketimleri yıllık, aylık ve saatlik olarak hesaplanmıştır.

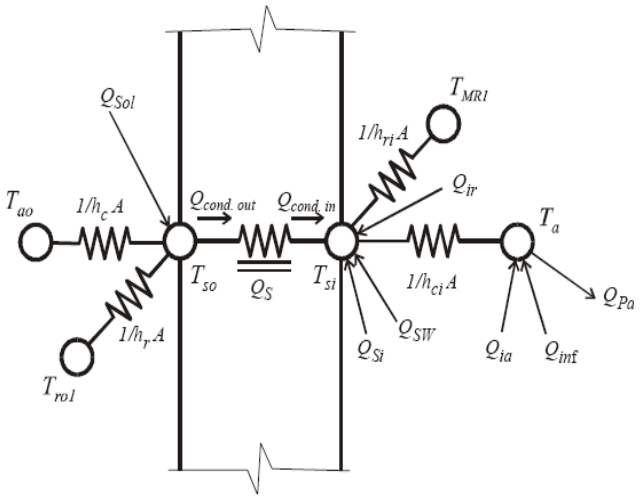


Şekil 4.5. Simülasyon yöneticisi yapısı [63]

4.2.3. Enerji hesaplama yöntemi

EnergyPlus programı enerji hesaplamasını; ısı ve kütle denge simülasyonu ve bina sistemleri simülasyonuyla gerçekleştirir**.** Simülasyonlar, DOE-2 ve BLAST'ta olduğu gibi (ilk bina yükleri, sonra hava dağıtım sistemi ve daha sonra merkezi tesisler simülasyonu) art arda değildir. Isıl denge yöneticisi bir zaman adımında simülasyon gerçekleştirdikten sonra bina sistemleri simülasyon yöneticisi devreye girerek HVAC ve elektrik sistemleri, ekipman ve bileşenlerinin simülasyonlarını kontrol edip mahallerin hava durumunu günceller [61]. Bütün simülasyon işlemleri gerçekleştirildikten sonra sonuçlar elde edilmektedir.

EnergyPlus programı ısı ve kütle denge simülasyonunu, ASHRAE Isıl Denge (Heat Balance) Yöntemini kullanarak gerçekleştirmektedir. ASHRAE Isıl Denge (Heat Balance) Metodu; saatlik-dinamik bir metot olup güneş kazançları ve iç kazançların detaylı hesaplanması, iç yüzey sıcaklıklarının her yüzey için ayrı ayrı tanımlanması, doğal havalandırma, gölgeleme, HVAC ekipmanları ve ısıl kütlenin dâhil edilmesi ile fiziksel duruma en yakın ve kabullerin en aza indirgendiği, dolayısı ile de gerçeğe en yakın sonuçları vermektedir. Metoda ait direnç şeması şekil 4.6'da, verilen metodun kullandığı dört ısıl denge denklemi ise Eşitlik (4.1), (4.2), (4.3) ve (4.4)'de verilmiştir [64, 65].



Şekil 4.6. ASHRAE Isıl denge metodu direnç şeması [65]

Duvar-dış yüzey için ısıl denge denklemi;

$$Q_{sol} + Q_{olw} + Q_{co} - Q_{cond.out} = 0 \tag{4.1}$$

Eşitlik (4.1)'de görüldüğü gibi ASHRAE ısıl denge metodu dış duvar için güneş kazançları ile uzun dalga radyasyonunu ayrı ayrı ele almaktadır.
Duvar için ısıl denge denklemi;

$$Q_{cond,out} - Q_S - Q_{cond,in} = 0 \tag{4.2}$$

Eşitlik (4.2), Q_S bileşeni ile duvarda depolanan ısı miktarının bulunmasına imkân sağlamaktadır.

Duvar-iç yüzey için ısıl denge denklemi;

$$Q_{si} + Q_{ir} + Q_{SW} + Q_{ilw} - Q_{ci} + Q_{cond.in} = 0 \tag{4.3}$$

İç yüzeyin ısıl dengesi oluşturulurken; aydınlatma, iç bileşenlerin radyasyon kazancı, yansıma sonucu gerçekleşen güneş kazancı, taşınım ve radyasyon dirençleri göz önüne alınmaktadır.

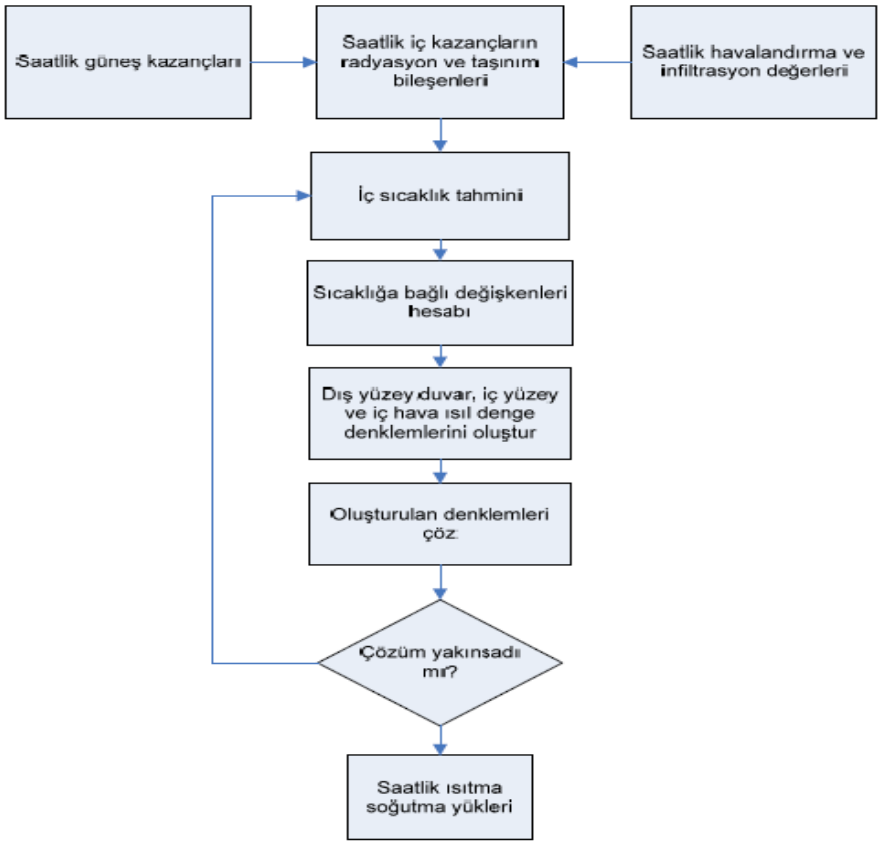
İç ortamda hava için ısıl denge denklemi (Q_{pa} HVAC sistem yükü dâhil):

$$Q_{ci} + Q_{ia} + Q_{\inf} + Q_{Pa} = 0 \tag{4.4}$$

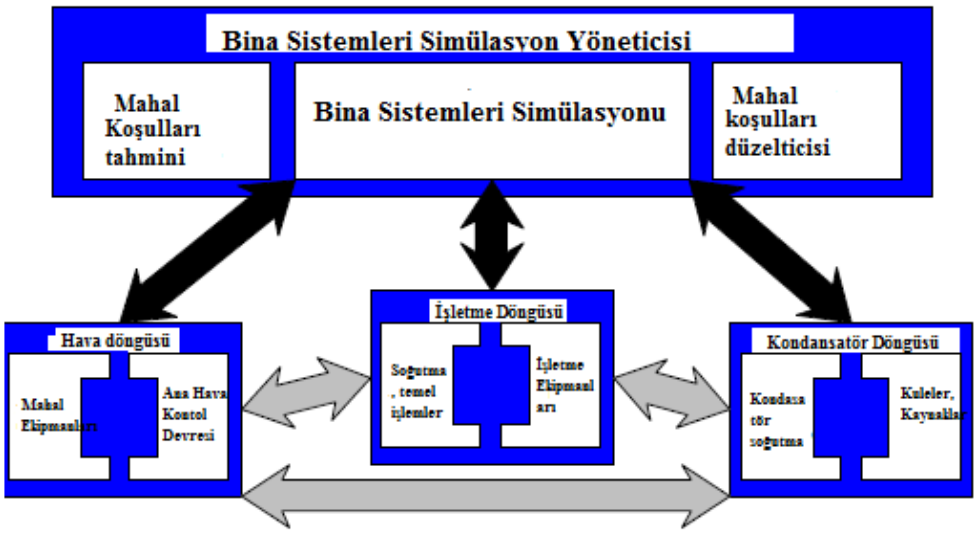
olarak verilmektedir.

ASHRAE Isıl Denge Metodu'nda kullanılan dört denklem birbirine iletim ve taşınım parametreleri bakımından bağlıdır, bu nedenle denklem seti eşzamanlı olarak çözülmelidir. Hem saatlik hesaplama hem de denklemlerin eşzamanlı çözümü gerekliliği, bu metodun uygulanabilmesi için yazılım kullanmayı zorunlu kılmaktadır. Metodun akış şeması ise şekil 4,7'de verilmiştir [64].

Isıl ve kütle dengesi simülasyonu bir zaman adımını sağladıktan sonra şekil 4.8'de gösterildiği bina sistemleri simülasyon yöneticisi devreye girerek HVAC ve elektriksel sistemler, ekipmanlar ve bileşenlerin simülasyonlarını kontrol eder ve mahal hava koşullarını günceller. Bütün simülasyon işlemleri gerçekleştirildikten sonra sonuçlar elde edilerek binanın tüketim değerleri belirlenmektedir [61].



Şekil 4.7. ASHRAE ısıl denge metodu akış şeması [64]



Şekil 4.8. Bina sistemleri simülasyon yöneticisi [61]

4.2.4. İnönü Enerji Etkin Binası tasarımı

Tasarlanan yapı, araştırma ve geliştirmelerin yapılabileceği, ofis ve laboratuvarlardan oluşan 2 katlı olup taban alanı 100 m^2'dir. Binanın zemin katında Güneş Enerjileri Araştırma Laboratuvarı, Hibrid Enerjileri Araştırma Laboratuvarı, Teknik Oda ile Lavabo/WC bulunmaktadır. Binanın birinci katı ise 2 adet Çalışma Ofisi (ikişer kişilik) ve 1 adet Kütüphaneden oluşmaktadır. Binaya giriş ise kuzey cepheden olmaktadır. İnönü Enerji Etkin Binası'nın tasarım adımları aşağıda verilmiştir:

1. Binanın yapılacağı yerin belirlenmesi,
2. Bina formunun ve yönünün belirlenmesi,
3. Yasal düzenlere uygun standart bir Referans Bina oluşturulması,
4. Referans binanın simülasyonu ve tüketim değerlerinin belirlenmesi,
5. Binanın enerji ve su talebinin azaltılması için alternatif tasarımlar:
    I. Bina dış kabuk opak bileşenlerinin Pasif Ev ölçütlerine getirilmesi,
    II. Pencerelerin Pasif Ev ölçütlerine getirilmesi,
    III. Bina hava sızdırmazlığının Pasif Ev ölçütlerine getirilmesi,
    IV. Isı pompası kullanılması,
    V. Trombe duvar kullanılması,
    VI. Fotovoltaik sistem kullanılması,
    VII. Yağmur suyu depolama sistemi ve peyzaj çalışması,
6. Alternatif tasarımların ayrı ayrı simülasyonunun gerçekleştirilmesi,
7. Alternatif tasarımların tüketim değerlerinin referans binayla karşılaştırılması ve maliyet analizi,
8. Ekonomik ve uygun olan alternatiflerin belirlenmesi,
9. İnönü Enerji Etkin Binasının tasarımın tamamlanması.

4.2.4.1. Bina yerinin belirlenmesi

İklimsel koşulların olumsuz durumunun minimize edilmesi ve enerji etkinliğinin sağlanabilmesi için yer seçimi önemlidir. Malatya ılımlı-kuru iklim bölgesinde olduğundan yazlar sıcak kurak, kışlar kar yağışlı ve soğuk olmaktadır. Kış mevsiminde güneş ışınımlarının etkisini azaltan rüzgârdan korunmak ve yaz mevsiminde rüzgârdan faydalanabilmek için İnönü Üniversitesi Kampüsü içerisinde

Enerji Etkin Binası'nın konumu olarak termal kuşağın alt kısımlarının uygun olacağı değerlendirilmiştir (Şekil 4.9).

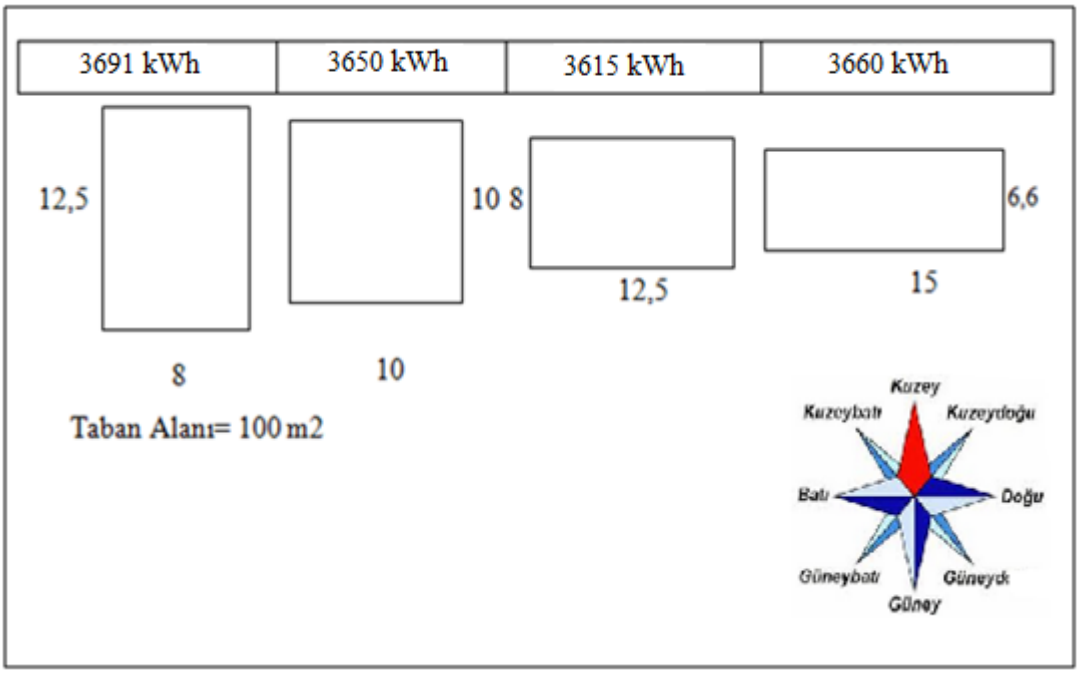
Şekil 4.9. Seçilen arazinin konumu

Bunun yanı sıra güneş ışınlarından maksimum derecede faydalanabilmesi ve enerji verimliliği sağlanması için arazinin eğimi de önemlidir. Ilımlı-kuru iklim bölgesinde arazinin eğiminin 24^{o} eğim açısından fazla olmaması önerilir. Tüm bu

kriterler ve Yeşil Binaların "ulaşılabilirlik" başlığı ölçütleri göz önünde bulundurularak İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi sağ yan tarafında eğimi fazla olmayan arazi tasarlanan binanın yeri olarak seçilmiştir. Seçilen arazinin Google Earth görünümü şekil 4.9'da görülmektedir. Tasarlanan bina 38°19'47,48" K 38°26'45,66" D coğrafi koordinatlarında bulunmaktadır. Rakımı ise 953 metredir.

4.2.4.2. Bina formu ve yönünün belirlenmesi

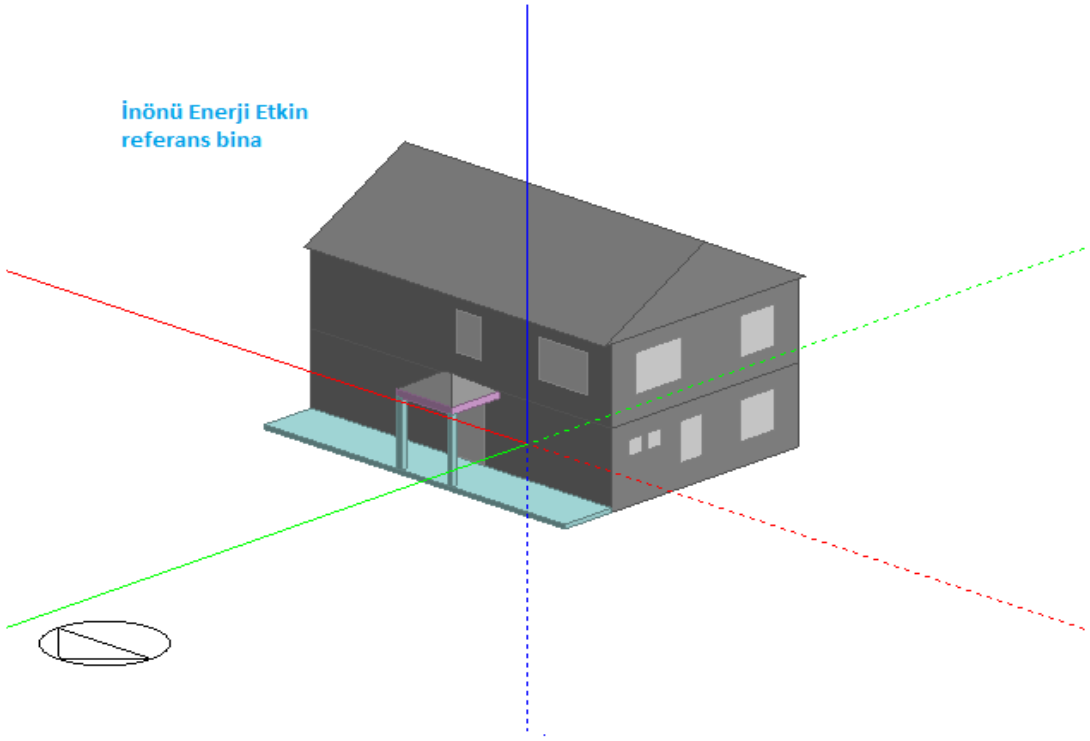
Binalarda enerji etkinliğinin sağlanmasına etki eden tasarım parametrelerinden birisi de binanın yönü ve formu olmaktadır. Binanın yönü ve formunun belirlenmesi, iklim bölgesine göre farklılık göstermektedir. Örneğin sıcak iklim bölgesinde yapının ısı enerji korunumu istenmezken, soğuk bölgede yapının minimum ısı enerjisi kaybedeceği formda olması gereklidir. DesignBuilder programında tüm değişkenler sabit tutularak bina yönü ve formu değiştirilerek en az enerji tüketen yönelim ve form belirlenmiştir. 100 m^2 taban alanına sahip 0,64, 1, 1,6 ve 2,27 biçim faktörlerinde (bina uzunluğunun derinliğine oranı) dört bina formu incelenmiş olup en az ısıtma enerji gereksiniminin geniş yüzeyi güney cepheye bakan 12,5m x 8m boyutlarında ve biçim faktörü 1,6 olan binada gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Bina yön ve formuna bağlı ısıtma enerji tüketimi

4.2.4.3. Referans bina oluşturulması

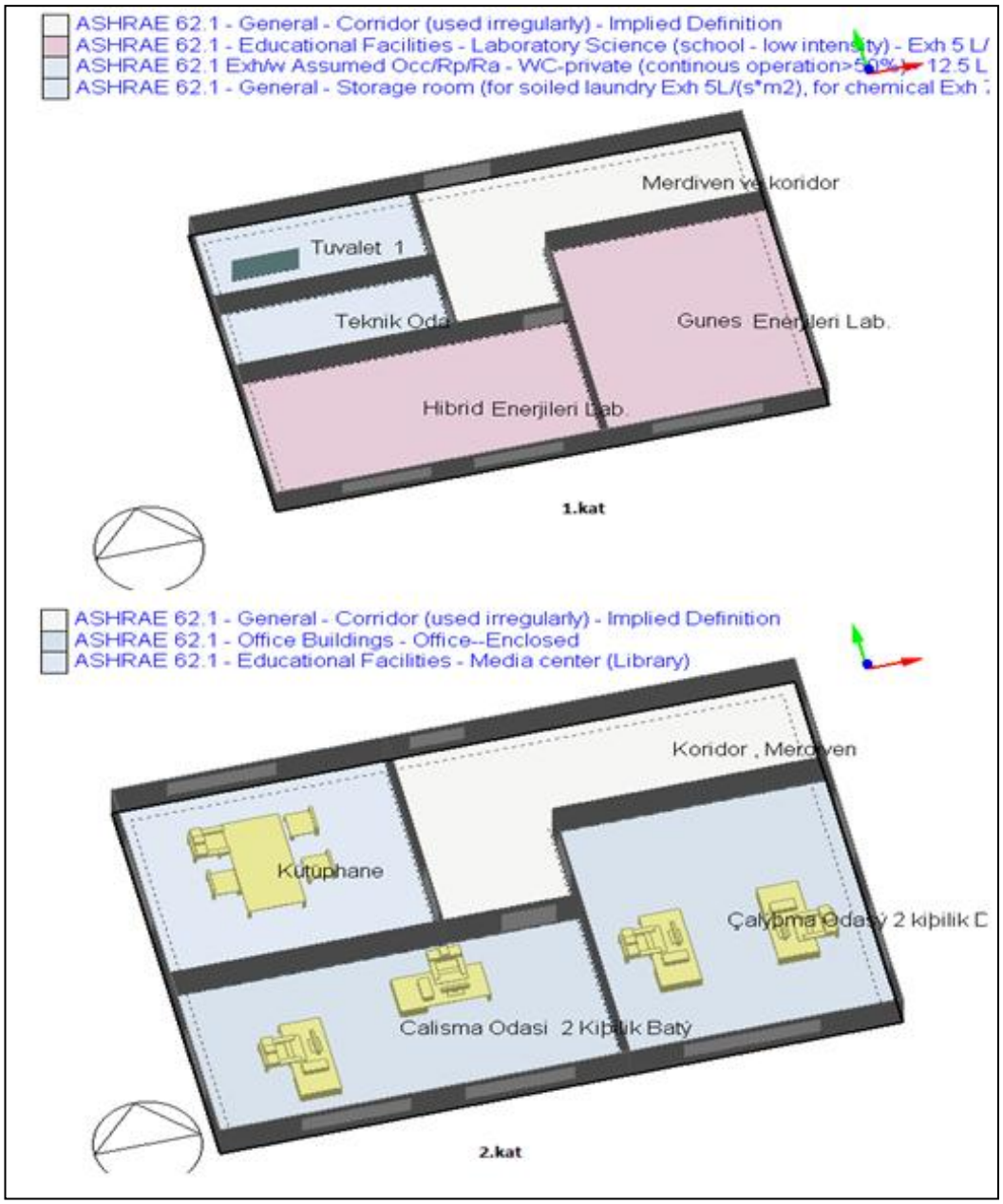
Tasarlanan binanın 3 boyutlu geometrisi şekil 4.11'de görülmektedir. Bina, araştırma ve geliştirmelerin yapılabileceği, ofis ve laboratuvarlardan oluşan 2 katlı olup taban alanı 100 m^2'dir. Tasarlanan binada planlanan mahaller çizelge 4.1'de verilmiştir. Bina enerji etkinliğine etki eden diğer bir önemli parametrede hacim organizasyonudur. Çok kullanılan mahallerin güneş enerjisinden tam faydalanabilmesi için mahallerin güney cephede, az kullanılan mahallerin kuzey cephede bulunması gereklidir. Bu ölçütler doğrultusunda laboratuvarlar ve çalışma ofisleri güney cephede; merdiven, tuvalet ve az kullanılan kütüphane kuzey cephede olacak şekilde konumlandırılmıştır. Tasarlanan hacim organizasyonu şekil 4.12'de verilmektedir. Binaya giriş ise binanın kuzey cephesinde olmaktadır.



Şekil 4.11. İnönü Üniversitesi Enerji Etkin Binasının 3 boyutlu görünümü

Çizelge 4.1. İnönü Enerji Etkin Binası kat planı

1. Kat	2. kat	Çatı Arası
Lavabo/WC Güneş Enerjileri Araştırma Lab. Hibrid Enerjileri Araştırma Lab. Teknik Oda	2 adet Çalışma Ofisi, Kütüphane salonu	200 lt su deposu



Şekil 4.12. Bina hacim organizasyonu

Referans bina, TSE 825 standardının [53] Malatya ili için belirlenmiş tavsiye değerleri ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEP) [66] göz önünde bulundurularak standartlara uygun olarak oluşturulmuştur. Binanın dış kabuk elemanlarının U değerleri ve TSE 825 standardının Malatya ili için belirlenmiş U değerleri çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.3'de bina dış kabuk elemanları ve U değerleri verilmiştir. Bina doğu-batı doğrultusunda geniş yüzeyi güneye yönlendirilmiş kompakt dikdörtgen formda ve biçim faktörü (bina uzunluğunun derinliğine oranı) 1,6 olarak belirlenmiştir. Malatya ilinin kış şartları

değerlendirilerek, çatıda fazla yük oluşmaması için 33^{o} eğimli kırık çatı modeli kullanılmıştır. Yapıda bina saydamlık oranı %30 ve pencere boyları 1,5 metre olarak alınmıştır. Doğal havalandırma ve merkezi ısıtma sistemi (kombi) kullanılmıştır. Bina aktivite değerleri olarak ASHRAE 62.1 standartları alınmıştır.

Çizelge 4.2. Referans bina dış kabuk elemanları ile TSE 825 standardı U değerleri

	U_D (W/m^{2}K)	U_T (W/m^{2}K)	U_t (W/m^{2}K)	U_P (W/m^{2}K)
TSE 825	0,50	0,30	0,45	2,40
Referans Bina	0,475	0,251	0,403	2,06

Çizelge 4.3. Bina dış kabuk elemanları ve U değerleri

	Dış Duvar		**Taban**		**Çatı**	
	Malzemeler (Dıştan-içe)	**Yapı Elemanı Kalınlığı (m)**	**Malzemeler (Dıştan-içe)**	**Yapı Elemanı Kalınlığı (m)**	**Malzemeler (Dıştan-içe)**	**Yapı Elemanı Kalınlığı (m)**
Bina Dış Kabuk Bileşeni	Anorganik Esaslı Hafif Agregalar	0,005	Kum, çakıl, kırma taş	0,1	Cam yünü	0,15
	EPS	0,05	Donatısız	0,1	Donatılı	0,15
	Çimento Harcı	0,02	Polimer Bitüm	0,002		
	Tuğla Delikli	0,19	Donatısız	0,3	Alçı sıva	0,02
	Kireçli Alçı Harcı	0,02	Donatılı	0,6		
			Kum, çakıl	0,5		
			Donatısız	0,1		
			EPS	0,05		
			Çimento Harçlı şap	0,05		
			Seramik	0,02		
U Değeri	0,475 W/m^{2}K		0,403 W/m^{2}K		0,251 W/m^{2}K	

Bina kullanım alanları güneşten maksimum yararlanacak şekilde güney cephede tasarlandığından yazın istenmeyen güneş enerjisinin iç mahallerde aşırı ısıtmasını azaltabilecek önlem olarak dıştan güneş ışınlarını yansıtıcılığı yüksek olan gölgeleme (panjur) tercih edilmiştir. Binada gölgelendirme, soğutma günleri + sıcaklık duyarlı olacak şekilde ayarlanmıştır. Güneş ışınım şiddeti 120 W/m^2 geçtiği zaman gölgelendirme yapılmaktadır.

Binanın modellemesi ve tanıtımı yapılırken binaya ait bina geometrisi, binanın yönü, HVAC ve aydınlatma sistemlerinin özellikleri, yapı bileşenlerinin tanımı, zonların kullanım amacı, iç ısıl kazançlar, konfor şartları ve binanın bulunduğu yere ait saatlik gerçek meteorolojik veriler programa girilmiştir. Binanın

giriş katında bulunan mahaller için programın "Activity", "Construction", "Lighting", "HVAC" sekmesine girilen veriler **Ek-1**'de, 1. Katındaki bulunan mahaller için girilen veriler **Ek-2'**de, mahallerin kullanım takvimi sekmesine girilen veriler ise **Ek-3**'de verilmiştir.

Tasarımda merkezi ısıtma sistemi olarak, binanın ısıtılması ve sıcak su ihtiyacını karşılayacak %92 verimli konvansiyonel Vaillant VUW 202-5 turbotec plus model kombi seçilmiştir. Seçilen kombiye ait teknik veriler çizelge 4.4'de verilmektedir.

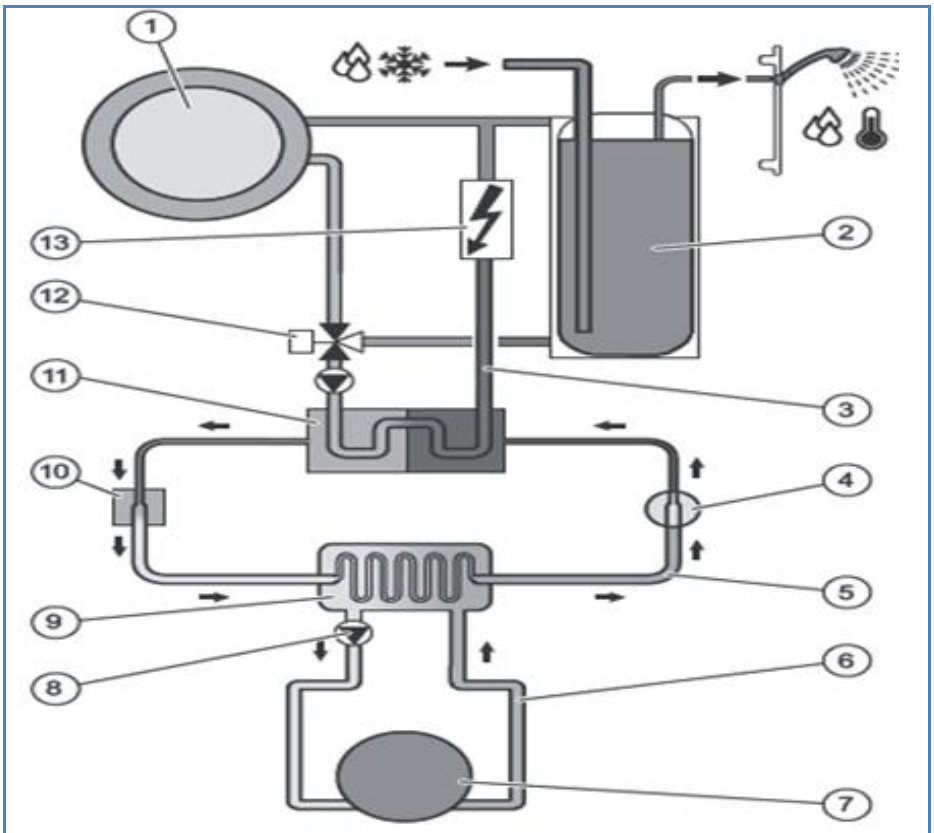
Çizelge 4.4. Kombi teknik detayı [67]

Özellik	Birimi	Değer
Isıtma Gücü	kW	6,8 - 20
Sıcak su kullanma gücü	kW	20
Gaz giriş basıncı doğalgaz 2H (G2O)	mbar	20
Genleşme Tankı Kapasitesi	lt	6
Kalorifer işletme basıncı	Bar	3
Pompa basma yüksekliği	mbar	250
Isıtma sıcaklığı min/max	^{0}C	25/65
Ayarlanabilir kullanma suyu sıcaklığı	^{0}C	35-65
Yükseklik/Derinlik/ Genişlik	mm	800/338/440

4.2.5. Toprak kaynaklı ısı pompası tasarımı

Referans binada ısıtma sistemi ve sıcak su temini kombili merkezi ısıtma sistemi ile karşılanmaktadır. Isıtma ve sıcak su gereksiniminin kombili merkezi ısıtma sistemi yerine ısı pompası ile karşılanması amacıyla tasarım değişikliği yapılmıştır. Isı pompası ile mahallerin ısıtılması ve sıcak su eldesi çevrimi şekil 4.13'de verilmektedir. Bu çevrimde sıcak su silindiri ve ek ısıtıcı opsiyonel olup binada yüksek sıcaklıkta ısı gerekmediğinden kullanılmamıştır.

İnönü Üniversitesi Enerji Etkin Binasında ısı pompası olarak TKIP kaynaklı ısı pompası kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Yatay ve dikey TKIP karşılaştırılması çizelge 4.5'de verilmiştir. Bu karşılaştırma dikkate alınarak borulama alanının fazla olmasına rağmen düşük maliyeti, yüksek performans değerleri, işletme maliyetinin düşük olması ve düşük sıcaklıklarda uygulama verimi iyi olan yatay TKIP kullanılmasına karar verilmiştir.



1	Mahallerin ısıtılması	**8**	Salamura su pompası
2	Sıcak su silindiri (isteğe bağlı)	**9**	Evaparatör
3	Isıtma çevrimi	**10**	Elektronik genişleme valfı
4	Kompresör	**11**	Kondenser
5	Soğutucu akışkan çevrimi	**12**	3 yollu vana
6	Salamura su çevrimi	**13**	Ek ısıtıcı (isteğe bağlı)
7	Isı kaynağı (toprak)	**14**	

Şekil 4.13. Isı pompası ile ısıtma ve sıcak temini şematik gösterimi [68]

Çizelge 4.5. Yatay ve dikey TKIP karşılaştırılması [69]

Isı Pompası / Kriterler	**Yatay TKIP**	**Dikey TKIP**
Uygulanabilirlik	Kolay, İş makineleriyle yapılabilmektedir.	Bazı zeminlerde uygulanabilme zorluğu, Toprak haritası olmaması,
Maliyet	Düşük	Yüksek
Ortalama COP	COP = 4	COP = 4
Alan Gereksinimi	Yüksek	Düşük
İşletme Maliyeti	En Düşük	Düşük
Soğutma	Mümkün	Mümkün
Isıtma	Mümkün	Mümkün
Kapasite	Düşük kapasite uygulamaları	Yüksek kapasite uygulamaları

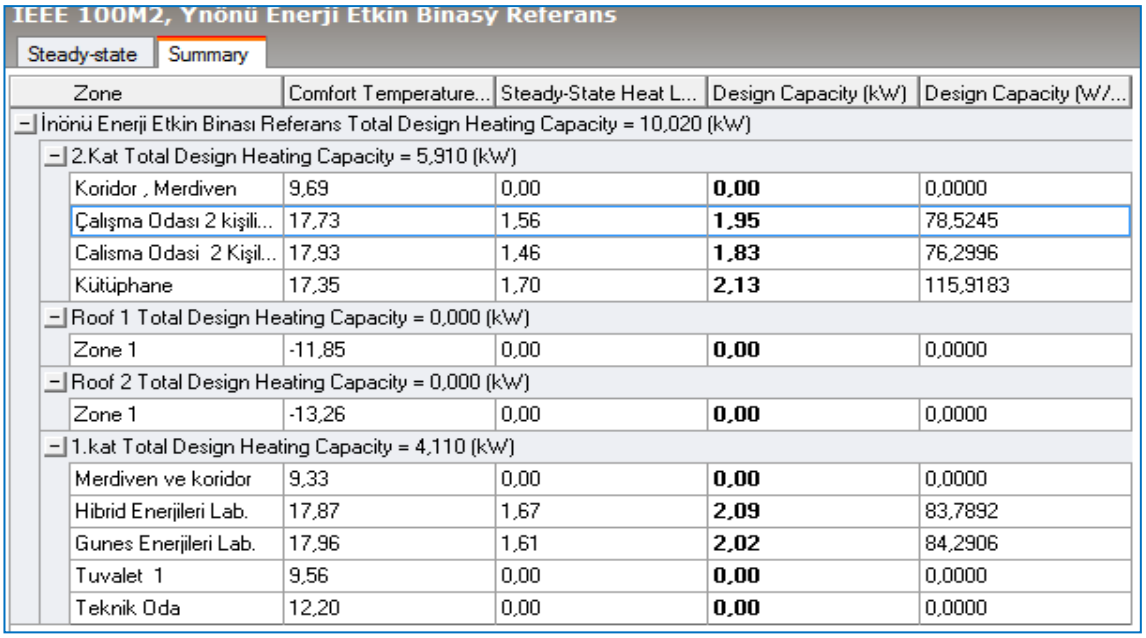
Topraktaki diğer bir enerji kaynağı da dünyanın çekirdeğinden gelen ısı akışıdır. Bu ısı akışı yeryüzüne doğru azalmakta ve yüzeye 2 metre kala sıfır olmaktadır. Diğer şekilde yağmur ve güneş ışınım etkisiyle oluşan enerji de yüzeyde 1,5 metreden sonra olmamaktadır. Yerin 1,5-2 arasındaki bu bölgeye ölü bölge denilmektedir. Bu bölgede enerji akışı olmadığından kolektörün bu aralığa döşenmemesine dikkat edilmelidir [47]. Ayrıca, boruların 0,8 metrenin üstünde yerleştirilmesi bitki köklerine zarar verebileceğinden tavsiye edilmemektedir. Bunun yanı sıra boru döngü mesafesinin 100 metreyi geçmemesi gereklidir. Çünkü borularda basınç düşüşü olacağından daha yüksek kapasiteli ısı pompası kullanılması gerekecektir. Borular, her devrede, sistemde oluşan havanın atılabilmesi için kolektöre en yüksek noktadan bağlanmalıdır. Boru döngülerinde de etkileşimin önlenmesi için 0,3-0,8 metre arasında yerleştirilmesi, besleme hattı arasındaki mesafenin de 0,7 metreden fazla olması gereklidir [69]. Yatay TKIP boyutlandırma ölçütleri çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Yatay TKIP boyutlandırma ölçütleri [69]

Parametre	**Birim**	**Ölçüt**
Derinlik	m	0,8-1,5
Maksimum Devre Uzunluğu	m	DN25-DN32 için 100
		DN40 için 200
Boru Malzemesi		Plastik (PE80-100)
Boru Aralıkları	m	DN25-DN32 için 0,5-0,8
		DN40 için 1
Boru Miktarı/Alan	m/m^2	1,0-2,0
Özgül Isı Çekme Kapasitesi	W/ m^2	10-40

Isı pompasının seçimi için binanın ısıtma tasarım değerinin hesaplanması gereklidir. DesignBuilder ısıtma dizaynını Malatya ili için 17-23 şubat günlerini ısıtma tasarım günleri alarak simülasyon yapmakta karşılaşması muhtemel en soğuk derece için mahallerin ve binanın ısıtma tasarım kapasitesini vermektedir. Referans binada simülasyon yapılmış ve binanın ısıtma tasarım kapasitesi değeri belirlenmiştir (Şekil 4.14).

Ayrıca sıcak su gereksiniminin ısı pompasından karşılanması öngörülmüştür. Sıcak su ihtiyacı TS 1258 "Temiz Su Tesisatı Hesap Kuralları"nda belirtilen ölçütlere göre belirlenmiştir. Değerler belirlenirken ofis standartları dikkate alınmıştır (çizelge 4.7).



IEEE 100M2, Ynönü Enerji Etkin Binasý Referans

Steady-state | Summary

Zone	Comfort Temperature...	Steady-State Heat L...	Design Capacity (kW)	Design Capacity (W/...
İnönü Enerji Etkin Binası Referans Total Design Heating Capacity = 10,020 (kW)				
2.Kat Total Design Heating Capacity = 5,910 (kW)				
Koridor , Merdiven	9,69	0,00	**0,00**	0,0000
Çalışma Odası 2 kişili...	17,73	1,56	**1,95**	78,5245
Calisma Odasi 2 Kişil...	17,93	1,46	**1,83**	76,2996
Kütüphane	17,35	1,70	**2,13**	115,9183
Roof 1 Total Design Heating Capacity = 0,000 (kW)				
Zone 1	-11,85	0,00	**0,00**	0,0000
Roof 2 Total Design Heating Capacity = 0,000 (kW)				
Zone 1	-13,26	0,00	**0,00**	0,0000
1.kat Total Design Heating Capacity = 4,110 (kW)				
Merdiven ve koridor	9,33	0,00	**0,00**	0,0000
Hibrid Enerjileri Lab.	17,87	1,67	**2,09**	83,7892
Gunes Enerjileri Lab.	17,96	1,61	**2,02**	84,2906
Tuvalet 1	9,56	0,00	**0,00**	0,0000
Teknik Oda	12,20	0,00	**0,00**	0,0000

Şekil 4.14. Referans bina ısıtma tasarım kapasitesi

Çizelge 4.7. Referans bina sıcak su ihtiyacı [70]

Mahal	**Kullanım**	**Tüketim (l/h)**
Güneş Enerjisi Laboratuvarı	Özel Lavabo	9
Hibrid Enerjisi Laboratuvarı	Özel Lavabo	9
Tuvalet/Lavabo	Genel Lavabo	27
Kullanım Eş Faktörü	0,30	
Depolama Faktörü	2	
	Toplam	45

Isıtıcı serpantin gücü aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunmaktadır:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{ss} c\left(T_{ç} - T_{g}\right) \tag{4.5}$$

$\dot{Q}$: ısıtıcı gücü (kcal/h)

$\dot{m}_{ss}$: Sıcak su ihtiyacı (ani kullanma ihtiyacı x kullanma eş faktörü)

C : Suyun özgül ısısı

$T_ç$: Su çıkış sıcaklığı (^oC)

T_g : Su giriş sıcaklığı (^oC)

Referans bina sıcak su ihtiyacı ani kullanma ihtiyacı olan 45 l/h kullanım eş faktörü 0,3 ile çarpılarak 13,5 l/h olarak belirlenmiştir (çizelge 4.8). Isı pompasında

elde edilecek maksimum su sıcaklığı 55^{o}C olarak alınmıştır. Malatya ilinin musluk suyu sıcaklık değeri 10^{o}C olarak hesaplamalarda alınmaktadır. Bu veriler neticesinde gerekli ek ısıtma güç ihtiyacı Eşitlik (4.5) ile hesaplanmıştır:

$$\dot{Q} = 13{,}5\,x\,1\,x\,(55-10) = 607\ kcal/h = 0{,}705\ kW$$

Sistemde yüksek sıcaklıkta su kullanımı öngörülmediğinden boyler kullanılmasına gerek görülmemiştir. Kullanılacak olan ısı pompasındaki sıcak su dönüşü direk kullanım hattına bağlanmıştır.

Buna göre ısı pompasının minimum kapasitesi; bina ısıtma tasarım değeri (10,02 kW) ve sıcak su temini (0,705 kW) toplamı 10,725 kW olarak belirlenmiştir. Bu kriterler doğrultusunda Vaillant flexoTHERM VWF 117/4 ısı pompası tercih edilmiştir. Bu ısı pompası sirkülasyon pompası, 3 yollu vana, su ısı değiştiricisi, salamura su dolumu olan entegreli kapalı sistemli tek bir ürün şeklindedir. Montaj aşaması için emniyet vanaları ve genleşme tankı eksiktir. Seçilen ısı pompasının özellikleri çizelge 4.8'de verilmektedir.

Çizelge 4.8. Isı pompası teknik özelikleri [71]

Özellik	**Birimi**	**Değer**
Isıtma gücü B0-W35 / B0-W45	kW	11,5 / 11,4
Güç tüketimi B0-W35 / B0-W45	kW	2,8 / 3,5
COP B0-W35 / BO-W45		4,6 / 3,5
Kompresör tipi		Evi Scroll
Isıtma çevrimi max. basınç	Bar	3
Isıtma çevrimi debisi	l/h	1930
Isıtma sıcaklığı min/max	^{o}C	25/65
Isı kaynağı giriş sıcaklıkları min/max	^{o}C	-10/20
Isı pompası sıcak su ısıtma max	^{o}C	55
Salamura su		% 30 Ethylene glycol
Nominal ısıtma çevrimi akışı	l/h	1930
Isıtma çevrimi basıncı	bar	0,3
Toprak çevrimi debisi	l/h	2870
Toprak çevrimi basıncı	mbar	0,550
Çevrim bağlantıları	DN	1 ½''
Soğutucu Akışkan		R 407 C/ 2,5 kg/ 2,9 Mpa
Boyut: Yükseklik/Genişlik/Derinlik		1183 / 595 / 600

4.2.5.1. Toprak ısı değiştiricisi hesabı

Toprak kaynaklı ısı pompasında kullanılan ısı değiştirici boru uzunluğu aşağıdaki etkenlere bağlı olarak değişim gösterir [72]:

- ✓ Sistem ısıtma ve soğutma kapasitesi,
- ✓ Toprak ısıl direnci,
- ✓ Boru ısıl direnci,
- ✓ Sistemin COP değeri,
- ✓ Yıllık ortalama toprak sıcaklığı,
- ✓ Isıtma – soğutma için sisteme giren su – antifriz sıcaklığı,
- ✓ Çalışma faktörü,

Isıtma için gerekli ısı değiştiricisi hesabı aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunmaktadır [72]:

$$L_H = \frac{Q_H \dfrac{(COP_H - 1)}{COP_H}[R_P + (R_{S\,x} F_H)]}{(T_d - T_{\min})(°C)} \tag{4.6}$$

L_H : Toprak ısı değiştiricisinin uzunluğu, (m/kW)

COP_H : Isı pompasının etkinlik katsayısı, (-)

R_p : Boru direnci, (m°C/W)

R_s : Toprak direnci, (m°C/W)

F_H : Isıtma çalışma faktörü, (birimsiz)

T_d : Yılın en düşük toprak sıcaklığı, (°C)

T_{min} : Üniteye girecek en düşük su sıcaklığı, (°C)

Minimum ve Maksimum Toprak Sıcaklığı: Minimum ve maksimum toprak sıcaklığı, boruların gömüldüğü derinliğe bağlı olarak ortalama toprak sıcaklık değerinden (T_m), 1,66 – 10℃ arasında yer alan bir değerde, ısıtma ve soğutma durumuna göre az veya fazladır. Ortalama yıllık toprak sıcaklığı, ortalama hava sıcaklığına ($T_{dış}$) 1,1^{o}C eklenmesiyle bulunmaktadır [73]:

$$T_m = T_{dış} + 1{,}1 \tag{4.7}$$

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Malatya ili için olan verilerine bakıldığında yıllık dış hava sıcaklığının 13,6°C olduğu görülmektedir [3]. Bu değerler kullanılarak Malatya ili ortalama toprak sıcaklığı,

$$T_m = 13,6 + 1,1 = 14,7^oC$$

olarak bulunmuştur.

Yılın en düşük toprak sıcaklık değeri ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [73]:

$$T_d = T_m - 5 \quad (4.8)$$

$$T_d = 14,7 - 5 = 9,7^oC$$

Cihaza girecek minimum antifriz + su sıcaklıkları yaklaşık olarak belirlenmektedir. Toprak sıcaklığı yıl içinde 5,5 ile 13^{o}C arasında değişmektedir. Sistem çalışmadığı zaman diliminde en düşük sıcaklıkta toprak sıcaklığı ile antifriz + suyun aynı dereceye geldiği kabul edilmiş ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak 5,5^{o}C olarak bulunmuştur:

$$T_{min} = T_m - 5 - 4,2 \quad (4.9)$$

$$T_{min} = 14,7 - 5 - 4,2 = 5,5^oC$$

Boru Direnci: Toprak ısı değiştiricisi olarak kullanılacak olan borunun malzeme cinsi, çapı ve uzunluğu borunun boru direncinde (R_b: ısı transfer direnci) önemli rol oynar. Boru ısıl direnci aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır [72]:

$$Rp = \frac{1}{2\pi k_p} ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) \quad (4.10)$$

R_p : Boru ısıl direnci (m°C/W)

k_p : Boru ısı iletim katsayısı (polietilen = 0,43 W/ m^2 ^{o}C)

D_o : Boru dış çapı (m)

D_i : İç boru çapı (m)

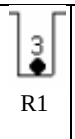
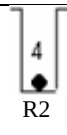
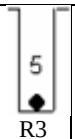
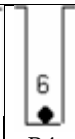
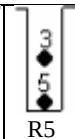
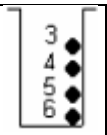
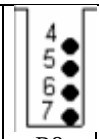
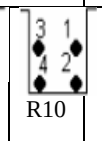
Toprak kaynaklı ısı pompalarında uzun ömürlü olması ve toprak korozif etkilerinden az etkilenmesi nedenleriyle plastik borular kullanılmaktadır. Toprak altı borularında istenen boru direncinin düşük olması ve işletme basıncına dayanıklı olmasıdır. Bu ölçütler dikkate alınarak toprak çevriminde Polietilen 32 x 3,00 mm PN 10 boru kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılan borunun anma basınçları ısı pompasının toprak çevrimini karşılayacak değerdedir. Bu değerler kullanılarak boru direnci,

$$R_p = \frac{1}{2\pi(0{,}43)} \ln\left(\frac{0{,}032}{0{,}026}\right) = 0{,}077\ m^oC/W$$

olarak bulunmuştur.

Toprak Direnci: Toprak direnci, ısının toprak içindeki akışına karşı koyan dirençtir. Bu direnç boruların döşeme derinliği, birden çok boru kullanımı ve birbirlerine göre konumlarına göre değişmektedir. Çizelge 4.9'da toprağın cinsine göre (yoğun nemli, ağır kuru ve hafif nemli) 3/4" ila 2" arası boruların, yatay ve düşey, tekli ve çoklu olma durumları göz önüne alınarak toprak dirençleri verilmiştir. Tasarımda boruların döşeneceği derinlik 1,2 m olarak belirlenmiştir. 4 feet derinlik ve 1" boru çapı için toprak direnci R_s = 1,37 m°C/W olarak bulunmuştur (çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Toprak direncinin toprak şartları ve boru çapına bağlı değişimi [73, 46]

		R_t (AĞIR TOPRAK-NEMLİ) R_t (AĞIR TOPRAK-KURU VEYA HAFİF TOPRAK-NEMLİ)										R_t(KAYA) R_t(AT-NEMLİ)
		 R1	 R2	 R3	 R4	 R5	R6	 R7	 R8	R9	 R10	
BORU ÖLÇÜSÜ	3/4"	1.02	1.06	1.09	1.11	1.31	1.37	2.05	2.15	2.11	1.88	0.6
		1.38	1.44	1.47	1.49	1.77	1.84	2.75	2.86	2.85	2.53	1.06
	1"	0.97	1.02	1.04	1.06	1.26	1.32	2	2.1	2.07	1.84	0.57
		1.32	1.37	1.4	1.42	1.7	1.77	2.88	2.79	2.78	2.47	1.01
	1_1/4"	0.92	0.97	0.99	1.01	1.22	1.27	1.96	2.05	2.02	1.79	0.54
		1.25	1.31	1.34	1.36	1.63	1.7	2.61	2.72	2.71	2.4	0.96
	1_1/2"	0.89	0.94	0.97	0.98	1.19	1.25	1.92	2.02	1.99	1.76	0.53
		1.21	1.27	1.3	1.32	1.59	1.66	2.57	2.68	2.67	2.36	0.94
	2"	0.85	0.89	0.92	0.94	1.14	1.2	1.88	1.98	1.94	1.71	0.5
		1.15	1.2	1.24	1.26	1.53	1.6	2.51	2.62	2.61	2.29	0.89

Isıtma Çalışma Faktörü: Isıtma çalışma faktörü binada yaşanan ısı kaybı ortalamasının ısı pompasının ısıtma gücüne bölünmesiyle bulunmaktadır. Binanın kullanım takvimi göz önüne alındığında ısı pompasının kompresörünün ortalama 7 saat çalıştığı kabul edilmiştir. Isıtma çalışma faktörü aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır [72]:

$$F_H = \frac{Binanin\ \ Ortalama\ Isi\ Kaybi/Saat}{Isi\ Pompasi\ Isitma\ Gucu} \tag{4.11}$$

Binanın saatteki ortalama ısı kaybı ve ısı pompası ısıtma gücü değerleri kullanıldığında, ısıtma çalışma faktörü,

$$F_H = \frac{10{,}725/7}{11{,}4} = 0{,}1344$$

olarak bulunmuştur.

Toprak ısı değiştirici boyu Eşitlik (4.6) yardımıyla hesaplanmıştır:

$$L_H = \frac{10725\dfrac{3{,}5-1}{3{,}5}[0{,}077 + (1{,}37\,x\,0{,}1344)]}{9{,}7 - 5{,}5} = 476{,}3\ m$$

Boru uzunluğu 476,3≈500 m alınmıştır. Mahallerin ısıtılması ve sıhhi sıcak su temininde, her biri 100 metre olan 5 döngünün yapıda yeterli olacağı belirlenmiştir.

4.2.5.2. Toprak alanı hesabı

Boruların döşeneceği toprak alanı aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunmaktadır [72]:

$$FE = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_E} \tag{4.12}$$

$\dot{Q}_K$: Isı pompasının gücü (kW)

$\dot{Q}_E$: Topraktan çekilen spesifik ısı kapasitesi (W/m^2)

Topraktan çekilecek spesifik ısıyı belirlemek için binanın kurulacağı yerin toprak etüdünün yapılması gerekmektedir. Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün yapmış olduğu jeoloji çalışmasında [74], binanın yapılacağı alanın çakıl, kum, kil ve kireç formasyonunda olduğu görülmektedir (Şekil 4.15). Toprak yapısına göre çekilebilecek spesifik ısı miktarları çizelge 4.10'da verilmektedir. Bu ölçütler doğrultusunda binanın yapılacağı yerdeki toprak yapısı kuru killi olarak belirlenmiş ve çekilebilecek spesifik ısı kapasitesi 20 W/m^2 olarak alınmıştır. Belirlenen değerler kullanılarak Eşitlik (4.12) yardımıyla boruların döşeneceği alan bulunmuştur:

$$F_E = \frac{11500}{20} = 575\ m^2$$

Belirlenen alan, çizelge 4.10'daki değerler göz alındığında 500 m borunun döşenmesi için yeterli bir alandır. Boruların binanın güney cephesindeki araziye döşenmesi tasarlanmıştır.

Tyk / Tyf	Çakıl taşı-kumtaşı-kil taşı-kireçtaşı	Tqb	Çakıl taşı-Kumtaşı
Kgb	Granit-Diyorit-Siyenit-Tonalit	C-Trmm	Şist-Kristalize, Kireçtaşı
Kgf	Çakıl taşı-kumtaşı-kil taşı-marn-kireçtaşı	Qal	Güncel kum-silt-kil
Ts	Çakıl taşı-kumtaşı-kil taşı	Tsk / Tsç	Çakıl taşı-kil taşı-marn-kireçtaşı
Tp	Kutaşı-marn-kireçtaşı	Qe	Kum-çakıl-kil

Şekil 4.15. Malatya toprak yapısı [74]

Çizelge 4.10. Topraktan çekilen spesifik ısı kapasiteleri [69]

Toprak Özelliği	**Özgül Isı Çekme Kapasitesi**
	W/m^2
Kumlu Kuru	10
Kumlu Nemli	15-20
Killi Kuru	20-25
Killi Nemli	25-30
Killi, suya doymuş	30-40

4.2.5.3. Gerekli ısı taşıyıcı akışkan miktarı hesabı

Borularda dolaşacak antifriz + su karışımının %30 maks. etilen glikol/su kullanılması önerilmektedir. Ayrıca, cihaz verilerinde çevrimlerin bağlantılarının ölçüsü 1½" olarak verilmiştir. Cihazdaki ısı kaynağı çevrimindeki akışkan miktarı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [16]:

$V_{akışkan}$ = Boru döngü sayısı x bir döngünün uzunluğu x boru hacmi hattı + besleme hattı uzunluğu x besleme boru hacmi + cihaz içindeki akışkan (4.13)

PE boruların taşıma kapasitesi Çizelge 4.11'de verilmiştir. Cihaz ve kolektör arasındaki borularda cihazın teknik verilerindeki 1 ½″ giriş ağzı göz önüne alınarak PE 50 x 4,6 mm boru kullanılmıştır. Cihazın besleme ve dönüş bağlantılarının 10'ar metre olması yeterlidir. Toplam boru uzunluğu 20 m ve çizelge 4.10'da PE 50 x 4,6 mm borular için 1,308 l/m taşıma kapasitesi değeri kullanıldığında, besleme akışkan hacmi = 20 x 1,308 = 26,160 litre olarak bulunur.

Cihazın kolektör çevriminde piyasada rahat bulunan ve metrajı ucuz olan PE 32 x 3 PN 10 borusu kullanılması tasarlanmıştır. Toplam boru uzunluğu 500 m ve çizelge 4.11'de PE 32 x 3 mm borular için 0,530 l/m taşıma kapasitesi değeri kullanıldığında, kolektör çevrimi akışkan hacmi = 5 x 100 x 0, 530 = 265 litre olarak bulunur.

Çizelge 4.11. PE boruların taşıma kapasitesi

Dış - Ø boru x cidar kalınlığı (mm)	DN	Her metre için hacim (l)
PE 32 x 3 mm	25	0,530
PE 50 x 4,6 mm	32	1,308

Cihazın teknik verilerine bakıldığında cihaz içindeki gerekli olan antifriz + su karışımın 3,6 litre olduğu görülmektedir. Bu hesaplardan sonra gerekli toplam akışkan miktarı Eşitlik (4.13) ile bulunmuştur:

$V_{akışkan}$ = 20,160 + 265 + 3,6 = 288,76 litre

Isı pompasında sirkülasyon pompası mevcut olduğundan hesabı yapılmamıştır. Ayrıca 2,5 kg soğutucu akışkan ve cihaz için gerekli hacim, cihaz verilerinde 5,68 m^3 olarak verilmektedir. Tasarlanan yapıda teknik oda 26,1 m^3 olduğundan gerekli ihtiyaç alanı ve boru bağlantılarını, emniyet valf bağlantıları için gerekli hacmi yeterince sağlamaktadır.

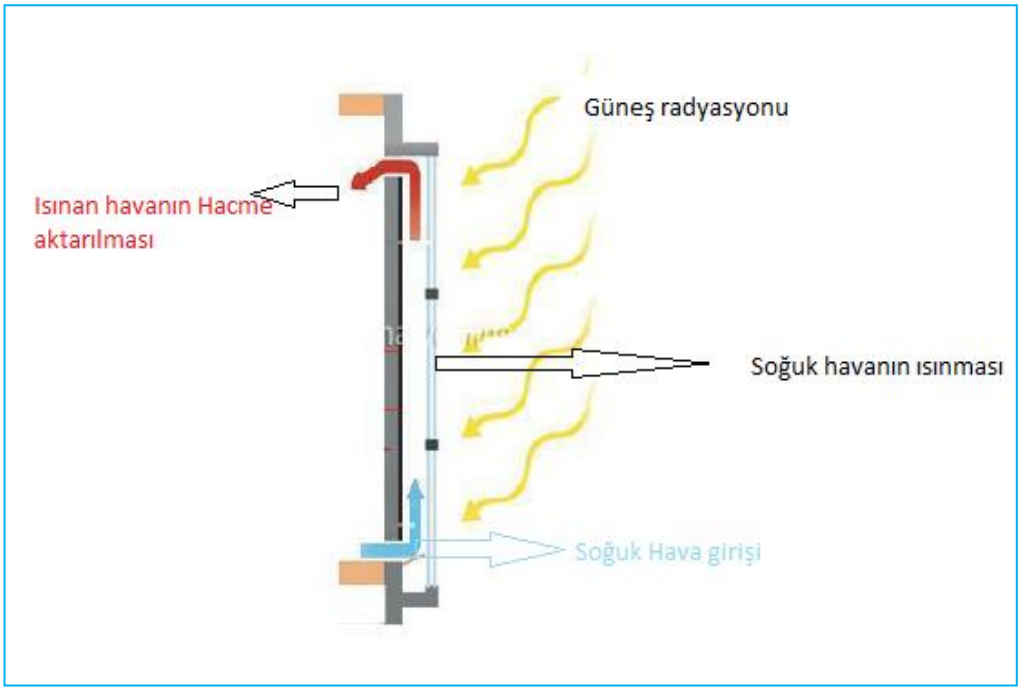
Isıtma sistemi olarak düşük sıcaklıkta verimli ve istenilen 20^oC iç ortam sıcaklığını gerçekleştirilebilecek yerden ısıtma sistemi tercih edilmiştir. Isı pompasının verimli çalışabilmesi için yerden ısıtma çevriminde su sıcaklığı 35-30^oC alınarak hesaplamalar yapılmış ancak binanın ısı ihtiyacı karşılanamamıştır. Daha sonra yerden ısıtma çevrimi 45-35^oC ayarlandığında bina ısı ihtiyacı karşılanmıştır. Yapılan hesaplamalarda 917 metre boru kullanılmıştır (Ek-4). Bu verilerle DesignBuilder programında ısı pompası ve yerden ısıtma sistemiyle binanın ısıtılması çevrimi yapılarak simülasyon gerçekleştirilmiş ve enerji tüketim değerleri belirlenmiştir.

4.2.6. Trombe duvar tasarımı

Enerji etkin binalarda en önemli unsurlardan birisi de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıdır. Bu sayede binanın ısıtma, soğutma ve havalandırma yükleri azaltılarak, binada ihtiyaç duyulan enerji gereksinimi azaltılabilmektedir. Trombe duvarlar; binanın ısıtma yükünü azaltabilen ve yaz aylarında ise doğal havalandırma yapılabilen güneş enerjili pasif bir sistemdir. Isıtma genel ilkesi, ısı depolayıcı bir kütlenin ısıyı depolayarak iletim ve taşınım yoluyla ısıtılan hacme aktarılmasıdır. Havalandırma ise doğal baca etkisi oluşturularak hava sirkülâsyonun oluşturulmasıdır.

Trombe duvar; dış cam, hava boşluğu, ısıl depolayıcı kütle, havalandırma kanalları ve koruyucu çatıdan oluşmaktadır (Şekil 4.16). Bu sistemde camdan geçen güneş ışınları ısı depolayıcı kütlede toplanmaktadır. Arada bulunan hava ise bu ısıl

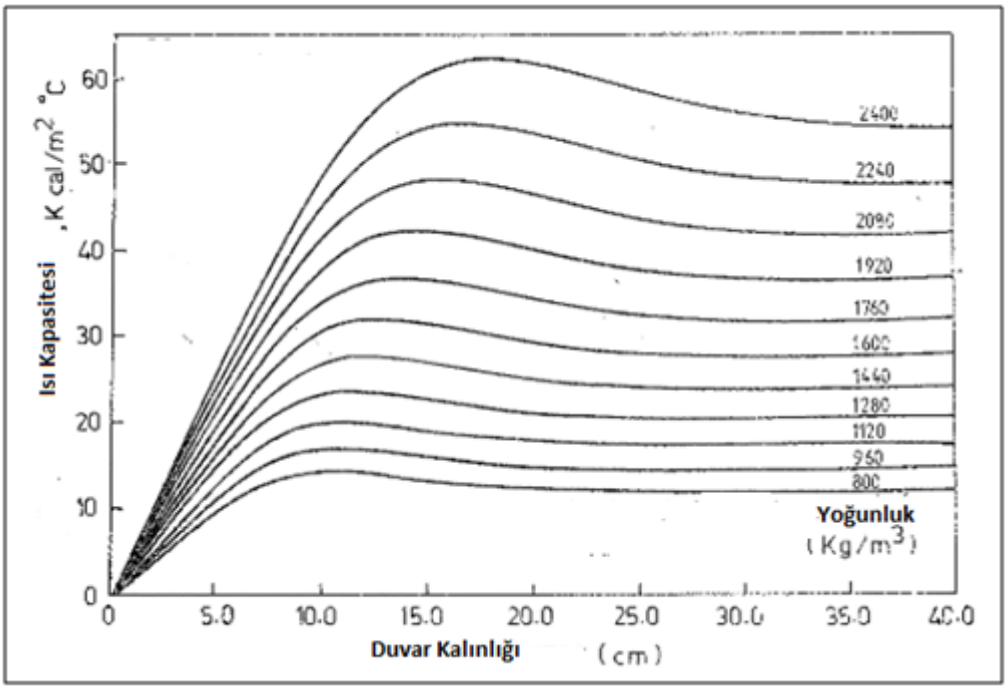
kütle ile temas halinde olduğundan ısınarak havalandırma kanallarından mekâna geçer. Alt kısımda bulunan havalandırma kanalından tekrar sisteme alınan soğuk hava benzer şekilde ısınarak hacme geçer. Bu işlem duvarda ısı olduğu sürece devam etmektedir. Buradaki sirkülasyon sıcaklık farkından dolayı oluşan basınç farkından dolayı oluşmaktadır [75].



Şekil 4.16. Trombe duvardaki hava döngüsü [75]

Trombe duvar sisteminde en dışta bulunan camın enerji kaybının az olması için ısıl geçirgenlik (U) değerinin düşük, ısı kazancının yüksek olması için ise güneş ışınım geçiriminin yüksek olması gereklidir. Isıl geçirgenlik değerinin düşük olmasını sağlayabilmek için Trombe duvarın tasarlandığı yerin iklim koşulları göz önüne alınarak uygun seçim yapılmalıdır. Malatya ilinin iklim koşulları karasal, kar yağışlı ve ortalama dış hava sıcaklık değerleri düşük olduğundan üçlü veya ikili cam kullanılması gereklidir. Diğer bir yapı elemanı olan ısıl depolayıcı kütleden beklenen özelikler ise ısı depolama kapasitesinin yüksek ve maliyetinin uygun olmasıdır. Trombe duvarlarda genelde beton blok kullanılmaktadır. Beton bloklarda duvar kalınlığını 15 cm'den daha kalın yapma, ısıl depolama kapasitesinde bir artış oluşturmamaktadır (Şekil 4.17). Ayrıca dikkat edilmesi gereken bir husus da beton yüzeyinin siyah boyayla boyanarak selektif yüzey oluşturulmasıdır. Bu sayede duvarın güneş ışınımını tutma/absorbe etme kapasitesi artmaktadır. Trombe

duvarlarda yazın ise aşırı ısınmayı önlemek için koruyucu çatı kullanılmaktadır. Çatının boyutlandırması pencere boyutu ve enleme göre yapılmaktadır.



Şekil 4.17. Beton bloğun gündüzleri ısı depolama kapasitesinin duvar yoğunluğu ve duvar kalınlığına göre değişimi [75]

Trombe duvarda hava akımını sağlayan basınç farkı [75] ,

$$P = \mathrm{H\,x}\,\frac{(\,\mathrm{Tdış} - \mathrm{Toda}\,)}{(\mathrm{Toda} + 273)} \qquad (4.14)$$

eşitliği ile verilmektedir. P iki havalandırma arasında oluşan basınç farkıdır, H duvarın dikey uzunluğu, $T_{dış}$ dış duvarın sıcaklığı, T_{oda} ise odanın sıcaklığıdır.

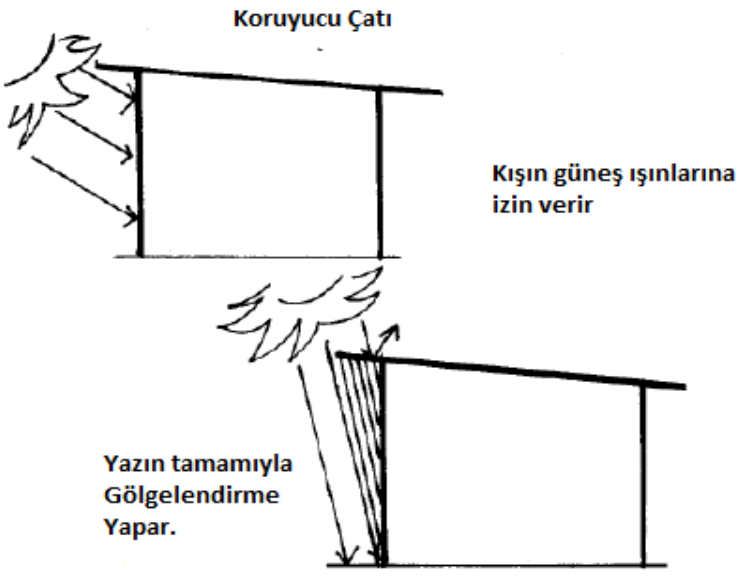
Düzgün bir havalandırma akımı olması için; duvarın boyunun 2 metreden az olmaması, havalandırma boşluklarının dikey doğrultuda aynı hizada olmaması ve üstteki havalandırma kanalının alanının alttakinden büyük olması gereklidir. Ayrıca yapılan çalışmalarda aşırı ısıtmanın önlenmesi için havalandırma kanallarının toplam alanının duvar alanının %5'i civarlarında olmasının ideal olduğu belirlenmiştir. Tasarımda dikkat edilecek diğer bir husus da cam ile duvar arasındaki hava boşluğu mesafesidir. Bu mesafenin 1,5-6,0 inç arasında olması önerilmektedir. Bu mesafe 1,5 inç'den az olduğu zaman mesafe çok az olduğundan hacme aktarılan hava yeterince

ısınmadan aktarılmış olmaktadır. 6 inç'den büyük olduğu zaman ise üst ve yan kısımlarda ısı kaybı fazla olmaktadır. İdeal tasarımda bu boşluk mesafesi duvarın boyunun %5-6,5'u arasında olmalıdır. Geceleri havalar soğuduğunda bu akım ters şekilde gerçekleşebilmektedir. Ayrıca, gereksinim olmadığı zamanda havalandırma kanallarından ısı hacme verilebilmektedir. Bunların önlenmesi için havalandırma kanallarında damper kullanılmalıdır. Bu damperler sayesinde ters akım önlenip, ısıtma bir sıcaklık set değerinde sürücü yardımıyla otomatik kapatılabilmekte ve ısı geçişleri kontrol edilebilmektedir [75].

Güneşin yaz aylarında iç mahalli aşırı ısıtmasını engellemek için Trombe duvarda koruyucu çatı yapılmalıdır (Şekil 4.18). Trombe duvarının yaz güneşinden korunması için gerekli çatının yataydaki uzunluğu aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$Çatinin\ Yataydaki\ Uzunlugu = \frac{Pencere\ Yuksekligi}{F} \tag{4.15}$$

F, koruyucu çatı faktörüdür ve Çizelge 4.12'de verilmiştir. Enerji etkin bina 38°19'47,48" K enleminde bulunmaktadır. İterasyon sonucu binanın çatı tasarımındaki koruyu faktörü 3,35 olarak alınmış ve koruyucu çatının yataydaki uzunluğu 60 cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.18. Trombe duvar koruyucu komponent bileşeni [75]

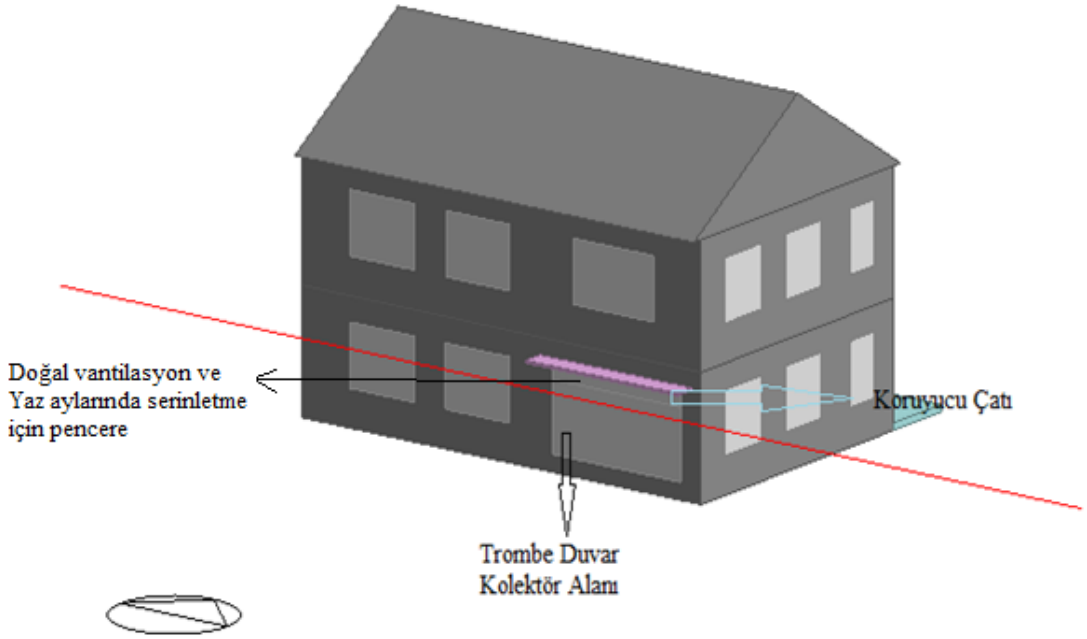
Çizelge 4.12. Trombe duvar için koruyucu çatı faktörü (F) [75]

Kuzey Enlemi	Koruyucu Çatı Faktörü F
28	5,6 - 11,1
32	4,0 – 6,3
36	3,0 – 4,5
40	2,5 – 3,4
44	2,0 – 2,7
48	1,7 - 2,2
52	1,5 – 1,8
56	1,3- 1,5

Yukarıda belirtilen ölçütler doğrultusunda enerji etkin binanın, zemin katında bulunan Güneş Enerjisi Laboratuvarının güney cephesindeki duvarında bulunan pencerenin yerine 1 adet 4x2 m boyutlarında Trombe duvar tasarımı yapılmıştır (Şekil 4.19). Trombe duvar camı olarak 3/13 low-e ara boşluklarında hava bulunan çiftli cam kullanılmıştır. Bunun yanı sıra Ttrombe duvarın üst kısmına 2 adet pencere bırakılmıştır. Bu pencerelerin yazın açılması ve ısıl kütledeki havalandırma kanallarının üsttekinin kapalı, aşağıdakinin açık olması ile doğal havalandırma yapılabilmesidir (Şekil 4.19). Isıl depolayıcı kütle olarak 20 cm kalınlığında bir beton blok kullanılmış ve bloğun üzeri selektif yüzey olarak 6 mm siyah asfalt malzeme ile kaplanmıştır. Boyu 2 m olan Trombe duvarın %5'i 10 cm olduğundan, ısıl kütle ile cam arasında hava boşluğu mesafesi 10 cm alınmıştır. Isıl kütledeki havalandırma kanallarının alanı, 8 m^2 kolektör alanının %5'i oranında 4000 cm^2 olarak alınmıştır. Düzgün bir hava akımı olması için 3/2 oranında üstteki havalandırma kanalları daha büyük bırakılarak üst havalandırma alanı 2400 cm^2 alttaki havalandırma alanı 1600 cm^2 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan Trombe duvarın tüm özellikleri çizelge 4.13'de verilmektedir.

Oluşturulan Trombe duvara ait verilerin Designbuilder'a girişi yapılmıştır. Designbuilder'da Trombe duvarlar için birçok seçenek bulunmaktadır. Bu seçenekler; Trombe duvarın mekanik havalandırmaya dâhil edilmesi, ısıtmada kullanılması, doğal havalandırma vb. seçeneklerdir. Tasarımda ısıtma ve doğal havalandırma seçenekleri tercih edilmiştir. Siyah kaplı beton blokta bulunan havalandırma kanallarının açılma ve kapanma set değerleri ayarlanabilmektedir. Tasarımda güneş doğuş-batış saatleri ve bina kullanım takvimi göz önüne alınarak Malatya ili için ısıtma gereksiniminin olduğu günler için saat 9:00 ile 16:30 saatleri

arasında havalandırma kanallarının açık olması, diğer zamanda kapalı konumda bulunması komutu DesignBuilder'a girilmiştir.



Şekil 4.19. Enerji etkin binada Trombe duvar görünümü

Çizelge 4.13. Enerji etkin bina Trombe duvar özelikleri

Trombe Duvar Elemanları	**Teknik Detay**
Boyut	4 x 2 (m) 1 adet
Isıl depolayıcı kütle	Siyah boya kaplamalı selektif yüzeyli 20 cm beton blok
Cam	3/13 Low-e Çiftli Cam
Üst havalandırma /Alt havalandırma kanalı	2400 cm^2/1600 cm^2
Koruyucu çatı	60 cm
Cam ile ısıl kütle arasındaki hava boşluğu	10 cm

EnergyPlus'da hesaplamalar, dar kapalı boşluk için konveksiyon katsayılarının ISO 15099 algoritmasına dayanan yöntemdir. Yapılan ölçümlerde sızdırmaz pasif duvar ölçümleri deneysel verilerle doğrulanmıştır [76]. Binada simülasyon gerçekleştirilmiş Trombe duvarların ısıtma enerji tüketimine ve dizayn kapasitesine etkisi belirlenip maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

4.2.7. Güneş panelleri tasarımı

Tasarlanan yapının elektrik gereksinimini şebekeden karşılama yerine güneş enerjisini kullanarak elektrik üreten fotovoltaik panellerden (PV) karşılaması amaçlanmıştır. Fotovoltaik panellerin kullanımında şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız kullanılması olmak üzere 2 alternatifi bulunmaktadır. Binada, panellerin şebekeyle bağlantılı olan sistemi tercih edilmiştir. Bu tercihteki sebep, panellerden üretilen elektriğin fazlası akıllı sayaçlar sayesinde şebekeye verilebilmekte ve panellerin binanın elektrik ihtiyacını karşılayamaması durumunda elektrik şebekeden alınabilmektedir. Bu sistemin diğer bir avantajı da şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılan akülerde depolamadaki enerji kayıpları, akülerin konulacağı yer sorunu ve akü ömürlerinin kısa olması gibi dezavantajlarının olmamasıdır.

Referans binada simülasyon gerçekleştirilerek aydınlatma ve diğer ekipmanların (bilgisayar, yazıcı ve çeşitli ekipmanlar) elektrik tüketim değerleri 4271 kWh olarak belirlenmiştir. Alkan vd [77] farklı değerlerde elektrik enerjisine göre bir evin elektrik ihtiyacını karşılayacak PV sistem çalışmalarını gerçekleştirdikleri çalışmalarında, panel sayısının günlük enerji ihtiyacına ve güneşlenme süresine göre belirlenmesi gerektiğini vurgulamış ve hesaplamalarında günlük elektrik enerjisi kullanımını esas almıştır. PV panel tasarımı yapılırken referans binanın günlük enerji tüketimi olan 11,7 kWh/gün değeri esas alınmıştır. Binada 200 W gücünde olan "Topray Solar" markalı PV güneş panellerinin kullanılması tasarlanmıştır. Seçilen güneş panelinin standart koşullardaki gücü P_{pv} = 200 W (1000 W/m^2 ışınım şiddetinde, 25^{o}C sıcaklığında), panelin alanı A_{pv} = 1, 279 m^2 ve panelin verimi ise %15,6'dır [78].

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine göre Malatya ilinin ortalama global radyasyon miktarı 4,3825 kWh/m^2-gün, global güneşleme süresi 7,874 saattir [24]. Buna göre saatlik ortalama radyasyon miktarı 556,6 W/m^2 dir. Yıl boyu çalışacak toplayıcıların optimum açısı şu eşitlik ile bulunmaktadır [72]:

$$Optimum\ Toplayici\ Açisi = İlin\ Enlemi\ x\ 0.9 \tag{4.16}$$

Malatya ili 38,14 derece enleminde bulunmaktadır. PV panellerinin optimum açısı,

$$Malatya\ İli\ PV\ Panel\ Optimum\ Acisi = 38{,}14\ x\ 0{,}9 = 34{,}326^{o}$$

olarak bulunmuştur. Bir panelin günlük üretebileceği elektrik enerji miktarı,

$$Bir\ Panelin\ Ürettiği\ Günlük\ Elektrik = Günlük\ Radyasyon\ x\ Panel\ Alanı\ x\ Panel\ Verimi \quad (4.17)$$

eşitliği ile bulunmaktadır. Referans binada kullanılacak olan Topray Solar markalı panelin Malatya ili koşullarında üretebileceği günlük elektrik miktarı,

$$Topray\ Solar\ Malatya\ Günlük\ Üretim = 4{,}3825 \text{ x } 1{,}279\ x\ 0{,}156 = 0{,}8745\ kWh/gün$$

olarak bulunmuştur. Binada kullanılacak olan PV panellerin sayısı aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır:

$$Panel\ Sayisi = \frac{Elektrik\ İhtiyacı}{Bir\ Panelin\ Ürettigi\ Elektrik} \quad (4.18)$$

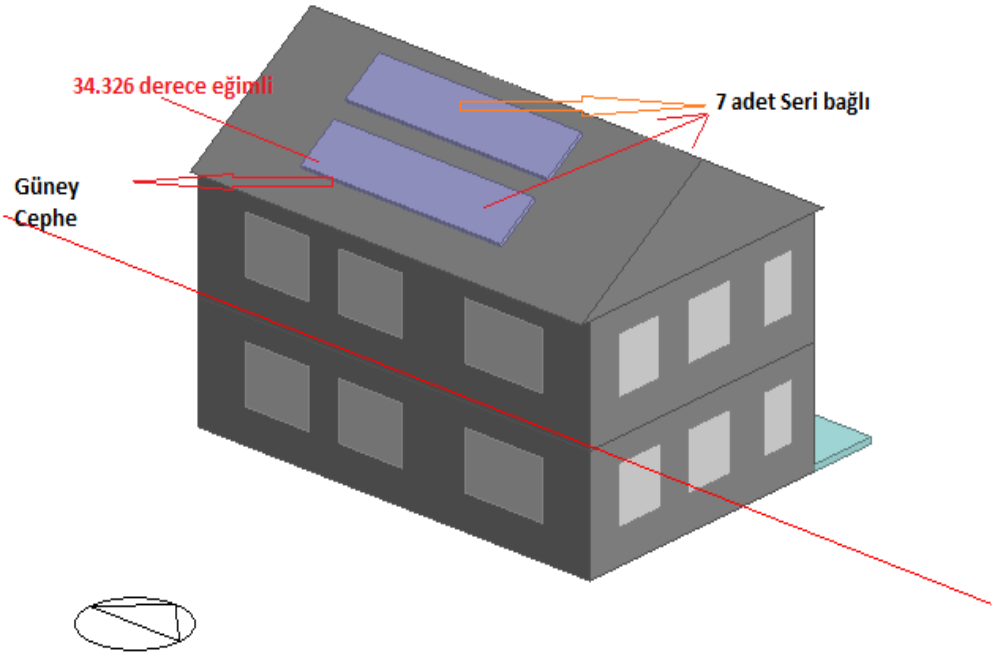
Referans binanın elektrik ihtiyacını karşılayacak panel sayısı,

$$Panel\ Sayisi = \frac{11{,}7}{0{,}8745} = 13{,}3790 \cong 14$$

14 adet olarak bulunmuştur.

Panel sayısı belirlendikten sonra Topray Solar markalı güneş panelinin tüm teknik verileri DesignBuilder programına tanıtılmıştır. DesignBuilder programında 14 adet panelle elektrik üretim çevrimi oluşturulmuş ve inverter verimi 0,98 alınarak simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon neticesinde panellerin ürettiği toplam elektrik, inverterde olan kayıplar, şebekeden alınan ve satılan elektrik değerleri, referans binanın CO_2 üretim değerlerindeki azalmalar belirlenmiştir. Binanın çatısının güney cephesine 34,326^{o}'lik açıyla yerleştirilen PV panelleri şekil 4.20'de verilmektedir.



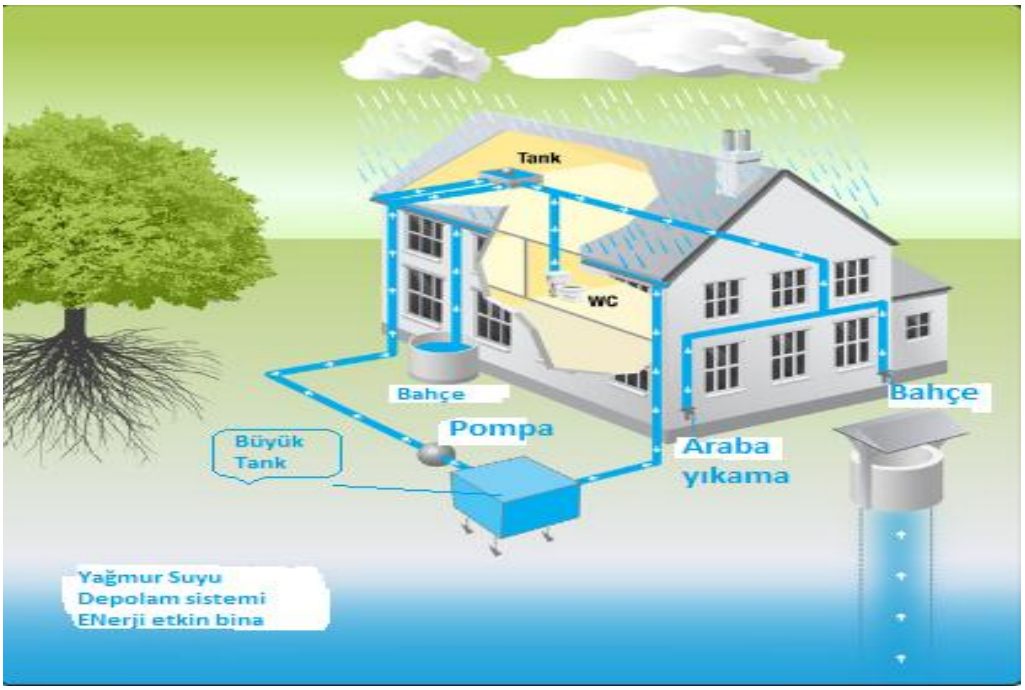
Şekil 4.20. PV panellerin çatıya konumlandırılması

4.2.8. Yağmur suyu depolama sistemi tasarımı

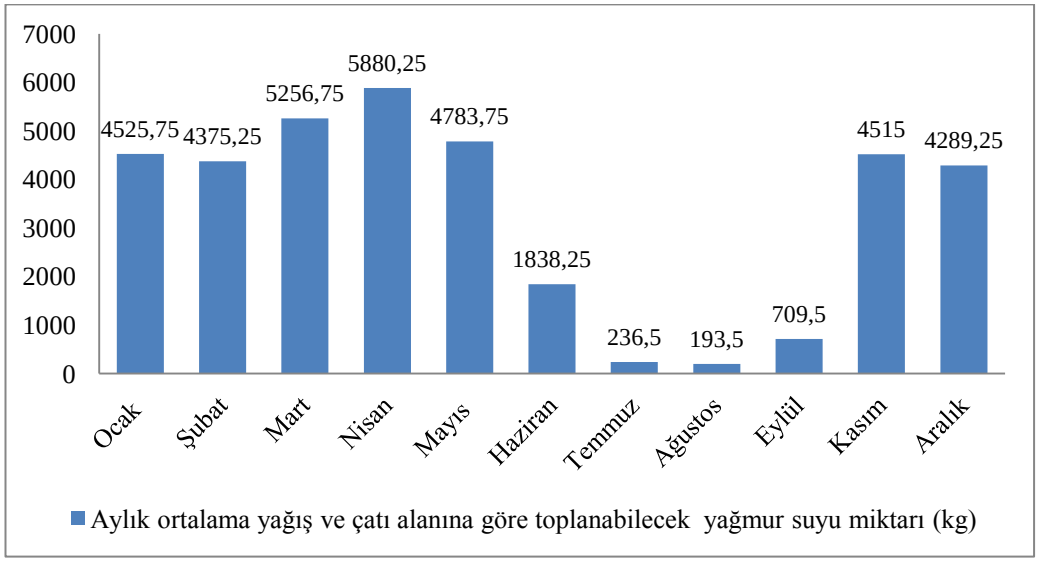
Yeşil evlerin temel kriterlerinden birisi de su verimliliği sağlanmasıdır. Su verimliliği sağlanmasına yönelik sistemlerden biri de yağmur sularının filtrelerden geçirilerek temizlenmesi ve depolanması daha sonra tuvalet, banyo ve bahçe sulamasında kullanılmasıdır (Şekil 4.21). Böylece önemli ölçüde su tasarrufu sağlanmaktadır.

Referans binanın 2 adet tuvaletinin ve bahçesinin su gereksiniminin temiz su yerine yağmur suyu depolama sisteminden karşılanması tasarlanmıştır. Malatya Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre ilde yılda ortalama 376,4 kg/m^2 yağış olmaktadır [60].

Tasarlanan referans binanın çatısının yatay alanı 107,5 m$^{2'}$dir. Şekil 4.22'de, çatının yatay alanı ve Malatya ilinin aylık yağış miktarına göre toplanabilecek yağmur suyu miktarı verilmektedir [60]. Buna göre referans binada yataydaki çatı alanı ve ilin yağış miktarına göre yıllık 40463 litre su toplanabileceği görülmektedir.



Şekil 4.21. Yağmur suyu depolama ve dağıtım sistemi örneği [79]



Şekil 4.22. Çatı yatay alanı ve ilin yağış miktarına göre toplanabilecek yağmur suyu

Referans binada ortalama 5 kişinin çalışacağı tasarlanmıştır. Kişilerin tuvaleti günde 3 kez kullanıldığı kabulü yapılmıştır [80]. Tuvaletlerin rezervuar kapasiteleri 6-9 litre arasında değişmektedir. Referans binada kullanılan tuvalet rezervuarların kapasitesi 6 litre olarak alınmıştır. Bina, tatil günleri ve pazar günleri çıkarıldığında yılda 300 gün kullanılmaktadır. Bu verilerle tuvalet için günlük gerekli su ihtiyacı;

6 litre x 3 (kullanım) x 5 (kişi) = 90 litre/gün

olarak belirlenmiştir. Binanın çevresinde peyzaj çalışması olarak Yeşil Binaların ölçütü gereği az su gerektiren bitkilerin ekilmesi tasarlanmıştır. Bu bitkilere bina kullanım sırasında günlük 15 litre su verilmesi yeterli görülmüştür. Böylelikle binanın 2 tuvalet ve bahçe sulama gereksinimi 105 litre/gün olarak belirlenmiştir. Yıl boyu gerekli olan su miktarı ise;

105 litre/gün x 300 gün = 31500 litre

olarak belirlenmiştir. Bu miktar, yıllık maksimum olarak toplanabilen 40463 litreden az olduğundan binanın tuvalet ve bahçesi için gerekli suyu karşılamaktadır.

Gerekli tank hacmini belirlemede aylık m^2'ye düşen ortalama yağmur miktarı ölçüt alınmıştır. Binanın tuvalet rezervuarı ve bahçesi için su gereksinimi aylık ortalama 2625 litre olup, bu gereksinim yaz aylarının dışında fazlasıyla sağlanabilmektedir (Şekil 4.22). Yaz aylarında da binanın su gereksinimi karşılayabilmek için en fazla yağışların olduğu ilkbahar aylarındaki yağmur suyunun depolanması gerekmektedir. Binada yağmur suyunun depolanacağı 10000 litrelik bir su tankının gerekli ihtiyacı karşılayacağı belirlenmiştir. Ayrıca, çatıya 200 litrelik bir su tankı konularak bağlantıları tuvalet rezervuarlarına ve bahçeye verilecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4.21). Çatıda bulunan tankta su bittiğinde otomasyon sistemi pompayı çalıştırarak büyük tanktan çatıdaki tanka su ikmali yapmaktadır, tank dolum noktasına ya da belirlenen set değerine ulaştığında sensörler aracılığıyla pompanın çalışması durmaktadır.

4.2.9. Ekonomik Analiz

Basit geri ödeme süresi aşağıda belirtilen eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$Geri\,ödeme\,süresi = \frac{İlk\ \ Yatirim\ \ Maliyeti}{Yillik\ \ Tasarruflar} \tag{4.19}$$

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

İnönü Üniversitesinde "İnönü Enerji Etkin Binası" olarak isimlendirilen enerji etkin bir binanın tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan İnönü enerji etkin binası kullanım alanı 171,2 m^2 olan 2 katlı bir binadır. Giriş katında 2 adet laboratuvar, 1 adet teknik oda ve 2 WC'den oluşan tuvalet; 1. Katında ise 2 adet çalışma ofisi ve 1 adet kütüphane bulunmaktadır.

Tasarlanan referans binanın simülasyonu EnergyPlus v8.5 ile yapılarak binanın enerji tüketimi, iç ısı kazançları, ısı kayıpları, ısıtma yükü ve CO_2 üretimi hesaplanmıştır. Referans binada enerji tasarrufu sağlamak ve binanın enerji gereksinimini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılamak için,

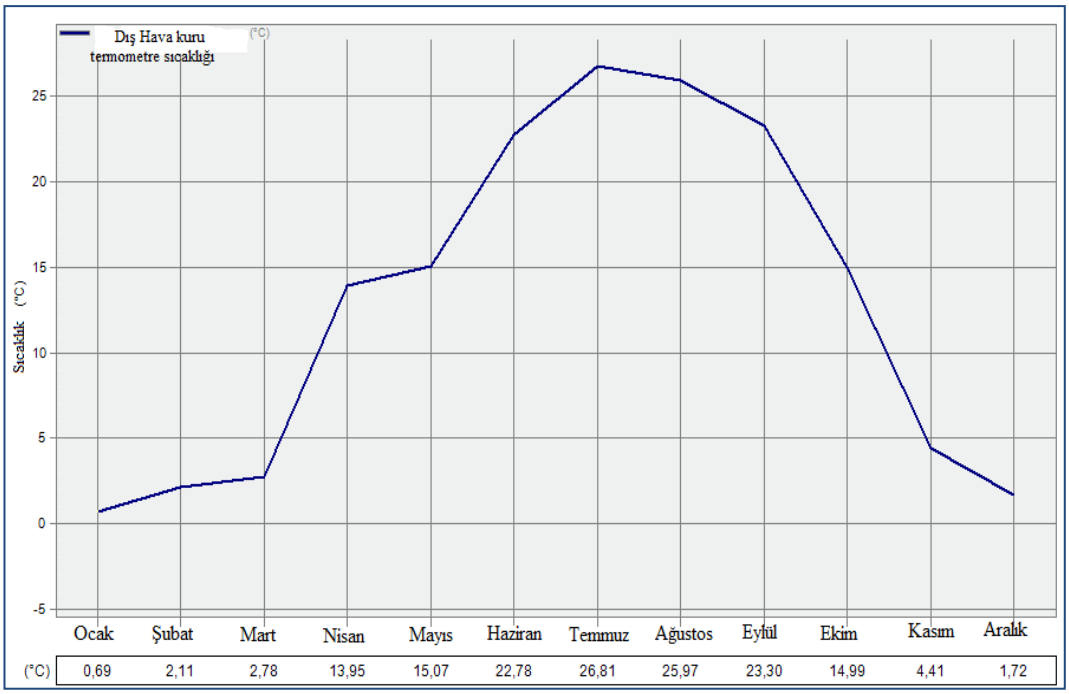
f) Bina dış kabuk iyileştirmesi tasarımı,
g) Isı pompası tasarımı,
h) Trombe duvarı tasarımı,
i) Fotovoltaik sistem tasarımı,
j) Yağmur suyu depolama sistemi tasarımı,

yapılmıştır.

5.1. Malatya İli İklimsel Karakteristikleri

Referans binanın bulunduğu 38°19'47,48" K 38°26'45,66" D koordinatları için atmosferik basınç, ortalama dış hava kuru termometre sıcaklığı, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönünün değişimi değerleri Malatya ili için ortalama iklimsel verilerin kayıtlı olduğu *".epw"* uzantılı iklimsel dataların DesignBuilder'a girilmesiyle elde edilmiştir. EnergyPlus'da hesaplamalar bu iklimsel veri değerleriyle yapılmış ve simülasyon sonuçları elde edilmiştir.

Şekil 5.1'de Malatya iline ait ortalama dış hava kuru termometre sıcaklık değerleri verilmektedir. Dış hava kuru termometre sıcaklığı kış aylarından temmuz ayına kadar artmakta bu ayda en yüksek değere ulaşmakta sonraki aylarda azalmaktadır. En düşük dış hava kuru termometre sıcaklığı ocak ayında 0,69^oC olarak, en yüksek dış hava kuru termometre sıcaklığı ise temmuz ayında 26,81^oC olarak gerçekleşmektedir.

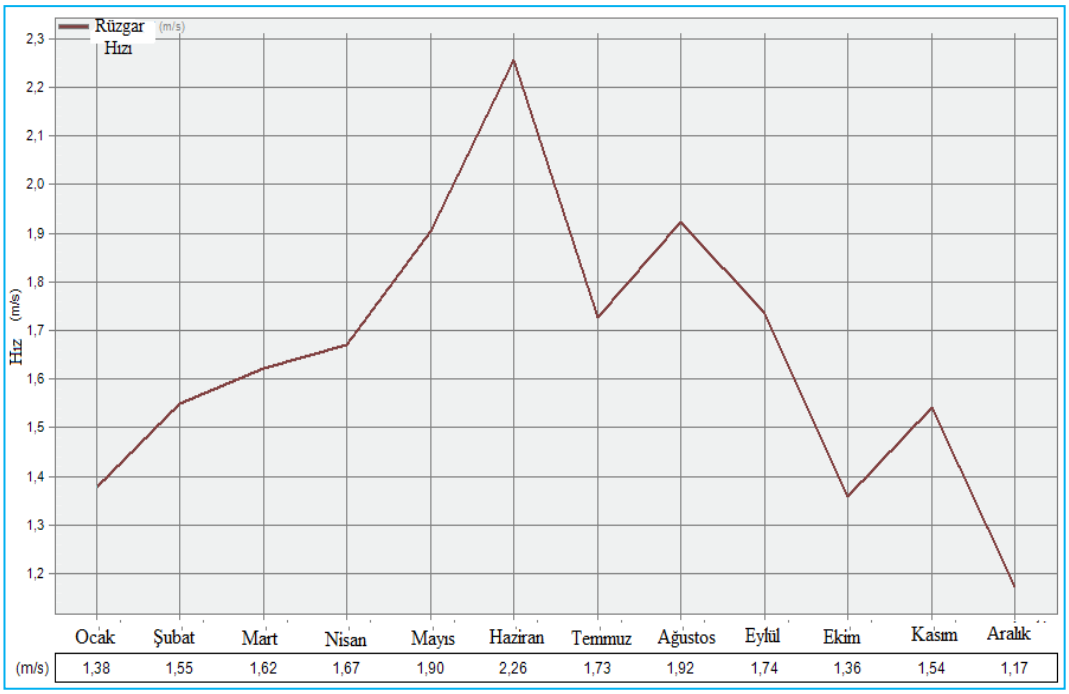


Şekil 5.1. Malatya ili aylık dış hava kuru termometre sıcaklığı

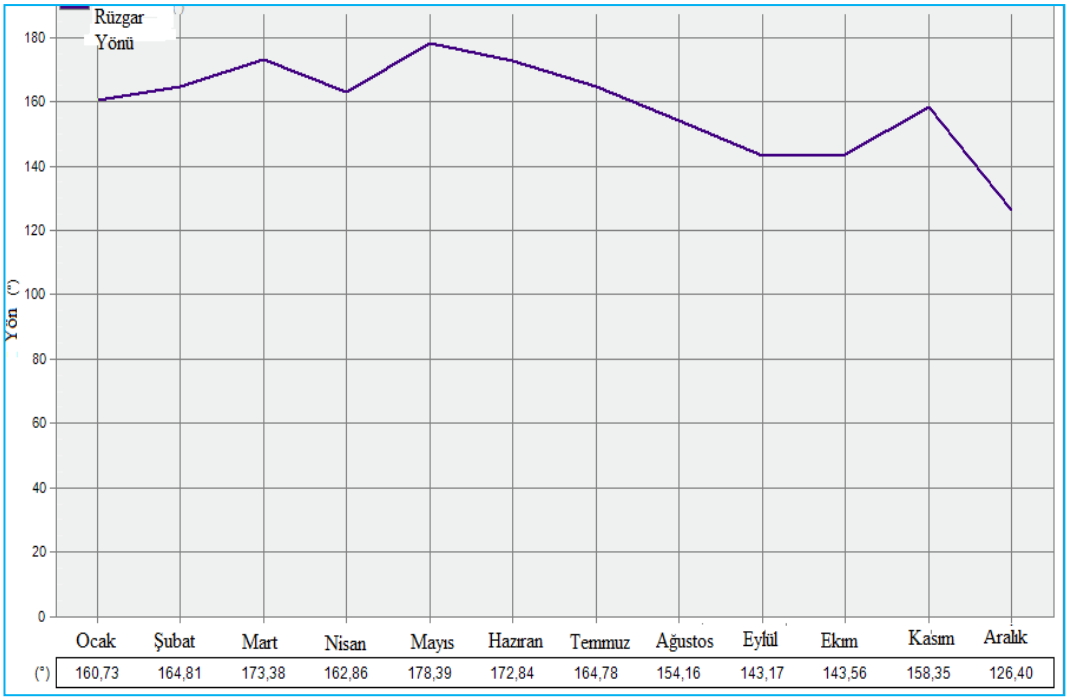
Şekil 5.2'de Malatya iline ait aylık ortalama rüzgâr hızı değerleri verilmektedir. Malatya'da oluşan rüzgârların genelde düşük hızlarda olduğu görülmektedir. İlde en düşük ortalama rüzgâr hızı aralık ayında 1,17 m/s olarak, en yüksek ortalama rüzgâr hızı ise haziran ayında 2,26 m/s olarak gerçekleşmektedir.

Şekil 5.3'de Malatya iline ait aylık ortalama rüzgâr yönleri verilmektedir. Aylık ortalama rüzgâr yön değerleri 126,40^{o} ile 178,39^{o} aralığında değişmekte ve kıble keşişleme rüzgârlarının genelde ilde hâkim rüzgâr olduğu görülmektedir.

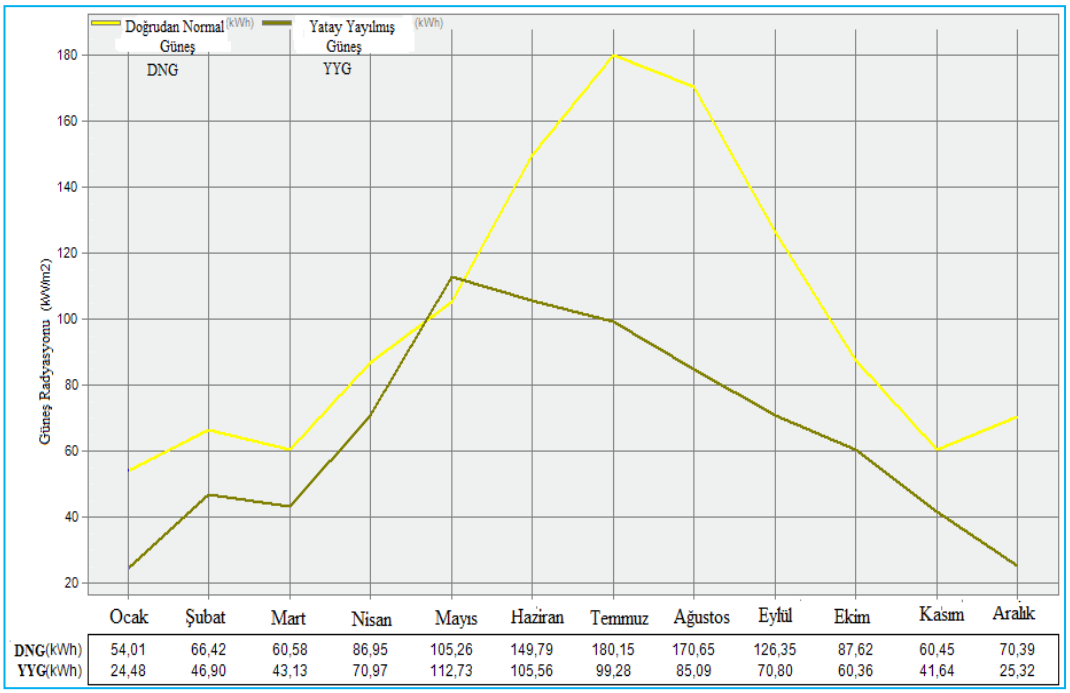
Şekil 5.4'de referans binaya gelen güneş enerjisi miktarının aylara göre değişimi verilmektedir. Güneş enerjisi miktarı doğrudan normal güneş ve yatay difüz güneş şeklinde olmaktadır. Doğrudan normal güneş miktarının en yüksek değeri temmuz ayında 180,15 kWh/m^2 olmakta, sonraki aylarda azalarak 54,01 kWh/m^2 olan en düşük değeri ocak ayında almaktadır. Yatay difüz güneş miktarı ise mayıs ayında en yüksek değeri 112,73 kWh/m^2 olarak almaktadır.



Şekil 5.2. Malatya ili aylık ortalama rüzgâr hızı değerleri



Şekil 5.3. Malatya ili aylık ortalama rüzgâr yönleri

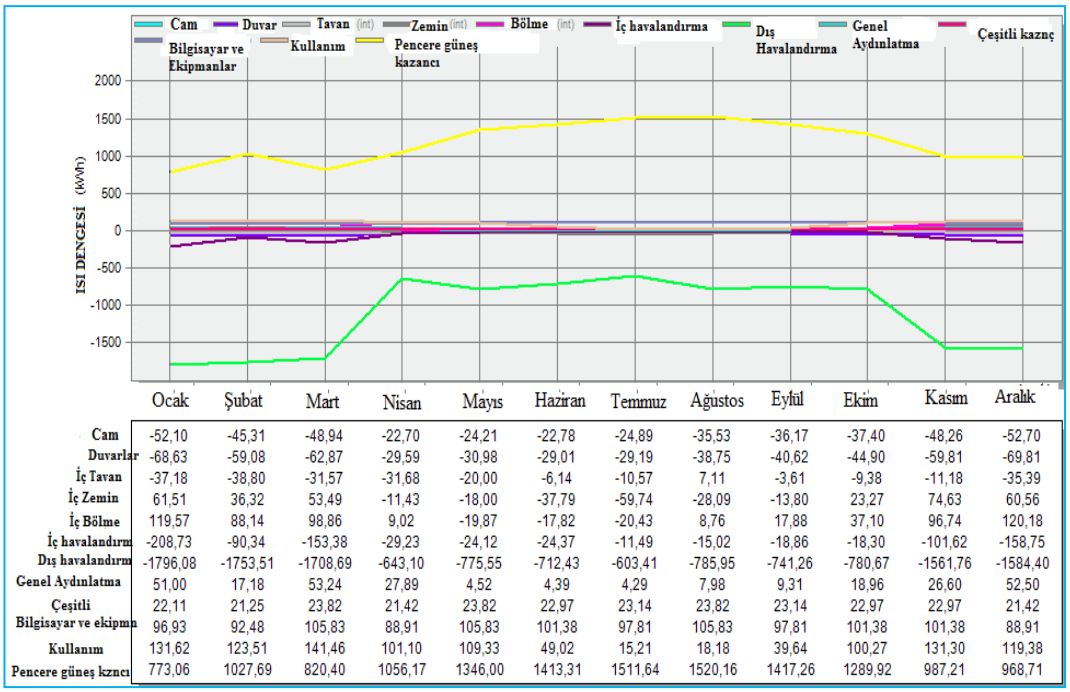


Şekil 5.4. Malatya iline ait aylık ortalama doğrudan normal güneş ve yatay difüz güneş miktarı

5.2. Referans Bina Simülasyon Sonuçları

DesignBuilder ısıtma dizaynını Malatya ili için 17-23 şubat günlerini ısıtma tasarım günleri alarak simülasyon yapmakta karşılaşması muhtemel en soğuk derece için mahallerin ve binanın ısıtma tasarım kapasitesini vermektedir. Benzer şekilde soğutma tasarımında 9-13 temmuz günlerini soğutma tasarım günleri alarak simülasyon yapmakta karşılaşması muhtemel en sıcak derece için mahallerin ve binanın soğutma tasarım değerlerini vermektedir.

Şekil 5.5'de binanın aylık ortalama ısı kayıpları ve ısı kazançları verilmektedir. Binada ısı kayıpları; dış havalandırma, iç havalandırma, camlardan, duvarlardan, tavandan olmaktadır. En fazla ısı kayıpları ocak ayında olmakta ve en yüksek değer olan -1796,08 kWh dış havalandırmadan kaynaklanmaktadır. Bina ısı kazançları; aydınlatma, insanlardan gelen iç kazançlar, bilgisayar ve ekipmanlar, çeşitli ekipmanlar ve dış pencerelerden gelen güneş ısısı kazançlarıdır. En fazla iç kazanç dış pencerelerden gelen güneş ısı kazancıdır. Güneş ısı kazancı 1520,16 kWh olarak maksimum değerine ağustos ayında ulaşmaktadır.



	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Cam	-52,10	-45,31	-48,94	-22,70	-24,21	-22,78	-24,89	-35,53	-36,17	-37,40	-48,26	-52,70
Duvarlar	-68,63	-59,08	-62,87	-29,59	-30,98	-29,01	-29,19	-38,75	-40,62	-44,90	-59,81	-69,81
İç Tavan	-37,18	-38,80	-31,57	-31,68	-20,00	-6,14	-10,57	7,11	-3,61	-9,38	-11,18	-35,39
İç Zemin	61,51	36,32	53,49	-11,43	-18,00	-37,79	-59,74	-28,09	-13,80	23,27	74,63	60,56
İç Bölme	119,57	88,14	98,86	9,02	-19,87	-17,82	-20,43	8,76	17,88	37,10	96,74	120,18
İç havalandırma	-208,73	-90,34	-153,38	-29,23	-24,12	-24,37	-11,49	-15,02	-18,86	-18,30	-101,62	-158,75
Dış havalandırma	-1796,08	-1753,51	-1708,69	-643,10	-775,55	-712,43	-603,41	-785,95	-741,26	-780,67	-1561,76	-1584,40
Genel Aydınlatma	51,00	17,18	53,24	27,89	4,52	4,39	4,29	7,98	9,31	18,96	26,60	52,50
Çeşitli	22,11	21,25	23,82	21,42	23,82	22,97	23,14	23,82	23,14	22,97	22,97	21,42
Bilgisayar ve ekipman	96,93	92,48	105,83	88,91	105,83	101,38	97,81	105,83	97,81	101,38	101,38	88,91
Kullanım	131,62	123,51	141,46	101,10	109,33	49,02	15,21	18,18	39,64	100,27	131,30	119,38
Pencere güneş kzncı	773,06	1027,69	820,40	1056,17	1346,00	1413,31	1511,64	1520,16	1417,26	1289,92	987,21	968,71

Şekil 5.5. Referans bina aylık ısı kayıpları ve kazançları

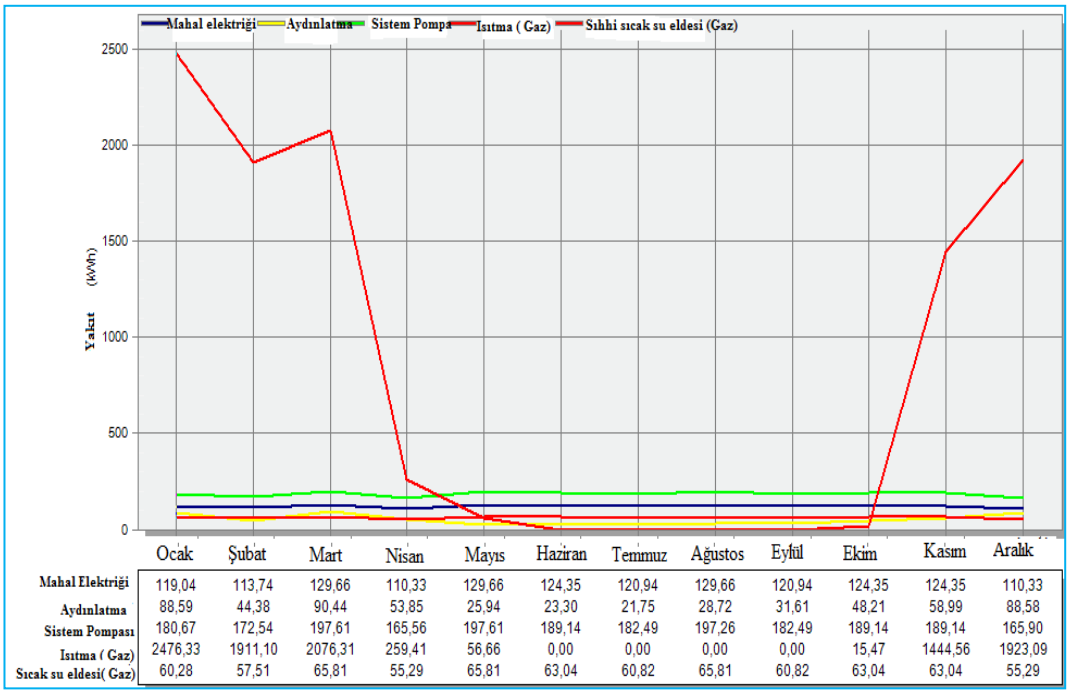
Tasarlanan binada soğutma öngörülmemiş doğal havalandırmaya yönelik (Trombe duvar, termal kuşağın alt kısmı) tasarımı yapılmıştır. Çizelge 5.1'de mahallerin ısıtma tasarım kapasiteleri verilmektedir. Referans binanın toplam ısıtma tasarım kapasitesi 10,02 kW olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.1. Mahallerin ısıtma tasarım kapasiteleri

Mahal	**Isıtma Tasarım Kapasitesi (kW)**
Çalışma Odası Doğu	1,95
Çalışma Odası Batı	1,83
Kütüphane	2,13
Güneş Enerjileri Laboratuvarı	2,09
Hibrid Enerjileri Laboratuvarı	2,02

Şekil 5.6'da binanın enerji tüketim değerleri aylık olarak verilmektedir. En fazla tüketimin mahallerin ısıtılmasında gerçekleştiği görülmektedir. Isıtma değerinin 2476,33 kWh olarak ocak ayında en yüksek değeri aldığı görülmektedir. Isıtma tüketiminden sonra enerji tüketiminin sıralamasının yüksekten düşüğe doğru sistem pompaları, mahal elektriği, aydınlatma ve sıhhi sıcak su olduğu görülmektedir. Isıtma için harcanan enerji, Nisan ve Mayıs ayında önemli oranda düşmekte; haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında sıfır olmakta; ekim ayında düşük değerde kasım

ve aralık aylarında ise yüksek değerde olmaktadır. Diğer tüketim değerleri aylara göre fazla bir değişim göstermemektir.



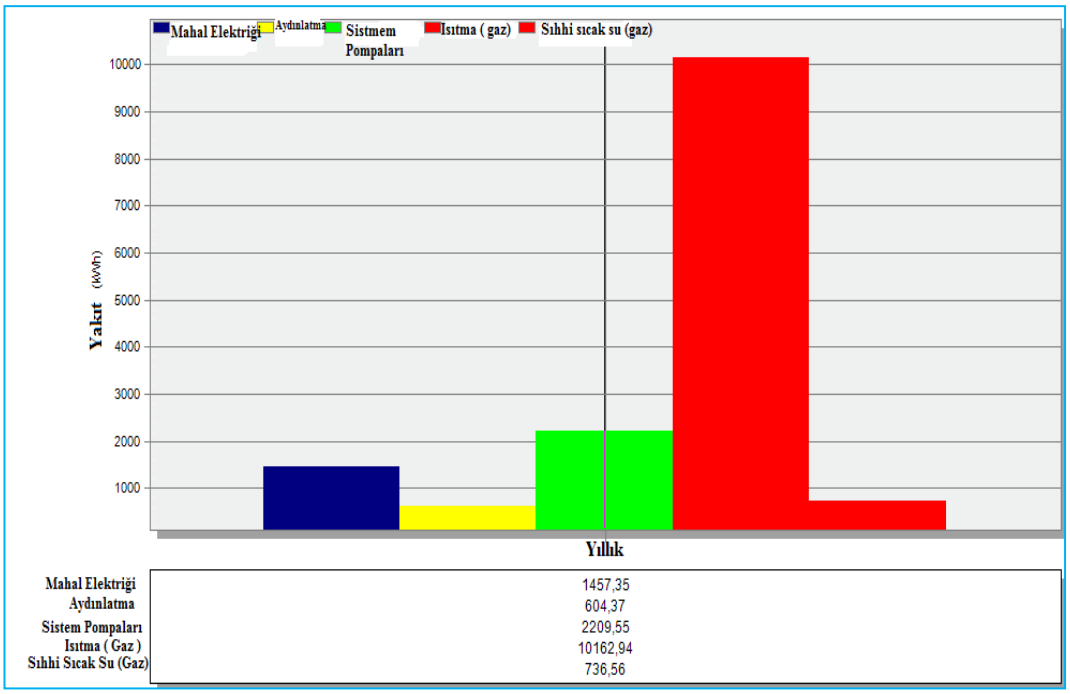
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Mahal Elektriği	119,04	113,74	129,66	110,33	129,66	124,35	120,94	129,66	120,94	124,35	124,35	110,33
Aydınlatma	88,59	44,38	90,44	53,85	25,94	23,30	21,75	28,72	31,61	48,21	58,99	88,58
Sistem Pompası	180,67	172,54	197,61	165,56	197,61	189,14	182,49	197,26	182,49	189,14	189,14	165,90
Isıtma (Gaz)	2476,33	1911,10	2076,31	259,41	56,66	0,00	0,00	0,00	0,00	15,47	1444,56	1923,09
Sıcak su eldesi(Gaz)	60,28	57,51	65,81	55,29	65,81	63,04	60,82	65,81	60,82	63,04	63,04	55,29

Şekil 5.6. Referans bina aylık enerji tüketim değerleri

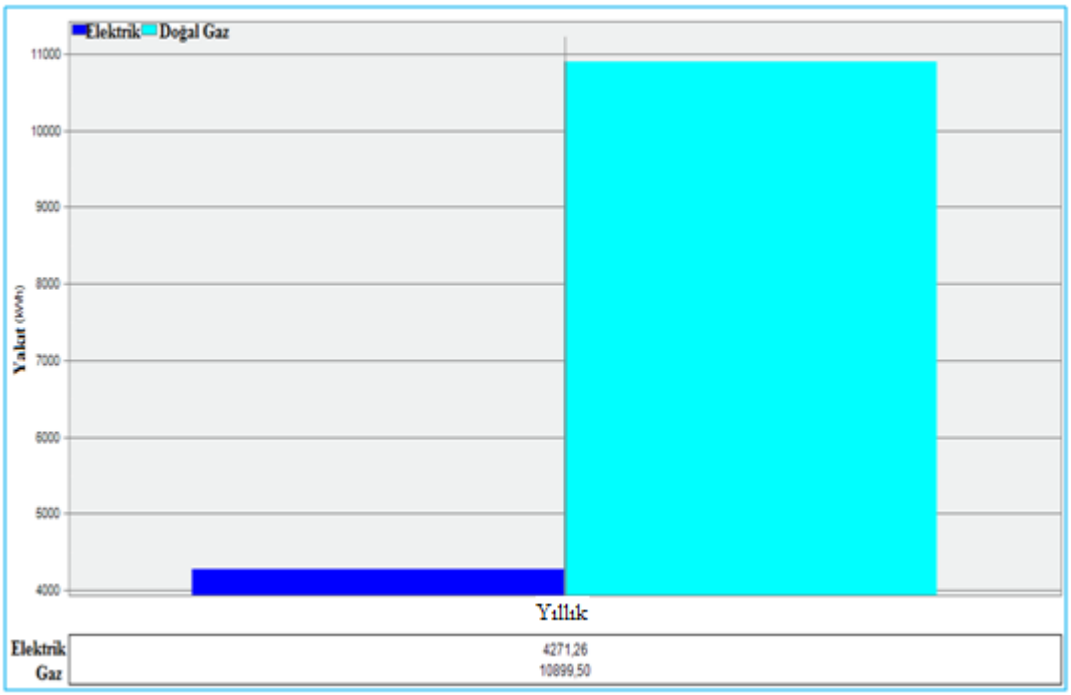
Şekil 5.7'de binanın yıllık enerji tüketim değerleri verilmektedir. En fazla tüketim değerleri sırasıyla; ısıtma için doğal gaz tüketimi 10162,94 kWh, sistem pompaları 2209,55 kWh, mahal elektriği 1457,35 kWh, sıhhi sıcak su eldesi için doğal gaz tüketimi 736,56 kWh ve aydınlatma elektriği 604,37 kWh olarak gerçekleşmektedir.

Şekil 5.8'de yıllık yakıt türlerine göre toplam tüketim değerleri verilmektedir. Referans binanın doğal gaz tüketimi (ısıtma + sıhhi sıcak su) 10899,50 kWh olarak, elektrik enerjisi tüketimi 4271,26 kWh olarak gerçekleşmiştir

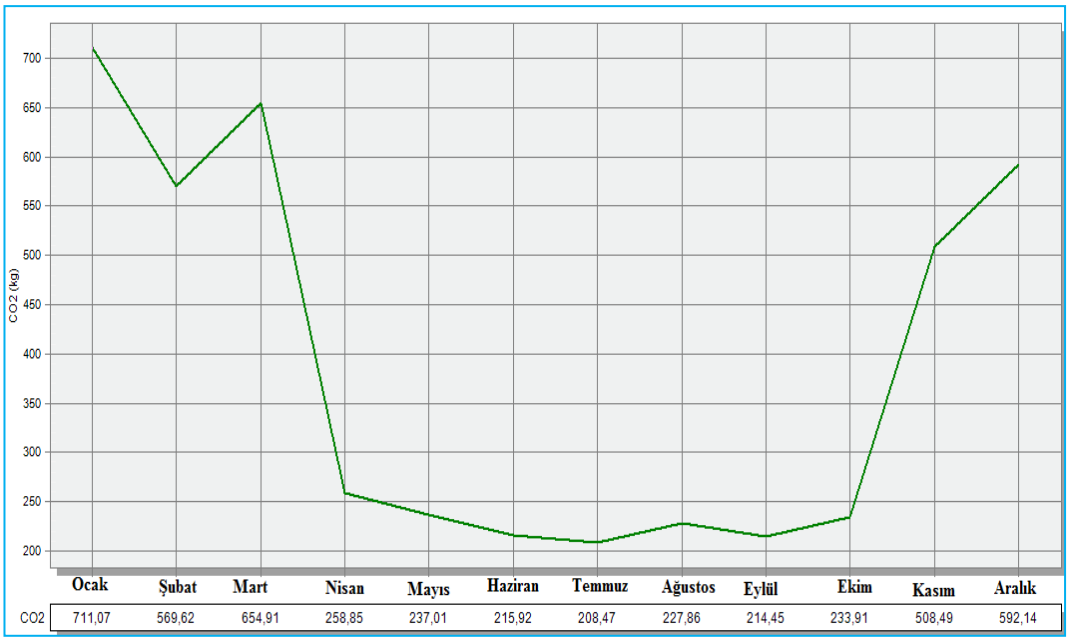
Şekil 5.9 referans binanın aylık ortalama CO_2 üretim miktarlarını göstermektedir. Üretilen değerlerin ısıtmanın ihtiyaç duyulduğu aylarda yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu aylarda doğal gaz tüketiminin yüksek olmasıdır. Yaz aylarında ise elektrik ve sıhhi sıcak su kullanımından kaynaklanan CO_2 üretimi olmaktadır. En yüksek üretim ocak ayında 711,07 kg olarak, en düşük tüketim temmuz ayında 208,47 kg olarak gerçekleşmektedir. Yıllık toplam üretim 4632,69 kg olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.7. Referans bina yıllık enerji tüketim değerleri



Şekil 5.8. Referans bina yıllık doğal gaz ve elektrik enerji tüketim değerleri



Şekil 5.9. Referans bina aylık ortalama CO_2 üretim miktarları

5.3. Bina Enerji Talebinin Azaltılması

Referans binanın enerji talebinin azaltılmasına yönelik olarak;

- ✓ Bina dış kabuk opak bileşenlerinin ısıl geçirgenlik değerlerinin azaltılması,
- ✓ Referans binadaki pencerenin yerine Pasif Ev kriterlerini sağlayan yeni bir pencere tasarımının kullanılması,
- ✓ Pasif Ev kriterlerini sağlayan hava sızdırmazlık değerini karşılayacak yeni bir tasarımın kullanılması,

alternatifleri incelenmiştir. Referans bina ile alternatif tasarımlar; bina ısıtma tasarım kapasitesi, enerji tüketimi ve CO_2 üretim karakteristikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Ayrıca maliyet analizi yapılarak ekonomik açıdan değerlendirilmiştir

5.3.1. Bina dış kabuk opak bileşenleri alternatifi

Referans binanın enerji talebinin azaltılmasına yönelik ilk önlem olarak bina dış kabuğunun ısıl geçirgenlik değerlerinin azaltılması durumu incelenmiştir. Yeni tasarım Pasif ev kriterlerini sağlayacak şekilde yapılmıştır. Pasif evlerde, tüm bina opak bileşenlerinin ısıl geçirgenlik değerinin $U \leq 15$ W/m^{2}K olması gerekmektedir. Ayrıca pasif evlerin, bina kabuğunda doğrusal ısı geçiş katsayısının $\psi \leq 0{,}01$ W/mK

olması gerekmektedir. Bu değerleri sağlarken de yapı malzemesinin yerelde temini kolay ve maliyetinin uygun olmasına dikkat edilmelidir.

Referans binanın çatı, taban ve dış duvarında pasif ev kriterlerini sağlayacak şekilde tasarım değişiklikleri yapılmıştır (çizelge 5.2). Dış duvarda; 2 bims duvar tuğlasının arasına yalıtım malzemesi konulmuş ve tekrar yalıtım malzemesiyle dıştan mantolama yapılarak ısı köprülerinin oluşumu önlenmiştir. Bina ısı köprülerinin oluşmadığı kabul edilmiştir.

Çizelge 5.3'de referans bina ve alternatif tasarımın simülasyon sonuçları verilmektedir. Referans binaya göre alternatif tasarımda ısıtma tasarım kapasitesi %24,75, ısıtma doğal gaz tüketimi %16,66, elektrik tüketimi %8,34, CO_2 üretimi %14,04 oranında azalmıştır. Elektrik enerjisindeki azalma, bina duvar kalınlığının artması sonucu kullanım alanında meydana gelen azalmadan kaynaklanmaktadır. Bina kullanım alanında oluşan azalma m^2 başına olan aydınlatma ve pompa gereksinimini azaltmaktadır.

Çizelge 5.2. Pasif ev kriterlerini sağlayan alternatif dış kabuk opak bileşenleri

	Dış Duvar		**Taban**		**Çatı**	
	Malzemeler (Dıştan-içe)	**Yapı Elemanı Kalınlığı (m)**	**Malzemeler (Dıştan-içe)**	**Yapı Elemanı Kalınlığı (m)**	**Malzemeler (Dıştan-içe)**	**Yapı Elemanı Kalınlığı (m)**
Bina Opak Bileşeni	Anorganik Esaslı Hafif Agregalar	0,005	Kum, çakıl, kırma taş	0,1	Cam yünü	0,26
	EPS (0,10 m)	0,1	Donatısız	0,1	Donatılı	0,15
	Çimento Harcı	0,02	Polimer Bitüm	0,002	Alçı sıva	0,02
	Doğal Bims	0,15	Donatısız	0,3		
	EPS	0,15	Donatılı	0,6		
	Doğal Bims	0,15	Kum, çakıl	0,5		
	Kireçli alçı harcı	0,02	Donatısız	0,1		
			EPS	0,2		
			Çimento Harçlı şap	0,15		
			Yapay Taşlar	0,01		
U	0,121 W/m^2K		0,148 W/m^2K		0,149 W/m^2K	

Çizelge 5.3. Referans bina ve alternatif tasarım simülasyon sonuçları

	Birimi	**Referans Bina**	**Alternatif Tasarım**
Isıtma Tasarım Kapasitesi	kW	10,02	7,54
Elektrik Tüketimi	kWh	4271,27	3915,18
Isıtma Doğal Gaz Tüketimi	kWh	10162,94	8469,58
Sıcak Su Eldesi Doğalgaz Tüketimi	kWh	736,56	736,56
CO_2 Üretimi	kg	4634,69	3984

Çizelge 5.4'de referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim değerleri ve maliyeti, çizelge 5.5'de referans bina ve alternatif tasarımın inşaat kalemi toplam yaklaşık maliyeti verilmektedir. İnşaat maliyet hesaplamalarının ayrıntıları Ek-5'de verilmiştir. Alternatif tasarımda referans binaya göre doğalgaz tüketiminde 1693,36 kWh, elektrik tüketiminde 356,09 kWh azalma olmaktadır. Böylece yıllık enerji tüketiminde toplam 348,88 TL kazanç olmaktadır. Ayrıca ısıtmada, radyatör metre değeri azaldığından 327 TL tasarruf olmaktadır. Alternatif tasarımın referans binaya göre 28670,30 TL ilave maliyeti olmakta ve yıllık 348,88 TL enerji tüketiminde tasarruf olmaktadır. İlave maliyet ve tasarruf miktarına göre basit geri ödeme süresi ise 82,18 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, bu değişikliklerin yapılmasının günümüz koşullarında ekonomik olmayacağını göstermektedir.

Çizelge 5.4. Referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim değerleri ve maliyeti

	Birimi	**Referans Bina**	**Alternatif Tasarım**
Isıtma Doğal Gaz Tüketimi	kWh	10162,94	8469,58
Sıcak Su Eldesi Doğalgaz Tüketimi	kWh	736,56	736,56
Elektrik Tüketimi	kWh	4271,27	3915,18
Toplam Enerji Tüketim Maliyeti	TL	3111,82	2762,94
Not: Tüm vergiler dâhil doğalgazın kWh birim fiyatı 0,114 TL, elektriğin 0,43764 TL alınmıştır.			

Çizelge 5.5. Referans bina ve alternatif tasarım inşaat kalemi toplam yaklaşık maliyeti

	Toplam Maliyet (TL)
Referans Bina	117574,01
Alternatif Tasarım	146571,31
Maliyet Farkı	28997,30
Not: Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2017 yılı fiyatları alınmıştır. Burada bulunmayan fiyatlar piyasa araştırma sonucu elde edilmiştir.	

5.3.2. Bina pencere alternatifi

Referans binadaki pencerenin yerine pasif ev kriterlerini sağlayan yeni bir tasarım kullanılmıştır. Pasif evlerin gerekliliklerinden biri de iyi yalıtılmış çerçeveli, low-e sistemli ve camların arasındaki boşluklarda Argon veya Kripton gazı kullanılmış ısıl geçirgenliği 0,8 W/m^2K veya daha az olan pencerelerin kullanımıdır. Bunun yanı sıra camdaki toplam güneş iletiminin %50-55 civarlarında olması gerekmektedir. Bu kriterler doğrultusunda referans binadaki çift camlı low-e camlı

pencere yerine, üçlü cam ve ara boşluklarında Argon gazı bulunan ısıl geçirgenliği 0,78 W/m^{2}K olan pencere kullanılmıştır (çizelge 5.6). Kullanılan pencerenin camındaki toplam güneş geçirimi %47'dir.

Çizelge 5.6. Referans bina ve Pasif ev pencere kriterlerine uygun hale getirilen binaya ait pencerelerin teknik özellikleri

Pencere bileşenleri / Bina	**Cam tipi U değeri**	**Cam Boşluğundaki Gaz**	**Kaplama U Değeri**	**Toplam Güneş Geçirgenliği**
Referans Bina	İkili Düşük-e 3/13 1,798 W/m^{2}K	Hava	PVC 3,476 W/m^{2}K	%60
Alternatif Tasarım	Üçlü Düşük-e 3/13 0,786 W/m^{2}K	Argon	PVC 3,476 W/m^{2}K	%47

Çizelge 5.7'de referans bina ve alternatif tasarımın simülasyon sonuçları verilmektedir. Referans binaya göre alternatif tasarımda ısıtma tasarım kapasitesi %11,68, ısıtma doğal gaz tüketimi %5, CO_2 üretimi %2,26 oranında azalmıştır.

Çizelge 5.7. Referans bina ve alternatif tasarımın simülasyon sonuçları

	Birimi	**Referans Bina**	**Alternatif Tasarım**
Isıtma tasarım kapasitesi	kW	10,02	8,85
Elektrik Tüketimi	kWh	4271,27	4271,27
Isıtma Doğal gaz Tüketimi	kWh	10162,94	9655
Sıcak su eldesi Doğalgaz Tüketimi	kWh	736,56	736,56
CO_2 Üretimi	kg	4634,69	4530,05

Çizelge 5.8'de referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim değerleri ve maliyeti, çizelge 5.9'da referans bina ve alternatif tasarımın pencere yaklaşık maliyetleri verilmektedir. Referans binadaki pencere tasarım değişikliğiyle pasif ev pencere kriterlerine getirilen binada mahallerin ısıtılmasında referans binaya göre 507,94 kWh doğalgaz tüketimi azalmakta ve yıllık enerji tüketiminde toplam 57,906 TL kazanç olmaktadır. Ayrıca ısıtma tasarım kapasitesinin azalmasından dolayı 154 TL radyatörlerden tasarruf olmaktadır Böylece toplam ek ilave maliyet 5627,05 TL olmaktadır. İlave maliyet ve tasarruf miktarına göre basit geri ödeme süresi ise 97,18 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, bu değişikliklerin yapılmasının günümüz koşullarında ekonomik olmayacağını göstermektedir.

Çizelge 5.8. Referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim değerleri ve maliyeti

	Birimi	Referans Bina	Alternatif Tasarım
Isıtma Doğal Gaz Tüketimi	kWh	10162,94	9655
Sıcak Su Eldesi Doğalgaz Tüketimi	kWh	736,56	736,56
Elektrik Tüketimi	kWh	4271,27	4271,27
Toplam Enerji Tüketim Maliyeti	TL	3111,82	3053,92
Not: Tüm vergiler dâhil doğalgazın kWh birim fiyatı 0,114 TL, elektriğin 0,43764 TL alınmıştır.			

Çizelge 5.9. Referans bina ve alternatif bina pencere yaklaşık maliyetleri

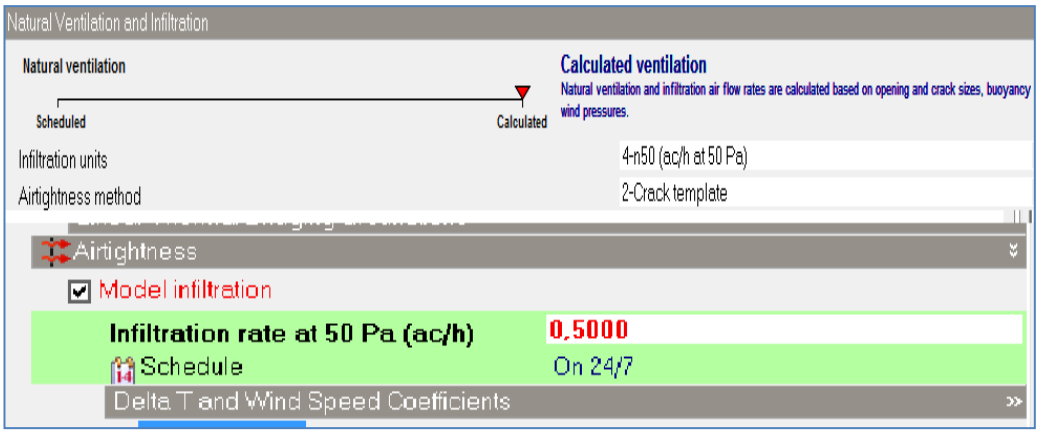
	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Metrajı	Maliyet Tutarı (TL)
Referans bina Pencere	m^2	123,5	45,7	5643,95
Alternatif Tasarım Pencere	m^2	250	45,7	11425
Maliyet Farkı	TL	**5781,05**		
Not: Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2017 yılı fiyatları alınmıştır. Burada bulunmayan fiyatlar piyasa araştırma sonucu elde edilmiştir.				

5.3.3. Hava sızdırmazlık alternatifi

Binada enerji kayıplarından birisi de yapıda oluşan çatlaklardan, pencere birleşim noktalarından, kapılardan, tesisat birleşim noktalarından vb. sızan havadır (Şekil 3.13). Hava sızıntıları, yapıda %20-%50 ısı enerji kaybına neden olmaktadır. Binalar inşa edilirken hava sızıntılarına önlem alınması gerekmektedir. Örneğin, bir yalıtım malzemesi iyi ısı geçirgenliğine sahip iken hava geçişleri olabilmektedir. Hava sızıntılarının önlenmesi için alüminyum, yapıştırıcılar ve köpük gibi malzemeler kullanılmaktadır. Hava sızdırmazlık önlemlerinin dış duvardan sonra yapılması önerilir.

Referans binada hava sızdırmazlık değeri olarak 50 Pa altında TSE 825 standardına göre orta düzeyde olan 5 h^{-1} değeri alınmıştır. Pasif evlerde 50 Pa altında hava sızdırmazlık değerinin 0,6 h^{-1} altında olması gereklidir. Referans binada hava sızdırmazlık, 5 h^{-1} tasarım değeri yerine 0,5 h^{-1} değeri alınarak simülasyon yapılmıştır. Şekil 5.10'da hava sızdırmazlık değerinin DesignBuilder'da ayarlanması verilmektedir.

Çizelge 5.10'da referans bina ve alternatif tasarımın hava sızdırmazlık simülasyon sonuçları verilmektedir. Referans binaya göre pasif ev standartlarına uygun hava sızdırmazlık değerine sahip olan alternatif tasarımda ısıtma tasarım kapasitesi %14,47, ısıtma doğal gaz tüketimi %9,65, CO_2 üretimi %4,36 oranında azalmıştır.



Şekil 5.10. Bina hava sızdırmazlık değerinin 0,5 h^{-1} olarak ayarlanması

Yapıda 25 adet hava sızdırmazlık macunu ve 25 adet poliüretan köpük malzemesinin kullanılmasının duvarda, pencerelerde, kapı ve çatılarda oluşan hava sızıntılarını önleyeceği ve istenilen 0,5 h^{-1} değeri sağlayacağı kabulü yapılmıştır [81]. Çizelge 5.11'de referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim değerleri ve maliyeti, çizelge 5.12'de hava sızdırmazlık alternatifinin yaklaşık maliyet hesabı verilmektedir. Binada ısıtma yükünün azalmasından dolayı 192 TL panel radyatör kullanımında tasarruf sağlanmıştır. Böylece toplam ek ilave maliyet 1082 TL olmaktadır. Ayrıca ısıtmada doğalgaz enerji tüketiminde 980,724 kWh azalma olmakta ve yıllık enerji tüketiminde toplamda 111,803 TL kazanç sağlanmaktadır. İlave maliyet ve tasarruf miktarına göre basit geri ödeme süresi ise 9,68 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, bu değişikliklerin yapılmasının günümüzde ekonomik olacağını göstermektedir

Çizelge 5.10. Referans bina ve alternatif tasarımın simülasyon sonuçları

	Birimi	**Referans Bina**	**Alternatif Tasarım**
Isıtma tasarım kapasitesi	kW	10,02	8,57
Elektrik Tüketimi	kWh	4271,27	4271,27
Isıtma Doğal gaz Tüketimi	kWh	10162,94	9182,216
Sıcak su eldesi Doğalgaz Tüketimi	kWh	736,56	736,56
CO_2 Üretimi	kg	4634,69	4432,66

Çizelge 5.11. Referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim değerleri

	Birimi	**Referans Bina**	**Alternatif Tasarım**
Isıtma Doğal Gaz Tüketimi	kWh	10162,94	9182,216
Sıcak Su Eldesi Doğalgaz Tüketimi	kWh	736,56	736,56
Elektrik Tüketimi	kWh	4271,27	4271,27
Toplam Enerji Tüketim Maliyeti	TL	3111,82	3000,02
Not: Tüm vergiler dâhil doğalgazın kWh birim fiyatı 0,114 TL, elektriğin 0,43764 TL alınmıştır.			

Çizelge 5.12. Hava sızdırmazlık alternatifinin yaklaşık maliyeti

	Birimi	Birim Fiyatı TL	Metrajı	Maliyet Tutarı TL
Referans bina	-	-	-	-
Alternatif Tasarım Hava Sızdırmazlık Tremco illbruck SP925 Airseal 600 ml	Ad.	41,81	25	1045,25
Alternatif Tasarım Hava Sızdırmazlık Ceresit Poliüratan köpük 650 gr	Ad.	9,15	25	228,75
Maliyet Farkı	TL	**1274**		
Not: Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2017 yılı fiyatları alınmıştır. Burada bulunmayan fiyatlar piyasa araştırma sonucu elde edilmiştir.				

5.4. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması

Referans binanın enerji talebinin azaltılmasına yönelik olarak,

- ✓ Binada mahallerin ısıtılması ve sıhhi sıcak su gereksinimin ısı pompası ile sağlanması,
- ✓ Referans binada Güneş Enerjisi Laboratuvarı olarak kullanılan mahallin güney cephesinde pencerenin yerine Trombe duvar kullanılması,
- ✓ Binanın elektrik ihtiyacının fotovoltatik paneller ile karşılanması,
- ✓ Binada elektrik ihtiyacının rüzgâr türbinleri ile karşılanması,

alternatifleri incelenmiştir. Referans bina ile alternatif tasarımlar; bina ısıtma tasarım kapasitesi, enerji tüketimi ve CO_2 üretim karakteristikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Ayrıca maliyet analizi yapılarak ekonomik açıdan değerlendirilmiştir.

5.4.1. Isı pompası alternatifi

Referans binada, mahallerin ısıtılması ve sıhhi sıcak su ihtiyacı kombi ile karşılanmaktadır. Bu gereksinimleri karşılamak için kombi yerine toprak kaynaklı ısı pompasının kullanılması incelenmiştir. Bu durum ısı pompası alternatifi olarak adlandırılmış ve EnergyPlus v8.5 programında simülasyon yapılmıştır.

Isı pompasında ve toprak ısı değiştirici hesaplamalarında sistemin karşılaşabileceği en yüksek değerler için tasarım yapılmıştır. Bu tasarımda ısı pompasının, antifriz suyu giriş sıcaklığı 0^oC, ısıtma suyu çıkış sıcaklığı 45^oC değerleri için (B0/W45 çalışma koşulları) 3,5 olan COP değeri alınmıştır. Ancak yıllık enerji tüketiminin belirlenmesinde ve maliyet hesaplamalarında ısı pompasının

etkinlik katsayısının 3,5 alınması hatalı olacaktır. Çünkü yıl boyunca binanın ısıtma yükü değişken olacağından ısı pompasının da etkinlik katsayısı (COP) değeri değişken olacaktır. Hesaplamalarda, yıllık ortalama en düşük toprak sıcaklığı 9,7^{o}C olduğundan ısı pompasının ortalama 10^{o}C antifriz suyu giriş sıcaklığı ve ısıtma suyu çıkış sıcaklığı 45^{o}C değerlerinde COP değeri olan 3,9 olan B10/W45 çalışma koşullarındaki enerji tüketim değerleri alınmıştır.

Çizelge 5.13'de ısı pompası kullanılması durumunda referans bina ve alternatif tasarımın karşılaştırılması verilmektedir. Mahallerin ısıtma ve sıhhi sıcak su gereksinimlerinin ısı pompası ile karşılanması durumunda doğalgaz tüketimi sıfır olmaktadır. Elektrik enerjisi tüketimi, referans binaya göre %60,32 artarak toplamda 6847,60 kWh olarak gerçekleşmektedir. Elektrik tüketimindeki artış, ısı pompasının kompresörünün çalışması için tüketilen elektrik enerjisinden kaynaklanmaktadır. CO_2 üretimi ise %10,47 oranında azalarak 4149,64 kg olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.13. Isı pompası kullanılması durumunda referans bina ve alternatif tasarımın karşılaştırılması

	Birimi	**Referans Bina**	**Alternatif Tasarım**
Isıtma tasarım kapasitesi	kW	10,02	10,02
Elektrik Tüketimi	kWh	4271,27	6847,60
Isıtma Doğalgaz Tüketimi	kWh	10162,94	0
Sıcak Su Eldesi Doğalgaz Tüketimi	kWh	736,56	0
CO_2 Üretimi	kg	4634,69	4149,64

Çizelge 5.14'de ısı pompası kullanılması durumunda referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim maliyetlerinin karşılaştırılması verilmektedir. Alternatif tasarımda enerji tüketiminde referans binaya göre yıllık 115,04 TL tasarruf olmaktadır.

Çizelge 5.15'de kombi ile mahallerin ısıtılması ve sıcak su eldesi, çizelge 5.16'da ısı pompası ile mahallerin ısıtılması ve sıcak su eldesi durumları için yaklaşık toplam ilk yatırım maliyet hesabı verilmektedir. Isı pompası alternatifinde referans binaya göre 31623,05 - 5529,55 = 26093,5 TL tutarında ek maliyet olmaktadır. İlave maliyet ve tasarruf miktarına göre basit geri ödeme süresi ise 226,82 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, bu değişikliklerin yapılmasının günümüz koşullarında ekonomik olmayacağını göstermektedir.

Çizelge 5.14. Isı pompası kullanılması durumunda referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim maliyetlerinin karşılaştırılması

	Birimi	Referans Bina	Alternatif Tasarım
Isıtma Doğal Gaz Tüketimi	kWh	10162,94	0
Sıcak Su Eldesi Doğalgaz Tüketimi	kWh	736,56	0
Elektrik Tüketimi	kWh	4271,27	6847,60
Toplam Enerji Tüketim Maliyeti	TL	3111,82	2996,784
Not: Tüm vergiler dâhil doğalgazın kWh birim fiyatı 0,114 TL, elektriğin 0,43764 TL alınmıştır.			

Çizelge 5.15. Kombi ile ısıtma ve sıcak su eldesi için yaklaşık maliyet

	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Metrajı	Maliyet Tutarı (TL)
Vaillant VUW 202-5 Turbotec Plus Kombi	ad	2120	1	2120
Panel Radyatör Tip 22 600	m	211	6,375	1345,25
Pexa Isıtma Borusu Bariyerli Boru 16x2	m	2,45	200	490
5 Çıkışlı Mini Vanalı Kolektör	ad	84,9	2	169,8
Termostatik Radyatör Vana	ad	51,45	5	257,25
Köşe Tipi Radyatör Musluğu	ad	21,85	5	109,25
Otomatik Hava Atma Cihazı (Flanşlı)	ad	63,9	1	63,9
Küresel Vana (Pislik Tutucu)	ad	7,6	1	7,6
Abonelik, Sayaç, Güvence Bedeli	ad	966,5	1	966,5
		Toplam		**5529,55**
Not: Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2017 yılı fiyatları alınmıştır. Burada bulunmayan fiyatlar piyasa araştırma sonucu elde edilmiştir.				

Çizelge 5.16. Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) ile ısıtma ve sıcak su eldesi için yaklaşık maliyet

	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Metrajı	Maliyet Tutarı (TL)
VaillantFlexoTherm ısı pompası	ad	25668,11	1	25668,11
Salamura su	m^3	3,39	289	979,8
PE-50 PE63 sınıfı SDR 11 PN10 (bina dışında toprağa döşenmesi montaj malzemesi bedeli dâhil)	m	5,45	20	109
5 çıkışlı mini vanalı kolektör	ad	84,9	4	339,6
PE-32 PE63 sınıfı SDR 11 PN10 (bina dışında toprağa döşenmesi montaj malzemesi bedeli dahil)	ad	2,7	500	1350
Makine ile yumuşak ve sert toprak kazılması ve dolgu (1,2 metre derinlik 400 m^2 kolektör alanı)	m^3	3,58	480	1718,4
PE-Xb yerden ısıtma borusu 16x2	m	1,42	917	1302,14
Genleşme tankı (24 lt)	ad	78	2	156
		Toplam		**31623,05**
Not: Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2017 yılı fiyatları alınmıştır. Burada bulunmayan fiyatlar piyasa araştırma sonucu elde edilmiştir.				

5.4.2. Trombe duvar alternatifi

Referans binanın Güneş Enerjisi Laboratuvarı'nın güney cephesine bakan duvarında pencere yerine Trombe duvar tasarımı yapılmış ve EnergyPlus v8.5 programında simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.17 referans bina ve Trombe duvarı içeren alternatif tasarımın karşılaştırılmasını göstermektedir. Referans binaya göre Trombe duvar tasarımda ısıtma tasarım kapasitesi %2,5, ısıtma doğal gaz tüketimi %9,61, CO_2 üretimi %4,34 oranında azalmıştır. Trombe duvarı içeren alternatif tasarımda Güneş Enerjisi Laboratuvarı mahallinin ısıtma tasarım kapasitesi %11,96, ısıtma doğalgaz tüketimi %36,7 oranında azalmıştır.

Çizelge 5.17. Referans bina ve Trombe duvarı içeren alternatif tasarımın karşılaştırması

	Birimi	**Referans Bina**	**Alternatif Tasarım**
Isıtma tasarım kapasitesi	kW	10,02	9,77
Elektrik Tüketimi	kWh	4271,27	4271,27
Isıtma Doğalgaz Tüketimi	kWh	10162,94	9186,14
Sıcak Su Eldesi Doğalgaz Tüketimi	kWh	736,56	736,56
CO_2 Üretimi	kg	4634,69	4433,55

Çizelge 5.18'de Trombe duvar kullanılması durumunda referans bina ve alternatif tasarımın enerji tüketim maliyetlerinin karşılaştırılması verilmektedir. Alternatif tasarımda yıllık 111,356 TL tasarruf oluşmaktadır.

Çizelge 5.19'da Trombe duvarın yaklaşık maliyet hesabı verilmektedir. Trombe duvar alternatifinde referans binanın dış duvarında 4,25 m^2 azalma olmuştur. Duvarın birim metrekare maliyetinin 99,81 TL olduğu dikkate alındığında duvarın maliyetinde 424,193 TL'lik bir azalma oluşacaktır. Böylece referans binaya ilave maliyet 1489,926 – 424,193 = 1065,733 TL olmaktadır. İlave maliyet ve tasarruf miktarı dikkate alındığında basit geri ödeme süresi 9,57 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, bu değişikliklerin yapılmasının günümüz koşullarında ekonomik olacağını göstermektedir.

Çizelge 5.18. Referans bina ve Trombe duvarı içeren alternatif tasarımın enerji tüketim maliyetlerinin karşılaştırılması

	Birimi	Referans Bina	Alternatif Tasarım
Isıtma Doğal Gaz Tüketimi	kWh	10162,94	9186,14
Sıcak Su Eldesi Doğalgaz Tüketimi	kWh	736,56	736,56
Elektrik Tüketimi	kWh	4271,27	4271,27
Toplam Enerji Tüketim Maliyeti	TL	3111,822	3000,47
Not: Tüm vergiler dâhil doğalgazın kWh birim fiyatı 0,114 TL, elektriğin 0,43764 TL alınmıştır.			

Çizelge 5.19. Trombe duvar yaklaşık maliyeti

	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Metrajı	Maliyet Tutarı (TL)
Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 8/10 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dâhil)	m^3	146,56	3	439,68
İki konumlu Servo motor	Ad.	20,78	4	83,12
Pvc kaplamalı 13/3 low-e ikili hava boşluklu pencere	m^2	123,5	4,25	524,875
Menfez çift kanatlı 501-1000 cm^2	ad	40,7	4	162,8
Gece-gündüz oda termostatı	ad	168,05	1	168,05
Siyah boya kaplanması	m^2	3,15	8	25,2
Dış koruyucu Çatı :*0,50 mm galvanizli düz saç ile çatı örtüsü yapılması.*	m^2	65,55	1,32	86,526
		Toplam		**1489,926 TL**
Not: Pencere alanı referans binada 3,75 m^2'dir. Trombe duvar kullanımda 4,25 m^2 ek yapılmıştır. Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2017 yılı fiyatları alınmıştır. Burada bulunmayan fiyatlar piyasa araştırma sonucu elde edilmiştir.				

5.4.3. Fotovoltaik sistem alternatifi

Referans binanın çatısına 34,325^o açı ile yerleştirilen 14 adet fotovoltaik panellerinin teknik özellikleri DesignBuilder'a girilmiş ve inverter verimi 0,98 alınarak simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda üretilen elektrik, kayıplar, şebekeden alınan ve şebekeye satılan elektrik miktarları belirlenmiştir.

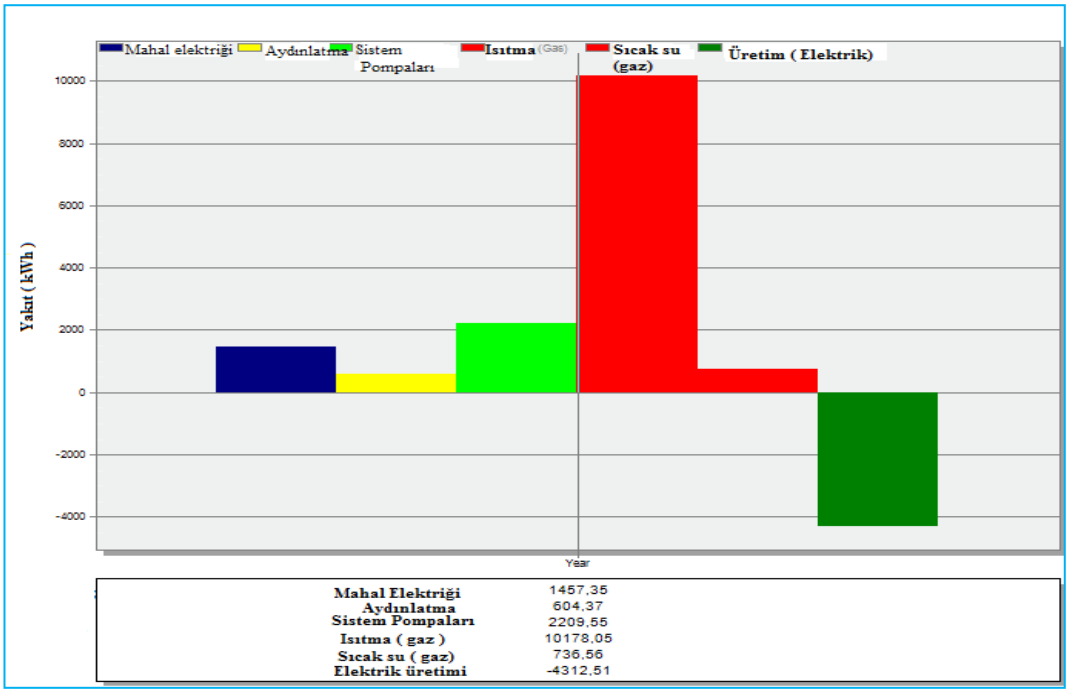
Çizelge 5.20 fotovoltaik panellerin üretim sonuçlarını göstermektedir. Çatıya yerleştirilen fotovoltaik panellerden yıllık 4400,522 kWh elektrik üretimi gerçekleşmekte, 88,01 kWh eviricide kayıp olmakta ve nihai olarak 4312,51 kWh elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Yıl boyunca güneş panellerinin üretim yapmadığı

zaman şebekeden 1706,257 kWh elektrik enerjisi alınmakta, üretiminin fazla olduğu zaman ise şebekeye 1747,505 kWh enerji verilmektedir. Güneş panelleri, binanın elektrik ihtiyacının tamamını karşılamakta, üretilen ihtiyaç fazlası 41,24 kWh elektrik enerjisi ise şebekeye satılmaktadır.

Çizelge 5.20. Fotovoltaik panellerin üretim sonuçları

	Elektrik (kWh)	**Elektrik Yüzdesi (%)**
Bina Elektrik Gereksinimi	4271,23	100
Fotovoltaik Panellerin Üretimi	4400,522	103,03
Eviricide Kayıp	88.01	2,1
Şebekeden Alınan	1706,257	39,95
Şebekeye Verilen(satılan)	1747,505	40,91
İhtiyaç Fazlası Üretim	41,24	0,97
Not: Yüzdesel hesaplar binanın elektrik gereksinim değerlerine göre oranlanmıştır.		

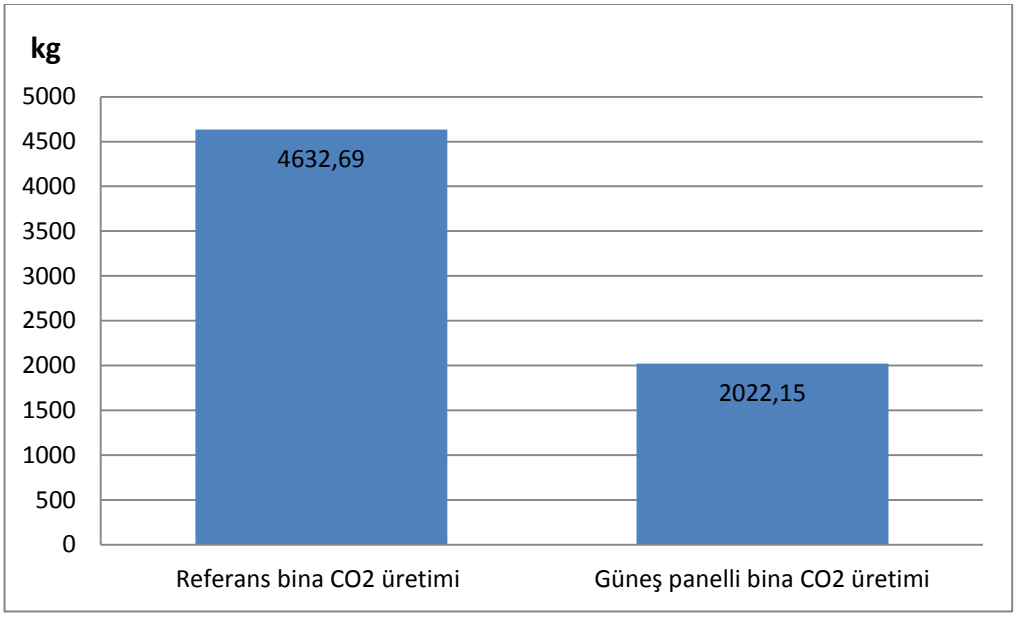
Şekil 5.11'de fotovoltaik sistemli binanın enerji üretim ve tüketim değerleri verilmektedir. Binada fotovoltaik sistemlerde üretim gerçekleştiğinden negatif değerlerin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5.11. Fotovoltaik sistemli binanın enerji üretim ve tüketim değerleri

Şekil 5.12'de referans bina ve güneş panelleri olan binanın CO_2 üretim değerleri kg olarak verilmektedir. Güneş panellerinin olduğu binada 2022,15 kg CO_2 üretimi olmaktadır. Referans binayla kıyaslama yapıldığında CO_2 üretiminde %

56,35 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, fotovoltaik sistemle elektrik enerjisi üretiminde fosil yakıtların kullanılmaması ve buna bağlı olarak CO_2 üretilmemesidir.



Şekil 5.12. Referans bina ve Güneş panelli bina CO_2 üretim değerleri

Çizelge 5.21'de referans bina ve fotovoltaik sistemli binanın elektrik tüketim ve üretim değerleri ile maliyetleri verilmiştir. Fotovoltaik sistemli binada elektrik üretimi ve satışı nedeniyle yıllık 1887,327 TL tasarruf oluşmaktadır.

Çizelge 5.22'de fotovoltaik sistemin ilk yatırım maliyetleri verilmektedir. Referans binaya güneş panellerinin yerleştirilmesi için 20613,48 TL ilave maliyet gerekmektedir. İlave maliyet ve tasarruf miktarı göz önüne alındığında basit geri ödeme süresi 10,92 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, bu değişikliklerin yapılmasının günümüz koşullarında ekonomik olacağını göstermektedir.

Çizelge 5.21. Referans bina ve fotovoltaik sistemli binanın elektrik tüketim ve üretim değerleri

	Elektrik Tüketimi (kWh)	**Elektrik Üretimi (kWh)**	**Maliyet Toplam (TL)**
Referans bina	4271,26	-	1869,27
Fotovoltaik Panelli Bina	4271,26	4312,51	-18,04
Yıllık Tasarruf=4312,51 X 0,437640= 1887,327 TL			

Çizelge 5.22. Fotovoltaik panellerle elektrik eldesi yaklaşık toplam maliyeti

	Birimi	Birim Fiyatı (TL- $)	Metrajı	Maliyet Tutarı (TL)
Topray Solar 200 W Güneş Paneli	ad.	950	14	13300
Platinum Grid On İnverter 4,900 Wp	ad.	3214,89	4	3214,89
Çift Yönlü Sayaç	ad.	900	1	900
Galvanizli Saç Kablo Kanalları	m	5,73	40	229,2
Solar Kablo 6 mm^2	m	3,73	50	186,5
Yıldırım Sayıcı	Ad.	594	1	594
Kurulum ve Konstrüksiyon	Watt	0,14 $	4400	2188,89
Toplam				**20613,48**

Not: Sadece kurulum ve konstrüksiyon birim fiyatı dolardır diğer kalemlerin birim fiyatı Türk Lirasıdır. Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2017 yılı fiyatları alınmıştır. Burada bulunmayan fiyatlar piyasa araştırma sonucu elde edilmiştir.

5.4.4. Rüzgâr türbini alternatifi

EnergyPlus'dan yapı tasarımının bulunduğu konum için rüzgâr yönü ve hızı gibi çıktılar elde edilebilmektedir ve bu çıktılar şekil 5.2'de verilmiştir. Şekil 5.2'de binanın bulunduğu konuma ait aylık ortalama rüzgâr hızının 1,17 - 2,26 m/s arasında olduğu görülmektedir. Rüzgâr türbinleri Cut-in değerinin altındaki rüzgâr hızlarının altındaki bir değerlerde çalışmazlar. Modern rüzgâr türbinlerinin Cut-in hızları 3-4 m/s'dir. Malatya ilinde aylık ortalama rüzgâr hızları 2,26 m/s ve 1,17 m/s arasında değiştiğinden binada rüzgâr türbinlerinin kullanılmasının uygulanabilir olmadığı değerlendirilmiştir.

5.5. Yağmur Suyu Depolama Sisteminin Kullanılması

Binada bulunan tuvalet rezervuarlarının ve bahçesinin su ihtiyacının yağmur suyu depolama sistemleriyle karşılanması amaçlanmış ve buna ait hesaplamalar yapılmıştır. Yağmur suyu depolama sisteminin kullanılmasıyla yıllık 31500 litre su elde edilmesi tasarlanmıştır. Bu ise yıllık 204,12 TL'lik bir tasarruf sağlayacaktır (Çizelge 5.23). Sistemde kullanılan Wayer su dalgıç pompasının üzerinde entegreli su seviye flaktörü bulunmaktadır. Bu sayede depoda su bulunmadığı zaman pompa çalışmayacaktır. Pompanın teknik verilerinde saatte 400 W güç tüketerek 7000 litre temiz su atabileceği belirtilmektedir [82]. Sistemdeki 31500 litre suyun taşınması için pompanın 4,5 saat çalışması gerekmekte ve toplam enerji tüketimi ise 1,8 kWh olarak gerçekleşmektedir. Bu verilerle pompanın yıllık enerji tüketimi maliyeti 0,788

TL olmaktadır. Böylece yağmur suyu depolama sisteminde yıllık elde edilebilecek tasarruf 204,12 - 0,788 = 203,332 TL olmaktadır. Çizelge 5.24'de yağmur suyu depolama sisteminin yaklaşık toplam maliyet hesabı verilmektedir. Sistemin maliyeti ve tasarruf miktarı göz önüne alındığında sistemin basit geri ödeme süresi 12,4 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, bu değişikliklerin yapılmasının günümüz koşullarında ekonomik olacağını göstermektedir.

Çizelge 5.23. Yağmur suyu depolama sistemi ile elde edilecek tasarruf

	Su depolama (litre)	**Yıllık toplam Tasarruf (TL)**
Yağmur suyu depolama sistemi	31500	204,12
Not: Tüm vergiler dâhil konut dışı su kullanım bedeli 6,48 TL alınmıştır.		

Çizelge 5.24. Yağmur suyu depolama sistemi yaklaşık maliyeti

	Birimi	**Birim Fiyatı (TL)**	**Metrajı**	**Maliyet Tutarı (TL)**
10 Tonluk Su deposu kurulum ve montaj dahil	ad.	2000	1	2000
200 litre su deposu	ad.	120	1	120
Dış çap ø20 mm PE63 sınıfı SDR 11 serisi PN10 polietilen boru (bina içinde polietilen boru montaj malzemesi bedeli dâhil)	m	1,75	15	26,25
Dış çap ø32 mm PE63 sınıfı SDR 11 serisi PN10 polietilen boru (bina dışında toprağa döşenmesi polietilen boru montaj malzemesi bedeli dâhil)	m	2,7	10	27
Dış çap ø32 mm PE63 sınıfı SDR 11 serisi PN10 polietilen boru (bina dışında kanallar içinde döşenen polietilen boru montaj malzemesi bedeli dâhil)	m	2,94	10	29,4
Wayer temiz su dalgıç pompası	ad.	148,5	1	148,5
Su seviyesi rölesi ve 2 elektrod	ad	42,12	1	42,12
Su filtresi	ad	128	1	128
		Toplam		**2521,27**
Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2017 yılı fiyatları alınmıştır. Burada bulunmayan fiyatlar piyasa araştırma sonucu elde edilmiştir.				

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, İnönü Üniversitesinde "İnönü Enerji Etkin Binası" olarak isimlendirilen enerji etkin bir binanın tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan İnönü Enerji Etkin Binası kullanım alanı 171,2 m^2 olan 2 katlı bir binadır. Giriş katında 2 adet laboratuvar, 1 adet teknik oda ve 2 WC'den oluşan tuvalet; 1. katında ise 2 adet çalışma ofisi ve 1 adet kütüphane bulunmaktadır.

Mevcut yasal düzenlemelere uygun olarak tasarlanan bina "referans bina" olarak adlandırılmış ve bu binanın DesignBuilder v5 ile modellemesi yapılmıştır. Referans binanın simülasyonu EnergyPlus v8.5 ile yapılarak binanın enerji tüketimi, iç ısı kazançları, ısı kayıpları, ısıtma yükü ve CO_2 üretimi hesaplanmıştır.

Enerji etkin bina tasarım ilkeleri, pasif ev/yeşil bina ölçütlerine uygun alternatif tasarımlar oluşturulmuştur. Alternatif tasarımlar "*Enerji Talebinin Azaltılması*", "*Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması*" ve "*Su Kaynaklarının Verimli Kullanılması*" temel başlıkları altında incelenmiştir. Referans binanın enerji talebinin azaltılmasına yönelik olarak "*Bina dış kabuk opak bileşenleri alternatifi*", "*Bina pencere alternatifi*" ve "*Hava sızdırmazlık alternatifi*" olmak üzere üç farklı alternatif incelenmiştir. Referans binada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması kapsamında "*Isı pompası alternatifi*", "*Trombe duvar alternatifi*", "*Fotovoltaik sistem alternatifi*" ve "*Rüzgâr türbini alternatifi*" olmak üzere dört farklı alternatif incelenmiştir. Ayrıca su kaynaklarının verimli kullanılmasına yönelik olarak "*Yağmur Suyu Depolama Sisteminin Kullanılması*" tasarımı incelenmiştir.

6.1. Sonuçlar

İnönü Üniversitesi Kampüsü içerisinde yapılması tasarlanan referans bina, enerji etkin doğal havalandırma sağlanması için istenildiği zaman rüzgârdan faydalanılan istenilmediği zaman ise korunabilecek konum olan termal kuşağın alt kısımlarında bir araziye konumlandırılmıştır. Ilımlı-kuru iklim bölgesinde bulunan Malatya ili için en az ısıtma enerji gereksiniminin geniş yüzeyi güney cepheye bakan 12,5m x 8m boyutlarında dikdörtgen formda ve biçim faktörü 1,6 olan binada gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 6.1'de referans binada enerji talebinin azaltılmasına yönelik bina dış kabuğunda yapılan tasarım alternatiflerinin sonuçları verilmektedir. Binada en az enerji tüketiminin pasif ev kriterlerine uygun bina dış kabuğu opak bileşen alternatifinde gerçekleştiği görülmüş referans binaya göre ısıtma tasarımda kapasitesinde %24,75, ısıtmada doğalgaz tüketiminde %16,66, elektrik tüketiminde %8,34, CO_2 üretim değerlerinde %14,04 oranında azalma olmuştur. Pasif ev pencere kriterlerini sağlayan tasarım alternatifinde referans binaya göre ısıtma tasarım kapasitesinde %11,68, ısıtmada doğalgaz tüketiminde %5, CO_2 üretim değerinde %2,26 oranında azalma meydana gelmiştir. Pasif ev kriterlerine uygun hava sızdırmazlık tasarım alternatifinde referans binaya göre ısıtma tasarım kapasitesinde %14,47, ısıtmada doğalgaz tüketiminde %9,65, CO_2 üretim değerlerinde %4,36 oranında azalma oluşmuştur. Binanın kullanım ömrü süresince bina sızdırmazlık tasarım alternatifinin günümüz şartlarında ekonomik olduğu diğer alternatif tasarımlarının ekonomik olmadığı görülmüştür.

Çizelge 6.1. Bina dış kabuk alternatif tasarım sonuçları

	Referans Bina	**Pasif Ev Dış Kabuk Opak Bileşen Alternatifi**	**Pasif Ev Pencere Alternatifi**	**Pasif Ev Hava Sızdırmazlık Alternatifi**
Isıtma Tasarım kapasitesi (kW)	10,02	7,54 %24,75 ↓	8,85 %11,68 ↓	8,57 %14,47 ↓
Elektrik Tüketimi (kWh)	4271,27	3915,18 %8,34↓	4271,27	4271,27
Isıtma Doğalgaz tüketimi (kWh)	10162,94	8469,58 %16,66 ↓	9655 %5 ↓	9182,216 %9,65 ↓
Sıhhi Sıcak Su Doğalgaz Tüketimi (kWh)	736,56	736,56	736,56	736,56
CO_2 Üretimi (kg)	4634,69	3984 %14,04 ↓	4530,054 %2,26 ↓	4432,66 %4,36 ↓
Ek Maliyet (TL)	-	28.670,3	5627,05	1082
Basit Geri Ödeme süresi (Yıl)	-	82,18	97,18	9,68
Sonuç	-	Ekonomik Değil	Ekonomik Değil	Ekonomik

Not: Azalma oranları referans bina sonuçları ile karşılaştırılarak verilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca bina ömrü 30 yıl olarak alınmaktadır. Bu süre içinde kendini ödeyen sistem ekonomik alınmıştır.

Çizelge 6.2'de referans binada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik yapılan tasarım sonuçları verilmektedir. Toprak kaynaklı ısı pompası tasarım alternatifinde elektrik tüketimi referans binaya göre %60,32 oranında artmıştır. Isıtmada ve sıcak su temininde doğalgaz tüketimi sıfır olmuştur. CO_2 üretimi referans binaya göre %10,47 azalmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompasının geri ödeme süresinin çok uzun (226,82 yıl) olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç ısı pompasının az enerji gereksinim duyan binalarda sadece ısıtma sisteminde kullanılmasının günümüz şartlarında ekonomik olmadığı anlamına gelmektedir.

Trombe duvar tasarımında referans binaya göre ısıtma tasarım kapasitesi %2,5, ısıtma doğal gaz tüketimi %9,61, CO_2 üretimi %4,34 oranında azalmıştır. (Çizelge 6.2). Tasarımı yapılan Trombe duvarın geri ödeme süresi 9,57 yıl olarak belirlenmiştir. 8 m^2 kolektör alanına sahip Trombe duvar kullanımının günümüz şartlarında ekonomik olduğu söylenebilir.

Fotovoltaik panel tasarımında, 14 adet panelle binanın tüm elektrik gereksinimi olan 4271,2264 kWh karşılanmış ve 41,24 kWh enerji şebekeye satılarak artıya geçilmiştir (Çizelge 6.2). CO_2 üretim değerlerinde referans binaya göre %56,35 oranında ciddi bir azalma meydana gelmiştir. Bu sonuç sürdürülebilirlik olgusu açısından önemli bir sonuçtur. Fotovoltaik sistem alternatifinin basit geri ödeme süresi 10,92 yıl olarak bulunmuştur. Fotovoltaik panellerin kullanım ömrü 25 yıl olduğundan kullanımının günümüz şartlarında ekonomik ve sürdürülebilirlik açısından uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Su tasarrufu elde etmek amacıyla yağmur suyunun filtreden geçirilerek tuvalet rezervuarlarında ve bahçenin sulamasında kullanılması alternatif tasarımı yapılmıştır. Tasarımın basit geri ödeme süresi 12,4 yıl olarak bulunmuştur (Çizelge 6.2). Bu sonuç, yağmur depolama sisteminin kullanımının günümüz şartlarında ekonomik olduğunu göstermektedir.

Rüzgâr türbinleri Cut-in değerinin altındaki rüzgâr hızlarının altındaki bir değerlerde çalışmazlar. Modern rüzgâr türbinlerinin Cut-in hızları 3-4 m/s'dir. Malatya ilinde aylık ortalama rüzgâr hızları 2,26 m/s ve 1,17 m/s arasında değiştiğinden binada rüzgâr türbinlerinin kullanılmasının uygulanabilir olmadığı sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 6.2. Yenilebilir enerji kaynakları alternatifleri ve yağmur suyu depolama sistemi tasarım sonuçları

	Referans Bina	**Isı Pompası Alternatifi**	**Trombe Duvar Alternatifi**	**Fotovoltaik Panel Kullanımı**	**Yağmur Suyu Depolama Sistemi**
Isıtma Tasarım kapasitesi (KW)	10,02	10,02	9,77 %2,5↓	10,02	10,02
Elektrik Tüketimi (kWh)	4271,27	6.847,60 %60,32 ↑	4271,27	-4312,52 %100,97 ↓	4271,27
Isıtma Doğalgaz tüketimi (kWh)	10162,94	0 %100 ↓	9186,14 %9,61 ↓	10162,94	10162,94
Sıhhi Sıcak Su Doğalgaz Tüketimi (kWh)	736,56	0 %100 ↓	736,56	736,56	736,56
CO_2 Üretimi (kg)	4634,69	4.149,64 %10,47 ↓	4433,55 %4,34 ↓	2022,15 %56,35 ↓	4634,69
Ek Maliyet (TL)	-	26093,5	1065,734	20613,48	2521,27
Basit Geri Ödeme süresi (Yıl)	-	226,82	9,57	10,92	12,4
Sonuç	-	Ekonomik Değil	Ekonomik	Ekonomik	Ekonomik

Not: Azalma oranları referans bina sonuçları ile karşılaştırılarak verilmiştir. Isı pompası ve Trombe duvar 20 yıl, fotovoltaik panel 25 yıl, yağmur suyu depolama sistemi 30 yıl kullanım ömrü bulunmaktadır. Bu sürelerden önce kendini ödeyebilen sistemler ekonomik kabul edilmiştir.

Tüm simülasyon sonuçları irdelendiğinde, hava sızdırmazlık alternatifi, Trombe duvar alternatifi, fotovoltaik panel alternatifi ve su talebinin azaltılmasına yönelik yağmur suyu depolama sistemi alternatifinin günümüz şartlarında ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır. Çizelge 6.3'de referans binada ekonomik alternatif tasarımların tümünün kullanılması sonucu elde edilebilecek tasarruf değerleri verilmektedir. Referans bina ekonomik alternatif tasarımların tümünü içerecek şekilde revize edildiğinde 15170,77 kWh gereksinim olan enerji miktarı %41,33 azalarak 8900,736 kWh olmaktadır. Isıtma tasarım kapasitesinde %16,97, ısıtmada doğalgaz tüketimi %19,26, elektrik enerjisi tüketiminde %100,97, CO_2 üretim değerlerinde %65,07 oranlarında azalma olmaktadır.

Çizelge 6.3. Ekonomik alternatif tasarımları içeren bina sonuçları

	Birimi	Referans Bina	Ekonomik Alternatif Tasarımları İçeren Bina
Isıtma Tasarım Kapasitesi	kW	10,02	8,32 %16,97 ↓
Elektrik Tüketimi	kWh	4271,27	-41,24 %100,97 ↓
Isıtma Doğal gaz Tüketimi	kWh	10162,94	8205,416 %19,26 ↓
Sıcak Su eldesi Doğalgaz Tüketimi	kWh	736,56	736,56
Toplam Tüketim	kWh	15170,77	8900,736 %41,330 ↓
CO_2 Üretimi	kg	4634,69	1618,980 %65,07 ↓
Not: Azalma oranları referans bina sonuçları ile karşılaştırılarak verilmiştir.			

İnönü Enerji Etkin Binası, inşası halinde standart bir yapıya göre suyu verimli kullanan, %41,33 daha az enerji talebi ve %65,07 daha az CO_2 üretim değeri olan bir bina olacaktır.

6.2. Öneriler

Tezde elde edilen bulguların değerlendirilmesi sonucunda aşağıdaki önerilerin yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir:

1. Bu tezde elde edilen sonuçların kullanım alanları az ve düşük enerji gereksinimi olan iş ve hizmet binalarına örnek teşkil edileceği düşünülmektedir.
2. Tezde tasarlanan binada kullanım alanı az olduğundan mekanik havalandırma kullanılmamıştır. Ancak simülasyon sonuçlarında enerji kayıplarının en fazla havalandırmadan kaynaklandığı görülmüştür. Dolayısıyla enerji gereksinimi yüksek olan binalarda verimli ve ısı geri kazanım ünitesine sahip mekanik havalandırma kullanılmalıdır.
3. Binaların enerji gereksiniminin karşılanmasında tümüyle yenilebilir enerji kaynaklarının kullanılması/binaların enerji gereksiniminin belirli bir kısmının yenilebilir enerji kaynakları ile karşılanmasını artıracak araştırmalar/yasal düzenlemeler yapılmalıdır.
4. Güneşlenme süresi fazla olan ülkemizde fotovoltaik panellerin kullanılmasını teşvik edecek çalışmalar yapılmalıdır.

5. Trombe duvarların binaların enerji gereksinimlerini karşılamasında etkinliğini artıracak çalışmalar yapılmalıdır.
6. Malatya ili ülkemizde en az yağış alan yerlerden biri olmasına rağmen binanın tuvalet rezervuarlarında ve bahçesinde su gereksinimi yağmur depolama sistemiyle karşılanabilmiştir. Yağış miktarı fazla olan illerde depolanan yağmur suyunun arıtılarak içme ve diğer işlerde kullanılması sağlanabilir.
7. Bina enerji kimlik belgesinde hava sızdırmazlık değerlerinin de bulunması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

[1] Selma Akmalı Özçiftçi. *Ekolojik Binalarda Enerjinin Etkin Kullanılmasının İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2010.

[2] Ayça Tokuç. *İzmir'de Enerji Etkin Konut Yapıları İçin Tasarım Kriterleri,* Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2004.

[3] Anonim.(2017).http://www.skdturkiye.org/userfiles/file/BEV/BEVGer%C3%A7ekler_Egilimler.pdf (erişim 12 Ocak 2017).

[4] Anonim. (2017). http://www.butitjustmightwork.com/stuff-to-skip/compact-fluorescent-lights/ (erişim 25 Mayıs 2017).

[5] Anonim.(2017).https://www.eia.gov/consumption/commercial/reports/2012/energyusage/ (erişim 25 Mayıs 2017).

[6] Anonim, Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Mavi Kitabı, 13-15 (2016)

[7] Anonim.(2016).http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSekt%C3%B6r%20Raporu%2fTP_HAM_PETROLDOGAL_GAZ_SEKTOR_RAPORU__2015.pdf (erişim 24 Aralık 2016).

[8] Anonim.(2016). http://iats09.karabuk.edu.tr/press/bildiriler_pdf/IATS09_08-99_982.pdf (erişim 25 Aralık 2016).

[9] Anonim.(2016).https://passiv.de/former_conferences/Kran/First_Passive_House_Kranichstein_en.html (erişim 25 Aralık 2016).

[10] Evren Akgöz. *Enerji Etkin Bina Tasarım Parametreleri İçin Uygun Değerlerin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2004.

[11] Anonim.(2016). http://www.unienerji.com/arsivler/1530 (erişim 15 Kasım 2016).

[12] Banu Bahar Özdemir. *Sürdürülebilir Çevre İçin Binaların Enerji Etkin Tasarlanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.

[13] Anonim. (2016). http://tee.pau.edu.tr/sistem.html (erişim 25 Aralık 2016).

[14] Anonim. (2016). (http://www.gunesevi.org/) (erişim 13 Mayıs 2016).

[15] Anonim. (2017). http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/yee.pdf (erişim 20 Şubat 2017).

[16] Ayşegül Tıkır. *İstanbul'da Mevcut Bir Konutun Dış Kabuğunun Enerji Etkin Yenilenmesi ve Ekonomik Etkinliğinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma*, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2009.

[17] Ali Savaş Yasan. *Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.

[18] G. Manioğlu**,** *Enerji Etkin Tasarım ve Yenileme Çalışmalarının Örneklerle Değerlendirilmesi*, **Tesisat Müh. Der**., 126 (2011) 35-47.

[19] Z. Utlu, S. Tekin, Yeşil Bina Uygulamalarında Net Sıfır Enerjili Binaların Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 17-20 Nisan, (2013), sf.1613-1621.

[20] L. Chee, A. Akçakaya, C. Erdoğan, *Binalarda Net Sıfır Enerji Kullanımı*, **Best Der.,** 151 (2013) 96-100.

[21] U. Bayar, A. İ. Atılgan**,** *Yeşil Ev Tasarımı ve Enerji Analizi İçin Uygulama Örneği*, **Müh. ve Makine Der.**, 56:671 (2015) 41-52.

[22] Anonim.(2016).http://www.hasmimarlik.com.tr/yazilar/aeyapi/cesitli/080404-buzdaginin%20tepesi.pdf (erişim 25 Aralık 2017).
[23] O. Kıncay**,** *Sürdürülebilir "Yeşil" Binalar,* I. Bölüm, İstanbul, 2017, 54-56.
[24] İ.Çakmanus**,** Yaklaşık Sıfır Enerjili Binalar (nnZEB),Çakmanus Mühendislik Enerji San. ve Tic. Ltd. Şti, 2017.
[25] Orkun Şengezer. *Pasif Ev Sistemlerin Enerjinin Etkin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
[26] Ç. B. Dikmen, *Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi*, **Politeknik Der.,** 14:2 (2011) 121-134.
[27] Anonim.(2016).http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/YesilIBolBiNA.pdf (erişim 12 Aralık 2016).
[28] ASHRAE (2007). *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.* ASHRAE Standard 90.1.Atlanta, United States.
[29] Anonim. (2017). http://passivehouse.com/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm (erişim 13 Şubat 2017).
[30] Banu Demirel. *Pasif Ev Uygulamasının Türkiye İçin Uygulamasına Yönelik Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.
[31] Anonim. (2017) http://www.bestdergisi.com.tr/arsiv/yazi/68-yaklasik-sifir-enerjili-binalar (erişim 30 Mayıs 2017).
[32] Ç. Aydın, C. Aydın, 8. Lisansüstü Turizm Öğrencileri Araştırma Kongresi, Nevşehir, Nisan 29-30, (2016), sf. 34-48.
[33] Anonim. (2017). http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx. (erişim 24 Nisan 2017)
[34] R. K. Demircan, A. B. Gültekin, Binalarda Aktif ve Pasif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi, 2nd İnternational Sustainable Buildings Symposium, Ankara, Mayıs 28-30, (2015), pp. 830-847.
[35] Anonim.(2016).http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e5140df15d046a6_ek.pdf?dergi=160 (erişim 20 Mayıs 2016).
[36] Anonim.(2016).http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/GunesEnerjisi.pdf (erişim 20 Aralık 2016).
[37] Anonim.(2017).http://www.guneysangunesenerjisi.com.tr/?pnum=14&pt=D%C3%BCzlemsel+Toplay%C4%B1c%C4%B1lar%C4%B1n+Temel+Elemanlar%C4%B1 (erişim 24 Mayıs 2017).
[38] Anonim.(2016).http://www.atermit.com/sites/default/files/EUM091676_Low_Energy_4_A4.pdf (erişim 20 Ekim 2016).
[39] T. Köroğlu, A Teke, K.Ç. Bayındır, M. Tümay, *Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı***, Elektrik Müh. Der.**, 439 (2010) 98-104.
[40] M. Altın, Yeni Yapı Malzemesi Fotovoltaik Paneller, Özellikleri ve Tarihçesi, 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, Ekim 6-8, (2004), pp. 438-444.
[41] Anonim.(2017).http://www.iskilipenerji.com/download/Alternatif_Enerji_Sis.pdf (erişim 25 Şubat 2017).
[42] Anonim.(2017).http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgarruzgar_enerjisi.aspx (erişim 21 Ocak 2017).
[43] Anonim. (2017). https://tr.wikipedia.org/wiki/Rüzgâr_türbini (erişim 25 Ocak 2017).
[44] Anonim. (2017). http://www.building.co.uk/harnessing-the-wind-bahrain-world-trade-centre/3123951.article (erişim 25 Ocak 2017)

[45] Banu Erdim. *Binalarda Enerjinin Korunumu Açısından Isı Pompalarının Farklı İklim Bölgelerinde Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
[46] Zekeriya Babacan. *Muğla Üniversitesi Kötekli Yerleşkesinde Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Türkiye, 2007.
[47] Anonim. (2016). http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/IsiPompasi.pdf (erişim 20 Aralık 2016).
[48] Anonim. (2017). http://www.toprakisi.com.tr/icerik.php?id=133 (erişim 24 Mayıs 2017).
[49] Anonim. (2017). http://www.arkitera.com/urun/239/rehau-yerden-isitma-sistemi (erişim 25 Ocak 2017).
[50] Anonim, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Enerji Etkin Binaya Ulaşma Yolunda Temel Tasarım Prensipleri broşürü, 1-16 (2012)
[51] Deniz Zinzade. *Yüksek Yapı Tasarımında Sürdürülebilirlik Boyutunun İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
[52] Ö. Kaynaklı ve A. Yiğit, *"İnsan vücudu için ısı dengesi ve ısıl konfor şartları"*, ***Dokuz Eylül Üni. Fen ve Müh. Der.***, 5:2 (2005) 9-17.
[53] TSE (2008). *Binalarda ısı yalıtım kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü standart 825, Ankara, Türkiye.
[54] Anonim.(2016).http://www.ekoyapidergisi.org/193-enerjisini-etkin-kullanan-bir-bina-yapiyoruz.html (erişim 20 Kasım 2016).
[55] Anonim.(2016).http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/ggedik_1eab4a229f12c2185d6869c2d8faf798.pdf (erişim 20 Kasım 2016)
[56] Berköz, E., Küçükdoğdu, M., Yılmaz, Z. (1995). *Enerji Etkin ve Konut Yerleşme Tasarımı*. İNTAG-201, TÜBİTAK, İstanbul.
[57] Anonim. (2017). http://tursove.com/isiyalitimi.html (erişim 1 Şubat 2017).
[58] Anonim. (2016). www.emo.org.tr/ekler/d77279f7d325eec_ek.pdf (erişim 20 Kasım 2016).
[59] Anonim. (2017). http://inonu.edu.tr/tr/14/m (erişim 20 Ocak 2017).
[60] Anonim. (2017). https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MALATYA (erişim 20 Ocak 2017).
[61] D.B. Crawley, L.K. Lawrie, F.C. Winkelmann, W.F. Buhl, Y.J. Huang, , C.O. Pedersen, R.K. Strand, , R.J. Liesen, D.E. Fishder, M.J. Witte, J. Glazer, *EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program*, **J. Energy and Buildings**, 33 (2001) 319-331.
[62] Anonim, (2017). http://www.altensis.com/hizmetler/designbuilder-software/ (erişim 21 Ocak 2017).
[63] M.A. Aktacir, M.A. Nacar, B. Yeşilata, Binalarda Enerji Verimliliği Amaçlı Yazılımlar Üzerine Kısa Bir Değerlendirme, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Nisan 13-16, (2011), pp.853-862.
[64] M.C. Yaman, G. Gökçen, Binalarda Enerji Verimliliği Amaçlı Yazılımlar Üzerine Kısa Bir Değerlendirme, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Tepekule Kongre Merkezi İzmir, Mayıs 6-9, (2009), pp.509-525.
[65] Rees S.J.,Spitler J.D., Davies M.G., Haves P., *Qualitative Comparison of North American and U.K. Cooling Load Calculation Methods*, **Hvac&Research**, 6:1 (2000) 75-99.
[66] Anonim, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 1-32 (2008)

[67] Anonim. (2017). http://www.vaillant.com.tr/pdf/2017-atmotec-turbotec-katalogu-984070.pdf (erişim 22 Ocak 2017).
[68] Anonim(2017).https://www.vaillant.co.uk/downloads/flexotherm/flexotherm-5-11kw-230v-installation-manual-919861.pdf (erişim 22 Ocak 2017).
[69] Anonim.(2016).http://www.ozgunmuhendislik.com/images/uploads/5bb858f13da14c21ac185157feb0fb3a_isipompasihesabi.pdf (erişim 12 Kasım 2016).
[70] TSE (1983) . *Temiz Su Tesisatı Hesap Kuralları.* Türk Standartları Enstitüsü Standart 1258, Ankara, Türkiye.
[71] Anonim.(2017). https://www.vaillant.co.uk/installers/products/flexotherm-19776.html (erişim 25 Ocak 2017).
[72] Uğur Bayar. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanılan Bir Yeşil Ev Analizinin Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2016.
[73] L. Miles, *Heat pumps: theory and service*, Delmar Publishers Inc., New York, 1994, 290-298.
[74] Anonim, Malatya Valiliği İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü Çevre Durumu Raporu, 28 (2011)
[75] Barış Akdur. *Güneş Enerjisi ile Hava Isıtacak, İzolasyonlu Kompozit Duvar Dizaynı ve Simülasyonu*, Bitirme Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2012.
[76] Anonim,(2017).https://www.designbuilder.co.uk/helpv4.2/Content/Trombe_Walls.htm (erişim 27 Ocak 2017).
[77] S. Alkan, A. Öztürk, , S. Zavrak, , S. Tosun, Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılayacak Fotovoltaik Sistemin Kurulumu, Elektrik–Elektronik–Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, Kasım 27-29, (2014), sf 78-82.
[78] Anonim, (2017). http://www.solarcell.com.tr/resim/pdf/TPSM5U-200W(1)(1).PDF (erişim 15 Şubat 2017)
[79] Anonim, (2017). http://www.rainwaterharvesting.com/articles/this-rainwater-tank-is-worth-more-than-a-new-car-impact-of-rain-water-harvesting-on-home-valuations-11 (erişim 16 Şubat 2017)
[80] Ö. Kantaroğlu, Yağmur Suyu Hasadı Plan ve Hesaplama Sistemleri, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Tepekule Kongre Merkezi İzmir, Mayıs 6-9, (2009), sf.1147-1151.
[81] Anonim,(2017).http://www.illbruck.com/tr_TR/ueruenler/ueruenarama/product/sp925-hava-sizdirmazlik-macunu/ (erişim 23 Şubat 2017)
[82] Anomim,(2017). http://www.hepsiburada.com/iwayer-temiz-su-dalgic-pompa-400-watt-090479-p-HRMAR090479?magaza=Badem10&wt_gl=cpc.nelk.bahce.pla&gclid=CPXm5bLL5tQCFdYYGwodMnQCgA (erişim 23 Şubat 2017).

EKLER

EK-1. Binanın giriş katında bulunan mahaller için, programın "Activity" , "Construction" , "Lighting" , "HVAC" sekmesine girilen veriler.

Mahal / Aktivite Değerleri	Tuvalet Lavabo	Merdiven Koridor	Teknik oda	Hibrid Enerjileri Lab.	Güneş Enerjisi Lab.
Taban Alanı (m^2)	9,07	18,67	8,70	23,95	24,89
Isıtma Sıcaklığı (°C)	20	20	20	20	20
Isıtma Sıcaklığı Set Back (°C)	15	15	15	15	15
Soğutma (°C)	26	26	26	26	26
Soğutma Sıcaklığı Set Back (°C)	32	32	32	32	32
Aktivite	Walking Standing	Walking About	-	Walking Standing Office Work	Walking Standing Office Work
Kişi Yoğunluğu (İnsan/m^2)	0,2205	-	-	0,0835	0,0806
Metabolik Sıcaklık (W)	140,000	180,000	117,000	127,000	123,000
Temiz hava (l/s-m^2)	-	-	-	0,914	0,914
Işıklandırma (Lux)	300	300	300	300	300

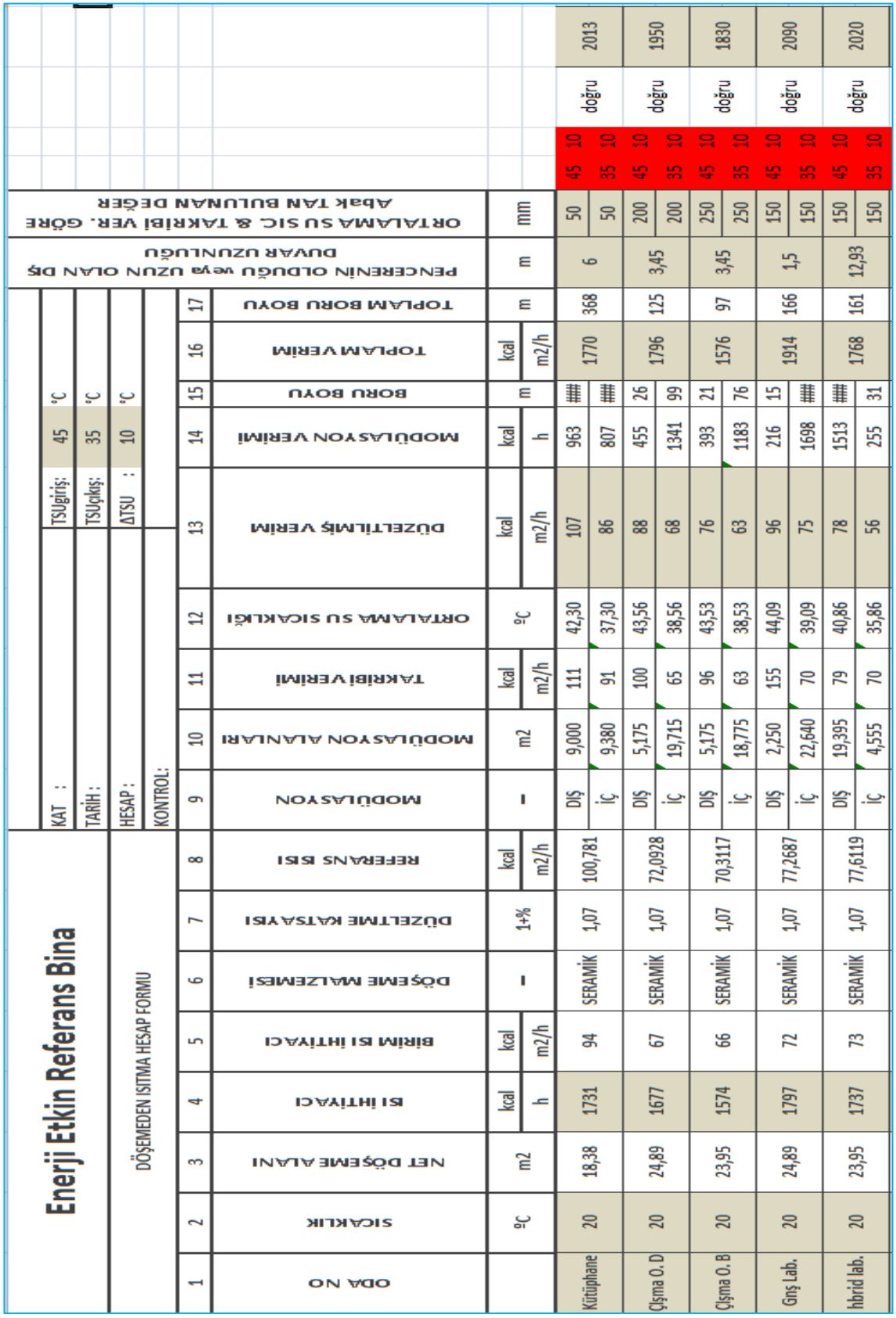
EK-2. Binanın 1. katında bulunan mahaller için, programın "Activity", "Construction" , "Lighting" , "HVAC" sekmesine girilen veriler.

Mahal / Aktivite Değerleri	Çalışma Ofisi Batı	Çalışma Ofisi Doğu	Kütüphane	Merdiven Koridor
Taban Alanı (m^2)	23,95	24,89	18,38	18,66
Isıtma Sıcaklığı (°C)	20	20	20	20
Isıtma Sıcaklığı Set Back (°C)	15	15	15	15
Soğutma (°C)	26	26	26	26
Soğutma Sıcaklığı Set Back (°C)	32	32	32	32
Aktivite	Lighter Office Work	Lighter Office Work	Reading Seated	Walking about
Kişi Yoğunluğu (İnsan/m^2)	0,0924	0,0806	0,1288	-
Metabolik Sıcaklık (W)	117,000	117,000	99,000	180,000
Temiz hava (l/s-m^2)	0,305	0,305	0,610	--
Işıklandırma (Lux)	300	300	300	300

EK-3. Bina kullanım takvimi

Çalışma Odaları Kullanımı	**Laboratuvar Kullanımı**
Fraction, Through: 31 Dec, For: Weekdays Summer DesignDay WinterDesignDay, Until: 08:00, 0, Until: 09:00, 0.75, Until: 12:00, 0.9, Until: 13:00, 0.1, Until: 15:00, 0.8, Until: 16:00, 0.6, Until: 17:00, 0.5, Until: 18:00, 0.4, Until: 19:00, 0.3, Until: 24:00, 0, For: Saturday, Until: 09:30, 0, Until: 13:00, 0.30, Until: 24:00, 0.00, For: Sunday, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0 ;	Fraction, Through: 31 Dec, For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay, Until: 08:00, 0, Until: 10:00, 0.50, Until: 12:00, 0.70, Until: 13:00, 0.1, Until: 15:00, 0.70, Until: 17:00, 0.30, Until: 24:00, 0, For: Saturday, Until: 09:00, 0, Until: 13:00, 0.30, Until: 24:00, 0, For: Sunday, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0 ;
Kütüphane Kullanımı	
Fraction, Through: 31 Dec, For: SummerDesignDay WinterDesignDay, Until: 15:00, 0, Until: 17:30, 0.75, Until:24:00, 0, For: Monday, Until: 15:00, 0, Until: 17:30, 0.75, Until: 24:00, 0, For: Tuesday, Until: 24:00, 0, For:Wednesday, Until: 15:00, 0, Until: 17:30, 0.75, Until: 24:00, 0, For:Thursday , Until: 24:00,0, For: Friday, Until: 15:00, 0, Until: 17:30, 0.75, Until: 24:00, 0, For: Saturday, Until: 24:00, 0.00,	

Ek-4. Yerden ısıtma sistemi tasarım hesapları



Enerji Etkin Referans Bina																		
	KAT :																	
	TARİH :																	
	HESAP :																	
DÖŞEMEDEN ISITMA HESAP FORMU	KONTROL:																	
		TSUgiriş:	45	°C														
		TSUçıkış:	35	°C														
		ΔTSU :	10	°C														
1	ODA NO				Kütüphane	Çşma O. D	Çşma O. B	Gnş Lab.	hbrid lab.									
2	SICAKLIK	ºC			20	20	20	20	20									
3	NET DÖŞEME ALANI	m2			18,38	24,89	23,95	24,89	23,95									
4	ISI İHTİYACI	kcal	h		1731	1677	1574	1797	1737									
5	BİRİM ISI İHTİYACI	kcal	m2/h		94	67	66	72	73									
6	DÖŞEME MALZEMESİ	-			SERAMİK	SERAMİK	SERAMİK	SERAMİK	SERAMİK									
7	DÜZELTME KATSAYISI	1+%			1,07	1,07	1,07	1,07	1,07									
8	REFERANS ISI	kcal	m2/h		100,781	72,0928	70,3117	77,2687	77,6119									
9	MODÜLASYON	-		DIŞ	9,000	5,175	5,175	2,250	19,395									
				İÇ	9,380	19,715	18,775	22,640	4,555									
10	MODÜLASYON ALANLARI	m2																
11	TAKRİBİ VERİMİ	kcal	m2/h		111	100	96	155	79									
					91	65	63	70	70									
12	ORTALAMA SU SICAKLIĞI	ºC			42,30	43,56	43,53	44,09	40,86									
					37,30	38,56	38,53	39,09	35,86									
13	DÜZELTİLMİŞ VERİM	kcal	m2/h		107	88	76	96	78									
					86	68	63	75	56									
14	MODÜLASYON VERİMİ	kcal	h		963	455	393	216	1513									
					807	1341	1183	1698	255									
15	BORU BOYU	m			###	26	21	15	###									
					###	99	76	###	31									
16	TOPLAM VERİM	kcal	m2/h		1770	1796	1576	1914	1768									
17	TOPLAM BORU BOYU	m			368	125	97	166	161									
	PENCERENİN OLDUĞU veya UZUN OLAN DIŞ DUVAR UZUNLUĞU	m			6	3,45	3,45	1,5	12,93									
	ORTALAMA SU SIC. & TAKRİBİ VER. GÖRE Abak TAN BULUNAN DEĞER	mm			50	200	250	150	150									
					50	200	250	150	150									
					45	45	45	45	45									
					35	35	35	35	35									
					10	10	10	10	10									
						doğru	doğru	doğru	doğru	doğru								
						1950	1830	2090	2020									

Ek-5. Referans bina ve Pasif Ev dış kabuk opak bileşen değerlerine getirilen alternatif tasarımın inşaat kalemi yaklaşık maliyet hesabı

Referans bina inşaat kalemi yaklaşık maliyeti

Sıra no	Poz no	İmalatın Cinsi	Birim	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
1	27.530/2	Hazır makine sıvası ile duvarlara 20 mm kalınlığında tek kat alçı sıva yapılması (Beton, tuğla ve benzeri yüzeylere)	m²	454,800	18,04	8.204,59
2	Y.15.001/2B	Makine ile her derinlik ve her genişlikte yumuşak ve sert toprak kazılması (Derin kazı)	m³	120,000	4,13	495,60
3	Y.15.140/01	Kum temin edilerek, el ile serme, sulama ve sıkıştırma yapılması	m³	60,000	25,98	1.558,80
4	Y.16.050/12	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 12/15 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	50,000	152,19	7.609,50
5	Y.16.050/14	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 20/25 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	90,000	165,15	14.863,50
6	Y.18.001/C11	85 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 85 x 190 mm) ile duvar yapılması	m²	136,600	29,16	3.983,26
7	Y.18.001/C15	190 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 190 x 135 mm) ile duvar yapılması	m²	218,200	38,31	8.359,24
8	Y.18.201/A106	Yan ve üst kenarından kenetlenebilen kiremit ile çatı örtüsü yapılması (Sızdırmazlık Sınıfı: Grup 1) (90 donma-çözülme çevrimine dayanıklı) (2 Latalı sistem)	m²	129,600	49,79	6.452,78
9	Y.18.245/004	Eğimli çatılarda, çatı örtüsü altına, 3 mm kalınlıkta plastomer esaslı, cam tülü taşıyıcılı polimer bitümlü örtü (-10 C soğukta bükülmeli) ile su yalıtımı yapılması	m²	129,600	16,91	2.191,54
10	Y.18.461/051B	2 mm kalınlıkta, PVC esaslı, (düz tip yada sinyal tabakalı) jeomembran ile su yalıtımı yapılması	m²	100,000	25,41	2.541,00
11	Y.19.055/023	5 cm kalınlıkta expande polistren levhalar (EPS - 16 kg/m3 yoğunlukta) ile dış duvarlarda dıştan ısı yalıtımı ve üzerine ısı yalıtım sıvası yapılması (Mantolama)	m²	318,200	43,46	13.828,97
12	Y.19.061/010	Çatı arasına döşeme üzerine, 14 cm kalınlıkta taşyünü şilte (Taşyünü şilte - 50 kg/m3 yoğunlukta) ve üzerine su buharı geçişine açık su yalıtım örtüsü serilmesi	m²	100,000	20,90	2.090,00
13	Y.21.101/06	Çatı üzerine OSB/3 kaplama yapılması	m²	129,600	28,43	3.684,53
14	Y.22.009/03	Laminat kaplamalı, iki yüzü odun lifinden yapılmış levhalarla (mdf) presli, kraft dolgulu iç kapı kanadı yapılması, yerine takılması	m²	13,400	155,06	2.077,80
15	Y.23.015	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	Ton	3,400	2.503,25	8.511,05
16	Y.23.167	Çeşitli profil demiri ve sac levhalardan münferit imalat yapılması ve yerine konulması (su depoları ve benzeri)	kg	136,000	7,60	1.033,60
17	Y.23.241	Plastik doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması (Sert PVC doğrama profillerinden her çeşit kapı, pencere, kaplama ve benzeri imalat) Not: Tüm ana profiller ile ilave profiller, pencere kapalı iken görülmeyen ve dikkat çekmeyen bir yerde, en az 1 m a	kg	685,500	10,74	7.362,27
18	Y.25.004/01	Brüt beton, sıvalı veya eski boyalı yüzeylere, astar uygulanarak akrilik esaslı su bazlı boya yapılması (dış cephe)	m²	218,200	20,55	4.484,01
19	Y.26.005/302	(30 x 30 cm) veya (33 x 33 cm) anma ebatlarında, her türlü desen ve yüzey özelliğinde, I.kalite, beyaz seramik yer karoları ile 3 mm derz aralıklı döşeme kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)	m²	200,000	34,15	6.830,00
20	Y.27.501/08	350 kg çimento dozlu harçla tek kat kaba sıva yapılması	m²	218,200	18,46	4.027,97
21	Y.27.583	2.5 cm kalınlığında 400 kg çimento dozlu şap yapılması	m²	400,000	18,46	7.384,00
			Toplam			**117.574,01**

EK.5- devam,

Pasif Ev kriterlerine uygun alternatif tasarım inşaat kalemi yaklaşık maliyeti

Sıra no	Poz no	İmalatın Cinsi	Birim	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
1	27.530/2	Hazır makine sıvası ile duvarlara 20 mm kalınlığında tek kat alçı sıva yapılması (Beton, tuğla ve benzeri yüzeylere)	m²	454,800	18,04	8.204,59
2	Özel EPS 10 cm	EPS 10 cm	m²	218,200	51,04	11.136,93
3	Özel EPS 15 cm	EPS 15 cm	m²	218,200	61,54	13.428,03
4	Özel EPS 20 cm	EPS 20 cm	m²	100,000	69,04	6.904,00
5	Y.15.001/2B	Makine ile her derinlik ve her genişlikte yumuşak ve sert toprak kazılması (Derin kazı)	m³	120,000	4,13	495,60
6	Y.15.140/01	Kum temin edilerek, el ile serme, sulama ve sıkıştırma yapılması	m³	60,000	25,98	1.558,80
7	Y.16.050/12	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 12/15 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	50,000	152,19	7.609,50
8	Y.16.050/14	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 20/25 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m³	90,000	165,15	14.863,50
9	Y.18.001/C11	85 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 85 x 190 mm) ile duvar yapılması	m²	136,600	29,16	3.983,26
10	Y.18.110/01C07	15 cm kalınlığındaki techizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (2,50 N/mm² ve 400 kg/m³)	m²	436,400	45,18	19.716,55
11	Y.18.201/A106	Yan ve üst kenarından kenetlenebilen kiremit ile çatı örtüsü yapılması (Sızdırmazlık Sınıfı: Grup 1) (90 donma-çözülme çevrimine dayanıklı) (2 Latalı sistem)	m²	129,600	49,79	6.452,78
12	Y.18.245/004	Eğimli çatılarda, çatı örtüsü altına, 3 mm kalınlıkta plastomer esaslı, cam tülü taşıyıcılı polimer bitümlü örtü (-10 C soğukta bükülmeli) ile su yalıtımı yapılması	m²	129,600	16,91	2.191,54
13	Y.18.461/051B	2 mm kalınlıkta, PVC esaslı, (düz tip yada sinyal tabakalı) jeomembran ile su yalıtımı yapılması	m²	100,000	25,41	2.541,00
14	Y.19.061/010	Çatı arasına döşeme üzerine, 14 cm kalınlıkta taşyünü şilte (Taşyünü şilte - 50 kg/m3 yoğunlukta) ve üzerine su buharı geçişine açık su yalıtım örtüsü serilmesi	m²	100,000	20,90	2.090,00
15	Y.21.101/06	Çatı üzerine OSB/3 kaplama yapılması	m²	129,600	28,43	3.684,53
16	Y.22.009/03	Laminat kaplamalı, iki yüzü odun lifinden yapılmış levhalarla (mdf) presli, kraft dolgulu iç kapı kanadı yapılması, yerine takılması	m²	13,400	155,06	2.077,80
17	Y.23.015	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	Ton	3,400	2.503,25	8.511,05
18	Y.23.167	Çeşitli profil demiri ve sac levhalardan münferit imalat yapılması ve yerine konulması (su depoları ve benzeri)	kg	136,000	7,60	1.033,60
19	Y.23.241	Plastik doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması (Sert PVC doğrama profillerinden her çeşit kapı, pencere, kaplama ve benzeri imalat) Not: Tüm ana profiller ile ilave profiller, pencere kapalı iken görülmeyen ve dikkat çekmeyen bir yerde, en az 1 m a	kg	685,500	10,74	7.362,27
20	Y.25.004/01	Brüt beton, sıvalı veya eski boyalı yüzeylere, astar uygulanarak akrilik esaslı su bazlı boya yapılması (dış cephe)	m²	218,200	20,55	4.484,01
21	Y.26.005/302	(30 x 30 cm) veya (33 x 33 cm) anma ebatlarında, her türlü desen ve yüzey özelliğinde, I.kalite, beyaz seramik yer karoları ile 3 mm derz aralıklı döşeme kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)	m²	200,000	34,15	6.830,00
22	Y.27.501/08	350 kg çimento dozlu harçla tek kat kaba sıva yapılması	m²	218,200	18,46	4.027,97
23	Y.27.583	2.5 cm kalınlığında 400 kg çimento dozlu şap yapılması	m²	400,000	18,46	7.384,00
			Toplam			**146.571,31**

ÖZGEÇMİŞ

Edip İMİK; 1988 Malatya doğumlu olup, 2006 yılında Malatya Turgut Özal Anadolu Lisesi'nden, 2012 yılında İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2013 yılında Malatya Ticaret İl Müdürlüğü'nde Gümrük ve Ticaret Denetmen Yardımcısı olarak göreve başladı. 2014 yılı Eylül ayında İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Malatya Ticaret İl Müdürlüğü'nde Gümrük ve Ticaret Denetmen Yardımcısı olarak görev yapmaktadır.

Ad Soyad: Edip İMİK

E-Posta: toal__24@hotmail.com

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü