
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

SIFIR ENERJİLİ BİNALARA UYGUN KRİTERLERİN ARAŞTIRILMASI

Seda ABAYOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2025

ETİK BEYAN

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

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

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

Seda ABAYOĞLU

26/06/2025

SIFIR ENERJİLİ BİNALARA UYGUN KRİTERLERİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Seda ABAYOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2025

ÖZET

Fosil kaynakların tükenebilir ve çevreye zararlı olması, enerjiye olan ihtiyacın artması ile enerji verimliliği çalışmaları daha fazla önem kazanmıştır. Bu anlamda, yapı sektöründe Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB) konsepti ön plana çıkmıştır. NSEB kavramı enerjiyi verimli kullanan, tükettiği enerjiyi mümkün mertebede yenilenebilir enerji kaynaklarından üretebilen yapılardır. Bu çalışmada, NSEB kapsamında enerji verimliliği sağlayan yenilikçi teknolojiler araştırılmıştır. Bu kapsamda, yüksek ısıl dirence sahip yalıtım malzemeleri, duvarlarda enerji depolama, ısı geri kazanımı ve güneş enerjisi ile özellikle dış duvarlarda enerji üretme teknolojilerinin kullanılması yapılabilecek temel uygulamalardır. Fotovoltaik-termal (PV-T) güneş kollektörlerinin bina entegrasyonu, yüksek performans katsayısına (COP) sahip ısı pompası-soğutma sistemlerinin NSEB kapsamındaki binalara uygulanmasının yüksek katkı sağlayacağı görülmüştür. Isıtma ve soğutmada güneş enerjisi destekli sistemler yenilenebilir enerji destekli ısı pompalı soğutma/ısıtma sistemi kullanarak harcanan enerjinin daha verimli kullanımı NSEB sürecine katkı sağlayabilecektir. NSEB kapsamında ısıtma sisteminde PV-T paneller ile desteklenen ısı pompası sisteminin kullanımı ile elektriksel ve termal enerji üretimi ve enerji depolama sisteminin beraber kullanılması yenilenebilir enerjiden faydalanma oranını yükseltebilecek önemli tasarım kriterleri olarak görülmüştür. Atık ısının ön ısıtma süreçlerinde değerlendirilmesi ve gerektiğinde depolanması verim artışı sağlayabilecektir. NSEB kapsamında yapılacak tasarımlarda PV-T kullanımı, yüksek ısıl dirence sahip doğal malzemelerin kullanımı ve yüksek COP değerine sahip sistemler ile sürdürülebilirliğe katkı sağlanabilecektir.

Bilim Kodu	:	93008
Anahtar Kelimeler	:	Neredeyse sıfır enerjili binalar, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, sürdürülebilirlik
Sayfa Adedi	:	71
Danışman	:	Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ

RESEARCH OF SUITABLE CRITERIA FOR ZERO ENERGY BUILDINGS

(M. Sc. Thesis)

Seda ABAYOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2025

ABSTRACT

With fossil resources being exhaustible and harmful to the environment and the increasing need for energy, energy efficiency studies have gained more importance. In this sense, the concept of Nearly Zero Energy Building (NSEB) has come to the fore in the construction sector. The NSEB concept is structures that use energy efficiently and can produce the energy they consume from renewable energy sources as much as possible. In this study, innovative technologies that provide energy efficiency within the scope of NSEB have been investigated. In this context, the use of insulation materials with high thermal resistance, energy storage in walls, heat recovery and solar energy and energy generation technologies, especially on external walls, are the basic applications that can be made. It has been observed that the integration of photovoltaic-thermal (PV-T) solar collectors into the building and the application of heat pump-cooling systems with high coefficient of performance (COP) to buildings within the scope of NSEB will make a high contribution. More efficient use of energy spent by using solar energy-supported systems in heating and cooling, renewable energy-supported heat pump cooling/heating systems can contribute to the NSEB process. Within the scope of NSEB, the use of heat pump systems supported by PV-T panels in the heating system, electrical and thermal energy production and energy storage systems together have been seen as important design criteria that can increase the rate of utilization from renewable energy. Evaluation of waste heat in preheating processes and storage when necessary can provide increased efficiency. In designs to be made within the scope of NSEB, the use of PV-T, the use of natural materials with high thermal resistance and systems with high COP values can contribute to sustainability.

Science Code : 93008
Key Words : Zero energy buildings, energy efficiency, renewable energy, sustainability
Page Number : 71
Supervisor : Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde bilgilerinden, tecrübesinden yararlandığım danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ hocama, her zaman yanımda olan annem Şadiye ABAYOĞLU, babam Hasan ABAYOĞLU ve diğer aile üyelerime yardımlarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte desteklerini esirgemeyen, yanımda olan Sayın Ahmet Suat ÖZDEMİR ve Sayın Sait ÖZTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI 3

3. BİNALARDA ENERJİ TÜKETİMİ VE ENERJİ TÜKETEN SİSTEMLER 17

3.1. HVAC-R Sistemler (Isıtma, Havalandırma ve Klima) 17

3.1.1. Havalandırma sistemleri 18

3.2. Isıtma Sistemleri 19

3.2.1. Merkezi ısıtma sistemleri 19

3.2.2. Bölgesel ısıtma sistemleri 20

3.2.3. Güneş enerjisi sistemleri 20

3.3. Soğutma Sistemleri 20

3.3.1. Merkezi VRF sistemi 20

3.3.2. Hava soğutmalı chiller destekli fancoil sistemi 21

3.3.3. Hava soğutmalı chiller destekli klima santrali sistemi 21

3.3.4. VRF Soğutma destekli klima santrali sistemi 21

3.3.5. Rooftop sistemi 21

3.4. İklimlendirme Sistemleri 22

3.4.1. Tam havalı iklimlendirme sistemi – VAV 22

3.4.2. FanCoil + taze hava 22

3.4.3. Su kaynaklı ısı pompası + taze hava 22

Sayfa

3.5. Ev Aletlerinde Enerji Tüketimi 23
3.6. Aydınlatma 23
3.7. Isı Pompaları 23
3.7.1. Toprak kaynaklı sistemler 24
3.7.2. Yüzey suyu kaynaklı sistemler 25
3.7.3. Yeraltı suyu kaynaklı sistemler 25
3.7.4. Hava kaynaklı sistemler 25
3.7.5. Atık hava kaynaklı sistemler 26
3.7.6. Güneş kaynaklı sistemler 26
4. ENERJİ KAYNAKLARI VE ENERJİ ÜRETEN SİSTEMLER 27
4.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 27
4.1.1. Rüzgâr enerjisi 27
4.1.2. Güneş enerjisi 28
4.1.3. Jeotermal enerji 32
4.1.4. Biyokütle enerjisi 33
4.2. Enerji Depolama 34
4.2.1. Termal enerji depolama 34
4.2.2. Duyulur ısı depolama 34
4.2.3. Gizli ısı depolama 34
4.2.4. Termokimyasal ısı depolama 34
5. NEREDEYSE SIFIR ENERJİLİ BİNALAR İÇİN TEORİK ANALİZ 35
5.1. PV Paneller 35
5.1.1. PV Panel performansının sıcaklıkla değişimi 36
5.2. Isı Pompası 37
5.3. Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U) ve Isıl Geçirgenlik Direnci (R) 38
5.4. Aydınlatma 39

Sayfa

5.5. İklimlendirme Sistemleri 39
5.6. Hava Kanalları İçin Hesaplamalar 41
5.7. Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri 42
5.8. Isı Değiştiricileri 43
5.9. Ev Aletlerinde Enerji Tüketimi 44
6. NEREDEYSE SIFIR ENERJİLİ BİNALARA UYGUN KRİTERLER 45
6.1. Neredeyse Sıfır Enerjili Bina Tasarım Stratejileri 46
6.1.1. "TriasEnergetica" konsepti 46
6.1.2. Pasif tasarım stratejileri 46
6.1.3. Aktif tasarım stratejileri 48
6.1.4. Yenilenebilir enerji kullanıma dayalı stratejileri 48
6.2. Neredeyse Sıfır Enerjili Binalarda Beklenen Özellikler 48
6.2.1. Binalarda enerji etiketi 48
6.2.2. Trombe duvar uygulaması 50
6.2.3. Geri kazanılmış malzeme kullanımının sürdürülebilirlik açısından önemi 51
6.2.4. Pencere seçimi 51
6.2.5. Isı yalıtımı 53
6.2.6. HVAC Sistemleri ve atık ısı geri kazanımı 54
6.2.7. Ev aletlerinde enerji verimliliği 55
6.2.8. PV/T Paneller ile desteklenen ısı pompası 55
6.2.9. Aydınlatma 56
7. NEREDEYSE SIFIR ENERJİLİ BİNALAR İÇİN GEREKLİ KRİTERLER 59
8. NSEB İÇİN KRİTER ÖNERİLERİ 61
9. SONUÇ VE ÖNERİLER 63
KAYNAKLAR 65

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ 71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1.Önerilen çok işlevli PV-LAES sisteminin şematik diyagramı 5

Şekil 2.2. Güneş kollektörleri (ST), tampon depolama (BS), kızdırma ısıtıcılı (DSH), yerden ısıtmalı (FH) ve sıcak su hazırlama için merkezi olmayan ısı eşanjörlü iki kademeli yeraltı suyu ısı pompası (HP) içeren hidrolik şema 9

Şekil 2.3. Vaka çalışması FCU'nun psikrometrik şeması..... 11

Şekil 2.4. Ele alınan güneş hidrojen hibrit enerji sisteminin şeması 13

Şekil 2.5. Deneysel modüllerin yerinde görünümü 14

Şekil 2.6. Deneysel kurulumun şeması ve sensörlerin konumu..... 14

Şekil 3.1. HVAC Sistemi..... 18

Şekil 3.2. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi 25

Şekil 4.1. Rüzgar türbini 28

Şekil 4.2. Güneş paneli 30

Şekil 4.3. PVT Sistemi..... 31

Şekil 4.4. Jeotermal enerji..... 33

Şekil 4.5. Biyokütle enerjisi..... 33

Şekil 5.1. 0-75 ℃ sıcaklıklarındaki (a) P-V grafiği (b) I-V grafiği..... 37

Şekil 5.2. Genel bir ısı pompası çevriminin ısıl kaynaklara göre şematik gösterimi..... 37

Şekil 6.1. Trias energetica konsepti 46

Şekil 6.2. Pasif ev beş ilkesinin şematik görünümü..... 47

Şekil 6.3. Enerji kimlik belgesi 49

Şekil 6.4. PV/T Paneller ile desteklenen ısı pompası 56

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
CO_2	Karbondioksit
U	Toplam ısı transfer katsayısı ($W/m^{2\cdot}K$)
R	Isıl geçirgenlik direnci (m^2.K/W)
Ri	İç yüzeyin ısıl iletim direnci (m^2.K/W)
Re	Dış yüzeyin ısıl iletim direnci (m^2.K/W)
D	Yapı eleman uzunluğu (m)
Λ	Isıl iletkenlik katsayısı (W/m.K)
COP	Etkinlik katsayısı
$\dot{E}_E$	Elektriksel güç (kW)
$\dot{E}_{TE}$	Termal güç (kW)
$\dot{E}_G$	Güneş enerjisi (kW)
$\dot{E}_K$	Kayıp güç (kW)
F	Güneş ışınımı (W/m^2)
A	Alan (m^2)
I	Modül akım (A)
V	Gerilim (V)
E_M	Motorların enerji girdileri (kWh)
E_t	Taşınım yoluyla enerji kaybı (kJ)
E_r	Işınım yoluyla enerji kaybı (kJ)
c	Özgül ısı (kJ/kg.K)
$T_ç$	Çıkış sıcaklığı (K)
T_g	Giriş sıcaklığı (K)
$T_{c,ç}$	Soğuk akışkançıkış sıcaklığı (K)
$T_{c,g}$	Soğuk akışkan giriş sıcaklığı (K)
$T_{h,ç}$	Sıcak akışkan çıkış sıcaklığı (K)
$T_{h,g}$	Sıcak akışkan giriş sıcaklığı (K)
m	Kütle (kg)

Simgeler	Açıklamalar
$\dot{m}$	Akışkanın kütlesel debisi (kg/s)
$\dot{m}_{sıcak}$	Sıcak akışkanın kütlesel debisi (kg/s)
$\dot{m}_{soğuk}$	Soğuk akışkanın kütlesel debisi (kg/s)
h	Taşınım katsayısı (W/m^2K)
ε	Işınım yayıcılık katsayısı
η	Verim
σ	Stefan-Boltzmann sabiti (W/m^2K^4)
$\dot{Q}$	Isı miktarı (kJ/s)
ΔT	Sıcaklık farkı (K)
k	Orantı sabiti
x	Duvar kalınlığı (m)
$\dot{V}d$	Toplam dış hava debisi (m^3/h)
$\dot{V}kişi$	Kişi başına gerekli taze hava miktarı ($m^3/h.kişi$)
$\dot{V}ü$	Toplam üfleme havası debisi (m^3/h)
$\dot{V}t$	Toplam taze hava miktarı (m^3/h)
$\dot{V}e$	Egzoz hava debisi (m^3/h)
n	Mahalde bulunan insan sayısı (kişi)
$T_ü$	Hava üfleme sıcaklığı (K)
T_i	Mahal havası sıcaklığı (K)
$T_{ıgk}$	Isı geri kazanım çıkış havası sıcaklığı (K)
P	Yoğunluk (kg/m^3)
Δp	Toplam basınç kaybı (Pa)
Δp_{st}	Statik basınç kaybı (Pa)
Δp_d	Dinamik basınç kaybı (Pa)
ℓ	Kanal uzunluğu (m)
Ç	Çevre uzunluğu (m)
a,b	Kanalın kenar uzunlukları (m)
R	Birim basınç kaybı (Pa/m)
Z	Kanal bağlantı parçalarının basınç kaybı (Pa)
P_E	Sistemde kullanılan cihazların toplam basınç kaybı (Pa)
ΔT_{LM}	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı (K)

Simgeler	Açıklamalar
h	Akışkanın entalpisi (kJ/ kg)
h_k	Karışım havası entalpisi (kJ/ kg)
h_g	Akışkanın sıcaklığa bağlı giriş entalpisi (kJ/ kg)
$h_ç$	Akışkanın sıcaklığa bağlı çıkış entalpisi (kJ/ kg)
$h_{sıcak,g}$	Sıcak akışkanın giriş entalpisi (kJ/ kg)
$h_{sıcak,ç}$	Sıcak akışkanın çıkış entalpisi (kJ/ kg)
$h_{soğuk,g}$	Soğuk akışkanın giriş entalpisi (kJ/ kg)
$h_{soğuk,ç}$	Soğuk akışkanın çıkış entalpisi (kJ/ kg)
u	Akışkan hızı (m/s)
$\mathbf{v_g}$	Girişteki havanın özgül hacmi (m^3/kg)
$\dot{V}_1$	Hacimsel debi (m^3/s)

Kısaltmalar	Açıklamalar
AHU	Hava ünitesi
BIPV	Binaya entegre fotovoltaik teknolojisi
BS	Tampon depolama
CCHP	Birleşik soğutma, ısıtma ve güç tedarik
DSH	Kızdırma ısıtıcılı
EPBD	Enerji performansı bina direktifi
EPC	Bina enerji sertifikası
FCU	Fancoil ünitesi
FH	Yerden ısıtmalı
GHG	Küresel sera gazı
HP	Isı pompası
HVAC-R Sistemler	Isıtma, havalandırma, iklimlendirme ve soğutma
MPPT	İnvertör izleme maksimum güç noktası
NSEB	Neredeyse sıfır enerjili bina
PEM	Polimer elektrolit membranlı
PV	Fotovoltaik panel
PV-LAES	Sıvı hava enerji depolaması
PV/T	Fotovoltaik-termal kolektör

Kısaltmalar	Açıklamalar
ST	Güneş kollektörleri
TED	Termal enerji depolama
TOKİ	Toplu konut idaresi
TS 825	Binalarda ısı yalıtım kuralları standardı
VAV	Değişken hava debili havalandırma sistemi

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacımızda fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu kaynaklar arasında olan fosil yakıtlar tükenebilir ve hava kirliliği gibi çevreye farklı zararlar veren kaynaklardır. Fosil kaynakların dezavantajları ve nüfus sayısındaki artış yenilenebilir kaynaklara olan talebi arttırmaktadır. Yenilenebilir enerjinin kullanımı arttığında fosil yakıt kullanımındaki talepte azalma olabilecektir.

Bina sayısındaki artış daha fazla enerji tüketimine ve tüketim sonrası karbon salımına neden olmaktadır bunun sonucu olarak çevre kirliliği ve maddi kayıplar oluşmaktadır. Enerji tüketimindeki bu artış ise enerji verimliliğinin önemini ortaya çıkartmaktadır.

2010 yılında Avrupa Birliği, 2050 yılına kadar CO_2 emisyonlarının % 90'ını azaltmak için Enerji Performansı Bina Direktifini (EPBD) kabul etmiştir. EPBD'ye göre yeni yapılacak tüm yapıların Aralık 2020 itibariyle Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB) olması gerektiği bildirilmektedir. Türkiye ise bu kapsamda "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" uygulanmaktadır.

Binanın birincil enerji ihtiyacını karşılamasın da yenilenebilir enerji kullanım oranının en az %10 ve enerji performans sınıfı B veya daha iyi olan yapılara NSEB denilmektedir. Toplam yapı inşaat alanı 2000 m^2 ve üzeri olan binaların NSEB olarak inşa edilmesi zorunludur. Bu yapıların mekanik ve mimari projelerinin Binalarda Enerji Performans Yönetmeliğine uygunluğunu gösteren "Ön Hesap Sonuç Formunun", BEP-TR yazılımı ile hazırlanarak sunulması zorunludur.

Yapılarda tüketilen enerjinin çoğu soğutma ve ısıtma için kalan kısım ise aydınlatma ve elektrikli cihazlarda kullanılmaktadır. Binalarda NSEB kapsamında enerji verimliliği uygulamaları yapılarak enerji tüketimi azaltılmalı ve yenilenebilir enerji türlerinden yararlanarak binanın enerji tüketiminin en az %10'u karşılanmalıdır.

Çalışmanın amacı ve önemi ise:

- Bir yapının sıfır enerjili bina olması için gerekli kriterlerin araştırılması,
- Sıfır enerjili binalardaki uygulamaların neler olduğu ve bu kapsamda enerji verimlilik uygulamaları hakkında bilgiler vermek,
- Bu bilgiler doğrultusunda gelecekte yapılmak istenebilecek sıfır enerjili binalar içinde yol gösterici örnekler oluşturmak,
- Bu tezdeki bilgilerden yararlanarak daha enerji verimli yapılar oluşturabilmektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

NSEB'le, yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji verimliliği ile ilgili yapılan teorik ve uygulamalı çalışmalarla alakalı literatür taramasına bu bölümde yer verilmiştir:

Acar (2023), tarafından hazırlanan tezde önce, bina kabuğu parametreleri optimize edilmiş ve Pareto cephesi çözümleri bulunmuştur. Optimize edilmiş sonuçlar kullanılarak güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinden oluşan yenilenebilir enerji sistemleri binaya entegre edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, TS825'te tanımlanan birinci, ikinci ve üçüncü iklim bölgeleri için sırasıyla 23 kWh/m^2, 9 kWh/m^2 ve 3 kWh/m^2 'ye kadar enerji üretiminin yapılabildiği farklı NSEB tasarımlarının mümkün olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yenilenebilir sistemlerin ilk yatırım maliyetinin toplam yatırım maliyetinin ortalama %19'una tekabül ettiği görülmüştür [1].

Pınar (2023), yazdığı tezinde NSEB tanımı ile aynı Avrupa tekniklerinin uygulandığı Hollanda mevzuatını karşılaştırmalı analiz yöntemiyle incelemiştir. Binalarda Enerji Performans Yönetmeliğini değerlendirmek için Hollanda da örnek bina seçerek, her iki ülke yönetmeliklerinin de incelemesini yapmıştır. Hollanda için seçmiş olduğu örnek binanın enerji tüketimini 1766 güneş paneli kullanarak karşılamıştır. Mevcut yapının Hollanda EPC (Bina Enerji Sertifikası) ile ilgili yazılım sonucu enerji tüketimi -49 kWh/m² çıkmış bu durum tükettiği enerjiden daha fazlasını ürettiğini göstermiştir. Aynı durum için yenilenebilir enerji kaynaklarının verilerinin girişi yapılmadığında enerji tüketiminin 91 kWh/m² çıktığı sonucuna varmıştır. Türk mevzuatına uygun önerilen bina da ise 125 kWh/m² çıktığı belirtilmiştir. Türk mevzuatına uygun önerilen binanın BEP-TR ile analizinden Türkiye'deki enerji tüketiminin 135,53 kWh/m² sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan analizlerde yapı kabuğu özelliklerinin etkisi araştırılmıştır [2].

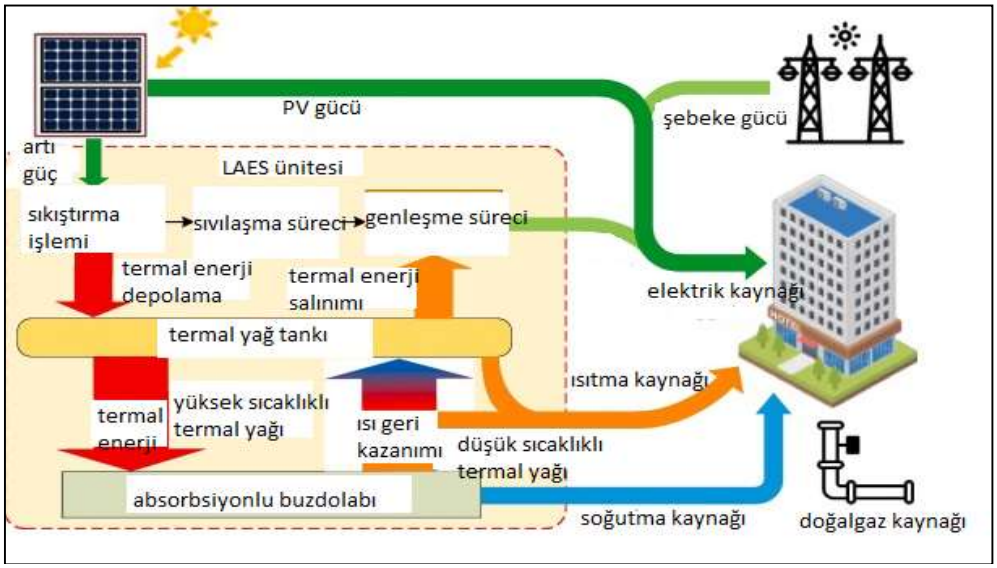
Şenel (2021), çalışmasında konut cephelerinde uygulanan iyileştirme yöntemlerinin araştırılmasını hedeflemiştir. Dünyadan ve Türkiye'den örnekler incelenerek analiz edilmiştir. Yapılan analizlerin dünya ve Türkiye'deki durumlarının karşılaştırılmasıyla; Türkiye'de Net Sıfır Enerjili binalar için mevcut konut cephelerinde iyileştirme yöntemlerinin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Müstakil evlerde, apartman tipi konutlara göre ısıtma için %54, soğutma için %26 daha fazla enerji tükettiğini belirtmiştir.

Türkiye‘nin Enerji Verimliliği Bilinci Araştırması raporunda konutların %20’sinin yalıtımlı olduğu, pencerelerde ise %58’i çift cam, %39’u ise tek cam ve %6’sı yalıtımlı cam kullanıldığı belirtilmiştir. Çok katlı konutlarda ısı kayıplarının %40’ının dış duvarlardan, %30’unun pencerelerden, %7’sinin çatıdan, %6’sının bodrum döşemesinden ve %17’sinin hava kaçaklarından kaynaklandığını belirtmiştir. Tek katlı bir konutta ise; ısı kayıplarının %25’inin dış duvarlardan, %22’sinin çatıdan, %20’sinin pencerelerden, %20’sinin bodrumdan ve %13’ünün hava kaçaklarından meydana geldiği belirtilmiştir. Bazı örneklerde güneş enerjili su ısıtma sistemi kullanılmıştır. İncelenen örneklerde iyileştirme sonrası durum başlığına bakıldığında, iyileştirme sonrası dış duvarların U değerlerinin 0,038-0,2 W/m²K, pencerelerin U değerlerinin 0,26- 1,20 W/m²K arasında olduğu sonucuna ulaşılmıştır [3].

Sattarı (2021), çalışmasında Ankara’da konumlanan bir Toplu Konut İdaresi (TOKİ) konutunu örnek bina olarak seçmiştir. Seçilen binaya uygulanan NSEB tasarım stratejileri, dünyada NSEB olarak tanımlanmış örnek binaların analizi yapılarak belirlenmiştir. İncelenen örnek “NSEB binalarda genel sonuç olarak 10 NSEB örneğinden 4'ü (%40) ısı pompalarıyla, 2 bina gaz kazanlarıyla, 2 bina bölgesel ısıtma ve 1 bina biyokütle kazanları ile ısıtıldığı belirlenmiştir. 4 binada hem ısıtma hem de sıcak su üretilmiştir. 5 bina (%50) sıcak su üretimi için güneş enerjisi kullanılmıştır. Binaların yaklaşık %70'i (7) ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemi, 2 binada ısı geri kazanımlı, ısı pompalı mekanik havalandırma sistemi ve 1 binada ısı geri kazanımsız mekanik havalandırma sistemi bulunmaktadır”[4]. Fotovoltaik (PV) paneller, NSEB’lerin hepsinde kullanılmıştır. Tip C’de ısı yalıtımında kalınlığı artırarak (5cm, 7cm ve 10cm) üç senaryo oluşturulmuştur. Sonuç olarak referans binaya kıyasla toplam enerji kullanımında yaklaşık 15- 18 kWh/m^2 veya %3 ile %4 arasında bir azalma fark edilmiştir [4].

Tığlı (2018), çalışmasında küresel ısınmanın sebepleri incelenmiştir. Yeşil bina kavramının enerji tasarrufunu nasıl ele aldığı, nasıl çalıştığını ve tasarıma nasıl yansıdığını, Net Sıfır Enerjili Binalar için entegre tasarım sürecini incelemiştir. Enerji olmak üzere tüm kaynakları etkin, sürdürülebilir, çevre koruma sorumluluğuyla kullanan, ekonomik, ekolojik olarak sürdürülebilir binalar hedeflenmiştir. Net Sıfır Enerjili Binalar, günümüzde bu tanıma en yaklaşan konseptlerdir ve uygulanmaktadırlar [5].

Chen, Y. Chen, Fu, Zhang, Tang, Feng, Jiang, Lei, D. Zhang, Shen (2023), yaptıkları çalışmada birleşik soğutma, ısıtma ve güç (CCHP) tedarikini elde etmek için fotovoltaikle çalışan sıvı hava enerji depolamasını (PV-LAES) kullanan yeni bir enerji çözümü sunmuşturlar. Bu makale, araştırma nesnesi olarak Shandong Jianzhu Üniversitesi'ndeki eğitim ve deney amaçlı bir binayı seçmektedir. Bölgedeki önemli miktarda güneş enerjisi kaynağı göz önüne alındığında, bu çalışmada çatı alanına (1615,56 m^2) ve dikey güney cepheye (güneş olay alanı) (1400,08 m) monte edilmek üzere 992 ve 860 adet fotovoltaik modül tasarlanmıştır. İnşa edilen fotovoltaik sistem (PV) toplam 1852 modül kullanmaktadır. Çatı + cepheye kurulan fotovoltaik modüllerin toplam alanı 3015,06 m^2 olup fotovoltaik cihazların kurulu gücü ise 411,14 kWp'dir. Güneş enerjisinin istikrarsızlığının enerji arzı ve talebi arasında ciddi bir dengesizliğe neden olacağı göz önüne alındığında, bu makale, düşük karbonlu enerji sağlamak üzere hibrit bir PV-LAES sistemi oluşturmak için güneş fotovoltaik sistemi + sıvı hava enerjisi depolama sistemini kullanarak binayı bir referans nesnesi olarak kullanmaktadırlar. Bir yıllık çalışmanın ardından PV-LAES sistemi 523,93 MWh temiz elektrik, 57,75 GJ soğuk enerji ve 119,24 GJ ısı enerjisi elde edebilir olduğu belirtilmiştir. Gidiş-dönüş verimliliği %67,05'e ulaşarak elektrik talebinin %89,72'sini ısıtma talebinin %51,96'sını ve soğutma talebinin %11'ini karşılayabilmiştir. PV-LAES, şebeke güç tüketimini yılda 523,93 MWh azaltabilir olduğu, bu da 359,34 ton CO_2 emisyonun azaltılmasına eşdeğer olduğu belirtilmiştir. Sistemin genel çevresel faydaları göz önüne alındığında, CO_2 emisyonunun azaltımının %81,32'ye ulaştığı gösterilmiştir [6].



Şekil 2.1. Önerilen çok işlevli PV-LAES sisteminin şematik diyagramı [6].

Özbalta'nın yaptığı çalışmaya göre [7]. yapı sektöründe bina enerji kullanımının yaklaşık % 15,5 i yenilenebilir kaynaklardan sağlanmaktadır. NSEB uygulamasına örnek olarak Münster kentinde yer alan, ısıtma enerjisi tüketim değeri 30-50 kWh/m^2 yıl olan ikiz bir ev verilmektedir. Kullanım alanı 156 m^2 olan konutun bina kabuğunda (U-duvar:0,14 W/m^2K) ve saydam yüzeylerden (U-kış bahçesi: 0,5-0,7 W/m^2K) ısı kayıplarının düşürülmesi için yalıtım uygulanmış ve 3 katmanlı cam, kripton dolgulu doğramalar kullanılmıştır. Güney cephedeki güneş pencereleri ile ısıtmanın yaklaşık % 100'ü sağlanmıştır. Ayrıca atık ısının geri kazanımından yararlanılmış ve çatıda kurulan güneş toplaçları ile sıcak su ihtiyacının yaklaşık % 90'ı karşılanılmıştır. Elektrik enerjisinin %60'ı çatıdaki PV modüller ile güneşten elde edilmektedir.

Abdul-Zahra, Jubori (2021), çalışmalarında önerdikleri NSEB, Irak'ın güneyindeki Basra şehrinde bulunmaktadır. Bu senaryoda pencerenin duvara optimum oranı ve pencerenin U değerinin soğutma ve ısıtma taleplerine etkisi incelenmiştir. Tek cam yerine çift cam tipi pencere kullanmanın soğutma enerjisi talebini %9,2 oranında azaltabildiğini, camın üç boyutlu cama değiştirilmesinde ise bu azalmanın %8,9 oranında daha az olduğu gösterilmiştir. Toplam ısıtma talebi için camı çift camla değiştirmek ısıtma talebini %5,5 oranında azaltabilmiştir. Çift cam kullanılarak pencere oranının %70'ten %20'ye değiştirilmesiyle soğutma talebindeki azalma %3 olduğu belirtilmiştir. Aynı binalarda çift cam kullanılanlara göre ısıtma talebindeki azalma %40 iken, tek cam kullanan binalarda bu oran %44 azalmıştır. Duvar ve çatı için yalıtım kullanılması durumunda soğutma ve ısıtma taleplerindeki azalma sırasıyla %25,4 ve %59,5 olmuştur. 19,551 kWh/yıl ve 507 kWh/yıl olan elektrik enerjisi soğutma/ısıtma talebinin karşılanması amacıyla toplam 71,5 m^2 alana sahip 11 kWp PV panel montajı yapılmıştır. Sonuçlar, 11 kWp'lik PV panellerin kullanılmasının konut binasının ısıtma ve soğutma talebini binanın toplam enerji talebinin yaklaşık %63'ü kadar karşılayabildiğini göstermiştir. 11,961 kWh/yıl olan yani yaklaşık 1 500 kWh/kişi hane halkı enerji talebinin karşılanabilmesi için daha fazla PV panelin kurulması gerekmektedir. Sonuç olarak 17,75 kW güç çıkışına ve toplam 115,5 m^2 alana sahip bir güneş paneli kurulduğu belirtilmiştir [8].

Wang, Yang Xiang (2023), çalışmalarında BIPV (Binaya Entegre Fotovoltaik Teknolojisi) sistemli yeşil çatılar ve cephelerden bahsetmiştir. BIPV, geleneksel bina kaplama malzemelerinin yerine bina kabuğuna (çatı veya cephe) entegre edilebilir olduğu ve net sıfır enerjili binalara ulaşmaya önemli bir katkıda bulunabileceği belirtilmiştir. Son

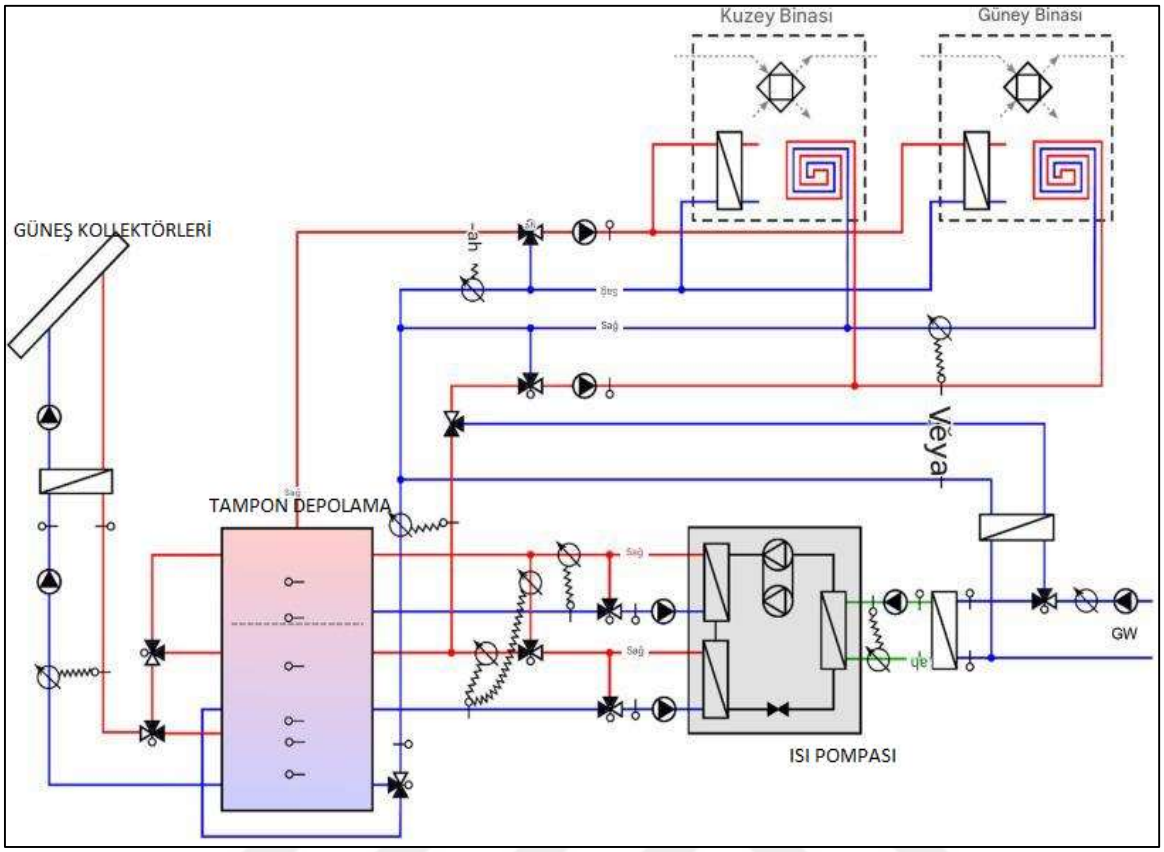
araştırmalar, ticari binalar alanında, aktif tasarım önlemlerinin uygulanmasının, emisyon azaltma potansiyelinin %90'ına varan oranlarda sonuç verebileceğini açıklamaktadır. Geleneksel bir güneş paneli üzerine yeşil bir çatı kurmak, sistemin enerji çıkışını potansiyel olarak 23,88 kWh artırabildiği ve sera gazı emisyonlarını 0,019 ton e-CO_2 azaltabildiği belirtilmiştir. Entegre bir BIPV yeşillendirme sisteminin performansını test etmek için sedum ve Gazania bitkileri seçilmiş ve Gazania'le karşılaştırıldığında sedum bitkilerinin gün boyunca modüllere gelen ışınımı ortalama %1,41'lik bir artışla arttırdığını göstermiştir [9].

D'Agostino ve Tzeiranaki, Zangheri ve Bertoldi (2021), çalışmalarında Avrupa genelinde toplanan en iyi NSEB uygulamalarıyla ilgilidir. AB çapında örnek NSEB %17,6 oranında mekanik soğutma, %19,6 oranında doğal soğutma çözümleri kullanıldığı görülmüştür. Havalandırmayla ilgili mevcut bilgilerin bulunduğu, toplanan binaların çoğunluğu ısı geri kazanım sistemlerini içermektedir. Mevcut ısı geri kazanım sistemleri, boşa harcanan enerjinin yaklaşık %60-95'ini geri dönüştürebilmektedir. Toplanan projelerin en iyi uygulamalarında ısı geri kazanımı %70 ile %96 arasında değişmektedir. Toplanan NSEB'lerin en iyi uygulamalarında ısı geri kazanım verimliliği ile ilgili olarak, Londra'daki Beddington Zero Energy Development ısı geri kazanım sistemi %70'lik bir verimlilik sunduğu, Birleşik Krallık'taki Bushbury Hill İlköğretim Okulunda, kış aylarında ısı geri kazanımı %80 oranında olan mekanik havalandırma sistemine sahipken, yaz aylarında pencereye dayalı olduğu belirtilmiştir. Ulusal NSEB standartlarında yenilenebilir enerji kaynakları gerekliliğini uygulayan örnekler arasında incelenen NSEB projeleri ile ilgili olarak, Almanya'daki Plus Enerji Okulu Hohen Neuendorf, enerji ihtiyacının %21'ini karşılamak için biyokütle, PV kullanmakta olduğu; Fransa'daki École François Mitterand ise eşit payı karşılamak için 406 m^2 PV içermekte olduğu, yenilenebilir enerji kaynakları İsveç'teki Väla Gård'ın birincil enerji ihtiyacının %105 'ini karşılamakta olduğuyla ilgili veriler elde edilmiştir [10].

D'Agostino ve Tzeiranaki, Zangheri ve Bertoldi (2021), makaleleri ile NSEB'e en yaygın olarak uygulanan teknolojilere genel bir bakış, maliyetler ve önümüzdeki yıllara ilişkin tahminler verilmektedir. Yerleşik NSEB enerji performansı seviyelerinin, yeni konut binalarında 20 kWh/m^2 (Belçika Flanders) ile 132 kWh/m^2 (Estonya) ve 30 kWh/m^2 (Belçika Flanders) ve 176 kWh/m^2 (Malta) arasında, mevcut binalarla ilgili olarak NSEB seviyeleri 20 kWh/m^2 (Belçika Flanders) ile 157 kWh/m^2 (Estonya) arasında ve 21

kWh/m^2 (Hırvatistan) ve 176 kWh/m^2 (Malta) arasında değişmekte olduğu belirtilmiştir. Gaz kazanlarının ise ısıtma teknolojisi stokunda %40'lık payla Avrupa'da en çok kullanılan ısıtma teknolojisi olduğu değinilmiştir. Uygulanan teknolojilerle ilgili olarak, NSEB en iyi uygulama binalarının %49'unda ısı pompaları bulunduğu ve bunun da onları NSEB'te en popüler aktif ısıtma sistemi haline getirdiği görülmüştür. Binaların %23'ü ısı pompalarını tercih ederken RES arasında PV en yaygın kullanılan teknolojidir (binaların %69'unda mevcuttur.). Toplanan NSEB en iyi uygulamalarında, binaların %20'si yalnızca veya çoğunlukla doğal soğutma çözümleri kullanırken, %18'inin mekanik soğutma çözümlerini kullandığı gösterilmiştir [11].

Dermentzis, Ochs, Franzoi (2021), çalışmalarında Innsbruck'ta NSEB olmayı hedefleyen iki adet yeni çok aileli evin dört yıllık izleme sonuçlarını sunmaktadır. Proje, Pasif Ev standardında tasarlanan yüksek performanslı binaları, yüksek verimli HVAC sistemlerini, yani düşük sıcaklık dağıtımı ve emisyonunu, kızgın ısıtıcı ve ısı geri kazanımlı mekanik havalandırmayı içeren çift kademeli yer altı suyu kaynaklı ısı pompasını birleştirmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar; HVAC ve yenilenebilir kaynaklara ilişkin yüksek performanslı teknolojilerin birleşimiyle ölçülen yıllık yerinde üretilen PV elektriği, ısı pompası tarafından tüketilenden %6 (4 yıllık ortalama) daha yüksek çıkmıştır ancak tüm teknik sistemlerin tüketimini karşılamak yeterli olamamıştır. Güneş termal kollektörleri, PV tahrikli ısı pompasına göre birim alan başına %20 (4 yıllık ortalama) daha fazla ısı üretmiş ancak her ikisinin birleşimi ve karşılık gelen sistem karmaşıklığı daha olumsuz yönler gösterme eğilimindedir. Binalar Pasif Ev standardına uygun olarak tasarlanmıştır ve kızdırma ısıtıcılı çift kademeli yer altı suyu kaynağı ısı pompası (HP), fotovoltaik paneller (PV), güneş enerjisi termal kollektörleri (ST) ve tampon depolama ile donatılmıştır. Mevcut çatı alanının tamamı güney binasında 99,8 m^2 (16 kWp) PV ile kuzey binada ise 74 m^2 ST ve 52,5 m^2 (8,5 kWp) PV ile kaplanmıştır. Elektrik tüketimi, PV veriminden %27 ila %39 daha yüksektir. ST (depolama kayıpları hariç) PV ve HP kombinasyonuyla karşılaştırıldığında, ST %6 ila %36 aralığında daha fazla ısı üretmektedir [12].



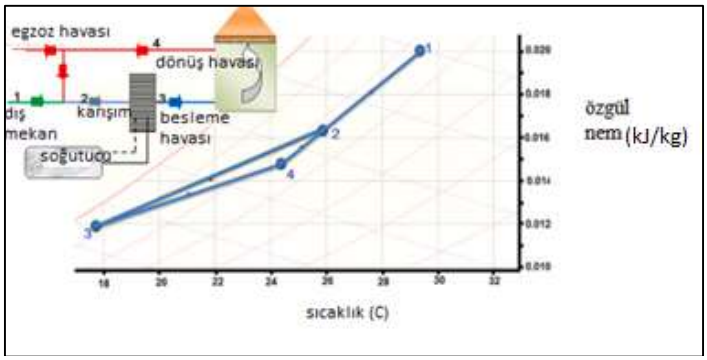
Şekil 2.2. Güneş kollektörleri (ST), tampon depolama (BS), kızdırma ısıtıcılı (DSH), yerden ısıtmalı (FH) ve sıcak su hazırlama için merkezi olmayan ısı eşanjörlü iki kademeli yeraltı suyu ısı pompası (HP) içeren hidrolik şemanın gösterimi [12].

Donatus (2023), çalışmasının amacı olarak, Nijerya'daki konut binalarında yapı malzemeleri ile enerji verimliliği arasındaki ilişkiyi araştırmak ve bunların iç soğutma üzerindeki etkilerini değerlendirmek, enerji performansını optimize etmek ve termal konforu artırmak için öneriler sunmaktır. Çalışmanın sonucu olarak Maiduguri, Minna ve Lagos'ta yalıtımların ve gölgelendiricilerin, yıllık soğutma yükünde %37,9, %33,4 ve %27,6 gibi kayda değer bir azalmaya yol açarak yıllık elektrik tüketiminde sırasıyla 4549 kWh, 4122 kWh, 3280 kWh azalma sağladığı sonucuna varılmıştır. Sonuçlar, tek başına yalıtımın uygulanmasının, üç şehirde soğutma yükünde yaklaşık %79,9 ila %86,8 arasında değişen önemli azalmalara yol açtığını tutarlı bir şekilde gösterilmiştir. Gölgeleme cihazları yalıtımla birleştirildiğinde yaklaşık %61,9 ila %72,3 arasında değişen daha fazla enerji tasarrufu elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır [13].

Çelik (2022), yaptığı çalışmasında Erzurum Teknik Üniversitesi kampüsünde LEED sertifikasına sahip Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binası ile ulusal enerji performans

yönetmeliğine göre yapılan binaların analiz sonuçlarını karşılaştırarak öneriler sunmuştur. Binada enerji verimli mekanik-elektrik ekipmanları, enerji tüketimini düşüren cephe tasarımı ve uygun cam tercihi ile uluslararası standartlara göre %20'den fazla enerji tasarrufu sağlanmıştır. Referans binanın yıllık toplam birincil enerji tüketimi 3 800 206,63 kWh/yıl dır. Toplam birincil enerji tüketiminin birim alan başına payı da 150,54 kWh/m^2 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu değerin Türkiye'de yürürlükte olan Binalarda Isı Yalıtım Kurallarının belirtilen eğitim binaları için önerilmiş 450 kWh/m^2 yıldan çok düşük olduğu ve %66,6 daha avantajlı olduğu görülmüştür. Enerji iyileştirme senaryolarının uygulanması ile optimum maliyet seviyelerinde birincil enerji tüketiminde %53 - %83 civarında tasarruf oranı elde edilmekte ve yaklaşık sıfır enerji seviyelerinde de %75'lerden daha fazla tasarruf elde edilebilmektedir. Referans binanın yıllık toplam spesifik birincil enerji tüketiminin birim alan başına hesaplanan değeri 150,54 kWh/m^2 yıl olarak tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda; referans binanın enerji modellemesi sonucu, birim alan başına toplam birincil enerji tüketiminin 139,6 kWh/m^2 yıl gerçekleştiği, TS 825-2013 Standardına göre yapılan enerji modellemesi ile de birim alan başına birincil enerji tüketimi 181,05 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır. Referans binanın birim alan başına karbon salımı ise 37,25 kg CO_2 /m^2 yıl olarak gerçekleşmiştir. Referans binanın simülasyon programı sonucu birim alan başına karbon salımı ise 36,99 kg CO_2/m^2 yıl olarak hesap edilmiştir [14].

Dezfouli, Dehghani-Sanij, Kadir, Suhairi, Rostami, Sopiyan (2023), çalışmasında Malezya'nın ilk net sıfır binası için bir soğutma çözümü bulmak amacıyla, bir örnek olay incelemesi olan FCÜ (fancoil ünitesi) sınıfının performansı, bir aylık deneysel değerlendirme ve bir yıllık simülasyon fonksiyonuna dayalı olarak değerlendirilmiştir. FCÜ ve AHÜ (hava ünitesi) ile karşılaştırıldığında radyant iklimlendirme sisteminin olası enerji tasarrufu sırasıyla %30 ve %20 olarak tespit edilmiştir [15].

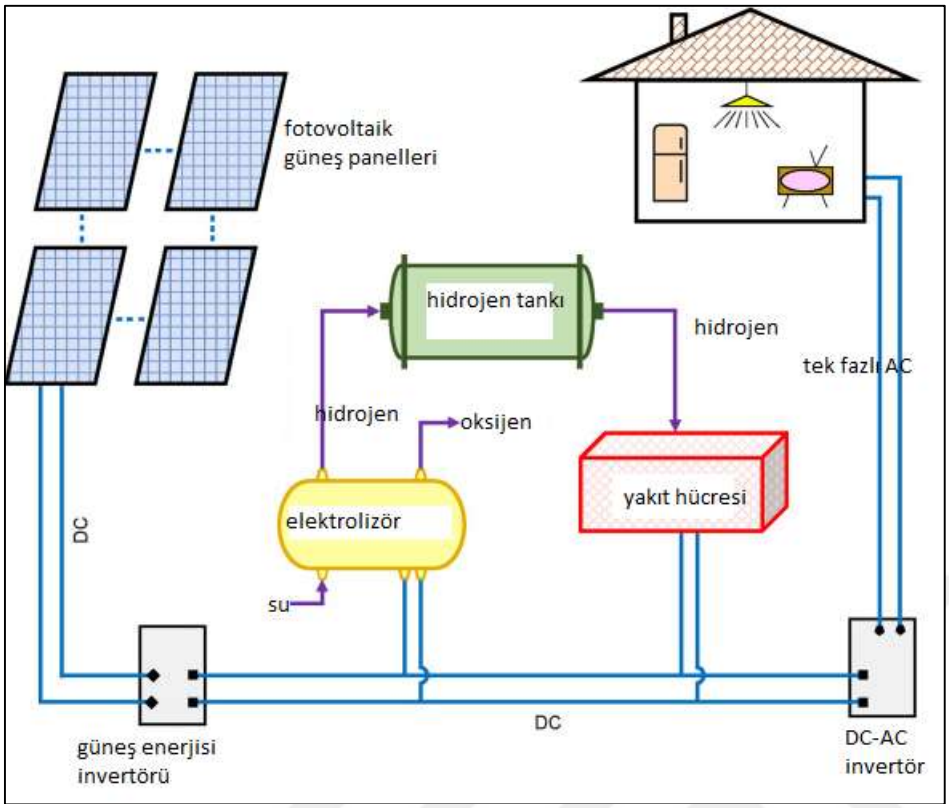


Şekil 2.3. Vaka çalışması FCÜ'nun psikrometrik şeması [15].

Araştırmanın sonuçları, FCÜ 'de nem alma için ortalama enerji tüketimi, bir aylık dönemde yapılan ölçümlere kıyasla bir yıl boyunca %35 oranında azalmıştır. Benzer şekilde, hissedilir soğutma, pompa ve fan işlemleri için enerji kullanım yüzdeleri sırasıyla %30, %28 ve %7 olarak bulunmuştur. Nem alma işleminin bir ay boyunca ortalama 498,43 kWh, günlük ortalama 22,80 kWh ve haftalık ortalama 117,3 kWh ile en fazla enerjiyi kullandığı görülmüştür. Vaka çalışmasında yeniden tasarlanan FCÜ 'nün, nem çekici soğutmanın ve FCÜ 'nün ortalama enerji tüketimi şu şekilde kaydedilmiştir: Sırasıyla 211.221 kWh, 843.12 kWh ve 2355.5 kWh. Üç sistemin genel enerji kullanımının karşılaştırılması, yeniden tasarlanan FCÜ 'nün örnek olay FCÜ'süne göre 1,6 kat daha fazla enerji tükettiğini, ancak kurutucu soğutma sisteminin örnek olay çalışması FCÜ 'ye kıyasla 0,6 kat daha az enerji tükettiğini ortaya koyuyor. Yeniden tasarlanan FCÜ ile örnek olay çalışması FCÜ 'nün enerji tahsisi arasındaki karşılaştırma, örnek olay çalışması FCÜ ile karşılaştırıldığında nem alma ve hassas soğutma işlemlerinin sırasıyla 357,7 kWh ve 75,77 kWh daha fazla gerektirdiğini göstermektedir. 2021 yılında üç sistemdeki enerji kullanımının aylık bulgularına göre, kurutucu soğutma sisteminin enerji tüketimi diğer soğutma sistemleriyle karşılaştırıldığında Ocak'tan Aralık'a kadar ayda 799,9 ila 893,1 kWh arasında değişmektedir. Yeniden tasarlanan FCÜ, ayda 1952,1 ila 2311,5 kWh arasında değişen daha yüksek enerji tüketimi sergiliyor. Buna karşılık, yeniden tasarlanan FCÜ'ye kıyasla enerji tüketimi daha düşük olan örnek olay FCÜ 'sü, ayda 1227,7 ila 1435,7 kWh aralığında enerji kullandığı görülmüştür.

Acar, Ertürk, Fırtına (2022), çalışmalarında Afyon, Türkiye'deki bir ev için bağımsız bir güneş hidrojen hibrit enerji sisteminin optimal boyutlandırma tasarımını analiz etmektedirler. Çalışma, bir evin talebini karşılamak için kesintisiz sürekli güç sağlayabilen bağımsız bir PV/elektrolizör/yakıt hücresi sisteminin performansını araştırmaktadır. Hibrit

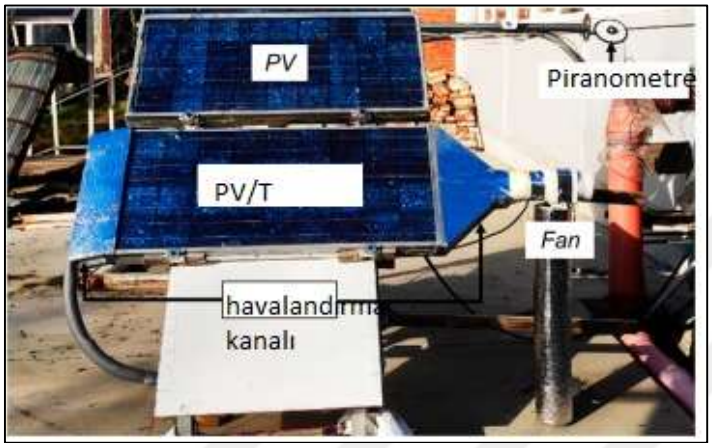
sistem için nominal güçleri 3, 5, 7 ve 9 kW olan dört farklı polimer elektrolit membranlı (PEM) elektrolizör modeli kullanılmıştır. Hibrit sistem için 100 W nominal güce sahip bir PEM yakıt hücresi kullanılmıştır. Hibrit sistemde evin elektrik ihtiyacını karşılayacak 100 W PEM yakıt hücresi bacaları bulunacaktır. Söz konusu evin birincil güç kaynağı fotovoltaik güneş panelleridir. Simülasyon sırasında, herhangi bir zamanda, güneş paneli dizisi tarafından üretilen güç evin kendisini desteklemeye yeterli olmazsa, gerekli miktardaki güç, yakıt hücresi kümesi tarafından üretilmiştir. Güneş paneli modülünün ortalama ve maksimum güç üretimi sırasıyla 64,2 W ve 346,5 Wattır. Afyon ilinde evin ortalama güç tüketimi 517,5 W tır. Çalışmada 4 farklı hibrit sistemi kullanılmıştır. Bunlar 25, 35, 45, 55 adet güneş paneli bulunduran sistemlerdir. 25 adet güneş paneli kullanıldığında 12,2 m^3 kapasiteli bir depolama tankına ihtiyaç duyulurken, 35 adet güneş paneli kullanıldığında 5,1 m^3 hacimli bir depolama tankı sistem için yeterli olmuştur. 45 ve 55'e çıkarıldıkça daha küçük depolama tankı kullanılabilir ve hidrojen depolama tankı yılın artan zamanlarında neredeyse dolu kalmıştır. 55 adet güneş paneli kullanıldığında 0,7 m^3 hacimli bir depolama tankı hibrit sistem için yeterli olmuştur. Yalnızca güneş paneli sayısını artırmanın etkisini belirlemek için tüm hibrit sistemlerde depolama tankı hacmi 12,2 m^3 olarak sabitlenmiş ve simülasyonlar yeniden çalıştırılmıştır. Toplam 1400 W gücündeki 14 adet yakıt hücresi bacası, gece güneşin olmadığı durumlarda evin en yüksek tüketiminde bile evi desteklemeye yeterli olduğu sonucuna varmıştır [16].



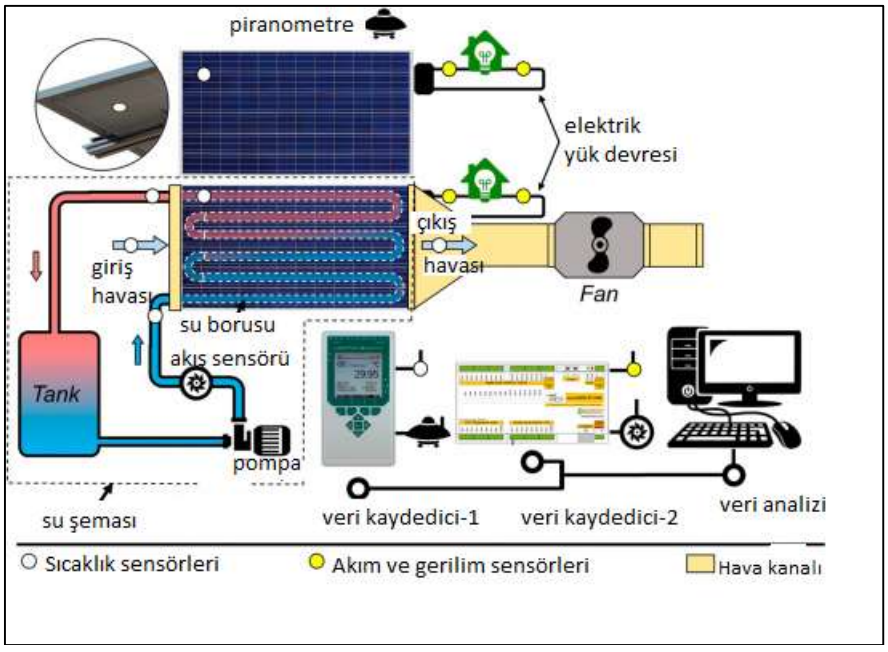
Şekil 2.4. Ele alınan güneş hidrojen hibrit enerji sisteminin şeması [16].

Alshibil, Farkas, Vig (2023), çalışmalarında binanın sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkileyen klasik çok kristalli fotovoltaik (PV) modüllerden üretilen atık ısı dikkate alınarak, çalışma akışkanı olarak su ve hava kombinasyonunu aynı anda kullanan (PV/T) özel bir hibrit güneş kolektörü tasarımı benimsenmiştir. Bu çalışmada iki adet çok kristalli güneş PV modülü kullanılmıştır. Modüllerden biri elektrik üretiminin yanı sıra sıcak hava ve su sağlamak üzere yapılandırılan kombi-PV/T sistemi olarak kullanılırken, diğer modül karşılaştırma amacıyla bağımsız bir PV ünitesi olarak değerlendirildiği görülmüştür. Sonuçlar, PV/T modülü tarafından açığa çıkan ısı miktarı, referans olarak kullanılan PV modülü tarafından salınan ısı miktarına kıyasla yaklaşık %77,6 daha düşüktür. Ayrıca PV modülün ortalama güneş pili yüzey sıcaklığı PV/T modülünde %30,6 oranında azalarak 53,6 °C'den 36,4 °C'ye düşmüştür. PV/T ve PV için ekserji verimliliği sırasıyla %12,6 ila %35,3 ve %4,4 ila %6,8 arasında değişmektedir. Ayrıca sürdürülebilirlik endeksi değerleri sırasıyla 1,15–1,8 ve 1,03–1,06 aralığında yer almıştır. Bu çalışmadaki deneysel sonuçlar, PV modülün PV/T'ye göre daha yüksek sıcaklıklara sahip olduğu, ön yüzey sıcaklığının PV ve PV/T modülleri için sırasıyla 52 °C ve 46 °C' ye ulaştığı görülmektedir. Kaybedilen ısının maksimum değerleri PV ve PV/T modülleri için

sırasıyla 213 W ve 47 W olmuştur. Sistem PV ve PV/T için ortalama ekserji verimliliği değeri sırasıyla %6 ve %25 olmuştur. Bu çalışmada incelenen modüllerin elektriksel üretkenliği PV/T ve PV modülleri için maksimum elektrik gücü değerleri sırasıyla 56 W ve 33 W olmuştur. Elektriksel olarak PV/T kombinasyonu, referans PV modülüne göre %38 daha yüksek üretkenliğe sahiptir. Sonuç olarak, incelenen hibrit güneş kolektörü sistemlerinin kombinasyonu etkin bir sürdürülebilirlik katkısına sahip olduğu ve NSEB'e yönelik sürdürülebilir binaları desteklediği görülmüştür [17].



Şekil 2.5. Deneysel modüllerin yerinde görünümü [17].



Şekil 2.6. Deneysel kurulumun şeması ve sensörlerin konumu [17].

Yetim (2021), çalışmasında ada bazlı kentsel dönüşüme uğramış olan Kepez İlçesi, Gülveren Mahallesi Kentsel Dönüşüm Projesini seçerek Antalya özelinde enerji verimli tasarım kriterlerini analiz etmiştir. Çalışmada öncelikle mevcut durumdaki üç blok için ayrı ayrı enerji tüketim ve maliyet verilerine göre Baz Bina Modelleri oluşturulmuştur. Enerjide verimli tasarım kriterleri doğrultusunda Baz Bina Modellerine enerjinin etkin kullanılmasına yönelik ısı yalıtım malzemesinde ve aydınlatma sisteminde iyileştirme yapılmasının yanı sıra güneş kırıcı, hava kaynaklı ısı pompası ve fotovoltaik sistemler eklenerek Tasarım Bina Modelleri oluşturulmuştur. Enerji etkin binalar üzerine yapılan araştırmalarda, binaların enerji etkin tasarlanması durumunda geleneksel yöntemlerle tasarlanmış binalara göre; enerji kullanımında %24-50, CO_2 emisyonlarında %33-39 oranında azalım sağlanabileceği görülmüştür. Isıtma ve soğutma enerji korunumu için 10 cm tabaka kalınlığına sahip bir yeşil çatı 1 cm kalınlığındaki ısı yalıtım etkisine sahip olduğu görülmüştür. Tez çalışmasında; baz binalarda optimum ısı yalıtım senaryoları incelendiğinde binalarda ısıtmada %35,09 ila %42,31 arasında enerji tasarrufu sağlanırken soğutmada %2,67 ila %1,12 arasında enerji tüketiminde artış yaşandığı görülmüştür. 4mm+16+4mm+16+4mm kombinasyonu sahip K3+ ısıcam kullanıldığı durumda binalarda ısıtmada %32,16 ila %38,22 arasında, soğutmada ise %34,76 ila %38,96 arasında yıllık enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Baz Binalarda kullanılan tasarruflu ampuller yerine LED ampullerin kullanılması durumunda ise binalarda %4,9 ila %7,2 oranında değişen enerji tasarrufu sağlanmıştır. Baz Binalarda hava kaynaklı ısı pompası kullanımı durumunda yıllık enerji tüketiminde %12,3 ila %16,6 arasında bir tasarruf sağlandığı gözlemlenmiştir [18].

Bitek (2023), çalışmasında müstakil bir ev için güneş ve rüzgâr hibrit güç sisteminin analizini ve simülasyonunu gerçekleştirmiştir. 3 farklı durum için hibrit sistemin Kırklareli örneği üzerinden analizini gerçekleştirmiştir. Çalışma sonuçlarında birinci senaryoya göre 3 kW rüzgâr türbini ve 3 kW güneş paneli ile sistemin ürettiği gücün Ekim-Mart aylarında yeterli olmadığı görülmektedir. Bu yüzden sisteme 5 kW'lık benzinli bir jeneratör ilave edilmiştir. İkinci senaryoya göre rüzgâr türbin gücü 5 kW ve güneş panelleri 4 kW çıkarıldığında aylara göre hibrit sistem tarafından üretilen enerji miktarları incelenmiştir. Üçüncü senaryoda ise rüzgâr türbin gücü 4 kW ve güneş panelleri toplam gücü 5 kW değerine çıkarılmıştır. Üç senaryo birlikte değerlendirildiğinde, birinci senaryoda sistem gücü yıllık ortalama 3,5 kW iken, ikinci senaryoda 5 kW ve üçüncü senaryoda 6 kW olarak hesaplanmıştır. Birinci senaryoda oluşan enerji açığı benzinli bir jeneratör yardımıyla

kompanse edilirken, ikinci senaryoda kış aylarındaki açık rüzgâr türbini tarafından karşılanmakta, üçüncü senaryoda ise güneş enerjisi ile toplam üretim miktarının yukarıya çekildiği gözlemlenmiştir [19].

Karadağ (2023), çalışmasında fosil enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynaklarından bahsetmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlerine değinilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre ile ilişkisine, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili uluslararası çalışmalardan bahsedilmiştir. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli, güneş enerjisi ile elektrik üretiminden bahsedilmiştir. Yenilenebilir enerjinin Türkiye açısından gelecekte nasıl bir yeri olacağına dair bir araştırma yapmak amacıyla bir anket çalışması yapmışlardır [20].

Yılmaz (2009), çalışmasında örnek bir ofis binası için CO_2 üretimini, enerji tüketimini ve enerji maliyetini hesaplamıştır. Referans binanın dış duvar yalıtım kalınlıklarını değiştirerek enerji simülasyonu yapılmıştır. Kullanılan farklı yalıtım kalınlıkları 5cm ve 10cm kalınlığında polistren köpük levhalarıdır. Cam alternatiflerinde iyileştirmeler yapılmış ve cam alternatiflerinin iyileştirilmesi ile HVAC kaynaklı emisyonlarda %17, toplam emisyonda ise %9 oranında tasarruf sağlandığı gösterilmiştir. Referans binada kullanılan HVAC sistemi olan Fan-coil sistemi için klima santrallerinde ısı geri kazanma ve pompalarda değişken devir teknolojisinin kullanımı alternatifleri önerilmiştir. Fotovoltaik sistem kullanımının bina CO_2 üretimini %39 oranında azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Bina CO_2 üretiminde kojenerasyon uygulaması ile bu oran %12 seviyesindedir. Fotovoltaik sisteminin en düşük yıllık enerji maliyetine ve CO_2 üretimine sahip olan alternatif olduğu sonucuna ulaşılmıştır [21].

3. BİNALARDA ENERJİ TÜKETİMİ VE ENERJİ TÜKETEN SİSTEMLER

Artan enerji talebi zaman geçtikçe artmakta iken fosil enerji kaynakları azalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı enerji verimliliği, enerjinin tasarruflu kullanımı günümüzde önem verilmesi gereken konulardan biridir. Türkiye'de enerji verimliliği açısından enerji verimliliği kanunu çıkarılmıştır. Konutlar ve ticari binalarda su ısıtma, ısıtma, elektrik de enerji tüketimi olmaktadır.

İnşaat sektöründe enerji tüketimine ve CO_2 emisyonlarının salımına ısıtma, soğutma, sıcak su, aydınlatma ve cihaz/ekipmanlara yönelik hizmet talepleri neden olmaktadır. Binalar, küresel nihai enerji kullanımının %40 'ı ve küresel sera gazı (GHG) emisyonlarının %19'undan sorumludur.

Binalar birincil enerji kaynaklarının %40'ını tüketmektedirler. Binalarda tüketilen enerjinin oranları ise %70 ısıtma+soğutma+havalandırma sistemleri, %20 aydınlatma ve %10 elektrikli cihazlar şeklindedir.

Sera gazlarının yaklaşık üçte biri binalardan kaynaklanmaktadır. Binalar, inşaat ve kullanım süreçlerinde, dünyadaki tatlı su kaynaklarının yaklaşık % 16'sını, ağaç kaynaklarının % 25'ini, malzeme kaynaklarının %30'unu, enerji kaynaklarının %40'ını tüketmektedir. Ayrıca, yapı sektöründen dolayı küresel ısınmaya neden olan CO_2'nin %35'i ve ozon tabakasını tahrip eden kimyasalların %50'si üretilmektedir. İklim değişikliği ile mücadelede yenilenebilir kaynaklardan enerji kazanımının rolü büyüktür. Fosil yakıtların kullanımının yüksek olduğu ülkeler, kaynak tüketiminin yanında CO_2 emisyonu, kirlenme, ozon tabakasının delinmesi gibi dünyayı tehdit eden etkilerden de sorumludur [22].

3.1. HVAC-R Sistemler (Isıtma, Havalandırma ve Klima)

Binalarda enerji tüketimindeki en büyük paya HVAC ve aydınlatma sistemleri sahiptir. Binada ısıtma, soğutma ve havalandırma işlevlerinin gerçekleştirildiği sistemlerdir.

HVAC sistemlerinde, ısıtma ve soğutma elemanları ısının üretildiği merkezi ünitenin içerisinde bulunmaktadır. Fan ve kanallar yardımıyla ısınan hava binanın bütün alanlarına taşınmaktadır. Fanı besleyen hava dışarıdan alınabildiği gibi, bina içinden dönüş havası kanalı ile de alınabilir [23].

3.1.1. Havalandırma sistemleri

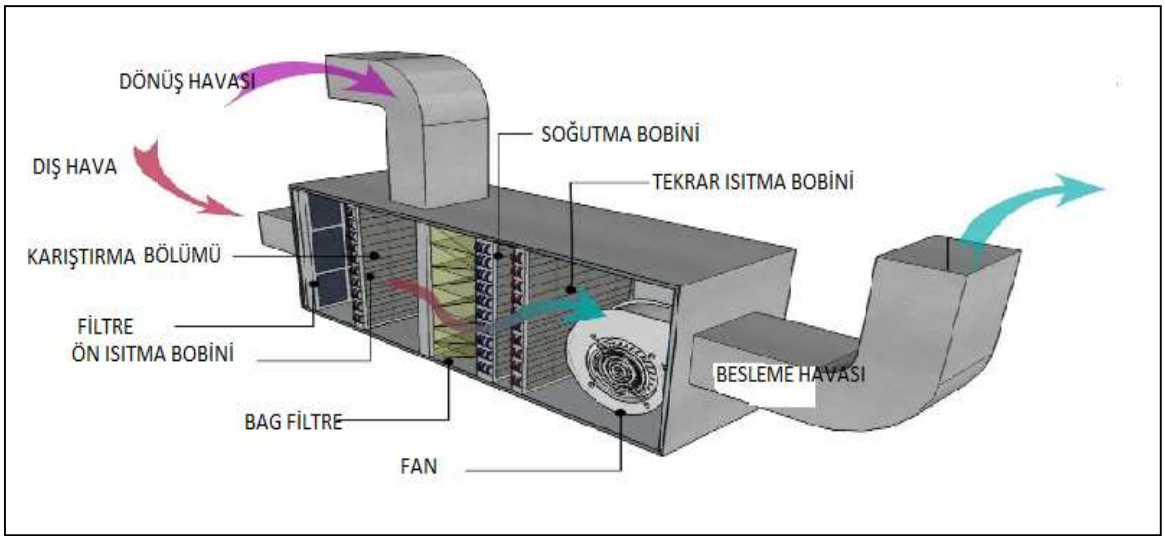
Havalandırma bir ortamdaki gazların tabii veya cebri olarak egzoz edilip yerine cebri veya tabii olarak taze hava gönderme işlemidir [23].

a) Doğal havalandırma sistemi

Ortama temiz hava alınmasında ya da ortamdan hava atılmasında dış ortama olan açıklardan yararlanma işlemidir [23].

b) mekanik havalandırma sistemi

Doğal havalandırmanın yapılamadığı durumlarda dışarıdaki havanın filtre edilerek istenen şartlara getirilmesi yöntemidir. Hava hareketinin sağlanmasında elektrikli fanlar kullanılmaktadır. Mekanik havalandırma üç kategoride incelenmektedir [23].



Şekil 3.1. HVAC sistemi [24].

3.2. Isıtma Sistemleri

Isıtma sistemleri, soğuk hava koşullarında ortam sıcaklığını ayarlamayı sağlayan iklimlendirme çalışmalarından biri olan sistemlerdir.

3.2.1. Merkezi ısıtma sistemleri

Isınma ve sıcak su ihtiyacının tek bir merkezden elde edilmesi, ısı tüketiminin ise bağımsız bölümlerde gerçekleşmesini sağlayan sistemlerdir. Kendi içinde dört kısma ayrılmaktadır.

a) Radyatörle ısıtma sistemleri

Binada ısıtmayı sağlamak için yakıt, kazanda yakılarak ısı elde edilir ve radyatörlerde dolanan su ısıtılır. Isıtılan su radyatörler aracılığıyla mahalin ısıtılması için kullanılır. Radyatörler dökme dilimli çelik ve alüminyum radyatörler olabilmektedir.

b) Zeminden ısıtma sistemleri

Borularda veya kablolarda ısı dolaştırılarak iç ortama aktarılarak mahalin ısıtılması sağlanmaktadır. Bu sistem zemine yerleştirilmektedir. İçerisindeki akışkan diğer ısıtma sistemlerine nazaran daha düşük sıcaklıkta çalışabilmektedir. Zeminden ısıtma sistemlerinde, mahalin konfor seviyesinde tutulmasını sağlamak ve ısıtma yükünde gereksiz artışı engellemek için termostat kullanılmalıdır.

c) Sıcak sulu sistemler

Sıcak sulu sistemlerde, tabana yerleştirilen su borularından geçen sıcak su vasıtasıyla oda ısıtılmaktadır. Bu sayede odadaki ısı değişikliği minimize edilmiş olur.

d) Elektrikli sistemler

Elektrikli ısıtıcı kablolar, tek bir oda içerisine veya tüm binayı zeminden ısıtabilir. Zemine yerleştirilen elektrikli kablolar yardımıyla ısıtma işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

3.2.2. Bölgesel ısıtma sistemleri

Bölgesel ısıtma sistemleri, ısı şebekesiyle birden çok yapının ısıtılmasını sağlayan sistemlerdir. Bölgesel ısıtma sistemleri, üretim sistemi, ısı iletim - dağıtım sistemi ve ısı kullanım sistemi olmak üzere 3 ana sistemden meydana gelmektedir.

3.2.3. Güneş enerjisi sistemleri

Temiz enerji kaynağı olarak kullanılan güneş enerji sistemleri, enerjiyi elektrik elde etmek, ışık ve ısı enerjisi olarak kullanabilmektedir. En yaygın uygulamalar aşağıdaki gibidir;

- Düzlemsel Güneş Kolektörleri: Güneş kolektörlü sıcak su sistemleri, düzlemsel kolektörler güneş enerjisini toplayarak suyu ısıtmaktadır. Isınan suyun toplandığı depo ve düzlemsel kolektörler arasında bağlantıyı sağlayan yalıtımlı borular, pompa gibi elemanlarla sistem tamamlanmaktadır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Yoğunlaştırıcı kolektör sistemlerde çanak veya kutu şeklinde kolektörler kullanılarak boru içerisindeki sıvı ısıtılmaktadır bu sıvıdan elde edilen kızgın buharla elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Yüksek sıcaklıklara ulaşmak için tercih edilen sistemlerdir [25].

3.3. Soğutma Sistemleri

3.3.1. Merkezi VRF sistemi

Bu sistemler aynı anda hem ısıtma hem de soğutma yapabildikleri için hem soğutma sistemi hem de ısı pompası olarak kullanılabilmektedirler bu açıdan enerji tasarruflu sistemlerdir. Farklı hava şartlarının aynı anda gerektiği binalarda kullanımı öne çıkmaktadırlar. Bu sistemlerde, bir dış ünite ile fazla iç ünite çalışabilmektedir.

VRF sistemlerinde, iç üniteler dış üniteye bağlanmaktadır. VRF Sisteminde soğutucu akışkan yönü değiştirilebilmekte ve bu özellik sayesinde hem soğutma sistemi hem de ısı pompası olarak kullanılabilmektedir. VRF sisteminin taze hava ihtiyacı olmaktadır bu nedenle ilave bir havalandırma sistemine ihtiyaç duymaktadır.

3.3.2. Hava soğutmalı chiller destekli fancoil sistemi

Fancoil cihazları ile mevsime göre soğutma ve ısıtma yapılır. Bu sistem de hava önce filtreden sonrada fan yardımı ile soğuk veya sıcak bir yüzeyin üzerinden geçirilir. Fan, serpantin, ana ve harici drenaj tavaları, filtre ve gövdeden oluşmaktadır.

Borularda bulunan sıcak ya da soğuk su ile soğutma ya da ısıtma işlemi yapılabilir.

3.3.3. Hava soğutmalı chiller destekli klima santrali sistemi

Havayı istenilen sıcaklığa göre şartlandırarak kanallar yardımıyla ilgili mahale yollayan sistemlerdir. Klima santrali serpantini sulu tip seçilmesi durumunda havayı soğutmak için bir Chillere ihtiyaç vardır. Chiller soğutma sistemleri kompresör, kondenser genleşme vanası ve evaporatörden oluşmaktadır. Çalışma prensibi olarak kompresörde sıkıştırılan ve ısınan gazın kondenserde soğutulmasına dayanır. Bu sistem kompresör, genleşme vanası, evaporatör ve kondenser elemanlarından oluşmaktadır.

3.3.4. VRF soğutma destekli klima santrali sistemi

Bu sistem hava soğutmalı chiller destekli klima santrali ile aynı özelliklere sahiptir. Hava soğutmalı chiller destekli klima santralindeki sulu serpantinin yerine DX batarya sistemi yerleştirilmektedir. Serpantinde su yerine gaz dolaştırılmaktadır.

3.3.5. Rooftop sistemi

DX bataryalı monoblok klimalara Rooftop sistemler denilir. Rooftop paket klimalar bir adet cihazla hem tek hemde birbirinden bağımsız mahallerin klimatizasyonunu yapabilmektedir. Hava kanalları vasıtası ile mahal şartlandırması yaparlar [26].

3.4. İklimlendirme Sistemleri

Yapıda uygulanacak HVAC sistemine karar verirken yapıda nasıl bir konfor istendiği, binanın nasıl işletileceğine bakılmalıdır. HVAC sisteminin seçilmesinde ihtiyacın belirlenmesi ve ihtiyaca göre doğru HVAC sisteminin seçilmesi en önemli kriterlerdir. Bir binada uygulanabilecek HVAC sistemleri şunlardır:

3.4.1. Tam havalı iklimlendirme sistemi – VAV

Hava vasıtasıyla binanın havalandırma, ısıtma – soğutma ihtiyaçlarının karşılandığı sistemlerdir. Bina ihtiyacına göre hava soğutucu (chiller) sayesinde soğutulur veya yapıdaki ısıtıcı (kazan) sayesinde ısıtılarak binayı beslemektedir. Hava debisinin sabit olmasına veya değişken debili olmasına göre sınıflandırılabilir. Diğer bir sınıflama ise sistemin taze hava oranıdır. Tüm hava dış ortamdan alınıyor ise %100 taze havalı sistem denir, bir kısmını dışarıdan bir kısmını da hacimdeki havadan sağlıyor ise bu sisteme karışım havalı sistem denir. VAV sistemi, taşınan hava miktarı fazla olduğu için hava kanal boyutları daha büyüktür.

3.4.2. FanCoil + Taze hava

Fancoil isimli cihaz %100 dış havalı klima santrali ile taze hava ihtiyacını karşılayarak ortamın statik ısıtma ve soğutma yükünü karşılar. Taze hava Fancoil vasıtasıyla istenen şartlara kadar ısıtılır-soğutulur. Bir adet fan ve bir adet serpantinden oluşmaktadır. Fancoil fan vasıtasıyla ortamın havasını serpantinden geçirerek, serpantinde sıcak su var ise ortamı ısıtır, soğuk su var ise ortamı soğutur.

3.4.3. Su kaynaklı ısı pompası + Taze hava

Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi, Fancoil + Taze Hava sistemi ile benzerdir. Bu sistemler arasındaki farkı Su Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin bina içinde yük transferi yapabilmesi ve her terminal ünitede bir adet kompresör ve gaz devresi bulundurmasıdır. Soğutma ve ısıtma gerektiğinde aynı anda karşılanabilmektedir. Sistemin ısıtma ve soğutma devreleri birbirinden ayrılmaz ve aynı anda çalıştırılır. Sıcaklık farkları çok az olduğundan COP 'ları yüksek olan cihazlardır [27].

3.5. Ev Aletlerinde Enerji Tüketimi

Elektrik tüketimi paylarına ev için bakıldığında, %30,4 payla buzdolabı, %28,6 oranıyla aydınlatma, %10,4 ile elektrikli fırınlar ilk üç sıralamadır. “A++ enerji sınıfı bir buzdolabı, A+ a göre %16, A'ya göre %38, B'ye göre %53, C'ye göre %63, D'ye göre %68, E'ye göre %71, F'ye göre %74, G'ye göre %77 enerji tasarrufu sağlar. Bulaşık makinelerinde A enerji sınıfı bir cihaz ile G enerji sınıfı olana göre %51, çamaşır makinelerinde A enerji sınıfı bir cihaz ile G enerji sınıfı olana göre %58, klimalı A enerji sınıfı bir cihaz ile G enerji sınıfı olana göre %31 enerji tasarrufu sağlayabilir” [23].

3.6. Aydınlatma

Isıtma-soğutma sistemlerinden sonra enerji tüketim en fazla olan kısım aydınlatma sistemleridir. Aydınlatma amacı ile elektrik enerjisinin %20-%25’i farklı sektörlerde tüketilmektedir.

Aydınlatma ikiye ayrılmaktadır; ilki doğal aydınlatma ikincisi ise yapay aydınlatmadır. Aydınlatma da ışığın tamamının yalnızca istenilen yerleri aydınlatması verimlilik açısından önemlidir. Aydınlatma da verimliliğe dikkat edilerek toplam %80’e kadar tasarruf edilebilir. Geleneksel armatürler ışığı her yöne yaydıkları için bir kısmı boşa harcanır ve verim düşmektedir. LED lambalar düşük güç tüketimiyle, akkor flamanlı bir lambadan daha fazla ışık üretebilir. LED’lere gelen enerjinin çok yüksek kısmı ışığa dönüştürülür.

En verimli ve ömrü uzun aydınlatma teknolojisi LED lambalardır. Bu lambalar, akkor flamanlı lambalara göre %90 floresan lambalara göre %50’yi geçen tasarruflar sağlar [28].

3.7. Isı Pompaları

Isı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa kendiliğinden geçmektedir bu olgunun tersi kendiliğinden gerçekleşememektedir bu durum soğutma makineleri ve ısı pompaları adı verilen makineler ile gerçekleştirilmektedir. Isı pompalarının performansı yararlandığı kaynak ve kuyu özelliğine bağlıdır. Isı kaynakları olarak dış hava, toprak küçük ısı pompası sistemleri için; deniz suları, jeotermal enerji büyük ısı pompası sistemleri için

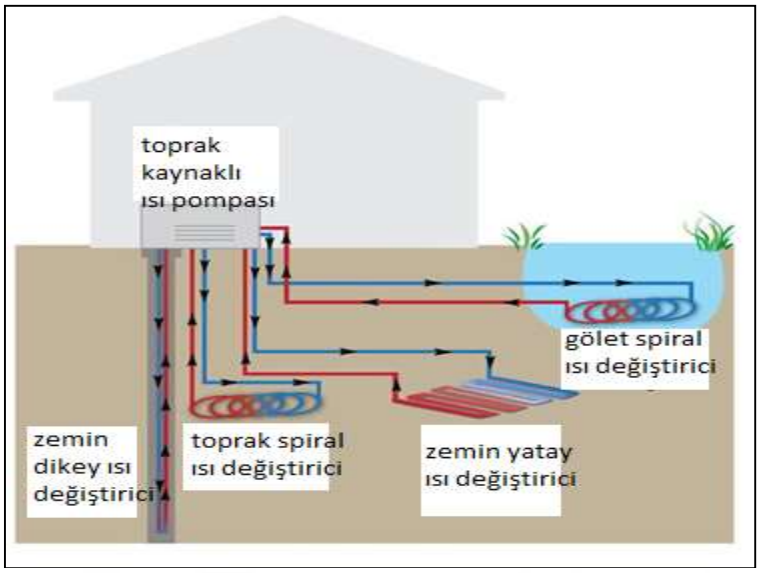
daha uygundur. Kolay elde edilebildiği için hava genel kullanım için en çok tercih edilen ısı kayağıdır [29].

Evaporatör, kompresör, kondenser, genleşme valfı, ve soğutucu akışkandan oluşmaktadır. Çalışma prensibi şu şekildedir:

Evaporatördeki sıcaklığı ve basıncı düşük soğutucu akışkanın aldığı ısı enerjisiyle sıcaklığı artmaktadır ve akışkan buharlaşır. Buhar fazındaki akışkan kompresörde sıkıştırılarak sıcaklığı ve basıncı arttırılır. Kondensere giren buhar, ısısını sıcaklığı kendinden düşük ısıtma suyuna aktararak tekrar sıvı faza geçer. Soğutucu akışkanın yüksek basıncı, genleşme valfından geçerek düşer. Böylece soğutucu akışkan evaporatöre tekrar düşük sıcaklık ve basınçta girerek kapalı çevrim tamamlanmış olur. Soğutma için ise bu işlemin tersi gerçekleştirilmektedir [30].

3.7.1. Toprak kaynaklı sistemler

Isı kaynağı olarak güneşten gelen ve toprakta depolanan enerji kullanılmaktadır. Güneşten toprak alanına gelen enerji çok fazlayken topraktaki ısı kaybı düşüktür. Bundan dolayı toprağın sıcaklık değerlerindeki değişiklik azdır. Karasal iklimlerde kullanımı toprağın sabit sıcaklıkta olmasından dolayı daha uygundur. ilk yatırım maliyetleri yüksek ve boş toprak alanına duyulan ihtiyaç fazladır. Toprağa gömülü bir ısı değiştiricisiyle enerji toprak altından alınmaktadır. Yatay toprak kolektörleri veya dikey kolektörler toprak tarafından depolanan enerjiyi akışkan vasıtasıyla ısı pompasının buharlaştırıcısında kaynak olarak kullanmaktadır [29].



Şekil 3.2. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi [31].

3.7.2. Yüzey suyu kaynaklı sistemler

Su, hava ve toprağa göre sıcaklık olarak daha az değişkenlik göstermektedir. Bu sistemde her kW için yüzey alanı en az 80 m^2, su derinliği 2 metreden az olmamalıdır. Kışın sıcaklıkların düşmesi en büyük dezavantajıdır. Orta ve büyük ölçekli ısı pompası uygulamalarında kullanılmaktadır [29].

3.7.3. Yeraltı suyu kaynaklı sistemler

Yeraltı suları kaynak olarak 10 m ve daha derinlerde, yüksek ve sabit sıcaklığa sahiptirler. İklim, bölgenin jeolojik yapısı ve suyun çıktığı derinlik suyun sıcaklığını etkilemektedir. Sıcaklık değişimi çok azdır [29].

3.7.4. Hava kaynaklı sistemler

Diğer kaynaklara göre her yerde bulunabilir olduğu için ekonomiktir. Kararlı sıcaklığa sahip değildir. Isı kaynağı ile depo arasında sıcaklık farkı arttıkça ısı pompasının performansı düşmektedir. Bu nedenle hava kaynaklı ısı pompaları karasal iklimlerde yaygın olarak kullanılmamaktadır. 0°C ve altında ısı pompasının etkinliği düşmektedir

çünkü; buharlaştırıcı serpantin üzerinde buzlanma oluşmaktadır bu durumu önlemek için defrost (buz çözme) yapılmaktadır bu da enerji tüketimini arttırmaktadır [29].

3.7.5. Atık hava kaynaklı sistemler

Bu ısı pompaları, sıcak su elde etmek veya ortam ısısını artırmak için kullanılmış havanın ısısını geri kazanan cihazlardır. Havalandırma sisteminden gelen taze havayı ısıtmak için kullanılmış havanın ısısı kullanılarak ısınan taze hava iç ortama verilmektedir, sıcak su elde etmek için ise ısı pompası içerisinde sirkülasyon yapan akışkana ortam havasının ısısı verilerek akışkan buharlaştırılıp ısısını suya vermesi sağlanır. Binada havalandırma sisteminin bulundurulması bu sistemin uygulanabilmesi için şarttır. Böylece suyun ısıtılması sağlanmaktadır [29].

3.7.6. Güneş kaynaklı sistemler

Isı pompaları güneş enerjisinden doğrudan ve dolaylı olarak faydalanabilmektedirler. Doğrudan kullanan sistemlerde soğutucu akışkan güneş enerjisi ile doğrudan buharlaştırılmakta ve buharlaştırıcı görevini kolektör yapmaktadır. Dolaylı sistemlerde ise ısı taşıyıcı olarak su veya hava kullanılmaktadır. Su veya hava kolektör içerisinden geçmekte ve buharlaştırıcıda ısısını soğutucu akışkana vermektedir. Isı pompaları daha yüksek ısıtma etki katsayısını buharlaştırıcıda elde eder çünkü akışkan daha yüksek sıcaklıktadır. Güneş enerjisinin az olduğu zamanlarda ek ısıtma sistemine gerek duyulmaktadır. Bu durum maliyetin daha da artmasına sebep olmaktadır [29].

4. ENERJİ KAYNAKLARI VE ENERJİ ÜRETEN SİSTEMLER

Enerji kaynakları ikiye ayrılmaktadır ; “yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları”.

4.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

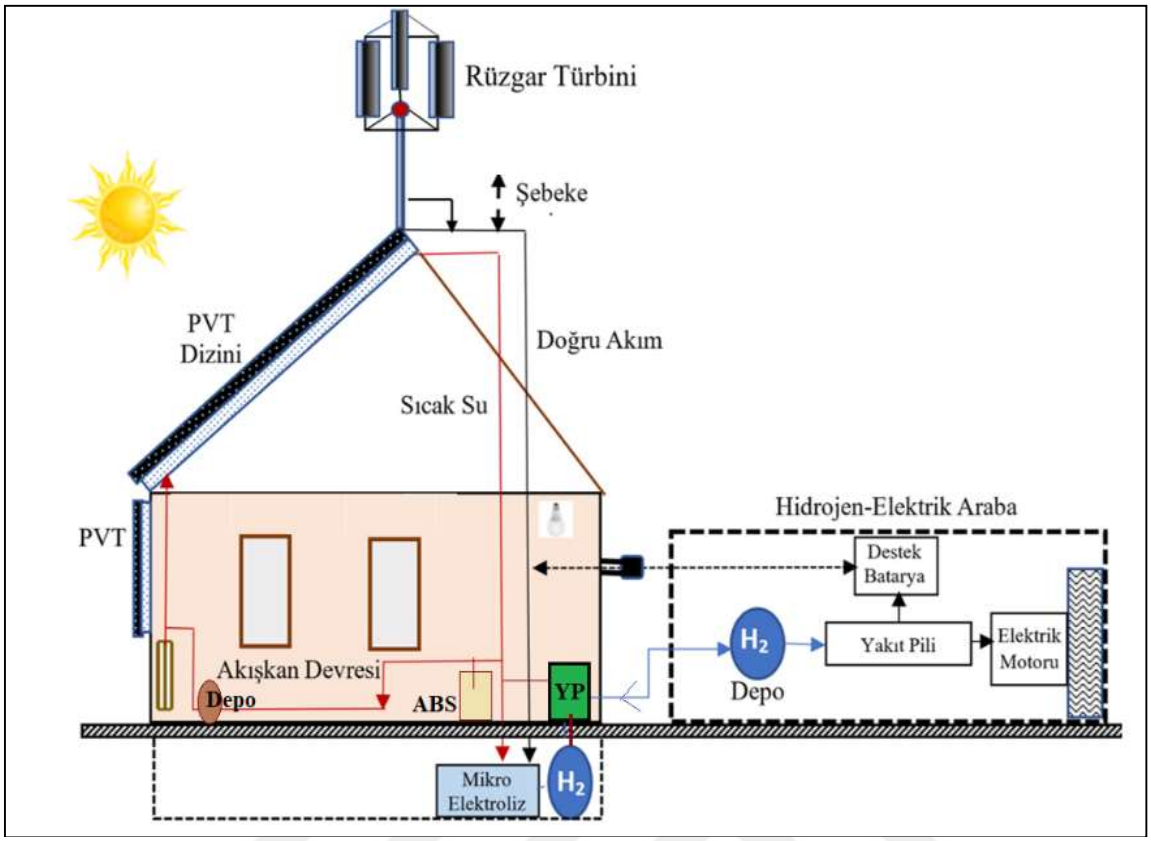
Enerji ihtiyacındaki artış insanları farklı enerji kaynağı arayışına sürüklemiştir. Tükenebilir kaynakların ömürlerinin giderek azalması yenilenebilir enerji kaynaklara olan yönelimi ve destekleri artırmıştı [32].

Yenilenebilir enerji kaynakları ile çevreyi kirletmeden enerji ihtiyacının belli bir kısmı bu kaynaklardan karşılanmaktadır. Rüzgâr, güneş enerjisi, biyokütle ve jeotermal enerji yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır. Bu enerji kaynaklarının kurulum maliyetleri fazladır ama enerji üretiminde kullanılan kaynak için ekstra bir ödeme yapılmadığı için işletme maliyetleri fosil yakıtlardaki işletme maliyetlerine göre azdır [33].

4.1.1. Rüzgâr enerjisi

Güneş yer yüzeyini aynı derecede ısıtamamaktadır bu nedenle meydana gelen sıcaklık ve basınç farkıyla rüzgar meydana gelir. Isınan hava kütlesi yükselir ve bu durumda yükselen hava kütlesinin yeri boşalır. Bu boşluğa, aynı hacimdeki başka bir soğuk hava kütlesi yerleşir bu yer değişimine rüzgâr denir [32].

Rüzgâr türbininin birçok çeşidi bulunmaktadır. Güçleri 3 kW ya kadar olan türbinlere mikro türbinler denir. Güçleri 30 kW ya kadar olan türbinler küçük rüzgâr türbinleridir ve genel olarak sabit mıknatıslı jeneratörler kullanılmaktadır. 200 kW ile 1,5 kW arasında güç değişimi olan türbinler büyük rüzgâr türbinleridir. Doğrudan sürücülü sistemler kullanılmaktadır. Yatay eksenli türbinler; teknolojik ve ticari olarak en yaygın kullanılan türbinlerdir. Modern rüzgâr türbinleri 2 veya 3 kanatlı olup ve kanat çapları yaklaşık 30 metredir. Dönme ekseni rüzgâr yönüne dik ve kanatları düşey olan türbinlere düşey eksenli türbinler denir. Eğik eksenli rüzgâr türbinlerinde ise kanatları ile dönme ekseni arasında belirli bir açı bulunmaktadır. Uygulama alanları dardır [32].



Şekil 4.1. Rüzgar türbini [34].

4.1.2. Güneş enerjisi

Güneşin çekirdeğinde yer alan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi ile açığa çıkan enerjiye güneş enerjisi denir. “Güneşten gelen ışınların sadece %50’si yeryüzüne ulaşırken, %30’u geri yansımayla kaybolur ve %20’side atmosfer ve bulutlar tarafından tutulmaktadır. Buna karşın güneşten dünyamıza gelen enerji dünyada bir sene içinde kullanılan enerjinin 20 bin katını oluşturmaktadır” [35].

Güneş enerjisinin tükenmeyen özelliğine sahip olması, yakıt maliyetinin olmaması, işletme maliyetlerinin düşük olması, doğaya ve çevreye karşı zararlı etkisinin olmaması, atık sorununun olmaması gibi avantajlara sahiptir. Dezavantajları ise geniş kullanım alanlarına gerek duyulması, yatırım maliyetlerinin yüksek olması, iklimsel koşullardan etkilenmesi, gelen enerjinin kesintili ve değişken olmasıdır. Güneş enerjisi elektrik üretiminde, sıcak su üretiminde, ısıtmada ve bitkisel ürünlerin kurutulmasında kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Güneş enerjisi teknolojileri fotovoltaik güneş teknolojileri ve ısıl güneş teknolojileri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Fotovoltaik sistemler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelere denir. Fotovoltaik sistemler şebekeye bağımlı sistemler ve şebekeden bağımsız sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sistemin ürettiği enerji yeterli olmadığında şebekeden desteklenen sistemler şebekeye bağlı sistemlerdir. Fotovoltaik sistemden üretilen enerjinin gerektiği kadarı kullanıldıktan sonra artan enerjinin şebekeye aktarıldığı ve enerji satışının gerçekleştiği sistem şebekeden bağımsız sistemlerdir. Şebekeden bağımsız sistemlerde üretilen enerji akülerde depolanarak ihtiyaç halinde akülerden sağlanabilmektedir.

Isıl güneş teknolojilerinde ısı üretilir ve bu ısı termal enerji ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. Düşük sıcaklıklı sistemler en çok evlerde su ısıtma amaçlı kullanılmaktadırlar. Bu sistem güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı şeklinde devreden çeşitli tür ve şekillerdeki aygıtlardır. Yaklaşık 70°C'ye kadar sıcaklıklara ulaşmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklara ulaşılan sistemler yoğunlaştırıcı sistemlerdir [35].

a) Türkiye'de güneş enerjisi ve güneş enerjisinden elektrik üretimi

Güneş enerjisi binada elektrik enerjisi üretimi, ısıtma, soğutma ve sıcak su üretiminde kullanılmaktadır. Füzyon süreci ile oluşan hidrojen gazının helyuma dönüşmesiyle sonuçlanan radyant enerjidir. Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli bakımında iyi bir konuma sahiptir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılan bir araştırmaya göre, Türkiye'de ortalama günlük toplam güneşlenme süresi günde 7,2 saat ve yılda 2600 saattir. Yıllık ortalama toplam radyasyon dozu 1500 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır. Ülkemiz de güneş ışığı potansiyeli en fazla olan bölgelerimiz Güneydoğu Anadolu Bölgesi ardından Akdeniz Bölgesi'dir. Türkiye'de güneş enerjisinin en çok faydalanıldığı kısım sıcak su ısıtma sistemleridir [20].

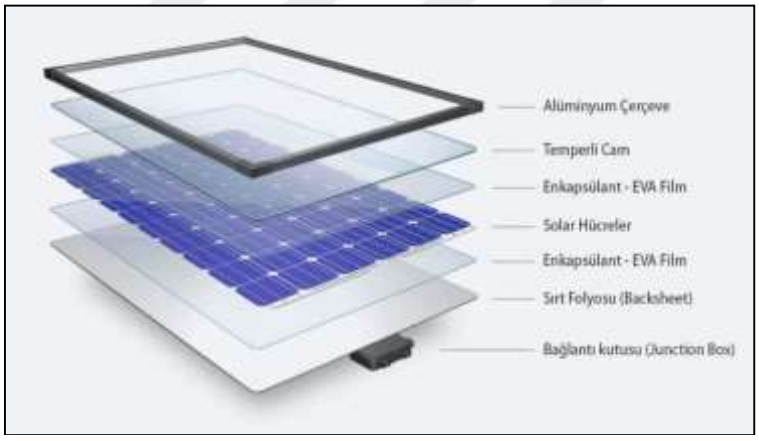
Güneş enerjisi, Türkiye'de öncelikle su ısıtma sistemlerinde ve seralarda kullanılmaktayken son zamanlarda güç üretmek için kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını genişletmek için Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu görevlendirilmiştir. Ülkemizin enerji ihtiyaçları ve güneş enerjisinin potansiyeli göz önüne

alındığında sürdürülebilir enerji politikalarına ihtiyaç vardır. Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli birçok farklı uygulamada iyi bir alternatif olma potansiyeline sahiptir [19].

b) Güneş hücreleri ve fotovoltaik paneller

Fotovoltaik paneller, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Bu paneller, yarıiletken malzemelerden oluşur ve güneş ışığı ile temas ettiklerinde, bu ışık enerjisi, yarı iletkenlerdeki elektronları serbest bırakır. Bu serbest kalan elektronlar, bir akım oluşturmak için toplanır ve bu akım bir devre boyunca akar. Panellerin güç çıkışı, güneş ışığı yoğunluğuna, panelin boyutuna ve malzemelerin verimliliğine bağlıdır.

Güneş hücreleri, PV panellerin temel yapı taşıdır. Güneş hücreleri, genellikle silisyumdan yapılır ve güneş ışığından elektrik enerjisi üretmek için kullanılır. Hücreler, ışık enerjisi tarafından uyarıldığında, elektronları serbest bırakır ve bu elektronlar, bir akım oluşturmak için bir araya gelir. Bu akım, bir devre boyunca akar ve kullanılabilir elektrik enerjisi sağlar [19].



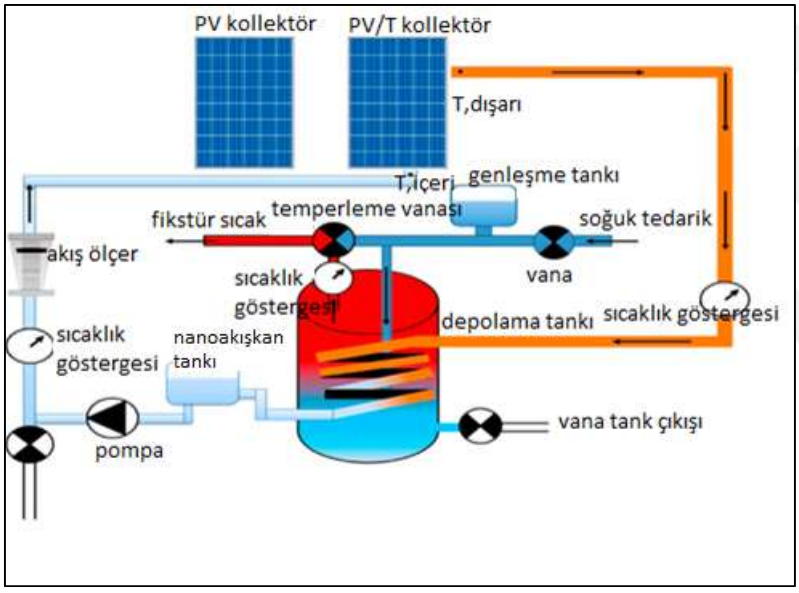
Şekil 4.2. Güneş paneli [36].

c) PVT sistemler

Hibrit, şebekeye bağlı, bağımsız ve izleme sistemleri şeklinde PV modülleri farklı sistem konfigürasyonlarında özellikle kullanılır. Solar sistemler hibrit sistem, termal ve fotoelektrik olarak üç ana başlığa ayrılabilir.

Yüksek sıcaklıklar PV sisteminde açık devre voltajında bir düşüşe yol açmakta ve bu da sistem verimliliğinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu durumun çözümü olarak PV sisteminde sıcaklığı düşürmek için soğutucu eklenerek ısı olarak kaybedilen enerjinin geri kazanılması sağlanır. Soğutucu olarak su, hava veya her ikisi de kullanılabilmektedir.

PVT sistemde verim için üretilen elektriğin değerini belirlemek kazanılan ısı açısından kritik öneme sahiptir. PV sisteminin verimliliğini artırmak için atık ısı geri kazanımından yararlanılabilir. PVT sistemlerinde amaç hem elektrik hem de termal enerji üretirken düşük maliyetle bunu gerçekleştirmektir [33].



Şekil 4.3. PVT sistem [37].

d) Hibrit PVT kavramı

PVT cihazlarındaki en önemli hedef, solar enerjisini elektrik üretiminde kullanmaktır. PV paneller çeşitlerinden şekilsiz silikon (a-Si), polikristalin silikon (pc-Si) veya kristalin silikon (c-Si) binalarda en çok kullanılan PV modülleridir. Hibrit PVT sisteminde belli bir değere kadar sıcaklık arttıkça performansları artar ama daha yüksek sıcaklıkta performansları azalmaktadır. Belirli bir yüksek sıcaklıkta çalıştırıldıklarında elektrik üretiminde önemli miktarda azalma meydana gelmektedir. Dolayısıyla, istenilen miktarda elektrik üretimi elde etmek için PV modülünün sıcaklığını makul bir yeterlilik seviyesinde tutmalıyız.

PV modüllerinin daha verimli çalışmaları için gereğinden fazla ısıyı atmaları gerekir. Hibrit sistem, atık ısı geri kazanım sistemi ile PV'nin beraber kullanımı ile oluşan sistemdir. Hibrit sistemlerde kullanılan soğutma sıvısına (hava, su ve soğutucu) göre çeşitleri vardır. Diğer bir PVT çeşidi olan çift kanallı PVT kolektörü yüksek verime sahiptir ve uygulama alanları geniştir. Hibrit PVT sistemi olarak PVT-su ve PVT-hava çeşitleri kullanılmaktadır [33].

e) PVT-su sistemi

Bu sistemlerde düşük fiyatlı ve bulunabilirlik özelliği bakımından soğutucu olarak en yaygın kullanılan akışkan sudur. PVT sistemin ısısını dengelemek için kullanılır. PV hücreleri doğrudan absorber üzerinde bulunur. Su, absorber üzerindeki kanalların ortasından geçip ısıyı toplar. Hücreler absorbere yapıştırılırsa, PV hücrelerinin ısısı da ayrılır. Isının ayrılması ile PV hücrelerinin ısısı dengelenmiş olur buda elektriksel verimde iyileşme sağlar. Su kolektörünün PV altında bulunmasıyla ısı çekmesi sağlanır böylece çıkış voltajlarını ve akımı iyileştirir [33].

PVT kolektörün üzerine düşen ışınlar vasıtasıyla fotovoltaik hücrelerde elektrik üretilmektedir. Elektrik üretimi esnasında ısınan fotovoltaik hücrelerin arkasında dolaşan su, bu ısıyı alır ve pompa vasıtasıyla boylerin serpantininde dolaştırılırken boylerin haznesindeki suyu ısıtır. Isınan bu su, kullanım sıcak suyu olarak değerlendirilir [38].

f) PVT-hava sistemi

Hibrit PVT Sistemlerden biride soğutucu olarak hava kullanılan sistemlerdir. Sisteme hava, doğal dolaşım veya zorlamalı dolaşımla girebilir. Hava bazlı PVT inovasyonu, günümüzde %20-%40 arasında değişen verimliliğe sahiptir. Maliyet açısından su tipi PVT sistemleri, hava tipi sistemlerden daha maliyetlidir [33].

4.1.3. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, yer altında bulunan ısıdan yapay yollarla enerji elde edilmesidir ve volkanik kısımlar etrafında, aktif kırık sistemlerde bulunan jeotermal kaynaklardan oluşmaktadır.

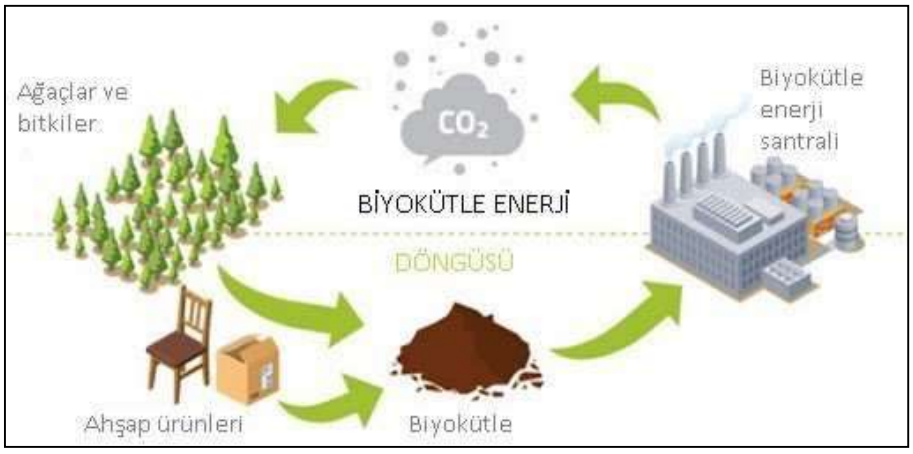
Genelde dünyanın çeşitli bölgelerinde mevcut bulunan enerji ısı enerjisi olarak konutların ısıtılması - soğutulması ve sıcak su ihtiyacının karşılanması gibi geniş kullanım alanlarına sahiptir [32].



Şekil 4.4. Jeotermal enerji [39].

4.1.4. Biyokütle enerjisi

Biyokütle enerjisi endüstriyel organik atıklar (siyah likör, küspe vs.), şehir kanalizasyon atıkları, odun ve tarımsal atıklardan (saman, mısır koçanları, pamuk atıkları vb.) üretilen enerjidir [32].



Şekil 4.5. Biyokütle enerjisi [40].

4.2. Enerji Depolama

4.2.1. Termal enerji depolama

Enerjinin depolanarak daha sonra ihtiyaç halinde ısıtma, soğutma gibi işlemlerde kullanılması için uygulanan teknolojidir.

Duyulur, gizli ve termokimyasal ısı depolama olarak termal enerji depolama yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler birim hacimde depolayabildikleri enerji bakımından ayrılmaktadırlar [41].

4.2.2. Duyulur ısı depolama

Ortaya çıkan ısının katı ve sıvı materyallerde depolanmasıdır ve materyalin sıcaklığındaki değişiminden kaynaklanan ısı depolama yöntemidir.

4.2.3. Gizli ısı depolama

Faz değişimi sırasında açığa çıkan ısının depolanmasıdır. Kar, buz, parafin ve ötektik tuzlar önemli faz değişim materyalleri arasında yer almaktadır. Diğer sistemlere göre avantajlarından biri daha küçük depo hacmine sahip olmasına rağmen enerji depolama kapasitesinin yüksek olmasıdır.

4.2.4. Termokimyasal ısı depolama

Kimyasal tepkimelerde alınan ve verilen ısının kimyasal enerjiye dönüştürülerek depolanmasıdır. Termokimyasal ısı depolama, absorpsiyonlu ısı pompası, tersinir kimyasal tepkimeler ve termokimyasal ısı boruları aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir [41].

5. NEREDEYSE SIFIR ENERJİLİ BİNALAR İÇİN TEORİK ANALİZ

Bu bölümde neredeyse sıfır enerjili binalarda yapılan uygulamaların teorik analizleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

5.1. PV Paneller

PV panellerin enerji performansı termodinamiğin birinci yasasına göre enerji denkliği eşitlik (5.1) ile belirlenebilir.

$$\dot{E}_G = \dot{E}_E + \dot{E}_{TE} + \dot{E}_K \quad (5.1)$$

Eşitlik (5.1)'de $\dot{E}_K$, $\dot{E}_{TE}$,$\dot{E}_G$ ve $\dot{E}_E$ sırasıyla kayıp enerjiyi, termal enerjiyi, güneş enerjisini ve modül elektrik enerjisi çıktısıdır. Eşitlik (5.2)'de güneş enerjisi formüle edilmiştir.

$$\dot{E}_G = F.A \quad (5.2)$$

Eşitlik (5.2)'de sırasıyla A ve F güneş ışınımının uygulandığı modül yüzey alanını ve güneş ışınımını temsil etmektedir.

$$\dot{E}_E = V.I - \dot{E}_M \quad (5.3)$$

Eşitlik (5.3)'de V, $\dot{E}_M$ ve I sırayla gerilim çıktılarını, güneş takip sistemini hareket ettiren motorların enerji girdilerini ve modül akımını temsil etmektedir.

Eşitlik (5.4) kullanılarak termal enerji hesaplanmaktadır.

$$\dot{E}_{TE} = \dot{m}.c_{p,hava}.(T_{ç,hava} - T_{g,hava}) \quad (5.4)$$

Enerji kaybı modüllerde taşınım ($\dot{E}t$) ve ışınım ($\dot{E}r$) yolu ile gerçekleşmektedir ve eşitlik (5.5), (5.6) ve (5.7)'de gösterilen formüllerle hesaplanabilir.

$$\dot{E}\text{k} = \dot{E}t + \dot{E}r \quad (5.5)$$

$$\dot{E}t = h.A_{K.}(T_M - T_Ç) \quad (5.6)$$

Eşitlik (5.6)'da verilen h, A_K, $T_M$ve $T_Ç$ sırasıyla taşınım katsayısı, modül yalıtımsız yüzey alanını, modül sıcaklığını ve çevre sıcaklığını ifade etmektedir.

$$Er = \varepsilon.\sigma.A_{K.}((T_M)^{4} - (T_Ç)^{4}) \quad (5.7)$$

Eşitlik (5.7)'de verilen ε (yayıcılık katsayısı) ve σ (ışınım yayınım katsayısı) ve Stefan-Boltzmann sabitini belirtmektedir. Termodinamiğin birinci kanununa göre PV modüllerin ve PVT kolektörün verim ifadesi eşitlik (5.8)'de verilmiştir.

$$\eta_I = \eta_E + \eta_{TE} \quad (5.8)$$

Eşitlik (5.8)'de η_E ve η_{TE} sembolleri elektriksel ve termal verimleri temsil etmektedir, eşitlik (5.9) ve eşitlik (5.10)'da verilen eşitliklerle verimler hesaplanabilmektedir [42].

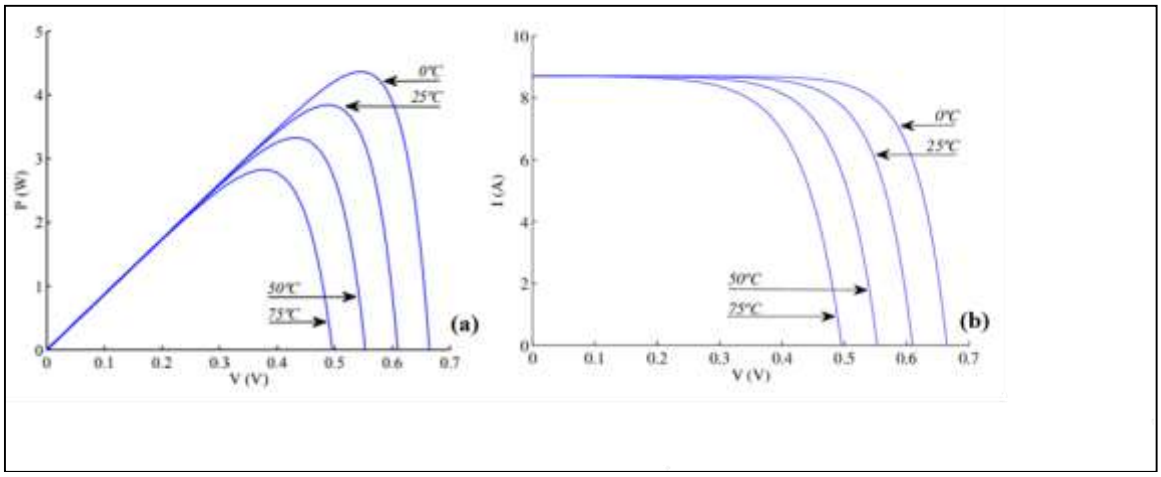
$$\eta_E = \dot{E}_E / \dot{E}_G \quad (5.9)$$

$$\eta_{TE} = \dot{E}_{TE} / \dot{E}_G \quad (5.10)$$

5.1.1. PV Panel performansının sıcaklıkla değişimi

Panellerde elektrik enerjisi üretilirken, ısı enerjisi de açığa çıkmaktadır. Panellerde oluşan bu ısı panelin performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Panel sıcaklığındaki her bir derece artışta panel verimini %0,5 oranında düştüğü tespit edilmiştir bu nedenle bu ısının panelden uzaklaştırılması gerekmektedir [43].

PV sistemlerde sıcaklık etmeni çok önemlidir. Panelde sıcaklık her 10°C artışta üretilen gerilim yaklaşık 0,5 V azalmaktadır [44].



Şekil 5.1. 0-75 °C sıcaklıklarındaki (a) P-V grafiği (b) I-V grafiği [44].

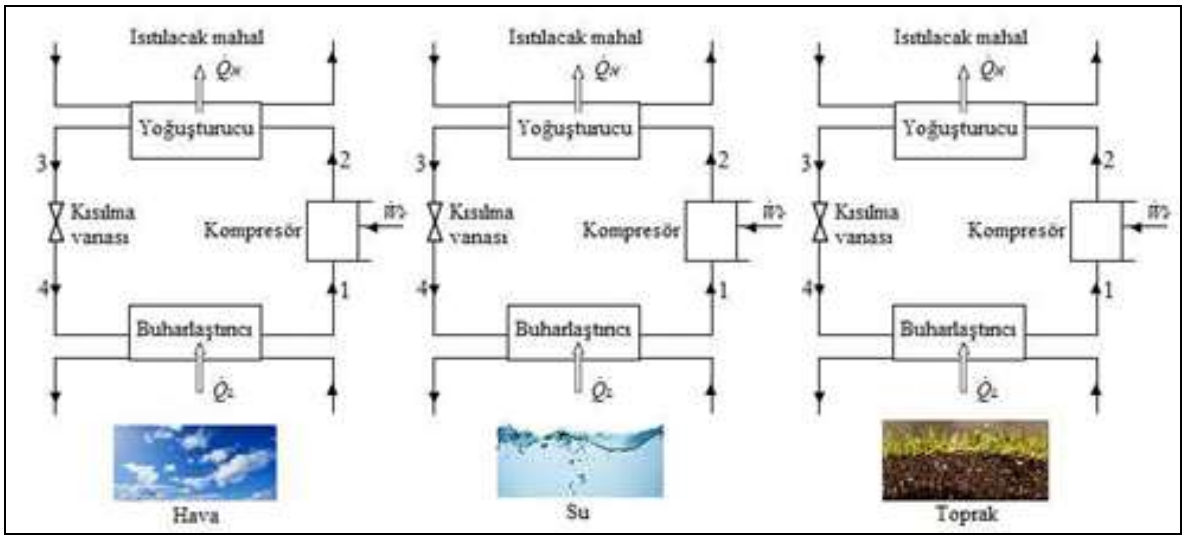
5.2. Isı Pompası

Etkinlik katsayısı ile ısı pompasının verimi ifade edilmektedir. Isı pompası etkinlik katsayısı eşitlik (5.11) ile hesaplanmaktadır.

COP_{IP} = Mahalde elde edilmek istenen değer / Tüketilmesi gereken değer = $\dot{Q}_H/\dot{W}_{net,giren}$

$$COP_{IP} = \dot{Q}_H / (1-(\dot{Q}_L/\dot{Q}_H) \quad (5.11)$$

Burada $\dot{Q}_H$ ortama verilen ısı, $\dot{Q}_L$ ortamdan çekilen ısı ve $\dot{W}$ kompresöre verilen enerjidir.



Şekil 5.2. Genel bir ısı pompası çevriminin ısıl kaynaklara göre şematik gösterimi [45].

Kompresör için enerji dengesi eşitlik (5.12) de verilmiştir.

$$\dot{W}c = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (5.12)$$

Kondenser için enerji dengesi eşitlik (5.13) de verilmiştir.

$$\dot{Q}_k = \dot{m}\ (h_3 - h_2) \quad (5.13)$$

Genleşme valfi enerji dengesi eşitlik (5.14) de verilmiştir.

$$h_3 = h_4 \quad (5.14)$$

Evaporatör enerji dengesi eşitlik (5.15) de verilmiştir.

$$\dot{Q}_e = \dot{m}\ (h_1 - h_4) \quad (5.15)$$

Buradaki h değerleri akışkanın girdiği ekipmandaki giriş ve çıkışındaki entalpi değerleridir [45].

5.3. Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U) ve Isıl Geçirgenlik Direnci (R)

Binalarda ısı kaybının düşürülmesi için toplam ısıl geçirgenlik katsayısının küçük olması bunun içinde ısıl geçirgenlik direncinin yüksek olması gerekmektedir. Eşitlik (5.16) da ısıl geçirgenlik direncinin denklemi verilmiştir:

$$R = \frac{d1}{\lambda 1} + \frac{d2}{\lambda 2} + \ldots\ldots\ldots + \frac{dn}{\lambda n} \quad (5.16)$$

Bir yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U), yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik direnci denkleminin aritmetik tersi alınarak hesaplanır. Eşitlik (5.17) de toplam ısıl geçirgenlik katsayısı denklemi verilmiştir: [46].

$$U = 1 / (Ri + R + Re) \quad (5.17)$$

Pencerelerin ısıl geçirgenlik katsayıları (Up), pencerelerden olan ısı kayıplarının en aza indirilmesi açısından Up değerinin kaplamalı camlar kullanılarak 1,8 $W/m^2 \cdot K$'e kadar düşürülecek şekilde tasarımlanması tavsiye edilir. Bazı pencere tipleri için TS825'ten faydalanılarak Up değerleri bulunabilir [46].

Binalarda enerji verimliliği için ısı iletiminin düşürülmesi gerekmektedir. Fourier ısı iletim kanunu kapsamında ısı iletim hızı, ortam boyunca sıcaklık farkına, ortamın geometrisine kalınlığına ve malzemesine bağlıdır. Isı iletim hızı; sıcaklık farkı, orantı sabiti, ısı transferine dik alan azaltılarak ve duvar kalınlığı artırılarak düşürülebilir. Eşitlik (5.18) de Fourier ısı iletim denklemi verilmiştir: [47].

$$\dot{Q}_{\text{iletim}} = -k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (5.18)$$

5.4. Aydınlatma

Geleneksel armatürlerde aydınlatma verimi LED lambalara göre düşüktür çünkü geleneksel armatürler ışığı her yöne yaymaktadırlar. Geleneksel armatürler LED'lere göre gelen enerjinin çoğunu ısıya dönüştürmektedirler. LED lambalar, floresanlara oranla %50 daha fazla enerji tasarrufu sağlar. En uzun kullanım ömrüne sahip LED 50 000 saattir bunu 12 000 saat ile floresan takip eder. Klasik akkor lambalar ise en düşük ömürlü lambalardır [28].

Işık verimliliği olarak LED lambalar 20-180 lm/W, akkor ampuller 12 lm/W ve floresanlar 50-130 lm/W değerindedirler [28].

5.5. İklimlendirme Sistemleri

Hava kalitesi oldukça önemli bir konudur. İklimlendirme için temiz havanın alanın her yerine eşit dağıtılması, yeterli ve kontrollü ilave hava miktarı, yeterli havalandırma önemli konulardır.

Enerji verimliliği için iklimlendirme sistemlerini en etkili ve verimli olacak şekilde kullanmak önemlidir. Bunun için diğer alanlarda olduğu gibi enerjiyi verimli olarak üretebilen sistemler geliştirilmektedir.

Mahal havalandırmalarında, mahalde bulunan insan sayısı ve mahalin kullanım amacına göre kişi başına taze hava ihtiyaçları mahalde gerekli olan hava miktarının hesabı için gereklidir. Mahaldeki insanların havayı kirletme oranları ve mahalin kullanım amacı gerekli havalandırma için önemlidir. Odada gerekli olan taze hava miktarı eşitlik (5.19)'dan hesaplanmaktadır [48].

$$\dot{V}_{d} = n \cdot \dot{V}_{kişi} \tag{5.19}$$

Isıtma ve soğutma için harcanan enerji tüketimi hesabı mahale üflenen havanın üfleme sıcaklığı, kış şartlarında ısı kaybından, yaz şartlarında ısı kazancından bulunur. Üfleme sıcaklığı eşitlik (5.20) ve (5.21) den bulunmaktadır:

$$T_{ü} = \frac{\dot{Q}1}{\dot{V}ü \; x \; \rho x c} + T_{i} \quad \text{Kış Şartı} \tag{5.20}$$

$$T_{ü} = T_{i} - \frac{\dot{Q}1}{\dot{V}ü \; x \; \rho x c} \quad \text{Yaz Şartı} \tag{5.21}$$

Klasik sistem için harcanan enerjinin bulunması için ısı geri kazanım ünitesinden çıkan havanın sıcaklığının tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için eşitlik (5.22) den yararlanılmaktadır [48].

$$T_{ıgk} = \frac{(\dot{V}t \; x \; Tü) + (\dot{V}e \; x \; Tth)}{(\dot{V}t + \dot{V}e)} \tag{5.22}$$

Kış şartı için; klasik sistem %100 taze hava için harcanan enerji eşitlik (5.23) den hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_{h} = \dot{V}_{ü} \cdot \rho \cdot c \cdot (T_{ü} - T_{ıgk}) \tag{5.23}$$

Yaz şartı için klasik sistemde taze hava ile egzoz havası ısı geri kazanım cihazında karıştırılarak karışım havası elde edilir. Eşitlik (5.24) ile harcanan enerji hesaplanmaktadır [48].

$$\dot{Q}_{h} = \dot{V}_{ü} \cdot (h_{k} - h_{ç}) \tag{5.24}$$

5.6. Hava Kanalları İçin Hesaplamalar

Havalandırma için kanaldaki hava hızı çok önemlidir. Hızın gereğinden fazla olması da düşük olması da istenmemektedir. Hava hızının düşük olması ile mahalde yetersiz hava debisi olmaktadır, hava hızının gereğinden fazla olması ise gürültüye sebep olmaktadır. Kanallardaki hava hızı; kanalın kullanım yeri ve yapının cinsi ile ses durumuna bağlıdır.

Sistemin toplam hava debisine göre uygun kanal çapları bulunmaktadır. Bunun için eşitlik (5.25), (5.26) 'dan yararlanılmaktadır.

$$\dot{V} = A \cdot u \qquad (5.25)$$

Kesit alanı:

$$A = a \cdot b \qquad (5.26)$$

Hidrolik çap,

$$D = \frac{4.A}{Ç} \qquad (5.27)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Toplam basınç kaybı için eşitlik (5.28), (5.29), (5.30), (5.31)'den yararlanılmaktadır.

$$\Delta p = \Delta p_{st} + \Delta p_d = (\ell.R + Z) + P_E \qquad (5.28)$$

Dinamik basınç kaybı,

$$\Delta p_d = \frac{\rho}{2} \cdot u^2 \qquad (5.29)$$

Sürtünme basınç kaybı,

$$\Delta p_{st} = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot u^2 \qquad (5.30)$$

Sistem fan gücü hesabı,

$$P = \frac{\dot{u}.\Delta p}{\eta} \quad (5.31)$$

Bu toplam basınç kaybının nedenleri kanal cidarına sürtünme ile kanal bağlantı parçalarının kullanılan cihazların ve diğer yan bağlantı elemanlarının gösterdiği dirençlerdir [48].

5.7. Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri

Fosil kaynakların tükenebilir ve çevreye zararlı olmasından ötürü yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yanı sıra enerji verimliliği açısından atık ısıdan yararlanabilmek çok önemlidir. Atık ısı geri kazanım sistemleri bu doğrultuda geliştirilmiş sistemlerden birisidir.

Atık ısı geri kazanım sisteminin ısı kaybının olmadığını kabul ederek ısı değiştiricisi için ısı geçişi eşitlik (5.32) yazılarak bulunabilmektedir [49].

$$\dot{Q}=U.A.\Delta T_{\mathrm{LM}} \quad (5.32)$$

Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edildiğinde, çevreye ısı kaybı olmadığı durumda farklı sıcaklıkta bulunan iki akışkanın ısı transfer denkliği eşitlik (5.33) ile verilmektedir.

$$Q=m\ (h_g - h_{ç}) \quad (5.33)$$

Sıcak akışkandan soğuk akışkana gerçekleşen ısı transferi eşitlik (5.34) ile elde edilmektedir:

$$\dot{Q}_1=\dot{m}_{sıcak}(h_{sıcak,g} - h_{sıcak,ç}) \quad (5.34)$$

Soğuk akışkandan sıcak akışkana gerçekleşen ısı transferi ise eşitlik (5.35) kullanılarak bulunur.

$\dot{Q}_2=\dot{m}_{soğuk}(h_{soğuk,ç} - h_{soğuk,g})$ (5.35)

Eşitliklerde kullanılan havanın kütlesel debisi ise eşitlik (5.36) ve (5.37) kullanılarak hesaplanabilir;

$\dot{m}_{sıcak} = \dot{V}_1 / v_g$ (5.36)

$\dot{V}_1 = A. u$ (5.37)

Isıl verimlilik ise eşitlik (5.38) kullanılarak;

$\eta = \dot{Q}_2 / \dot{Q}_1$ (5.38)

Şeklinde bulunur. Giriş ve çıkış noktalarında akışkanın entalpi ve özgül hacim değerleri psikometrik diyagramdan okunmaktadır [49].

5.8. Isı Değiştiricileri

Günümüzdeki enerji kaynaklarının sınırlı olması ve artan enerji maliyetlerinden dolayı tüm enerji bazlı alanlarda olduğu gibi ısı değiştirici sistemlerde ve dolayısıyla ısı değiştiricilerin kullanıldığı tüm sistemlerde enerjiyi en verimli şekilde kullanmak ve enerji kayıplarını en aza indirmek temel amaç olarak karşımıza çıkmaktadır. Isı transferi veriminin en iyi seviyelerde tutulması yapılacak olan işlemde kullanılacak ısı değiştiricinin seçiminde büyük öneme sahiptir [50].

$\dot{Q} = U.A. \Delta Tm$ (W)

Isı geçişi sırasında sıcak akışkandan soğuk akışkana verilen ısı miktarı ile soğuk akışkanın sıcak akışkandan aldığı ısı miktarları, akışkanın kütlesel debisi ile akışkanın giriş ve çıkış entalpilerinin farkının çarpımı ile elde edilmektedir. Eşitlik (5.39) kullanılarak hesaplanabilir;

$\dot{Q} = \dot{m}(hg - hç)$ (5.39)

Isı geçişi sonrası akışkanların değişen sıcaklıklarını hesaplayabilmek için transfer edilen ısı miktarı eşitlik (5.40) kullanılarak hesaplanabilir; [50].

$$\dot{Q} = \dot{m}_h c_{ph}(T_{hg} - T_{hç}) \quad (5.40)$$

5.9. Ev Aletlerinde Enerji Tüketimi

Enerji verimliliği açısından evlerde tüketilen enerji önemli bir paya sahiptir. Enerji tüketiminin azaltılması ile hem enerji tasarrufu sağlanmaktadır hem de ekonomik olarak fayda sağlanabilmektedir.

Yapılan araştırmalardaki sonuçlara göre standart ürünler yerleştirilen bir evin elektrik enerji tüketimi ile enerji verimliliği yüksek olan ürünler yerleştirildiklerindeki elektrik enerji tüketiminde %36 azalma meydana geldiği belirtilmiştir.

Evlerdeki elektrik tüketimini azaltmak için;

• Enerji verimli ampuller kullanılmalıdır. Günümüzde giderek değer kazanan LED lambalar akkor lambalara göre tercih edilebilir.

• Enerji verimliliği açısında enerji sınıfı yüksek (mümkünse A++) makineler) kullanılmalıdır. Bunun nedeni ise yüksek verimli ve düşük verimli aletler arasında yüzde 60'ın üzerinde enerji tüketimi farkı olmasıdır.

Standart ürünleri kullanmakla enerji verimliliği yüksek olan ürünleri kullanımda aylık tüketilen elektrik enerji maliyetleri yaklaşık %35 azalmaktadır [51].

6. NEREDEYSE SIFIR ENERJİLİ BİNALARA UYGUN KRİTERLER

Neredeyse Sıfır Enerjili Bina **(**NSEB**)**, Enerji Kimlik Belgesindeki enerji performans sınıfının B veya daha iyi olması ve aynı zamanda binanın birincil enerji ihtiyacının en az %10'u oranında yenilenebilir enerji kullanımına sahip binalardır.

Toplam yapı inşaat alanı 2000 m^2 ve üzeri olan binaların NSEB olarak inşa edilmesi zorunludur. Bu binaların mimari, mekanik ve aydınlatma projelerinin Binalarda Enerji Performans Yönetmeliğine uygunluğunu gösteren "Ön Hesap Sonuç Formunun, BEP-TR yazılımı ile hazırlanarak sunulması zorunludur.

NSEB, enerji verimli cihazların ve düşük enerji tüketen teknolojilerin kullanılmasıyla bina enerji ihtiyacının mümkün mertebede düşürüldüğü ve bu düşük seviyedeki enerji talebinin ise yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılandığı binalardır.

NSEB tasarım sürecinde dört temel ilkenin akılda tutulması ve dikkate alınması gerekmektedir.

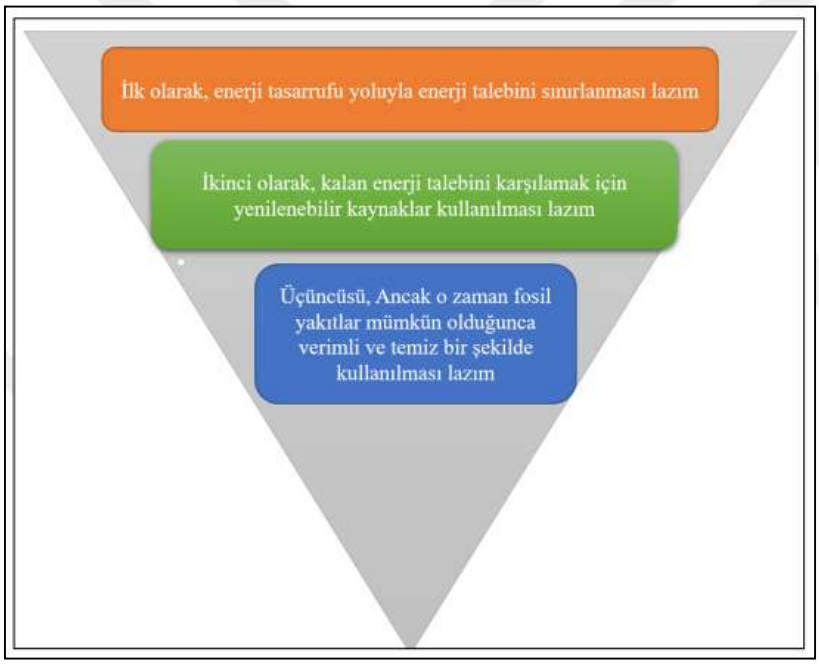
- İlk **(**NSEB) prensibi: Enerji talebinin azaltılması, bina zarf yüklerinin azaltılması HVAC ekipmanı enerji tüketiminin azaltılması,
- İkinci **(**NSEB) prensibi: İç mekan çevre kalitesinin iyileştirilmesi, kişi başına minimum temiz hava ayarlayın, doğal aydınlatmayı etkinleştirin, maksimum kullanıcı yoğunluğu ayarlayın,
- Üçüncü **(**NSEB) prensibi: Yenilenebilir enerji payının sağlanması, yerinde yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi,
- Dördüncü **(**NSEB) prensibi: Birincil enerji ve karbon emisyonlarının azaltılması, birincil enerji talebinin azaltılması [4],
- Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde düzenleme yapılarak "Neredeyse Sıfır Enerjili Bina" (NSEB) kavramı mevzuatta tanımlanmıştır. Bu binaların mimari, mekanik ve aydınlatma projelerinin bu yönetmeliğe uygunluğunu gösteren ve "Ön Hesap Sonuç Formunun, BEP-TR yazılımı ile hazırlanarak ruhsat eki projeler ile birlikte sunulması zorunludur. Bu binaların mimari, mekanik ve aydınlatma projelerinin ise ilgili yönetmeliğe uygunluğu aranmaktadır.

- Enerji verimli bina ve NSEB, her iki kavramın da amacını üretilen enerjinin verimli tüketimi ile sera gazı emisyonlarını azaltmak olduğu anlaşılabilir [4].

6.1. Neredeyse Sıfır Enerjili Bina Tasarım Stratejileri

6.1.1. "TriasEnergetica" konsepti

NSEB'lere ulaşmak için ilk strateji, "TriasEnergetica" konsepti olan bina enerji verimliliğinin optimizasyonudur. Şekil 6.1 de bu üç aşamalı yaklaşım gösterilmiştir. Bu yaklaşım, mimarinin tasarımının ve enerji verimliliğinin (EV) önemini belirtmektedir [4].



Şekil 6.1. Triasenergetica konsepti [4].

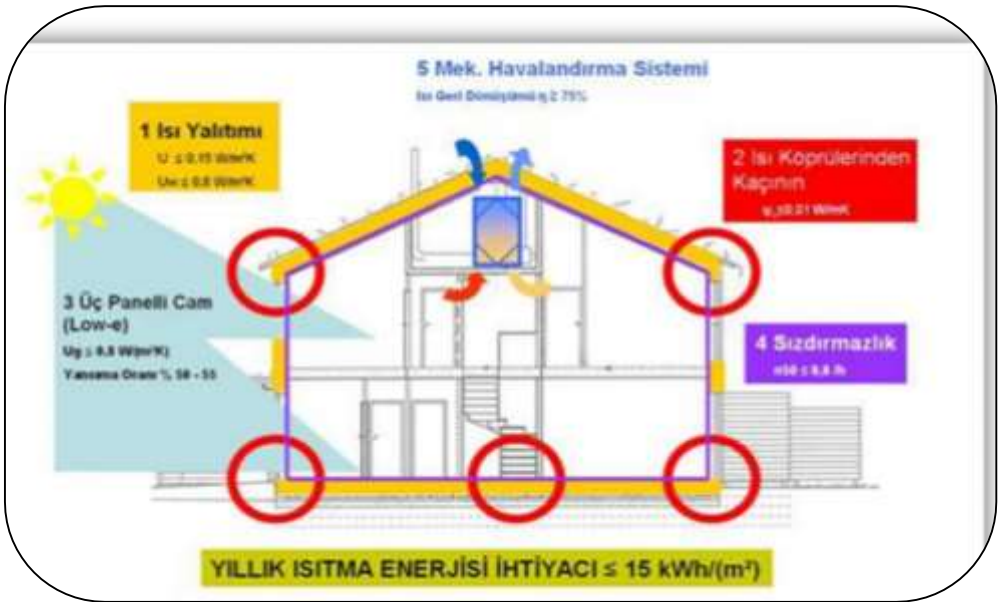
6.1.2. Pasif tasarım stratejileri

Isıtmanın hakim olduğu iklimlerde, Alman Pasif Ev (PH) model NSEB'e ulaşmak için en popüler konsept olarak kabul edilir. PH yaklaşımı NSEB'in ortaya çıkışında öncü olmuştur [4].

a) Pasif ev standartları

Düşük enerjili ev standardından geliştirilen "Pasif Ev Standardı" için aşağıda listelenen üç unsur, pasif ev standardını oluşturmaktadır. Pasif ev standardının bir ev inşa ederken uyulması gereken beş temel ilkesi vardır ve şekil 6.2 de ise şematik görünümleri verilmiştir.

1. Isı yalıtımı: Evin dış cephesinin çok iyi yalıtılması gerekmektedir. Çoğu soğuk-ılıman iklim için, (U-değeri) 0,15 W/(m²K) veya daha düşük demektir.
2. Yüksek ısı yalıtım direncine sahip pencereler: Pencere çerçeveleri iyi yalıtılmalı standart çift camlar hatta üçlü yalıtım camı üniteleri (çift ara boşluklu) tercih edilebilir.
3. Atık ısı geri kazanım: Enerji tasarrufu sağlayan verimli ısı geri kazanımlı havalandırma anahtarıdır. PassiveHouse'da atık havadan gelen ısının en az %75'i eşanjör ile taze havaya aktarılır.
4. Bina kabuğu hava sızdırmazlığı (Sızdırmazlık): 50 Paskal'da bir basınç testi sırasında (hem basınçlı hem de basınçsız) boşluklardan kontrolsüz sızıntı, saatte toplam kümes hacminin 0,6'sından daha küçük olmalıdır.
5. Termal köprülerin önlenmesi: Tüm kenarlar, köşeler, bağlantılar ve geçişler büyük bir özenle planlanmalı ve uygulanmalıdır, böylece termal köprüler önlenebilir. Önlenemeyen termal köprüler mümkün olduğu kadar en aza indirilmelidir [4].



Şekil 6.2. Pasif ev beş ilkesinin şematik görünümü [4].

6.1.3. Aktif tasarım stratejileri

Genellikle ısıtma ve soğutma sistemlerini kapsamaktadır. Bu tekniklerde klima, ısı pompaları ve ısı geri kazanım vantilatörleri gibi mekanik cihaz elemanları kullanılmaktadır. Örnek olarak güneş enerjisi panelleri, rüzgar türbinleri ve enerji üreten aktif stratejiler gösterilebilir. Net sıfır enerji hedefine ulaşmak için yenilenebilir enerjiye ihtiyaç duymaktadır.

6.1.4. Yenilenebilir enerji kullanımına dayalı stratejiler

Yenilenebilir enerji direktiflerinin geçmişine baktığımızda, 2020 yılına kadar yenilenebilir kaynaklardan tüketim ve en son güncellenen yenilenebilir enerji direktifi (RED II), 2030 yılına kadar yenilenebilir kaynaklardan %32 nihai enerji tüketimi hedefi belirlemektedir. Sürdürülebilir enerji geliştirme stratejileri tipik olarak üç büyük teknolojik değişikliği içerir: Talep tarafında enerji tasarrufu, enerji üretiminde verimlilik iyileştirmeleri ve fosil yakıtların çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları ile değiştirilmesidir. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarından PV, güneş termal, hava ve yer kaynaklı ısı pompaları, pasif soğutma, rüzgar enerjisi, biyokütle ve ısı geri kazanımı en çok kullanılan teknolojilerdir [4].

6.2. Neredeyse Sıfır Enerjili Binalarda Beklenen Özellikler

6.2.1. Binalarda enerji etiketi

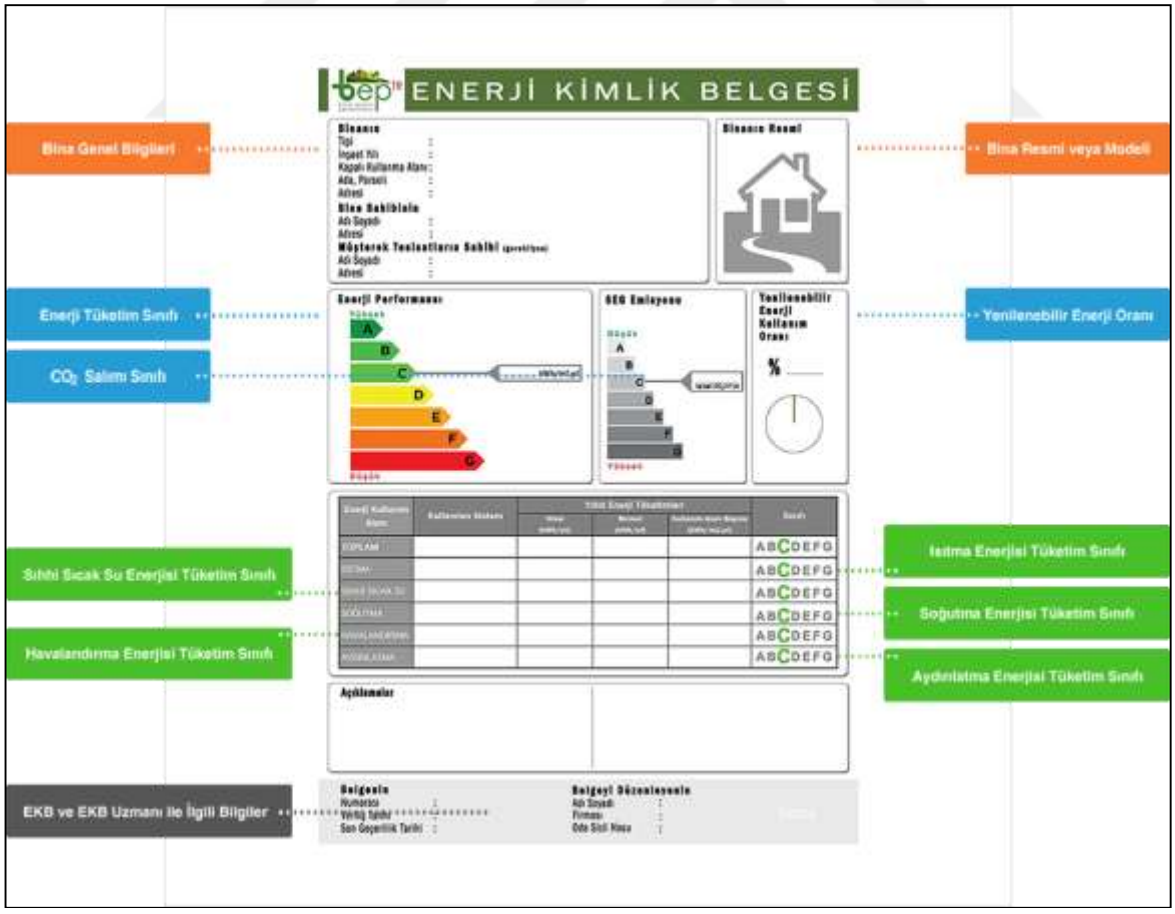
BEP yönetmeliği, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasını kapsamaktadır. Enerji kimlik belgesi'nde (EKB) bulunan binaların karbondioksit (CO_2) salınım sınıfının belirlenmesi ve enerji sınıfının belgelendirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu sınıflandırmalar binalarda ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve sıcak su temini için tüketilen enerjilere göre yapılmaktadır [52].

NSEB niteliğindeki binaların enerji performans sınıfının B veya daha iyi olması, aynı zamanda binanın birincil enerji ihtiyacının en az %10'u oranında yenilenebilir enerji kullanımına sahip olması zorunludur.

Binalarda enerji performansı yönetmeliğine göre, toplam yapı inşaat alanı 2000 m^2 ve üzeri olan binaların NSEB olarak inşa edilmesi zorunludur.

Binanın havalandırılmasında doğal havalandırmadan yararlanılması ya da mekanik havalandırmada verimli sistemlerin kullanılması, binada ısıtma- soğutma yaparken verimli sistemlerin kullanımı ya da atık ısıdan yararlanılması, yenilenebilir sistemlerin kullanımı enerji etkin yapı tasarımı gibi durumlara dikkat edilmesi binaların enerji tüketim değerlerinde düşüş sağlamaktadır bu durumda EKB de gözlenebilir [53].

Binanın ihtiyacı için kullanılan enerjinin miktarı, her bir enerji türüne birincil enerji tüketiminin A ile G arasında değişen bir referans ölçeğine göre sınıflandırılması, binaların kullanım alanı başına düşen yıllık sera gazı salımının, binanın aydınlatma enerjisi tüketim değeri, birincil enerji tüketimine göre, enerji sınıfı, binanın yenilenebilir enerji kullanım oranı, CO_2 salımı sınıfı Enerji Kimlik Belgesinde gösterilmektedir [52].



Şekil 6.3. Enerji kimlik belgesi [54].

6.2.2. Trombe duvar uygulaması

Pasif güneş enerjisi sistemleri, enerji tasarrufu yönelik ısınma ihtiyacında güneş ışınlarından en etkin şekilde yararlanmayı, ısıtmaya gerek olmayan zamanda ise güneş ışınlarından en az şekilde yararlanmayı sağlayarak ısıl konforu ve enerji tasarrufuna destek veren sistemlerdir [55].

Trombe duvar binanın güney cephesine yerleştirilerek güneş enerjisinden ısı elde etmek üzere beton, tuğla gibi duvar ve duvardan, belirli bir mesafeye (10-15 cm) yerleştirilmiş cam ile cam tabakası ile arasında hava boşluğu bulunan yapı elemanıdır.

Güneş ışınımı cam yüzeyden geçerek termal duvar (trombe duvar) içinde depolanmaktadır. Güneş ışınımı cam yüzeye gelmektedir ve trombe duvar ile ısıya dönüşmektedir. Depolanan ısı, ortam sıcaklığı duvar sıcaklığının altına düştüğünde ışınım ve taşınım yoluyla iç ortama aktarılmaktadır.

Sistemin dezavantajı olan ısıyı içeriye geç iletme sorunu, duvarın alt ve üst kısımlarındaki havalandırma açıklıklarıyla çözülebilmektedir. Trombe duvarda ısınarak yükselen hava üstteki açıklıklardan içeriye alınmakta, ortamın serin havası da zemine yakın açıklıklardan kanala girmekte ve bu dolaşım sürekli sağlanmaktadır. Trombe duvarlar, hem ısı deposu hem de ısıtma ve havalandırma sistemi olarak kullanılmaktadır [51].

Trombe duvarda ısının yapı içerisine ulaşması 8-10 saati bulmaktadır. Diğer duvarlarda olduğu gibi enerji kaybını azaltmak için yalıtım yapılmalıdır. Cam yüzeyin çift camdan oluşturulması, yalıtım yapılması ile ısıl direnç yükseltilebilir [55].

İçeriye iletilen ısının istenmediği durumlarda denetlenememesi, ısıl kütlenin sabahları geç ısınması, güney cephede trombe duvardan dolayı doğal aydınlatma yapılamaması bu sistemin dezavantajlarıdır. Aynı zamanda kış mevsiminde gündüz depolanan ısı gece vakti kaybedilmekte, yazın ise sistemde aşırı ısınma meydana gelmektedir. Bunun önüne geçilmesi adına trombe duvarın dış yüzeyinde güneş kontrol sistemleri yerleştirilebilir [55].

6.2.3. Geri kazanılmış malzeme kullanımının sürdürülebilirlik açısından önemi

Doğal afetler ve kentsel sorunlar gibi durumlardan ötürü kentsel dönüşümün yapılması sonucunu doğurmuştur. NSEB kapsamında enerji ve doğal kaynak korunumu gibi konuları kapsayan uygulamalar önemlidir [56].

Yapı malzemelerinin geri dönüştürülmesi için gereken enerji miktarı bunların ilk üretiminde harcanan enerji miktarının genellikle çok altında olabilmektedir [56].

Geri kazanım olarak çevresel ve ekonomik açıdan en kullanışlı olan, malzemenin az bir işlemden sonra yeniden kullanılmasıdır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Başkanlığı tarafından; "Türkiye'de yıllık 45 milyon ton yapısal atık miktarının kentsel dönüşüm kanunu ile birlikte ilk üç yıl boyunca yıllık 10 milyon ton, geri kazanılacak malzeme miktarının da yıllık 6 milyon ton olacağı hesaplanmıştır. Bu nedenle, geri dönüşüm uygulamalarının yaygınlaştırılması enerji ve kaynak korunumu açısından önemlidir" [56].

6.2.4. Pencere seçimi

Binalarda oluşan ısı kayıplarının yaklaşık %60'ı pencerelerden kaynaklanmaktadır. Binalardaki ısıtma ve soğutma için tüketilen enerji miktarında pencereler önemli bir paya sahiptir çünkü yüksek U değerlerine sahiptirler. Pencerelerin ısı yalıtımının arttırılmasıyla binalarda yüksek enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır [57].

U değerleri bakımından vakum camlar 0,50 W/m^2K'in altında, hava ya da argon dolgulu çok katmanlı klasik pencere teknolojilerinde 2,00-2,70 W/m^2K, ısıl dirençli fotovoltaik cam uygulamalarında yaklaşık 1,19 W/m^2K'lik bir değere sahiptirler.

Isıl dirençli fotovoltaik cam uygulamaları m^2 başına yaklaşık 100 W elektrik üretimi ile hem çift katmanlı camlara göre iki kat daha iyi ısıl yalıtım ortaya koymaktadır [57].

Çok katmanlı cam uygulamalarında çift cam teknolojileri oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Çift cam teknolojisinde ortalama U değeri 1,80 ile 2,60 W/m^2K bandında

değişmektedir. Bunun nedeni hava tabakası kalınlığı ve kaplama özellikleri ile açıklanmaktadır [57].

a) Güneş emici pencere

Pencerenin emdiği ısıyı suyun akışı yoluyla pencereden uzaklaştırılmasına dayanmaktadır. Sistemdeki su besleme suyu tankından sağlanmaktadır. Isının uzaklaştırılması ile mahalin ısısının düşürülmesi sağlanmaktadır ve klimaların tükettiği elektrik miktarı etkili bir şekilde azaltılabilir [57].

b) Çift taraflı pencere

Çift taraflı pencereler tersine dönme özelliği olan ve dış yüzeyi yansıtıcı malzeme ile kaplanmış mevsime göre şekillenen pencere türüdür. Yaz aylarında yansıtıcı malzeme sayesinde ısıyı tutmayıp kış mevsiminde ise tersine dönerek güneş ısısını emmeye çalışarak verimlilik sağlayan pencere tipleridir. Bu pencerelerin kış performansları, yaz performanslarından daha düşüktür [57].

c) Havalandırma çift camlı pencere

Dış havanın bir kanal oluşturan iki paralel pencereden mahale alınmasına dayanmaktadır. Kış mevsiminde mahale alınan taze hava ön ısıtmayla alındığından mahalin ısıtmasına yardımcı olmuş olur ve ısıtma enerji tüketiminde verimlilik sağlanmış olur [57].

d) PV Cam teknolojileri

Yenilenebilir enerji teknolojileri, fosil kaynak tüketiminin önüne geçmede ve NSEB kavramına katkı sağlamada çok önemlidir. PV cam teknolojisi bu teknolojilerden birisidir.

PV cam, elektrik üretiminin yanı sıra soğutma, ısıtma ve yapay aydınlatma açısından enerji tüketimini azaltan yenilikçi bir teknolojidir. PV cam teknolojisi hem elektrik enerjisi üretiminde hem de güneş ışınımı kullandığı için hava kirliliğinin önüne geçilmesinde etkilidir. Pencereler binalarda fazla alan kapladıkları için PV cam teknolojilerinin etki alanları fazladır. Aydınlatma verimini düşürmemesi adına PV cam teknolojisinde hafif ve

yarı-saydam ince film PV hücreler, özellikle amorf silikon bazlı güneş hücreleri üzerine yoğunlaşılmıştır. Amorf silikon güneş hücreleri camın üzerine entegre edilebilmektedir. Bu yarı geçirgen a-Si PV cam teknolojisi, c-Si PV camlarla kıyaslandığında, iç mekânı gün ışığı ile aydınlatmada daha başarılı olduğu görülmektedir. Binanın cephesinin a-Si PV cam ile kaplanması ve c-Si PV cam ile kaplanmasıyla üretilecek elektrik enerjisinin bina enerji tasarrufuna katkısı sırasıyla 530 kWh ve 480 kWh olarak hesap edilmiştir çünkü a-Si PV camın U değeri c-Si PV camın U değerinden daha düşüktür. Yarı saydam PV cam geleneksel camlara kıyasla %19 ile 59 arasında enerji tasarrufu sağlamaktadır [57].

6.2.5. Isı yalıtımı

"Binalarda ısı kaybının %40'ı duvarlarda, %30'u pencerelerde, %17 si hava sızıntıları, %7'si çatılarda, %6'sı ise bodrum katta gerçekleşmektedir" [23]. Bu nedenle binaların dış cephesinin yapı bileşenleri çok iyi yalıtılmalıdır. Kışın pencerelerden olan ısı kayıplarının yazın ise ısının mahale girişinin sınırlandırılması için özel kaplamalı yalıtım camı üniteleri ve yalıtımlı doğramalar kullanılarak ısıtma-soğutmada enerji tasarrufu sağlanır [23].

"Binalarda tüketilen enerjinin büyük kısmı (%70-90) ısıtma ve soğutma amaçlı geriye kalan kısım (%20-30) ise aydınlatma ve elektrikli cihazlarda kullanılmaktadır" [23].

Tesisat yalıtımı ısı kayıp ve kazançlarının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Isıtma ve soğutma tesisatlarının ısıtılmasına ve soğutulmasına gerek olmayan mahallerden geçen kısımlarının yalıtılması ile ısıtma ve soğutma için harcanan enerjide tasarruf edilmiş olunur.

Isıtma tesisatında yapılabilecek tasarruf uygulaması merkezi ısıtmanın tercih edilmesidir. Merkezi ısıtmada ısıtma sürekli yapıldığı takdirde kazanlarda daha az yakıt tüketimi olur. Kullanılan yakıtın fosil kaynaklardan olduğunu düşünürsek bu durum enerji verimliliği ve çevre açısından önemlidir. Merkezi sistemde kullanılan kazanların verimleri daha yüksektir. Bireysel sistemde kombinin duraksamalı olarak çalıştırılması yakıt sarfiyatının artmasına sebep olmaktadır [23].

Isıtma tesisatında verimlilik için yoğuşmalı sistemler tercih edilebilir. Yoğuşmalı sistemde, yakıtın yakılması sonucu oluşan egzoz gazı dış havaya atılmayıp radyatörlerde dolaşan

sıcak suyun ön ısıtmasında kullanılmaktadır. Bu ön ısıtma vasıtasıyla ana eşanjöre giren su bir miktar ısıtılmış olduğundan ısıtma için harcanan yakıtta tasarruf sağlanır. Egzoz gazı ısısını verdiği için yoğuşur bu nedenle sisteme yoğuşmalı sistem denilmektedir [23].

6.2.6. HVAC Sistemleri ve atık ısı geri kazanımı

Binalarda enerji tüketimindeki en büyük paya HVAC ve aydınlatma sistemleri sahiptir. HVAC sistemde, ısı geri kazanım uygulamaları, yenilenebilir enerji sistemleri ve kanal yalıtımı verimliliği arttıracak başlıca uygulamalardır.

HVAC sistemde, istenen özellikteki hava mahale kanallar vasıtasıyla iletilmektedir bu iletim esnasında hava kanalı yalıtılmamışsa ısı geçişleri olacaktır ve havanın ısıl özelliği bozulacaktır. Isıl özelliği bozulan havanın özelliğini geri kazandırmak için enerji tüketimi olacaktır. Bu durumun önüne geçilmesi açısından hava kanallarında yalıtım önemlidir.

Küresel istatistik verilere göre dünya genelinde tüketim miktarları en fazla olan kaynaklar sırasıyla %34 ile petrol, %27 ile kömür ve %24 ile doğalgaz olmuştur. Fosil yakıtların kullanılması yüksek karbondioksit emisyonu ve küresel ısınma gibi çevresel tehlikelerin artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımının arttırılması veya mevcut üretim sistemlerinin daha verimli şekilde kullanılabilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Mevcut kaynakların daha etkin biçimde kullanılabilmesinin yollarından biri de atık ısı geri kazanımı tekniklerinin uygulanmasıdır.

Atık ısı geri kazanım uygulamaları, verimliliği arttıran uygulamalardandır. Atık geri kazanım sistemleri, ısı değiştiricileri ile dışarı atılan sıcak havanın ısısının ısıtmaya dahil edilmesini sağlayan sistemlerdir [23].

Atık ısının elektrik üretiminde, bölgesel ısıtma sistemlerinde ve soğutma uygulamalarında kullanıldığı söylenebilir. Atık ısının elektrik üretimi ve bölgesel ısıtma sistemlerindeki kullanımının yanı sıra soğutma uygulamalarında kullanımı da son dönemlerde dikkat çekmektedir.

6.2.7. Ev aletlerinde enerji verimliliği

“Binalarda enerji verimliliğini arttıran bir diğer unsurda ev aletlerinde enerji verimliliğidir. Ev içi elektrik tüketimi paylarına bakıldığında, ilk sırayı %30,4 payla buzdolabı almaktadır. Buzdolabını %28,6 oranıyla aydınlatma takip ederken, %10,4 ile elektrikli fırınlar üçüncü sıraya yerleşirler. Televizyon, ailenin elektrik tüketiminde %9,8, çamaşır makinesi %6,5, bulaşık makinesi %5,6, ütü %4,3, elektrikli süpürgesi %2,4 ve saç kurutma makinesi %1,9 paya sahiptir” [23].

Ev aletlerinde enerji sınıfı verimliği belirlemektedir. “Buzdolapları sürekli çalıştıklarından dolayı binada en fazla elektrik enerjisi tüketen ev aletidir. A++ enerji sınıfı bir buzdolabı, A+'a göre %16, A ya göre %38, B ye göre %53, C ye göre %63, D ye göre %68, E ye göre %71, F ye göre %74, G ye göre %77 enerji tasarrufu sağlar. Bulaşık makinelerinde A enerji sınıfı bir cihaz ile G enerji sınıfı olana göre %51, çamaşır makinelerinde A enerji sınıfı bir cihaz ile G enerji sınıfı olana göre %58, klimalı A enerji sınıfı bir cihaz ile G enerji sınıfı olana göre %31 enerji tasarrufu sağlayabilir” [23].

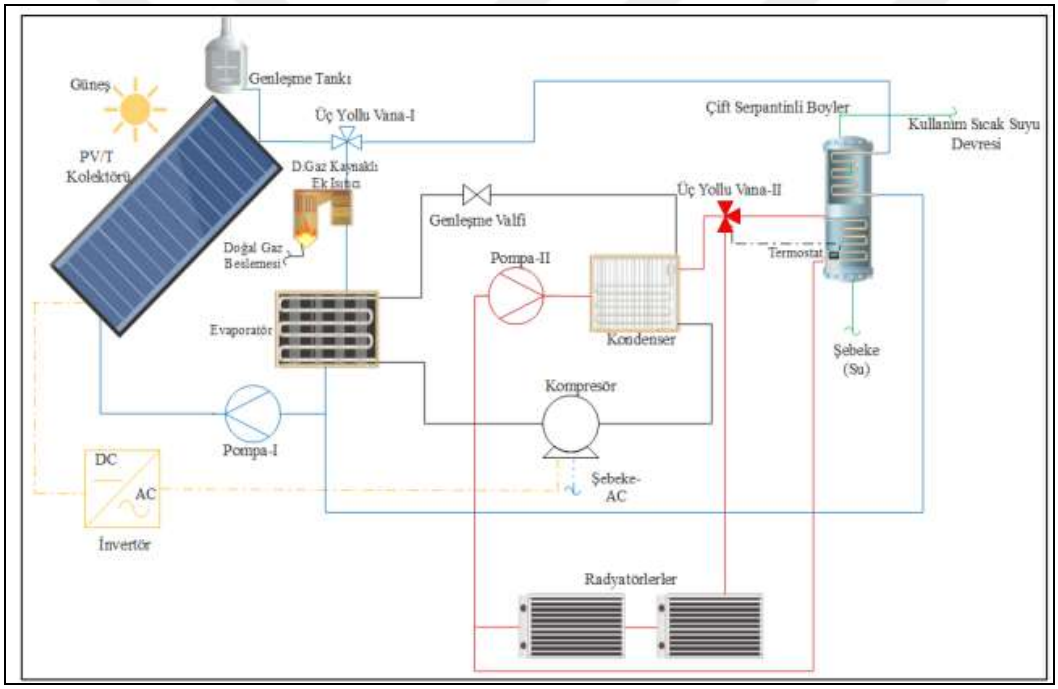
6.2.8. PV/T Paneller ile desteklenen ısı pompası

Enerji korunumu amacıyla çevreyi kirletmeyen ve üretim maliyeti minimum olan doğal enerji kaynaklarının kullanımı tercih edilmektedir. Binalarda enerji korunumu amacıyla; güneş, rüzgâr ve çevre enerjisinin, doğal ısıtma, soğutma, havalandırma ve elektrik enerjisi üretimi için bina tasarımlarıyla bütünleştirildiği (güneş pilleri, güneş kolektörleri, rüzgâr türbinleri, ısı pompaları) bilinmektedir. Soğutma ve ısıtma yapmak için ısı pompaları gerekli enerjinin 3/4’ ünü çevreden almakta ve geri kalanını ise elektrik akımından temin etmektedir. Isı pompaları hava hareketleri, hava sıcaklığı gibi değişkenleri kullanarak binalarda enerji korunumunu sağlayabilmektedir [30].

Isı pompaları, düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı akışı kendiliğinden gerçekleşmeyeceği için bunu sağlayan bir sistemdir. Hava, toprak ya da su kaynaklıdırlar.

Isı pompaları kış mevsiminde topraktan, havadan, yeraltı veya yüzey suyundan ısı çekerek ortamı ısıtmakta yaz mevsiminde ise ortam ısısını çekerek bu kaynaklara atmaktadırlar. Bu sayede ısıtma ve soğutma görevlerini yerine getirmektedirler [30].

NSEB kapsamında binalarda enerji verimliliği açısından enerji tüketimini düşürmek, yenilenebilir enerjiden yararlanmak, fosil kaynakların kullanımını düşürmek için PV/T paneller ile desteklenen ısı pompası sistemi üzerine çalışma yapılmıştır. Isı pompası sistemiyle, ısıtma sürecinde bağımsız enerji kullanımı amaçlanırken, ısı pompası sistemine entegre edilen PV/T paneller ile de enerji üretimi için yenilenebilir enerjinin kullanılması sağlanmıştır [58].



Şekil 6.4. PV/T paneller ile desteklenen ısı pompası [58].

Şekil 6.4 de PV/T paneller ile desteklenen ısı pompası sistemi gösterilmiştir.

6.2.9. Aydınlatma

Aydınlatmada, elektrik enerjisinin %20-%25'i tüketilmektedir. Isıtma-soğutma sistemlerinden sonra en büyük enerji tüketim kalemi aydınlatma sistemleridir. Aydınlatmada verimlilik açısından istenen yerin aydınlatılması çok önemlidir. NSEB kapsamında öncelikle doğal aydınlatmadan mümkün mertebede faydalanılması, ihtiyaç

olması durumunda yapay aydınlatmanın kullanılması tercih edilmelidir. Yapay aydınlatmada ise verimi yüksek armatürlerin kullanılması gereklidir. Bu armatürlerden LED lambalar en verimli aydınlatma teknolojisi olarak belirtilmiştir. Bu lambalar, akkor flamanlı lambalara göre %90 floresan lambalara göre %50'yi geçen tasarruflar sağlar ve ömürleri oldukça uzundur [28].

7. NEREDEYSE SIFIR ENERJİLİ BİNALAR İÇİN GEREKLİ KRİTERLER

- NSEB kapsamında öncelik olarak doğal aydınlatmadan mümkün mertebede yararlanılmalıdır. Yapay aydınlatma olarak verimli armatürler önerilmektedir. Verimli armatür olarak LED lambalar önerilebilir. Yapılan araştırmalarda bu lambaların, akkor flamanlı lambalara göre %90 floresan lambalara göre %50'yi geçen tasarruflar sağladıkları belirtilmiştir [28].
- NSEB kapsamında enerji verimliliği ve tüketilen enerjinin yerinde üretimi için yenilenebilir enerjiden faydalanılmalıdır. PV/T paneller ile desteklenen ısı pompası ile ilgili yapılan bir çalışmada ısıtma sezonunda %13.1 azaldığı görülmüştür. Yapılan başka bir araştırmada PV/T paneller ile desteklenen ısı pompasının %67 oranında enerji tasarrufu elde edilebileceği belirtilmiştir [58].
- Güneş enerjisi kaynaklı absorbsiyonlu soğutma sistemi, güneş enerjisiyle soğutmaya en yatkın yöntemlerin başında gelmektedir. COP değerleri 0,3 ile 1,2 arasında değişmektedir. En sık kullanılan akışkan çifti LiBr-H2O ve NH3- H2O' dur. Amonyak-su çifti kullanılmasında soğutucu buharı ile absorber buharının birbirine karışması ile absorber olan suyun sistemde donması durumumda sistemde hasarlar oluşabilir bu durumun önüne geçmek için ek sisteme ihtiyaç duyulur. LiBr-H2O akışkan çiftinin en büyük iki özelliği; LiBr'ün uçucu olmayan bir absorbent olması ve soğutucu olan H_2O'nun oldukça yüksek buharlaşma ısısına sahip olmasıdır. Fakat buna rağmen 0°C altındaki soğutma işlemlerinde kullanılmaz. Ayrıca yüksek konsantrasyonlarda LiBr'nin kristalleşme problemi olabilmektedir ve bazı metallerde korozyona neden olabilmektedir [59].
- CO_2 soğutucu akışkanlı soğutma sistemlerinde, CO_2 küresel ısınma potansiyelinin çok düşük olması ve ozon tabakası delme potansiyelinin sıfır olması nedeniyle soğutma çevrimlerinde tercih edilmektedir. CO_2'nin seçilmesinde temin edilmesinin kolay olması, performans katsayısı, yüksek hacimsel soğutma kapasitesi, maliyetlerinin düşük olması maddeleri bulunmaktadır. CO_2 bazlı soğutma sistemleri, karbon ayak izinin azaltılmasında katkı sağlamaktadırlar. Diğer soğutma sistemleri, ısıtma ya da düşük veya orta sıcaklıkta soğutma amaçlı olarak tek bir işlemi yapabiliyorken karbondioksit soğutucu akışkanlı soğutma sistemi, bu üç işlevi bir arada gerçekleştirerek enerji tasarrufu sağlamaktadır [60].

- Yapı kabuğu özelliği ile ilgili olarak yapılan araştırmalardan yola çıkarak iklim bölgeleri için sırasıyla optimum U değerleri 1. iklim bölgesi için 0.41 - 0.50 W/m^{2}K, 2. iklim bölgesi için 0.28 – 0.43 W/m^{2}K, 3. iklim bölgesi için 0.30 – 0.35 W/m^{2}K, 4. iklim bölgesi için 0.19 – 0.29 W/m^{2}K aralığında kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür [61].
- Yapılan bir çalışmada farklı yapıların ısıtma, soğutma ve havalandırma enerji tüketimlerine göre hesaplar yapıldığı ve bu kapsamda öneriler sunulmuştur. Görüldüğü üzere tüm yapılar için ısıtma sistemi olarak ısı pompasının soğutma sistemi olarak VRF sisteminin daha etkili olduğu görülmüştür [61].
- NSEB kapsamında yalıtım uygulamalarına yönelik olarak yüksek performanslı ısı yalıtım malzemeleri tercih edilmektedir. Son yıllardaki çalışmalarda, özellikle mikro-gözenekli yapıdaki ısıl işlemden geçirilmiş ürünler üzerinde yoğunlaşılmıştır. Bu malzemelerin ısı iletim katsayıları alışılagelmiş yalıtım malzemelerine göre daha düşüktür. Vakum yalıtım panelleri (VYP) ısı yalıtım özellikleri açısından çok yüksek performanslı yalıtım malzemeleridir. Vakum yalıtım panelleri (VYP), geleneksel yalıtım malzemelerine (λ_{maks} : 0.04 W/mK) göre 10 kata ulaşan ısı yalıtımı VYP'ler (λ_{maks}: 0.004 W/mK) ile sağlanabilmektedir. Bu malzemelerin ısı iletim katsayıları 10-22 mW/mK arasında değişmekte olup alışılagelmiş yalıtım malzemelerine göre daha düşüktür [62].
- Soğutucu akışkanların seçiminde genel olarak dikkat edilmesi gereken temel kriterler; yanma özellikleri (yanma özelliğine bağlı şarj limiti), fiziksel ve kimyasal özellikler, ozon tüketme potansiyeli (OTP) değeri, termodinamik özellikler, küresel ısınma potansiyeli (KIP) değeri söylenebilir [63]. NSEB konseptinde doğal soğutkanların tercih edilmesi yanında bu soğutucu akışkanların kullanıldığı sistemlerin yüksek COP değerine sahip olması önem arz etmektedir.

8. NSEB İÇİN KRİTER ÖNERİLERİ

Yüksek enerji tüketimi binalarda enerji maliyetlerinin artmasına sebep olurken bir yandan da karbon salımının artmasına neden olmaktadır. Binalarda tüketilen enerjinin verimli kullanımı ve binalarda enerji üretim modelleri değerlendirildiğinde:

- Yüksek ısıl dirençli çevreci ve ekonomik ısı yalıtım teknolojilerinin bina tasarımlarında kullanılması ile enerji tasarrufunda ciddi bir artış sağlanabileceği,
- Yüksek COP değerine sahip ısı pompası sistemlerinin binalarda ısıtma amaçlı kullanılırken gerektiğinde de soğutma modunda yüksek verimde kullanılarak bütüncül tasarımların bu konuda binalara uygulanması,
- PVT sistemlerinin hem elektrik hem de ısı üreterek bina ısıtma-soğutma ve elektrik enerjisi sistemlerine entegrasyonuna yönelik tasarımların uygulanması ile yenilenebilir enerjiden yararlanılabileceği,
- Çevreci soğutucu akışkanların tercih edilmesi ile ısı pompası performans katsayısının arttırılabileceği,
- Maksimum seviyede yenilenebilir enerjiden yararlanma oranlarının göz önünde bulundurulması,
- Güneş enerjisinden pasif ve aktif olarak en yüksek seviyede yararlanılması,
- Atık ısı geri kazanımının özellikle HVAC-R sistemlerine entegrasyonu ve bu entegrasyonda enerji depolama teknolojilerinin binalara entegre edilmesi,
- Sürdürülebilirlik süreçlerine katkı sağlayabilecek az enerji tüketen yaşam iklim döngüsü performansı da göz önünde bulundurularak cihaz/ekipman/sistem seçimlerinin yapılması,

gibi öneriler bu tez kapsamında yapılan araştırmalar neticesinde ortaya konmuştur.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında sunulan eşitlikler, açıklamalar ve araştırmalar sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda NSEB için bazı öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Artan enerji talebinin karşılanmasında aynı zamanda fosil yakıtların çevreye olan zararları ve bu kaynakların tükenebilirliği açısından ısı yalıtımı ile yüksek enerji maliyetlerinin azaltılması, tasarımsal süreçlerde HVAC sistemlerinde ısı kaybı-kazancının azaltılmasına dikkat edilmesi.
- PV ve PVT kullanımı ile enerji üretiminde yenilenebilir enerjiden mümkün mertebede yararlanılması.
- Yüksek verimli ve yaşam iklim döngüsü performansı yüksek sistemlerin tercih edilmesi ile NSEB konseptinin sürdürülebilirliğe daha fazla katkı sağlayacağı söylenebilir.
- En önemlisi yenilenebilir enerjiden maksimum yararlanma ve enerji depolama entegrasyonu uygulamalarının bina tasarımlarında yer alması.
- Yenilikçi enerji sistemlerinin entegrasyonu ile yüksek enerji verimliliği ve sürdürülebilirliğe katkı sağlanması.
- Öz tüketime yönelik yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımı ve bunun yanında da enerji tüketiminin enerji verimliliği ile azaltılması önem arz etmektedir.
- Isı pompalarında yüksek COP değerine sahip sistemler tercih edilerek NSEB kapsamında tüketilen enerjinin yerinde üretilmesi.
- Isı depolayıcı duvar sistemi olan trombe duvar uygulamasından ve atık ısı geri kazanım uygulamalarından bütüncül olarak yararlanılmalıdır.
- Yüksek performans katsayısına sahip yenilenebilir enerji destekli ısıtma-soğutma-havalandırma-iklimlendirme sistemleri sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır. Ayrıca, bu sistemlerde çevreci soğutucu akışkan kullanımı da yaşam iklim döngüsüne olumlu katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Acar, U., (2023). *Net Sıfır Enerjili Binaların Türkiye İklim Koşullarında Uygulanabilirliğinin Araştırılması*. Doktora Tezi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Osmaniye.

2. Pınar, T.H., (2023). *Türkiye'de Uygulanan 'Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB)' Yaklaşımının Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

3. Şenel, Ö., (2021). *Net Sıfır Enerjili Binalar İçin Mevcut Konut Cephelerinde İyileştirme Yöntemlerinin Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi. Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli.

4. Sattarı, M., (2021). *Yaklaşık Sıfır Enerjili Binaların (NSEB) Türkiye'de Uygulanabilirliği Üzerine Bir İnceleme.* Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.

5. Tığlı, F., (2018). *Yeşil Bina Kavramının Günümüzdeki Durumuna Eleştirel Bir Bakış ve Net Sıfır Enerjili Binalar İçin Bütünleşik Tasarım Sürecinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.

6. Chen, X., Chen, Y., Fu, L., Zhang, Z., Tang, M., Feng, J., Jiang, S., Lei, Y., Zhang, D., Shen, B. (2024). Photovoltaic-driven liquid air energy storage system for combined cooling,heating and power towards zero-energy buildings. *Energy Conversion and Management*. 300(1), 117959.

7. Özbalta, T,G, (2019). Yaklaşık Sıfır Enerjili Binalar ve Yerleşimler. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası,* 21(9), 127-139.

8. Abdul-Zahra, A.S., JuboriA, M. A. (2021). Potential Evaluation And Analysis of Near-to-net zero energy buildings in Hot and Dry Climate. *Energy Conversion and Management.* 12(8),100146.

9. Wang, W., Yang, H., Xiang, C. (2023). Green roofs and facades with integrated photovoltaic system for zero energy eco-friendly building – A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60(7609), 103426.

10. D'Agostino, D., Tzeiranaki, S.T., Zangheri, P., Bertoldi, P. (2021). Data on Nearly Zero Energy Buildings (NZEB) Projects And Best Practices in Europ. *Energy Strategy Reviews*, 39(3), 107641.

11. D'Agostino, D., Tzeiranaki S.T., Zangheri, P. (2021). Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) development in Europe. *Energy Strategy Reviews*, 36(2),100680.

12. Dermentzis, G., Ochs, F., Franzoi, N. (2021). Four Years Monitoring of Heat Pump, Solar Thermal and PV System in Two Net-zero Energy Multi-family Buildings. *Journal of Building Engineering*, 43(1), 103199.

13. Okonta, D.E. (2023). Investigating the impact of building materials on energy efficiency and indoor cooling in Nigerian homes. *Heliyon*, 9(3), e20316.

14. Çelik, A. (2022). *Soğuk İklim Bölgelerinde Yaklaşık Sıfır Enerji Bina (NSEB) Konseptinin Bir Eğitim Binası için çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle İncelenmesi*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

15. Dezfouli, M., Dehghani-Sanij, A., Kadir, K., Suhairi, R., Rostami, Ş., Sopian K. (2023). Is a Fan Coil Unıt (FCU) an Efficient Cooling System For Net-zero Energy Buildings (NZEBs) in Tropical Region an Experimental Study on Thermal Comfort And Energy Performance of an FCU. *Results in Engineering*, 20(1),101524.

16. Acar, C., Ertürk, E., Fırtına, İ. (2022). Performance Analysis of a Stand-alone İntegrated Solar Hydrogen Energy System for Zero Energy Buildings. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(2)48(2).1664-1684.

17. Alshibil, M., Farkas, I., Vig, P. (2023). Sustainability Contribution of Hybrid Solar Collector Towards Net-zero Energy Buildings Concerning Solar Cells Wasted Heat. *Energy for Sustainable Development*, 74(1),185-195.

18. Yetim, E. (2021). '*Ada Bazlı Kentsel Dönüşümde Enerji Verimliliği Uygulamaları ve Maliyet İlişkisinin İncelenmesi: Antalya Örneği* '.Yüksek Lisans. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya.

19. Bitek, B. (2023). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Bireysel Kullanım İçin Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Analizi.* Yüksek Lisans Tezi. Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kırklareli.

20. Karadağ, A.N. (2023). *Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Durumu, Gelecek Öngörüsü ve Özelinde Güneş Enerjisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Karabük.

21. Yılmaz, B., (2009). *Binalarda Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik.* Yüksek Lisans. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

22. Şirinbakhsh, M., (2023). Feasibility of Achieving Net Zero Energy Performance in High-risebuildingsusing Solar Energy. *SSRN Electronic Journal*, 5(6).946-956.

23. Çetinkaya, E., (2012). *Binalarda Enerji Verimliliğinin Analizi.* Yüksek Lisans Tezi Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

24. İnternet: Heart Home Dergisi. URL: https://hearthomemag.co.uk/category/home-garden/. Son Erişim Tarihi: 3.10.2024.

25. Başlı, D.D., (2016). *Konut Binalarında Isıtma Sistemlerinin Tasarım Parametrelerine Bağlı Olarak Isıtma Yüklerine Etkisi.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

26. Tecer, İ., (2021). *Soğutma Sistemlerinin Enerji Verimlilikleri ile İlk Yatırım Maliyetlerinin Karşılaştırılması.* Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

27. Ünlü, G., (2010). *Sürdürülebilir Binalar İçin HVAC Sistemleri Seçimi, Tasarımı ve Enerji Analizi.* Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

28. Demir, H., Çıracı, G., Kaya, R., Ünver, Ü. (2020). Aydınlatmada Enerji Verimliliği: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Durum Değerlendirmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1637-1652.

29. Çokgez, Kuş, A. (2011). *Farklı Kaynaklı Isı Pompalarının Ekonomik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.

30. Erdim, B. (2010). *Binalarda Enerji Korunumu Açısından Isı Pompalarının Farklı İklim Bölgelerinde Uygulanması.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

31. Chanchayanon, T., Chaiprakaikeow, S., Jotisankasa, A., Inazumi S.,(2024). Güneydoğu Asya'da Sürdürülebilir Kentsel Gelişim için Jeotermal Isı Pompası Sistemlerinin Optimizasyonu. *Akıllı Şehirler Dergisi*, 7(3),1390-1413.

32. Soylu, B.N., (2019). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Konya İlinin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli.* Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Konya.

33. Öksüz, M., Köse, F., (2019). Hibrit Fotovoltaik Isıl PVT-su ve PVT-hava Güneş Kollektörlerinin İncelenmesi. Konya Teknik Üniversite. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(3), 95-102.

34. Kılkış, B. (26-29 Nisan 2023).*Yeşil bina sertifikasyonlarında yerlilik ve küresel kriz duyarlığında tse güvenli- yeşil bina belgelendirme örneği*, 15. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.

35. Orun, A.F., Demirgil, B., (2021). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırımlarına Yönelik Teşvikler ve Yenilenebilir Enerjinin Ekonomik Etkileri. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Uluslararası İktisadi ve İdari Akademik Araştırmalar Dergisi.* 1(2), 90-112.

36. İnternet: Güneş Paneli Nasıl Yapılır, URL: www.antalyaenerji.com/gunes-paneli-nasil-yapilir/ Son Erişim Tarihi: 17.11.2024.

37. Al-Vaeli A., Sopyan K., Kazem, H.A., Chaichan, T. (2017). Fotovoltaik/Termal (PV/T) sistemleri: Durum ve gelecek beklentileri. *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri Dergisi*. 77, 109-130.

38. Bakır, C., (2012). *Fotovoltaik/Isıl Sistemlerde Performans İyileştirilmesi ve Termo-Ekonomik Analiz.* Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Konya.

39. İnternet: Jeotermal Enerji: Nedir, Nasıl Çalışır, Avantajları Nelerdir, URL-: https://www.ardicakademi.com/2023/08/jeotermal-enerji-nedir-nasl-kullanlr.html?m=1/ Son Erişim Tarihi: 17.11.2024.

40. İnternet: Biyokütle: Geleceğin Enerji Kaynağı. URL: https://www.peyzax.com/biyokutle-gelecegin-enerji-kaynagi/ Son Erişim Tarihi: 10.11.2024.

41. Şimşek, S. (2021). *Soğutma Sistemleri İçin Yeni Nesil Bir Enerji Depolama Ünitesi Tasarımı ve Termodinamik Analiz*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

42. Selamoğlu, B., (2023). *Güneş Takip Sistemine Bağlı PVT Kolektör Enerji Performansının Deneysel İncelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Karabük.

43. Ayaz, E., (2020). *Farklı Karakteristikteki Güneş Paneli Camlarının ve Güneş Paneline Uygulanan Soğutma Materyalinin Panel Performansına Olan Etkilerinin Araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı. Afyonkarahisar.

44. Kerem, A., Atik, M., Bayram, A., (2020). Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi,* 12(2), 565-578.

45. Bilen, K., Demir, O. (2021). Hava, Su ve Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Farklı Soğutucu Akışkanlar için Enerji ve Ekserji Analizi. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi.* 8(2), 688-705.

46. "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", (2008). Türk Standartları Enstitüsü, 1-75.

47. Çengel, Y.A., Ghajar, A. J. (2019). *Isı ve Kütle Transferi.* (3. Baskı). Ankara: Palme Yayınevi, 908.

48. Beypazarlı, Ş., Ayar, H., Aktaş, M., (2016). İklimlendirme Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Konfor Artışı İçin Alternatif Bir Yöntemin Analizi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi.* 5(2), 1-14.

49. Karanfil, G., Ruşen, S. E., Poyraz, Ş.N., Can, M., (2020). Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri ve Isıl Verim Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi.* 3(19), 127-137.

50. Gündal, G., (2022). *Farklı Tip Isı Değiştiricileri Kullanılarak Enerji ve Ekserji Analizlerinin Karşılaştırılması.* Yüksek Lisans Tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.

51. Yumurtacı, Z., Dönmez ,A.H. (2013). Konutlarda Enerji Verimliliği. *TMMOB Makina Mühendisleri Odası,* 54(637), 38-43.

52. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. (5 Aralık 2008). *Resmî Gazete,* 27075.

53. Akın C.T., Kaplan S. (2019). Enerji Kimlik Belgelerinin Enerji Etkin Mimari Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*. 10(1), 373–384.

54. İnternet: Enerji Kimlik Belgesi almak artık çok kolay, URL: https://www.enerjikimlikbelgesi.com/, Son Erişim Tarihi: 13.10.2024.

55. Karaman S., Örüng İ., Şirin Ü. (2016). Trombe Duvar ile Ek Isı Kazanımı Sonucu Hayvan Barınaklarında Havalandırma Etkinliğinin Artırılması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 30(1),169-178.

56. İpekçi C.A., Coşkun N., Karadayı T.T. (2017). İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi. *TÜBAV Bilim Dergisi,* 10(2), 43-50.

57. Cüce, P.M., Güçlü, T., Beşir, A.B., Cüce, E. (2019). Enerji Verimli Binalar İçin Sürdürülebilir ve Çevre Dostu Pencere ve Cam Teknolojileri: Son Gelişmeler ve Uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi.* 24(3), 503-522.

58. Şensoy, B., Aktaş, M. (2024). Eko Tasarım Yaklaşımıyla Mesken Isıtma Uygulaması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 14(1), 72-87.

59. Sevinç, K., Güngör, A. 2012. Güneş Enerjisi Kaynaklı Soğutma Sistemleri ve Bu Alandaki Yeni Uygulamalar. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, 53(635), 59-70.

60. Zeyad, T., SATTAR, Aktaş, M., Güven, Y., Bahar, E. M. (2025). Çok amaçlı yüksek performanslı CO2 soğutucu akışkanlı soğutma sistemi tasarımı. *Politeknik Dergisi.* 28(3), 935-946.

61. İnternet: Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (nSEB) İçin Rehber, URL: https://meslekihizmetler.csb.gov.tr/neredeyse-sifir-enerjili-binalar-nseb-icin-rehber-i-99831, Son Erişim Tarihi: 02.09.2025.

62. Bayrakçı, H. C., Davraz M., Başpınar, E., (2011). Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Panel. *Teknik Bilimler Dergisi*, 1(2), 1-12.

63. Demirci E., Özkaymak M., Koşan M., Akkoç A.E., Aktaş M., (2020). Doğal Soğutucu Akışkan Kullanımında Gelişmeler. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 184-199.



Gazili olmak ayrıcalıktır