

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA İLİ İÇİN
BİR SIFIR ENERJİ BİNASININ TERMOEKONOMİK ANALİZİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin ERGÜN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

EYLÜL 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA İLİ İÇİN
BİR SIFIR ENERJİ BİNASININ TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hüseyin ERGÜN
(141080109)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yusuf Ali KARA

EYLÜL 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 141080109 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hüseyin ERGÜN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BURSA İLİ İÇİN BİR SIFIR ENERJİ BİNASININ TERMOEKONOMİK ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Yusuf Ali KARA**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ**
Uludağ Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Tayfun TANBAY
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : 19 Eylül 2019

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi /...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Hüseyin Ergün

İmzası :

X X X X



Eşime ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Ülkemizde ve dünyada kullanılan enerjinin yaklaşık beşte ikisinin binalarda ve bunun da yarısından fazlasının konutların ısıtma-soğutma ve diğer enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında harcandığı bilinmektedir. Üretilen enerjinin yaklaşık beşte ikisinin binalarda tüketilmesi, enerjinin maliyetinin yüksekliği ve özellikle elektrik üretimimizin, % 40'lar gibi yüksek bir oranda doğalgaza bağlı olması, dışa bağımlılığı ve dolayısıyla cari açığı artırmasıyla önemli bir sorun olarak varlığını sürdürmektedir. Halen istenilen düzeye ulaşamayan ısı yalıtım çalışmaları ile fazladan tüketilen enerjinin önemli bir miktarını oluşturan fosil yakıtlar azaltılmaya çalışılırken; enerji ihtiyacının karşılanmasında henüz payı çok düşük te olsa; son yıllarda başta rüzgar olmak üzere, güneş, jeotermal, bio-kütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı giderek artmaktadır. Türkiye'nin 2023 hedefleri arasında elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %30'a yükseltilmesi; bu hedefin gerçekleştirilmesinde; binaların enerji ihtiyacının; başta güneş olmak üzere, yenilenebilir kaynaklarla kombine karşılandığı Sıfır Enerji Binalarının, Türkiye'de de yaygınlaşması için çalışmalar artırılmalıdır. Ülkemizde çok kısıtlı uygulamalarına rastladığımız bu yöntem, bu çalışma ile Bursa ili, Kestel ilçesi sınırları içinde, tek katlı, bağımsız bir ev projesi ile örneklendirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmaların başından beri yol gösteren ve gerektiğinde yakından destekleyen, danışmanım, hocam Sayın Prof. Dr. Yusuf Ali Kara'ya, sağladığı mimari proje ve vizyonuyla şahsıma ve ülkemize katkıda bulunan, Türkiye'nin ilk "Enerji Mimari" Sn. Çelik Erengezgin'e; ısı hesapları, enerji simülasyonu ve enerji maliyetinin çıkarılmasında HAP programıyla çalışmamızı sağlayan Sayın Hamit Mutlu / Mekanik Proje'ye ve özellikle emeği çok geçen Sayın İsmail Sivri'ye; PV sistem ve ısı pompası grubu teklif sağlayıcıları ve Sayın Oğuz Toraman / Sunvital'e ve Sayın Burak Erdem / Aktamar Yapı'ya teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Eylül 2019

Hüseyin ERGÜN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Mevcut Durum	1
1.1.1 Türkiye'nin enerji görünümü.	2
1.1.2 Binalarda kullanılan enerji.	4
1.1.3 Yaygın ısıtma – soğutma sistemleri.	5
1.1.4 Sıfır enerji binası (SEB).....	8
1.2 Literatür Araştırması.....	10
1.3 Tezin Amacı	14
2. MATERYAL VE METOT	15
2.1 SEB Sistem Bileşenleri	15
2.1.1 Toprak kaynaklı ısı pompası	15
2.1.1.1 Isı pompası seçim yöntemi	17
2.1.1.2 Toprakaltı sondası (kuyu derinliği) hesabı.....	18
2.1.1.3 Boru boyu yaklaşık hesabı.....	20
2.1.2 PV – Fotovoltaik panel.....	21
2.1.2.1 PV'nin kısa tarihsel gelişimi.....	21
2.1.2.2 Güneş ve ışınım	22
2.1.2.3 Fotovoltaik teknolojisi.....	27
2.1.2.4 Güneş pilinin elektriksel karakteristikleri.....	33
2.1.3 Isıtma sistemi.....	35
2.1.4 Soğutma sistemi.....	39
2.1.4.1 Dış ısı kazancı.....	40
2.1.4.2 İç ısı kazancı.....	41
2.2 Bina Isıtma ve Soğutma Yükleri Hesabı.....	45
2.2.1 Isı pompalı, yerden ısıtılmalı ve fan-coilli sistemin bina ısıtma - soğutma yükü hesaplama sonuçları.....	47
2.2.2 Kombili, yerden ısıtılmalı ve split klimalı sistemin bina ısıtma - soğutma yükü hesaplama sonuçları.....	50
2.3 Bina Enerji Simülasyonu.....	50
2.4 PV Sistem Hesabı	51
2.5 Güneş Kollektör Hesabı.....	61
2.6 Sistem ve Komponent Seçimi.....	65
2.6.1 Isıtma – soğutma sistemi seçimi.....	65

2.6.2 PV sistemi seçimi.....	67
2.7 Ekonomik Analiz	68
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	71
3.1 Isıtma Pik Yüğü.....	71
3.2 Soğutma Pik Yüğü.....	71
3.3 Enerji Simülasyon Sonuçları.....	71
3.3.1 Isı pompalı, yerden ısıtılmalı, fan-coilli sistemin enerji simülasyonu.....	71
3.3.2 Kombili, yerden ısıtılmalı, split-klimalı sistemin enerji simülasyonu	73
3.4 PV Panel Hesap Sonuçları.....	76
3.5 Güneş Kollektörü - Sıcak Su Hesap Sonuçları	78
3.6 Maliyet Hesapları	79
3.6.1 İlk yatırım maliyeti	79
3.6.2 Enerji tüketim maliyetleri.....	80
3.6.2.1 Isı pompalı, yerden ısıtılmalı, fan-coilli sistemin enerji tüketim maliyetleri	80
3.6.2.2 Kombili, yerden ısıtılmalı, split-klimalı sistemin enerji tüketim maliyetleri	83
3.6.3 P1, P2 metoduyla ekonomik analiz sonuçları	88
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR	92
EKLER	95
ÖZGEÇMİŞ.....	100

KISALTMALAR

DHW	: Domestic Hot Water (Ev Kullanım Sıcak Suyu)
HAP	: Hourly Analysis Program (Saatlik Analiz Programı)
TFM	: Transfer Function Method (Transfer Fonksiyon Metodu)
PVGIS	: Photovoltaic Geographical Information System
COP	: Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)
ZEB	: Zero Energy Building (Sıfır Enerji Binası)
NZEB	: Near Energy Building (Yakın Sıfır Enerji Binası)
SEB	: Sıfır Enerji Binası
RES	: Rüzgar Elektrik Santrali
GES	: Güneş Elektrik Santrali
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EISA	: Energy Independence and Security Act (ABD)
EPBD	: Energy Performance of Buildings Directive (AB)
KENAK	: Greek regulation for Energy Performance of Buildings
EN	: European Norm
PV	: Photovoltaic
GSHP	: Ground Source Heat Pump (Toprak Kaynaklı Isı Pompası)
TKIP	: Toprak Kaynaklı Isı Pompası
PV/T	: Photovoltaic / Thermal
HVAC	: Heating - Ventilating and Air Conditioning
DIN	: Deutsche Industrie Norm
VDI	: Verein Deutscher Ingenieure
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
EVA	: Ethyl Vinyl Acetate (Etil Vinil Asetat)
CdTe	: Cadmium tellüride (Kadmiyum Tellürit)
CuInSe₂	: Copper Indium diselenide (Bakır İndiyum Diselenit)
GaAs	: Gallium Arsenid (Galyum Arsenit)
TS	: Türk Standartları
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma Soğutma ve Hava Şartlandırma Mühendisleri Topluluğu)
CLTD	: Cooling Load Temperature Difference (Soğutma Yüğü Sıcaklık Farkı)
CLF	: Cooling Load Factor (Soğutma Yüğü Faktörü)
TETD	: Total Equivalent Temperature Differential (Toplam Eşdeğer Sıcaklık Farkı)
SCL	: Solar Cooling Load (Güneş Soğutma Yüğü)

DOE	: Dept. Of Energy (ABD Enerji Bakanlığı)
NREL	: National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı - ABD)
SAM	: System Advisor Model (Sistem Danışman Modeli)
NSRDB	: NREL National Solar Radiation Database (ABD Ulusal Güneş Radyasyon Veritabanı)
POA	: Plane of Array (Dizi Düzlemi)
LCOE	: Levelized Cost of Energy (Seviyelenmiş Enerji Maliyeti)
TCF	: Temperature Correction Factor (Sıcaklık Düzeltme Faktörü)
EMO	: Elektrik Mühendisleri Odası
RETScreen	: Clean Energy Management Software system for energy efficiency
SMA design	: Solar Design Software for Mobile Devices
Transys	: 'T R a N s i e n t S Y s t e m S i m u l a t i o n p r o g r a m' yazılımı
CNBSolar	: China Solar Company
Top.	: Toplam
Ch.	: Chapter (Bölüm)
HB.	: Handbook (El Kitabı)
Bkz.	: Bakınız
D.I.O.	: Duyulur Isı Oranı
Maks.	: Maksimum
Min.	: Minimum
TMY	: Saatlik tipik meteorolojik yıl
r.sum	: range sum algoritması

SEMBOLLER

H	: Isı miktarı
EJ	: Exa Joule
GW	: Gigawatt
MW	: Megawatt
kW	: Kilowatt
kcal	: Kilo kalori
h	: Entalpi
s	: Entropi
P	: Basınç
ρ	: Yoğunluk
D	: Boru dış çapı
C_p	: Özgül ısı
k	: Suyun ısı iletim katsayısı
T	: Sıcaklık
M	: Metre
M	: Kütle
W	: İş, enerji
K	: Kelvin
A	: Alan
h	: Saat
sn	: Saniye
gn	: gün
L	: Litre
A	: Alan
h	: Saat
A_{PV}	: Gerekli PV panel alanı (m ²)
L_{el}	: Günlük elektrik yükü (kWh/gün)
H_{avg}	: Günlük ortalama ışınım (kWh/m ² . gün)
η_{pv}	: PV panellerin verimliliği
ρ	: Yoğunluk
p-n	: Pozitif – negatif

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Enerji kaynakları çeşitleri.....	1
Çizelge 2.1 : Yatay - dikey tipe ve boru çapına göre toprak dirençleri.....	18
Çizelge 2.2 : Dikey veyatay tipler için toprak dirençleri (sol) ve boru dirençleri (sağ).....	18
Çizelge 2.3 : TKIP dikey tip boru boyu hesaplama klavuzu.....	19
Çizelge 2.4 : Bazı illerin bir metre derinlikteki toprak sıcaklıkları (°C).....	20
Çizelge 2.5 : Toprağın ortalama ısı çekme değerleri.....	20
Çizelge 2.6 : Aylara göre ışınlım enerjisi, gücü ve güneşlenme süreleri.....	25
Çizelge 2.7 : Bursa aylara göre meteorolojik verilerin ortalama değerleri (1928 – 2018)	27
Çizelge 2.8 : Güneş pillerinde tiplere göre hücre verimlilik oranları.....	29
Çizelge 2.9 : Taban döşemesi yapı elemanları malzeme ve ısııl değerleri.....	37
Çizelge 2.10 : Yüzey sıcaklık sınır değerleri.....	38
Çizelge 2.11 : Toprak sıcaklıkları.....	39
Çizelge 2.12 : Dış duvar yapı elemanları kalınlık ve ısııl değerleri.....	46
Çizelge 2.13 : Sıfır enerji binasındaki cihazlar ve enerji tüketimleri.....	47
Çizelge 2.14 : Bölge (zon) / hacim (mahal) yükleri ve hava akış debileri.....	47
Çizelge 2.15 : Isı pompalı, yerden ısıtma ve fan-coilli sistemin tasarım yükleri.....	48
Çizelge 2.16 : Tasarım soğutma günü verileri.....	49
Çizelge 2.17 : Kış tasarım ısıtma verileri.....	49
Çizelge 2.18 : Kombili, yerden ısıtma ve split-klimalı sistemin tasarım yükleri özeti	50
Çizelge 2.19 : Sistem kayıp kategorileri için varsayılan değerler.....	53
Çizelge 2.20 : PVGIS hesaplamaları için PV güç modellerine göre katsayılar.....	56
Çizelge 2.21 : 2007 – 2016 arası Kestel aylık güneş ışınlımları.....	60
Çizelge 2.22 : PVGIS – MGM yıllara göre aylık ortalama ışınlım farkları.....	60
Çizelge 2.23 : Bursa ili aylara göre günlük ortalama ışınlım ve sıcaklık değerleri...	64
Çizelge 2.24 : Düz kollektörlerde katsayılar.....	64
Çizelge 2.25 : Kişi başı sıcak su miktarı.....	64
Çizelge 2.26 : Isı pompa tiplerine göre toplam boru ve sonda uzunlukları.....	67
Çizelge 3.1 : Sistem bileşenlerinin saha ve kaynak enerjisi tüketimi.....	72
Çizelge 3.2 : Sistem bileşenlerinin aylık enerji kullanımı.....	72
Çizelge 3.3 : Enerji tiplerinin aylık enerji kullanımı.....	72
Çizelge 3.4 : Elektrik faturalama enerji detayları.....	73
Çizelge 3.5 : Sistem bileşenlerinin saha ve kaynak enerjisi tüketimi.....	73
Çizelge 3.6 : Sistem bileşenlerinin aylık enerji kullanımı.....	74
Çizelge 3.7 : Enerji tiplerinin aylık enerji kullanımı.....	74
Çizelge 3.8 : Elektrik faturalamanın enerji detayları.....	75
Çizelge 3.9 : İki sistem arasında faturalamaya esas enerji sarf detayları.....	75
Çizelge 3.10 : S2'nin elektrik ve doğalgaz enerji sarfları (birleşik).....	76
Çizelge 3.11 : SEB PV sistem enerji hesaplama sonuçları karşılaştırması (kWh)....	78

Çizelge 3.12 : Sıcak su hesaplama sonuçları.....	78
Çizelge 3.13 : S1 ve S2 gruplarının ilk yatırımı maliyetleri ve aralarındaki fark.....	80
Çizelge 3.14 : Sistem bileşenlerinin yıllık toplam, birim ve % maliyetleri.....	81
Çizelge 3.15 : HVAC ve HVAC – Dışı bileşenlerin enerji maliyetleri.....	81
Çizelge 3.16 : Aylara göre HVAC bileşen maliyetleri.....	82
Çizelge 3.17 : Aylara göre HVAC – Dışı bileşenlerin maliyetleri.....	82
Çizelge 3.18 : Aylık enerji tüketim fatura maliyeti.....	83
Çizelge 3.19 : Bileşenlerin yıllık toplam, birim ve yüzde maliyetleri.....	83
Çizelge 3.20 : Klasik sistemde enerji bileşenleri yıllık tüketim ve maliyetleri.....	84
Çizelge 3.21 : Bileşenlerin yıllık toplam, birim maliyet ve yüzdeleri.....	84
Çizelge 3.22 : HVAC ve HVAC – Dışı enerji kaynakları yıllık maliyet değerleri...	85
Çizelge 3.23 : HVAC ve HVAC – Dışının toplam, birim maliyet ve oranları.....	85
Çizelge 3.24 : HVAC bileşenlerinin aylık maliyet değerleri.:.....	86
Çizelge 3.25 : HVAC - Dışı bileşenlerinin aylık enerji kullanım maliyet değerleri.....	86
Çizelge 3.26 : HVAC ve HVAC–Dışı enerji kaynaklarının aylık maliyet değerleri.....	87
Çizelge 3.27 : Aylık toplam elektrik tüketimi ve bedeli, max. güç talep ve zamanları	87
Çizelge 3.28 : S1 ve S2 enerji maliyetleri farkı.....	87
Çizelge 3.29 : Yıllara göre yatırım getirisi ve kredi geri ödeme.....	89
Çizelge 3.30 : Yıllara göre geri ödemeler ve kümülatif tasarruf değerleri.....	89
Çizelge B.1 : TÜİK Net elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımı.....	96
Çizelge B.2 : SEB tasarım parametreleri.....	97
Çizelge B.3 : Bursa aylara ve yönlere göre güneş ışınım verileri (HAP).....	98
Çizelge B.4 : VDI 4060 Standardında ısı pompa kuyu ısı geçirgenlik değerleri.....	99

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : 2050'ye kadar dünya fosil ve fosil-dışı birincil enerji temin öngörüsü.....	2
Şekil 1.2 : 2050'ye kadar kaynaklara göre dünya birincil enerji temin öngörüsü.....	2
Şekil 1.3 : Türkiye elektrik enerjisi yıllara göre kurulu güç gelişimi.....	3
Şekil 1.4 : Türkiye elektrik enerjisi kurulu güçü kaynak paylarının değişimi (1970-2016)	3
Şekil 1.5 : Türkiye kaynaklara göre elektrik enerjisi santral adedi ve kurulu gücü (Haziran /2019)	3
Şekil 1.6 : 2000'den 2050'ye dünya sektörler arası enerji talebi.....	4
Şekil 1.7 : Türkiye'de net elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımı.....	5
Şekil 1.8 : Türkiyede ısınma ve sıcak su enerjisi anket sonuçları (2017).....	6
Şekil 1.9 : Kombili – duvardan radyatör panelli sistem şeması.....	6
Şekil 1.10 : Soğutucu devre şeması.....	7
Şekil 1.11 : Soğutma çevrimi P–h diyagramı (sol); T-s diyagramı (sağ).....	7
Şekil 1.12 : Dünya PV çatı üstü ve GES PV yatırımları 2019-2023 düşük yüksek senaryosu	10
Şekil 2.1 : Isı pompasının kaynak çeşitleri ve çalışma devreleri.....	15
Şekil 2.2 : Temel elemanlarıyla bir ısı pompası devresi şeması.....	15
Şekil 2.3 : Isı pompası T-s (a) ve P-h (b) diyagramları.....	16
Şekil 2.4 : Isı pompasının ısıtma devresi (sol) ve soğutma devre (sağ).....	17
Şekil 2.5 : Derinliğe göre toprak altı sıcaklığı (sol) ve yıllık değişimi (sağ).....	17
Şekil 2.6 : Silikon PV hücre fiyatlarının değişim seyri (1977 – 2017).....	22
Şekil 2.7 : Güneş hücreleri verimliliklerinin laboratuvar gelişmeleri.....	22
Şekil 2.8 : Güneşin enerji üretimi (sol) ve ışınım spektrumu (sağ).....	23
Şekil 2.9 : Güneş ışınım eğrisi ve elektromanyetik spektrumdaki yeri.....	
Şekil 2.10 : Dünya solar radyasyon haritası.....	24
Şekil 2.11 : Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası.....	24
Şekil 2.12 : Bursa güneş enerjisi potansiyel atlası.....	25
Şekil 2.13 : Bursa yıllık ve aylık ortalama güneş ışınım değerleri.	25
Şekil 2.14 : Türkiye (üst), Kestel (alt) aylık ort. ışınım enerjisi ve güneşlenme süreleri	26
Şekil 2.15 : Türkiye (sol) ve Kestel (sağ) için PV tipine göre alan üretilebilirliği.....	26
Şekil 2.16 : Hammaddeden sisteme PV silikonun geçirdiği üretim fazları.....	27
Şekil 2.17 : Malzeme ve yapılarına göre PV hücre çeşitleri.....	27
Şekil 2.18 : PV hücre mono-poli ve ince film silikon panel görünüşleri.....	28
Şekil 2.19 : PV paneli oluşturan malzemeler.....	28
Şekil 2.20 : Çeşitli PV sistemleri içinde panellerin farklı dizilimleri (arrays).....	28
Şekil 2.21 : Güneş pili basit çalışma şeması (sol) ve yük - enerji durumu (sağ).....	29
Şekil 2.22 : Silikon kristalin içinde n–p tipi katmanlar ve elektron - boşluk hareketleri	30
Şekil 2.23 : Güneş pillerinde yarı iletken giren ışığın başına gelebilecek dört hal...30	
Şekil 2.24 : Silikon atomu (sol) ve katı silikon kristali (sağ).....	31

Şekil 2.25 : Fosfor (sol) ve bor (sağ) katkılanmış Silikon kristalleri.....	32
Şekil 2.26 : Güneş pili eşdeğer ideal devresi (sol), R_s seri direnç ve R_p şönt ilaveli (sağ)	33
Şekil 2.27 : PV panelin akım-gerilim karakteristiğinin yüklerle değişimi.....	34
Şekil 2.28 : Güneş ışığının PV panele etkisi; gerilim-akım (sol), akım-güç (sağ)....	34
Şekil 2.29 : PV karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimi; I-V (sol), V-P (sağ).....	34
Şekil 2.30 : Döşeme malzeme kesitleri ve ısı transferi.....	37
Şekil 2.31 : T_y - T_u sıcaklık farkına bağlı maksimum ısı akıları.....	39
Şekil 2.32 : Isı pompası ve fan-coillli soğutma sistemi şeması.....	43
Şekil 2.33 : HAP 4.4 programı eğitim semineri sunumu örnek sayfaları.....	45
Şekil 2.34 : HAP 4.4 programı, iş konum (sol) ve sistem veri girişi (sağ) sayfa.....	46
Şekil 2.35 : Güneşin geliş açıları (sol) ve güneye bakan bir panelin eğim ve azimut açıları (sağ).....	52
Şekil 2.36 : PVWatts Calculator programı girişi (sol) SAM veri girişi (sağ) sayfaları...	54
Şekil 2.37 : Güneş ışınının PV kaplaması (AR) ve camına girişi.....	54
Şekil 2.38 : PVWatts' Calculator'ın sonuçları gösteren örnek çıktı.....	56
Şekil 2.39 : PVGIS programı girişi sayfası.....	57
Şekil 2.40 : PVGIS programı Bursa-Kestel coğrafi ve panel konum veri girişi.....	58
Şekil 2.41 : Kestel, 45° eğimli, 160° azimut açılı 1 kW _p PV panel üretim çıktıları.....	59
Şekil 2.42 : PVGIS 'te Kestel'in 45° eğimde yıllık ışıma verileri istek girişi.....	59
Şekil 2.43 : PVGIS 'te Kestel'in 45° eğimde yıllık ışıma verileri sonuçları.....	60
Şekil 2.44 : Konutlarda günlük sıcak su ihtiyacı (sol) ve yıllık faydalanma oranına göre kollektör alanı	64
Şekil 2.45 : Düz güneş kolektörü (sol) ve tipik verim eğrileri (sağ).....	65
Şekil 2.46 : Vitocal 300G toprak kaynaklı ısı pompası sistemi cihazı ve özellikleri	66
Şekil 2.47 : Vitocal 300G toprak kaynaklı ısı pompası sistemi bileşenleri ve şeması.....	66
Şekil 2.48 : HT polikristal PV panel ve bileşenleriyle sistem bileşenleri ve şeması.....	68
Şekil 3.1 : SEB'in aylara göre PV elektrik üretimi, tüketimi ve farkı.....	77
Şekil 3.2 : PVGIS'le hesaplanan SEB'nin aylık PV elektrik enerjisi üretimi.....	77
Şekil 3.3 : Bileşen maliyetlerinin yüzde olarak dağılım oranları.....	81
Şekil 3.4 : Aylık bileşen maliyetlerinin gidişatı.....	82
Şekil 3.5 : Aylara göre HVAC ve HVAC - Dış Elektrik Masrafları Dağılımı.....	83
Şekil 3.6 : Bileşenlerin yıllık maliyet oranları.....	84
Şekil 3.7 : HVAC ve HVAC – Dış enerji kaynakları yıllık maliyet dağılımları.....	85
Şekil 3.8 : Kombi – split klimada bileşen maliyetlerinin aylık gidişatı.....	85
Şekil 3.9 : HVAC ve HVAC – Dış enerji kaynaklarının aylık maliyet gidişatı.....	86
Şekil A.1 : Bursa Kestel ilçesi yerleşim alanı (doğu tarafı) uydu haritası.....	95

BURSA İLİ İÇİN BİR SIFIR ENERJİ BİNASININ TERMOEKONOMİK ANALİZİ

ÖZET

II. Dünya Savaşından bu yana, dünya nüfusunun artış oranından daha fazla tüketilmeye başlanan enerji ve diğer kaynaklar; bu gidişatın yarattığı olumsuz sonuçların üzerinden yarım asır geçmeden yerkürede yaşamın bu şekilde sürdürülemeyeceği gerçeğinin farkedilmesine yol açmıştır. İnsanlığın bu duruma acil çözümler bulup geliştirme çalışmaları, bunların giderek artan bir hızla gerçekleştirilmeye başlandığı bir süreci de beraberinde getirmiştir. Bu durumun bir sonucu olarak; enerjinin verimli kullanımıyla birlikte, yenilenebilir kaynakların kullanımının artması ve bu kaynaklar içinde nispeten geç; fakat çok daha hızlı gelişen güneş enerjisi uygulamaları, fotovoltaiik panellerle elektriğe dönüştüğü tarlalarda yayılırken, bir taraftan da binaların çatılarında çoğalmaya başlamıştır.

Dünyada genel bir ortalama ile üretilen enerjinin üçte birinden daha fazlasını tüketen binaların; elektriğiyle birlikte, ısıtılması, soğutulması ve sıcak su için de gerekli enerjinin; bedelsiz ve temiz enerji olarak yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesine yönelik hızla geliştirilen yasal düzenlemeleri; ulusal, bölgesel hedefler ve stratejik yol haritaları takip etmiştir. İvmenin yüksekliği bunların sürekli güncellenmesini gerektirmektedir.

Bu tezin konusu olarak ta; Bursa ili, Kestel ilçesi içinde yerleşik olarak düşünülen tek katlı, bağımsız bir evin hazır mimari projesi üzerinden, HAP 4.4 programı yardımıyla ısıtma, soğutma, elektrik; bütün enerji ihtiyacını karşılayacak bir sistemin teknik ve ekonomik analizi yapılarak, incelenmiştir. Analizleri, saatlik veri temeli üzerine kurulu Transfer Fonksiyon Metodu (TFM) ile yapan HAP programı, METRONOM'dan yüklenen Bursa'ya ait meteorolojik veriler ve yapıya ait bilgilerle binanın ısı hesaplarını, enerji simülasyonunu ve maliyet analizini de gerçekleştirmiştir. Sıcak su için güneş kollektörü hesaplamaları ise f-chart metoduyla yapılmıştır. Sistem sağlayıcı tarafından yapılan ve sonucu paylaşılan PV hesaplamaları, Avrupa Birliği orijinli PVGIS'in programı yardımıyla aç optimizasyonu da yapılarak detaylandırılmış ve kabul edilebilir yakınlıkla doğrulanmıştır. Yatırımın getiri ve geri dönüş süresiyle ilgili ekonomik analiz de P1, P2 yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Üç kişilik bir ailenin yaşadığı "Sıfır Enerji Binası (SEB)" evin yıllık, yaklaşık toplam enerji ihtiyaçları; 4.300 kWh elektrik, 6.300 kWh ısıtma, 2.200 kWh soğutmadır. Bunun için ısıtma yükü 4,6 kW, soğutma yükü 10 kW, elektrik yükü de 3.5 kW olarak hesaplanmış ve seçilen sistemlerle karşılanmıştır.

Kombili, panel radyatörlü, split-klimalı klasik sisteme alternatif olarak; toprak kaynaklı, dikey borulu, antifriz/sulu, 6,2 kW ısıtma, 4,9 kW soğutma kapasiteli 4,5/3,5 ısıtma / soğutma performans katsayılı (COP) ısı pompası, ısıtma için yerden ısıtma grubu ve soğutma için fan-coil ve pik günler için bir split-klima ilavesiyle bir sistem paketi oluşturmaktadır.

Sıfır Enerji Binası tanımı içinde kalan sonuçlarla fosil kaynak kullanan klasik sisteme karşı tamamen yenilenebilir kaynaklar kullanan bu alternatif sistemin, teknik gerçekleştirilmesinin doğrulanmasının yanında, ekonomik olarak da 16 yıllık geri ödeme süresinin iyileştirilmesi için üzerinde çalışılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik panel, yenilenebilir enerji kaynakları, stratejik yol haritası, HAP, PVGIS, f-chart.



THERMOECONOMIC ANALYSIS OF A ZERO ENERGY BUILDING IN BURSA PROVINCE

SUMMARY

After the World War II, with relatively high consumption rate of the energy and other resources with respect to rate of increase of population of the world, the reality of unsustainability of the conditions caused by the negative results of the way followed, have been detected by humanbeing before a half century overpassed. As a result, the urgent activities seeking resolution and their applications, with the efforts first to use energy more efficient, has brought to the scenen a fastdeveloping process. This leads to incese the share of renewable energies, among which the solar which has appeared last; but it seems to develop more rapidly from widening photovoltaic panel fields to rooftops of buildings.

In the world, buildings which consume with a general avarage of more than one third of the generated energy are subject to develop rapidly the legal regulations in national or global level with goals and strategic roadmaps to generate their energy for electricity, heating, cooling and DHW (Domestic Hot Water). Those are updated continously since the the change is too fast.

As the subject of this thesis; an individual, one flat house which already had an architectural project, planned to be located in Kestel District of Bursa Province has been analyzed for its all energy needs; heating, cooling, electricity, by using the software program called HAP 4.4, both technically and economically. The program which utilizes Transfer Function Method (TFM) based on hourly analysis, having provided through METRONOM the meteorological data for Bursa area, and the structural data input of the building, exacuted thermal calculations, energy simulation and cost analysis. Calculations of solar collector for domestic hot water was carried out seperately, by using f-chart method. The shared results of the PV system calculations by the system supplier, has been verified through the use of European Union origined PVGIS online calculator, with a well-enough degree of closeness, including details for angle optimizations. The income of the investment and its payback period has been analyzed by utilizing P1, P2 method.

The total annual energy needs of the “Zero Energy Building (ZEB)” house with a family of 3 occupants are approximately, 4.300 kWh for electricity, 6.300 kWh for heating, 2.200 kWh for cooling. For these; heating load is 4,6 kW, cooling load 10 kW, electricity load is 3.5 kW as calculated and compared with the chosen systems.

As an alternative to the classic system with combi heater, panel radiator and split A/C; the ground source heat pump with anti-freeze/water fluid and vertically bored pipes, has heating capacity of 6,2 kW, cooling capacity of 4,9 kW, and heating / cooling performance coefficients (COP) of 4,5/3,5 combining with floor heating system, fan-coils and a split A/C for peak days, form a system package.

With results of satisfying SEB definition, as an alternative system using renewable energy sources versus classic system that uses fossil energy sources; feasibility has been verified technically; but it should be worked on economically, to improve payback period of 16 years for investment.

Keywords: Photovoltaic panel, DHW, HAP, TFM, SEB, COP.



1. GİRİŞ

Enerji ve enerji kaynakları, sanayileşme ile birlikte son bir buçuk yüzyıldır dünyamızın kaderini etkileyen en önemli jeopolitik ve ekonomik etken olma durumunu sürdürmeye devam etmektedir. 2. Dünya Savaşından sonra artan refahla birlikte tüketimin ve beraberinde enerji tüketiminin; nüfusa göre daha fazla artış göstermesi, bir taraftan küresel çevre kirliliğinin artmasına ve fosil kaynakların giderek azalmasına; diğer taraftan da enerji kaynakları yeterli olmayan ülkelerde milli gelirden önemli bir pay almaya devam etmektedir. Bu nedenle dünya üzerinde sürdürülebilir bir yaşam için süregelen mücadelelerin yanında; insanoğlu bir yandan fosil kaynakların tüketimini azaltmaya çalışırken; diğer yandan da verimliliği artırmaya ve yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirmeye, temiz ve ucuz enerjinin payını hızla yukarıya çekmeye çalışmaktadır.

1.1 Mevcut Durum

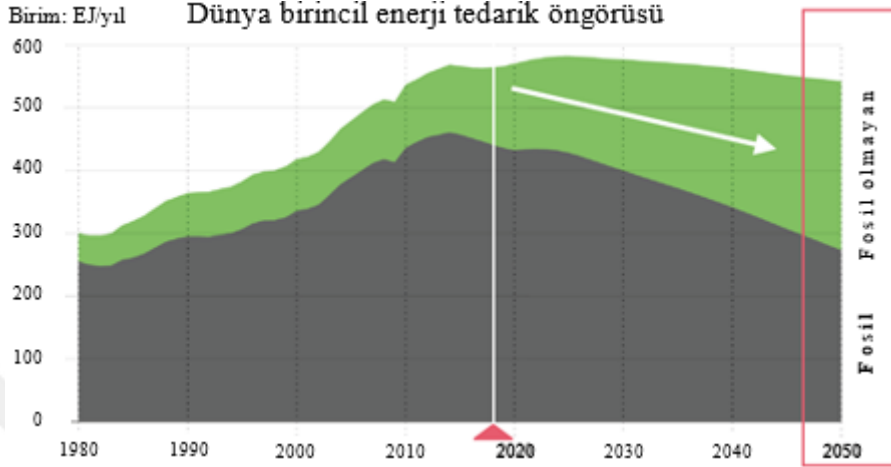
Çizelge 1.1'deki gibi sınıflandırılabilen bu kaynakların tüketiminin dörtte üçünden biraz fazlasını fosil kaynaklar oluşturmaktadır (Şekil 1.1).

Çizelge 1.1 : Enerji kaynakları çeşitleri.

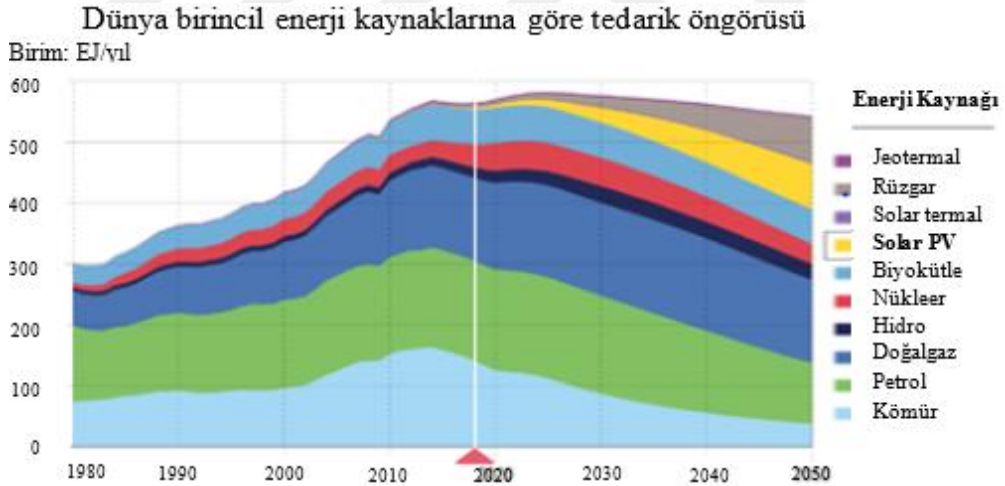
Enerji Kaynakları		
Yenilenebilir Olmayan Kaynaklar		Yenilenebilir Kaynaklar
Fosil Kaynaklar	Madensel Kaynaklar	Hidrolik / Gel-git / Dalga Biyokütle / Biyoyakıt Jeotermal Rüzgar Güneş Hidrojen
Kömür Petrol Doğalgaz Kayagazı	Uranyum – Toryum (Nükleer Enerji)	

1970'lerden itibaren artarak 80'deki seviyesinin iki katına çıkan doğalgazın yanında toplam tüketimin yarısından biraz fazlasını halen petrol ve kömür karşılamaktadır (Şekil 1.2) [1].

2050 yılı vizyon hedefi olarak dünyada yenilenebilir enerjilerin payının, daha fazlası için çaba sarfeden kuruluşların yanında, petrol sektörünün tahminiyle, % 50 olması beklenmektedir. Bu değişimin içinde güneşin en çok artış gösteren sektör olacağına kesin gözüyle bakılmaktadır. Zira 2000’li yılların başından bugüne enerji tarihinde görülmemiş bir ivme ile yükselmektedir.



Şekil 1.1 : 2050’ye kadar dünya fosil ve fosil-dışı birincil enerji temin öngörüsü.



Şekil 1.2 : 2050’ye kadar kaynaklarına göre dünya birincil enerji temin öngörüsü.

Enerjide dışa bağımlılığını %70’lerden % 50’nin altına indiren Türkiye, stratejilerini gözden geçirip bu zorlu mücadelede yerini almaya çalışmaktadır.

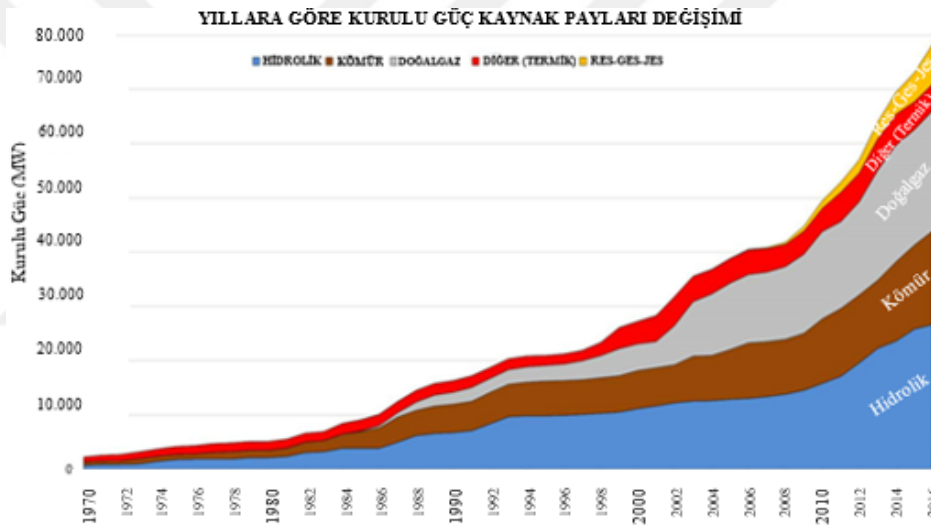
1.1.1 Türkiye’nin enerji görünümü

Türkiye, nüfus artış hızı 1970’lerden sonra yavaşlamasına rağmen, artan bina ve sanayinin ihtiyacını karşılamak için elektrik enerjisi üretimi kurulu gücünü, 50 yılda 40 kat artırarak yaklaşık 90,5 GW’a ulaştırmıştır (Şekil 1.3) [2]. Özellikle son

dönemde ivmesi artan bu gelişmenin içinde son 10 yılda hidrolik ve yenilenebilir enerjilerin kurulu güçlerinin oranında, ciddi bir artış yaşanmıştır (Şekil 1.4) [3].

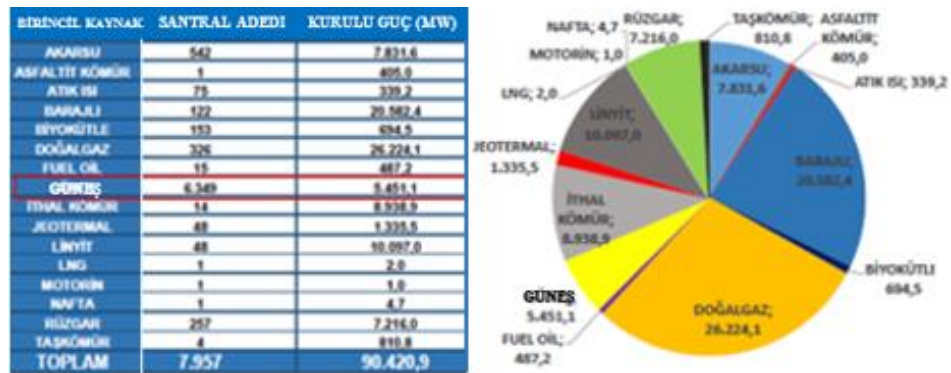


Şekil 1.3 : Türkiye elektrik enerjisi yıllara göre kurulu güç gelişimi.



Şekil 1.4 : Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü kaynak payları değişimi (1970-2016).

Bu arada yenilenebilirlerle birlikte kaynak çeşitliliği de artmıştır (Şekil 1.5).

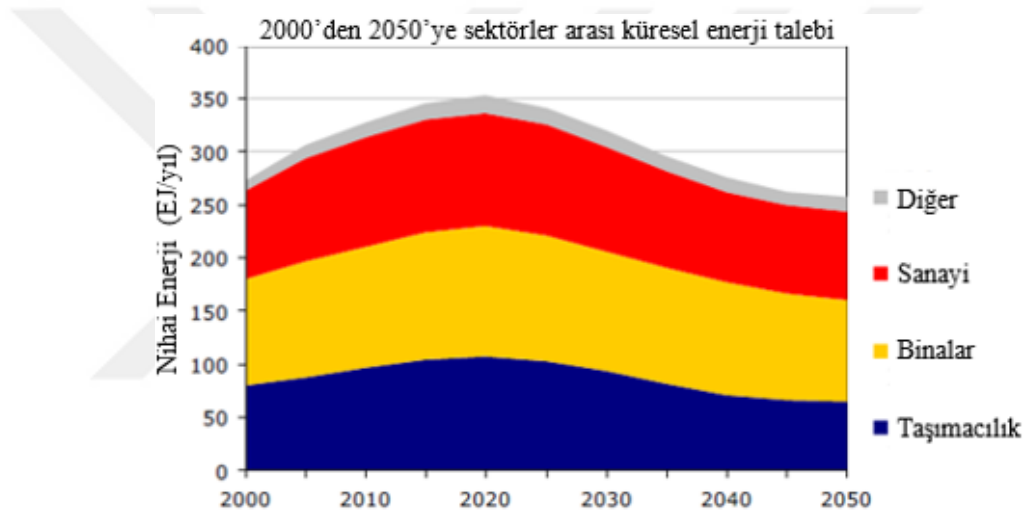


Şekil 1.5 : Türkiye kaynaklara göre elektrik santrali adedi ve kurulu gücü (Haziran, 2019).

Rüzgar elektrik santralleri (RES) ve biyokütle ve biyoyakıt santrallerine verilen önceliği takiben, özellikle 2017 – 2018’de yapılan yatırımlarla güneş elektrik santralleri (GES) kurulu gücü son 5 yıl içinde yaklaşık sıfırdan bugün 5,5 MW’a ulaşmıştır [2]. Yapılan bu yatırımlarla 05/2018 – 05/2019 arasında güneş enerjisi üretimindeki artış oranı % 350’yi geçmiştir [2].

1.1.2 Binalarda kullanılan enerji

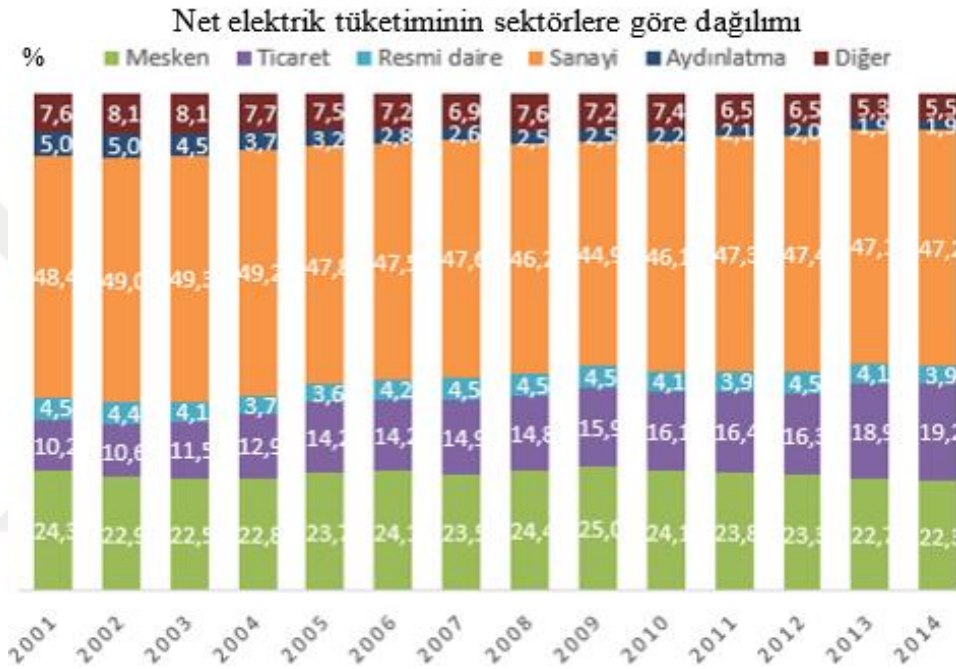
Enerjinin kullanım alanları olarak dünya geneline bakıldığında zaman; %36’sının binalarda kullanıldığı ve sanayi, taşımacılık ve diğerleri arasında ilk sırayı aldığı görülür (Şekil 1.6) [4]. Avrupa kıtasında da bu değer % 40’lar civarında olduğu literatür araştırması esnasında doğrulanmıştır.



Şekil 1.6 : 2000’den 2050’ye dünya sektörler arası enerji talebi.

2050’doğru toplam tüketimde, sürdürülen verimlilik ve israf önleyici tedbirlerle, öngörülen % 25 azalmaya rağmen, binalar enerji tüketiminde öndeki sırasını ve önemini bundan sonra da korumaya devam edecek görünmektedir. Türkiye’de de durum bundan pek farklı değildir. TÜİK’in konu ile ilgili 2001 – 2014 dönemini kapsayan istatistiği incelendiğinde, üretilen enerjinin yaklaşık % 22 ila 25’sinin konutlar tarafından tüketildiği görülmektedir. Sanayi sektörünü takiben tüketimde ikinci sırayı alan konutlara, resmi binalar ve ticari binalar da ilave edilirse toplamda % 38 ila 45 arasına ulaşır sanayinin seviyesine çok yaklaşmaktadır. Ticari olan binalar ise 14 yılda % 100’e yakın bir düzenli artan seyir göstermektedir. (Şekil 1.7) [5]. Bunun yanında 2001’den 2014’e gelinceye dek, dalgalı bir seyir izlese de elektrik tüketimi; sanayide yaklaşık % 1, konutlarda % 2, resmi konutlarda % 0,5, aydınlatmada % 3 ve diğerlerinde % 2 azalmış görünmektedir. Bunun ne kadarının

enerji tasarrufu ve verimlilik çalışmalarından kaynaklandığı bir soru işaretidir. TÜİK'in sitesinde TEDAŞ kaynaklı verilerden türetilen Şekil 1.7, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de binaların; genelde enerji tüketimi içinde ve de elektrik enerjisi tüketiminde önemini kaybetmeyeceği açık bir gerçektir. Hatta, arazi gerektirmeyen özelliğiyle büyük bir çatı alanı potansiyeline sahip binaların, kendi enerjisini güneşten kendisi üretmesi ve bunu aynı mahalde kullanması, geleceğin en çok rağbet edilen işlerinden biri olacağı kesin görünmektedir. Ekonomik olabirlikle birlikte diğer bedava kaynakların da bu süreç içinde yaygınlaşması beklenen bir gelişmedir.



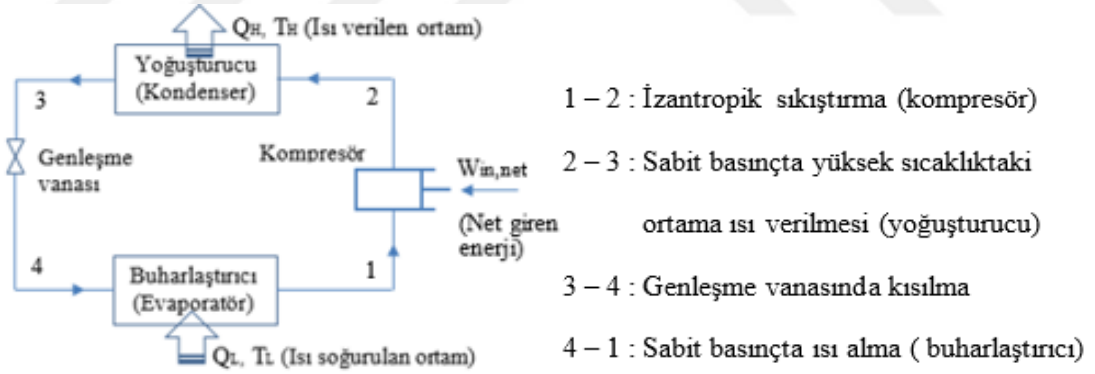
Şekil 1.7 : Türkiye’de net elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımı.

1.1.2 Yaygın ısıtma – soğutma sistemleri

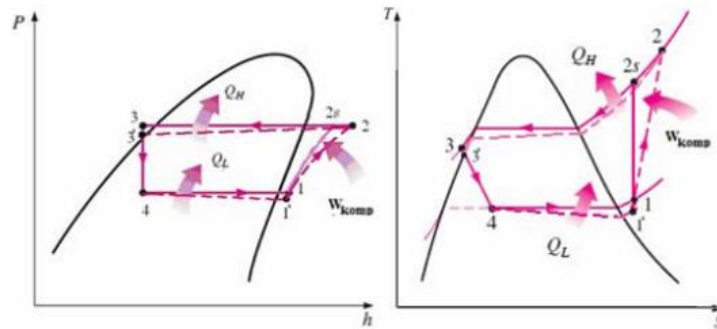
Türkiye’de binaların ısıtılmasında, büyük çoğunluğu, kömür veya fuel oille çalışan merkezi kazanlı - radyatör panelli sistemlerin yerini; 80’li yıllarda doğalgazın gelişi ile birlikte, kombili sistemlerin almaya başladığı ve gazın 81 ile ulaşması ile birlikte yeni sistemin yaygınlaştığı bilinmektedir. Kadir Has Üniversitesinin 2017’de yaptırdığı “Türkiye Toplumunun Enerji Tercihleri” Araştırmasının sonuçlarına göre “Evinizin ısınması nasıl sağlanıyor?” sorusuna; % 52’si doğalgazla, % 25’i kömürle, % 12’si odunla, % 9’u da elektrikle, cevabı verilmiştir (Şekil 1.8) [6]. Bu araştırmayla ayrıca, 2010’da Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)’nin yaptırdığı ankette % 17,3 çıkan ısı yalıtımlı bina oranının, 7 yılda ancak 2 kat artabildiği de öğrenilmiştir [5]. Türkiye için yalıtım hala bir enerji israfı ve çevre sorunu olmaya devam

Bacalı / bacasız (hermetik), yoğuşmalı / yoğuşmasız tip kombilerin yanında; kollektör, dağıtım boruları, termostat ve vanalardan oluşan bu sistemler, radyatör panelleriyle genellikle 80/60°C’de; yerden ısıtılabilirlerle 50/30°C’de ısıtma gücü ve 60/35°C’de sıcak su sağlamaktadır. Ancak, 1 Nisan 2010 tarihli yasal düzenlemeyle toplam bağımsız bölüm alanı 2000 m² üstü yerleşimlerde, kazanlı veya kaskad kombili merkezi sistem mecburiyeti ve 2012’den itibaren de her daireye payölçer ve termostatik vana mecburiyeti getirilmiştir.

Isıl konforun bir diğer gereği de yazın sıcaklarda yaşanan ortamın soğutulmasıdır. Türkiye’de konut tipi binalarda yaygın kullanılan soğutma sistemi split klimadır. Önceki on yıllarda tek üniteli pencere tipi oda / ofis klimalarının yerini; kompresör ve yoğuşturucu ünitenin dış ortama ve üfleyici fanla birlikte buharlaştırıcı ünitesinin iç ortama yerleştirildiği ve soğutucu akışkanın aradaki borularla iki ünite arasında dolaştığı sistemler almıştır. Doğal ısı akış yönünü, sisteme dışarıdan verilen enerji ile tersine çevirerek ısı transferini düşük sıcaklıktaki ortamdan yüksek sıcaklıktaki ortama yapan soğutucular, ısı makinaları gibi bir termodinamik çevrim içinde çalışırlar. Buharlaştırıcı bu çevrimde fazlar, devre şeması (Şekil 1.10) ve termodinamik çevrim diyagramları (Şekil 1.11) aşağıda görülmektedir;



Şekil 1.10 : Soğutucu devre şeması ve fazların açıklaması.



Şekil 1.11 : Soğutma çevrimi P-h diyagramı (sol); T-s diyagramı (sağ).

Yapılan kabuller altında;

- a) Soğutulan ortamdan birim zamanda çekilen ısı ve kompresöre verilen enerji, enerjinin korunumu denklemiyle bulunabilir;

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (1.1)$$

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (1.2)$$

- b) Soğutucu akışkandan yoğuşturucuda dış ortama verilen ısı da benzer şekilde;

$$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (1.3)$$

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}_{in} \quad (1.4)$$

Etkinlik katsayısı teorik olarak Carnot çevrimi);

$$COP_C = T_L / (T_H - T_L) = 1 / (T_H - T_L) \quad (1.5)$$

eşit olan bu değer, gerçekte

$$COP_{SM} = \dot{Q}_L / \dot{W}_{in} \quad (1.6)$$

eşitliğiyle bulunur.

Soğutma makinaları (split klimalar) ısıtma amaçlı olarak da kullanılabilir (ısı pompalarının çift yönlü kullanılması gibi.)

Büyük binalar ve endüstriyel uygulamalar için mevcut olan chiller, kaskad ve absorpsiyonlu soğutma sistemleri gibi büyük daha kompleks sistemler split klimalara göre sayıca daha az uygulama alanı bulan soğutma makineleridir.

1.1.4 Sıfır enerji binası (SEB)

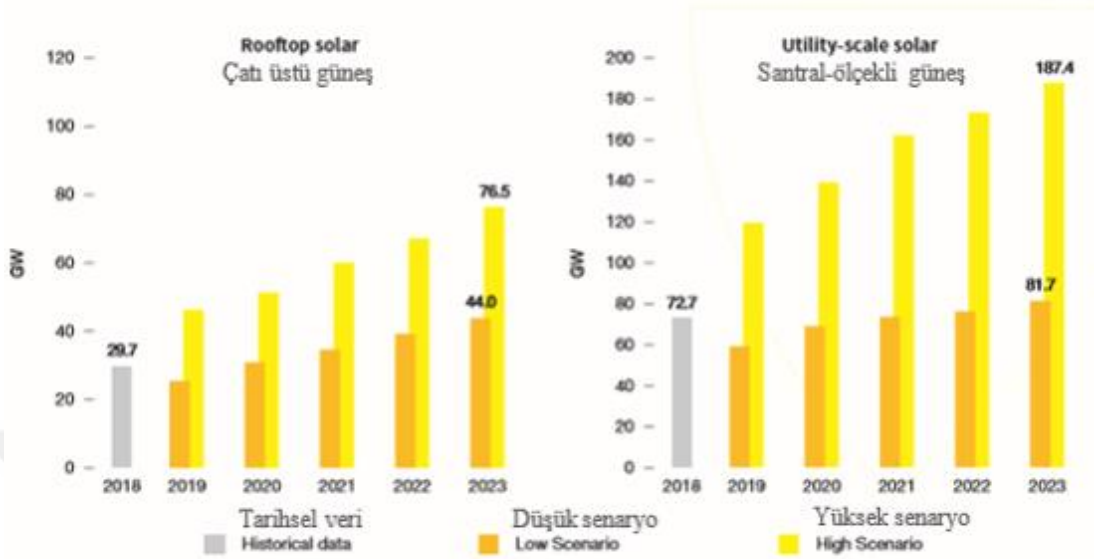
Avrupa'da 2010'da Marszal, A.J. vd.'nin [9] oluşturduğu çok uluslu bir komite, tanım ve yöntem açısından konuyu ele alıp inceledikleri dönemden bugüne, çok fazla bir değişiklik olmadığı bilinmektedir. Buna göre, dünyada, Sıfır Enerji Binası (SEB) ya da yabancı literatürde geçtiği şekliyle *Zero Energy Building (ZEB)* kavramı gündeme girdiği yıllardan beri ortak, kabul edilmiş bir tek tanımı ve hesaplama yöntemi üzerinde henüz tam bir mutabakat sağlanamamıştır. Bu konuda uluslararası düzeyde çalışmalar ve tartışmalar halen sürmekte, detaylar birlik ve ülkeler tarafından belirlenmektedir. 2007 yılında, ABD Enerji Bağımsızlığı ve Güvenliği Yasası (*Energy Independence and Security Act - EISA*) ile ticari binalar için aşamalı hedefler

belirlerken; 2010'da Avrupa da Binaların Enerji Performansı Yönergesini (*Energy Performance of Buildings Directive - EPBD*) revize ederek hedeflerini belirlemiştir. Ancak; SEB ile ilgili projelerin sayısı sürekli artarken, aynı zamanda kavramın net anlaşılması konusunda çeşitli tanımlar ve hesaplama yöntemleri de gelişmeye devam etmiştir. Ulusal yapı kodlarına ve uluslararası standartlara ortak bir tanım ve hesap yöntemi olarak girmeden önce bu konunun netleşmesi elzemdir. Sıfır enerjiden bahsedilen bir ortam da her şeyden önce sisteme giren ve sistemden çıkan enerjilerin nasıl birbirine eşitleneceği; yani dengenin (balans) nasıl sağlanacağı açıklığa kavuşturulmalıdır. Bu yapılırken de üzerinde dikkatle durulması gereken hususlar; balansın metriği, periodu, balanstaki kullanılan enerji türü, enerji balansının türü, kabul edilmiş yenilenebilir enerji temin opsiyonları, enerji üst yapısıyla olan bağlantı ve enerji verimliliği koşullarıdır. Marszal'ın atıfta bulunduğu Torcellini vd'ne göre SEB tanımını; proje hedefleri, yatırımcının amacı, iklim ve seragazi ile ilgisi ve enerjinin maliyeti etkilemektedir. Yine Torcellini'in atıfta bulunduğu Kilkis; enerjinin sadece miktarı değil; kalitesinin de önemli olduğunu vurgulamıştır. Bu nedenle de *net zero exergy building* olarak ele almış ve "seb; bina ile binayı çevreleyen zarf (3-boyutlu sınır) arasında, bütün bir yıl boyunca, bir enerji sistemi bölgesinde, belirli bir süre içinde gerçekleşen elektrik ve diğer tüm transferler süresince, toplam sıfır ekserji transferi olan binadır" şeklinde tanımlamıştır. EPBD'nin tanımı ise nettir ve enerji balansı için metrik olarak birincil enerjiyi kullanır. Literatürde periyot olarak ekseriyetle 1 yıl kabul edilmiştir. Bu çalışmalarda genellikle şebeke bağlantılı (on-grid) sistemler ele alınmıştır. Bu çerçevede SEB tanımı; sıfır enerji binaları, bir yılın sonunda nötr olan binalardır, yani; şebekeden aldığı enerji kadar şebekeye enerji verir. Bu şekilde bu binalar; zaman zaman şebekeden enerji alsalar da ısıtma, soğutma, aydınlatma veya başka enerji kullanımları için herhangi bir fosil yakıtı ihtiyaçları yoktur.

Genel tanım olarak; sıfır enerji binaları (SEB), yıl boyunca yenilenebilir kaynaklardan ürettiği enerji, tükettiği enerjiye eşit olan binalardır. Net sıfır enerji evi veya binası olarak da adlandırılır. EPBD ayrıca, yakın sıfır enerji binası (*nearly* veya *near zero energy building; NZEB*) tanımını da kendi hedefi olarak kullanmak üzere ortaya koymuştur. Ulaşılabilir bir hedef olması açısından bunun daha gerçekçi bir yaklaşım olduğu değerlendirilebilir. Bir taraftan tanımlama tartışmaları sürerken; dünya genelinde, güneş enerji santrallerinin yanında, çatı üstü PV uygulamalarının geldiği

durum SEB'in mevcut oranı hakkında bir fikir verebilir (Şekil 1.12) [10]. Buradan çatı üstü yatırımlarının toplamın % 30'u kadar olduğu anlaşılmaktadır.

FIGURE 16 SCENARIOS FOR GLOBAL SOLAR PV ROOFTOP AND UTILITY SCALE SEGMENTS DEVELOPMENT 2019-2023



Şekil 1.12 : Dünya PV çatı üstü ve GES PV yatırımları 2019-2023 senaryoları.

1.2 Literatür Araştırması

Çalışmanın başında, temin edilen kaynaklar arasında SEB'in tanımı ve hesaplama yöntemi konusunu ele alan önceki paragrafta adı geçen Marszal vd'nin [9] "sıfır enerji binası – tanımların ve hesaplama yöntemlerinin gözden geçirilmesi" başlıklı makalesi incelenerek, kavram anlaşılmaya çalışılmıştır. Halen tam bir netlik ve tek bir standart prosedüre ulaşamayan ve çok çeşitli yaklaşımların söz konusu olduğu çalışmalara göre, sistem (bina) ile çevresi arasındaki enerji alışverişinde, sıfır (veya net sıfır) tanımına uygun, enerji dengesinin kurulabilmesi için kapsam içinde olması gereken parametrelere açıklık getirilme yaklaşımları ortaya ondan fazla SEB tanımı çıkmasına yol açmıştır. Bunların içinde sadeleştirilmiş ve anlaşılır şekliyle; "enerji balansı için birincil enerjiyi, period olarak bir yılı kullanan, şebekeden aldığı enerji yenilenebilir kaynaklardan sağlayıp şebekeye verdiği enerjiye eşit olan" tanımın en yaygın olarak kullanıldığı anlaşılmıştır.

Sartori vd'nin [11], makalesinde şebeke bağlantılı net sıfır enerji binası tanımı ele alınarak, yıllık dengelemenin tek başına yeterli olamayacağı ve bina ile şebeke arasındaki etkileşimden de bahsedilmesi gerektiği ve bu etkileşimin esnek olması

gerekliliği belirtilmiştir. Bunun yanında balans kavramının merkezi olduğundan söz edip bunların; alınan / verilen ve yük / üretim dengesi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, balans metriklerinin ağırlıklandırılması gerektiğini ve ülkelerin politika ve stratejisinin de tanımını etkilemesinin, *sıfır karbon binasından* bahisle, gerekli olduğunu vurgulamışlardır.

Tsalikis, G. ve Martinopoulos G. [12], tez çalışmalarında tipik bir konut binasında fotovoltaik ve solar termal enerjisi kullanımıyla ilgili güneş enerjisi potansiyelini, NZEB'e yönelik etkilerini ortaya koymak için araştırdıklarını belirtmişlerdir. Değişik yerlerde ve iklimlerde kurulmuş PV ve solar kombi sistemlerini teknik ve ekonomik olarak değerlendirdiklerini, her koşulda PV sistemlerin yıllık enerji talebini karşıladığını ve 7 yıldan dah az sürede kendini ödediğini belirtmişlerdir. Solar kombiler için bu süre 5,5 - 6,5 yıl olup, güneş sistemlerinin, konutların birincil enerji talebinin % 76'sını karşıladığını ve bunun da NZEB için uygulanabilir, geçerli bir sonuç olduğunu ifade etmişlerdir. Girişte; bina sektörünün AB'de nihai enerji tüketiminin % 40'ını oluşturduğu ve binaların ısıtma, soğutma, ve sıcak su sağlama için AB'nin; üye ülkelerin tamamının 2020'ye kadar, enerji verimliliği ve tasarrufların yanında yenilenebilir kaynakların kullanımını % 20'ye zorunlu olarak çıkartmayı teşvik için 2009/28/EC başta bir seri direktif devreye aldığı anlatılmaktadır. Revize direktiflere göre üye ülkelerde 2018'den sonra kamuya ait veya kamunun kullandığı bütün binalar; 2020'den sonra da bütün diğer yeni binalar NZEB'e uygunluk sağlamak zorundadır. Ülke olarak, güneş enerjisinde büyük bir atılım yaparak 2013'de AB içinde kişi başına kurulu kapasitede dördüncü sırada olduklarını vurguladıktan sonra, 120 m²'lik bir referans konut üzerinden "*Greek regulation for Energy Performance of Buildings (KENAK)*"a uygun olarak, ülkenin dört ayrı iklim bölgesine göre, solar potansiyel analizi yapılmıştır. Önerilen solar termal sistemlerin enerji hesaplamaları için "f-chart" yöntemi, binanın ısıtma ve soğutma yükleri için de EN 1379 metodolojisine dayalı yazılım (*TEE-KENAK*) kullanılmıştır. Farklı PV sistemlerin elektrik üretimi hesabı *RETScreen* (International, 2014) yazılımıyla yapılmıştır. Son olarak; net şimdiki değer, birikmiş amortismanlar düşülmüş geri ödeme süresi, güneş enerjisinin enerji talebini karşılama oranı ile birlikte finansal açıdan analiz edilerek enerjinin % 29'unun konutlar tarafından tüketildiği ülkede, dört bölge için de sonuçların uygunluğu doğrulanmıştır. Çalışmaların içinde PV sistemlerle ısı pompalarının aynı amaçla bütünleşik bir sistem olarak kullanımına dair bahis yoktur.

Üçgöl, İ. vd.'nin [13] İsparta Süleyman Demirel Üniversitesi kampüs çatılarını uygulama alanı olarak seçtikleri; “PV Çatı Uygulaması için Enerji Hesaplaması ve Ekonomik Analizi” isimli çalışmalarında, kampüs binalarının güneye bakan uygun çatılarının (29 adet x 25m²= 725 m²) güneş enerjisi üretim potansiyeli *SMA design* programıyla yapılan hesaplaması sonucu kampüsün elektrik ihtiyacının %15'inin, *on-grid* (şebeke bağlantılı) sistemle karşılanabileceği ortaya konmuştur. Bir binadan yıllık 39.394,80 kW [kWh olmalı] enerji üretildiği ifade edilmektedir. Ekonomik ömrü 25 yıl olarak alınan tesisin 14 yılda yatırımı geri ödeyebileceği ve karbon azaltım sertifikası satışı yoluyla ek gelir de sağlanabileceği vurgulanmıştır.

Arslanoğlu, N. [14] ise panel eğim optimizasyonu ile ilgili çalışmada; yılın zamanına göre, güneş ışınımından en çok enerjinin hangi açılarda alınabileceğini; Bursa'da bir güneş kolektörünün eğim açılarının aylık, mevsimlik ve yıllık ortalama optimum değerlerini araştırmış ve buna bağlı enerji elde edilmesini hesap ederek karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlar, global solar radyasyondan değişen bir eğim açısıyla, özetle söylenirse; aylık ortalamaya göre haziran için 0°, yaz için 5,6°, kış için 55°, yıl içinse 31,1°'nin optimum açılar olduğunu ve üç türlü konumlandırmanın (aylık optimum, mevsimlik optimum ve yıllık optimum açı) değerlerine göre elde edilen enerji hesaplandığında aylık optimum açıyla; yıllığa göre % 4,64, mevsimlik optimumlara göre de %3,79 daha fazla enerji elde edildiği anlaşılmaktadır. Çıkan sonuçlar, konumlandırmanın sadece güneye ve kabaca yapılmasının yeterli olmadığı; kolektör / panelin eğiminin ya da çoğunlukla belirleyici olan çatı açılarının güneş enerjiden faydalanma oranında ciddi etkisinin olduğunu göstermektedir.

Tez konusunun kapsamına tam uyan bir örnek olarak ısı pompası ile müşterek çalışan fotovoltaik sistem incelemesi; Thygesen ve Karlsson [15] tarafından, İsveç hükümetinin, mahalli elektrik üretimini desteklemek üzere, bir şebeke bağlantılı PV sisteminde net ölçümleme sistemini devreye almadan önce araştırmak üzere kurduğu bir komisyon çalışması üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada; üç değişik kombinasyon (PV sistem ve ısı pompası (alternatif-1), ısı pompası ve solar termal sistem (alternatif-2), ısı pompası – PV sistem ve solar termal sistem (alternatif-3) analiz edilmiş ve güneşin karşılama oranının sırasıyla % 21,5, % 43,5 ve % 50 ile en yüksek çıkan alternatif-1 karlı bulunmuştur. AB'nin nihai enerji tüketiminde % 27'lik orana sahip konutlar için çıkardığı direktifler paralelinde İsveç için de bugün yeni binaların tükettiği enerjiyi azaltmada en ortak yol; ülkede iyi izole edilmiş bina zarfı ve mekanik

havalandırmalı ısı geri kazanımının yanında toprak kaynaklı bir ısı pompası da kurmaktır. Esasen 2003 - 2013 arasında, kısaca TKIP ile gösterilen bu toprak kaynaklı ısı pompalarından, ülke genelinde toplam 340.000 adet kurulmuştur. Bu nedenle güneş enerjisini, ısı pompası ve ısı geri kazanımlı havalandırma ile birleştirmek ortak yaygın bir çözüm olacaktır. Geçmişte hibrit PV/T'li veya solar termal kollektörlü kompleks sistemler üzerinde de durulmuştur. Thygesen ve Karlsson'un bu çalışmalarında daha az karmaşık, solar destekli ısı pompa sistemleri, Trnsys programı üzerinden simüle edilerek, enerji tüketimi ve ekonomisi analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, PV sistem, solar termal sistemle PV sistem kombinasyonu ve solar termal kollektör sistemleri arasında hangisinin daha karlı ve güneş karşılama oranı yüksek olduğunu ortaya çıkartmak olarak beyan edilmiştir. Metod olarak enerji simülasyonu Trnsys programıyla yapılmış ve içinde dört kişilik bir ailenin yaşadığı, 138 m²'lik tek katlı, tek zonlu, içerisi 21°C'de tutulan bir bina analiz edilmiştir. Çalışmanın önemli bir faktörü de farklı (anlık, günlük, aylık) ölçümleme sisteminin PV sisteminin büyüklük ve ekonomikliğini nasıl etkilediğini ortaya çıkarmaktır. Binanın; HVAC + HVAC – Dışı, toplam enerji talebi 19.880 kWh/yıl'dır. Kullanılan ısı pompası 5,8 kW anma kapasiteli, IVT Premiumline EQ C6 model, bir yerli üretim Bosh Termotechnik AB'dir. Isı pompasının soğuk tarafta 150 m. kuyu derinliği olup, ısıtma tarafı bina zemininden ısıtma tarafında yer almaktadır. Monovalent (tekli tip) çalışma şeklinde tasarlanmış olup, bu özelliğiyle ısı yükünün % 100'ünü karşılamaktadır. Yerden ısıtmaya giden max. su sıcaklığı 33.5°C'dir. Soğuk tarafın akışkanı 2° - 5°C ve sıcak tarafın akışkanı 7°-10°C farklarla çalışmaktadır. Sıcak su tüketimi, 66 L/kişi-gün ve minimum 47 °C +2 /-5 °C (yazın min. 42 °C, kışın min. 49 °C'yi garanti etmektedir), yıllık ısı ihtiyacı 4.675 kWh olup 1.428 kWh'i güneş kollektörü tarafından karşılanmaktadır. Aquasol düz kollektörler 0,78 verimlilikte, birim alanı 2,1 m² ve 2 adettir. CNBM Solar polikristal panellerin her biri 230 Wp gücünde, eğim açısı 70°'dir. Binanın yıllık HVAC- Dışı elektrik tüketimi 5155 kWh, PV sistemin gücü 5,19 kWp olup yıllık 5093 kWh'lik üretimle yük ve üretim dengesini sağlamaktadır. İki sirkülasyon pompasından ısıtma tarafındaki frekans kontrollü ve hız ayarlıdır. Soğutma tarafındaki ise sabit hızda çalışmaktadır.

Ülkede cari fiyatlar üzerinden yapılan ekonomik analizde alternatif no.1'in 3. versiyonu karlı çıkmış; sisteme satılan elektrik açısından anlık ölçümlemenin değil; günlük, özellikle aylık net ölçümleme (*metering*) sisteminin karlı olduğu anlaşılmıştır.

1.3 Tezin Amacı

Tezin amacı; Bursa ili içinde, mevcut meteorolojik şartlarda, tek katlı bağımsız bir evin; yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak ısıtma, soğutma, sıcak su ve elektrik enerjisi ihtiyaçlarını; toprak kaynaklı ısı pompası, güneş kollektörü ve PV paneller vasıtasıyla, kendisinin karşılayabileceğini, teknik ve ekonomik olarak yapılan analizler sonucunda gösterebilmektir. Burada, tezin konusu belirlenirken, yer olarak Bursa ili (daha spesifik olması için Kestel ilçesi), bina olarak bağımsız tek katlı, ısı kaynağı olarak toprak kaynaklı ısı pompası ve elektrik enerjisi için şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tercih edilmiştir. Isı pompasından alınan ısıyla binanın ısıtılması, yerden ısıtma sistemiyle; soğutma, duvardan fan-coillerle (gerekmesi durumunda split klima takviyeli) tasarlanmıştır. Alternatif sistem olarak analiz edilen bu sistem; yaygın uygulama olarak en çok kullanılan sistem olan kombili, panel radyatör ısıtmalı ve split klima soğutmalı sistemle karşılaştırılmıştır. Teknik olarak üretilen ve tüketilen enerjilerin birbirine eşit olup olamayacağı araştırılırken (ZEB veya NZEB); ekonomik olarak ta iki sistem arasındaki farkın yatırım, getiri ve geri dönüş analizi yapılmıştır.

Çalışma; teori ve varsayımların ötesinde gerçek verilere de dayanması dolayısıyla, konuya olan ilgiyi teşvikle birlikte, var olanların yanında yeni bir örnek oluşturabilmeyi de hedeflemektedir.

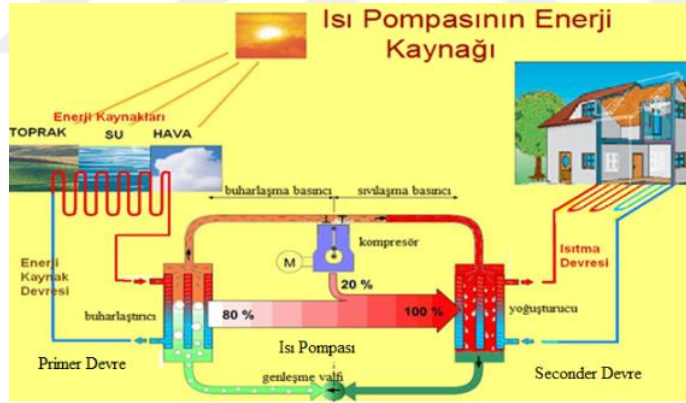
2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmanın kapsamı içinde geçen malzemeler ve kullanılan yöntemler aşağıda anlatıldığı gibidir.

2.1 SEB Sistem Bileşenleri

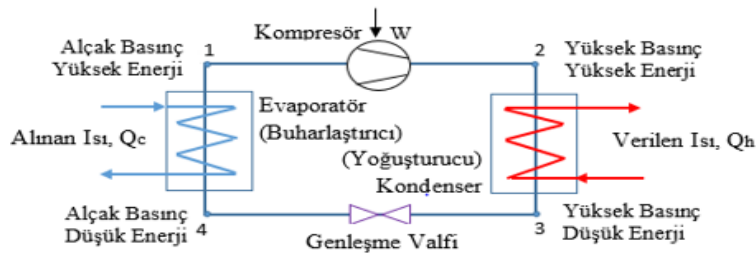
2.1.1 Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP)

Türkiye’de pek tanınmayan fakat dünyanın en büyüklerinden biri İstanbul’da bir AVM’de (Metro Meydan; 1 MW ısıtma, 3,6 MW soğutma) uygulanan ısı pompası; ABD ve kuzey Avrupa ülkelerinde uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı pompaları; soğutma makineleri gibi; ısıyı, düşük sıcaklıktaki bir kaynaktan; yüksek sıcaklıktaki bir kaynağa aktarırlar. Enerji kaynağı olarak hava, su, toprak gibi doğal kaynakları kullanırlar (Şekil 2.1) [16].



Şekil 2.1 : Isı pompasının kaynak çeşitleri ve çalışma devreleri.

Dört bileşenli temel bir ısı pompasının çalışma şeması Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2 : Temel elemanlarıyla bir ısı pompası devresi şeması.

Kompresör, buharlaştırıcı, genişleme vanası ve yoğuşturucu olarak 4 farklı bileşenden oluşur. Kompresör aldığı bir birim elektrik enerjisiyle, kaynağın üç, dört birim ısı enerjisini yüksek sıcaklıktaki ortama iletebilir. O nedenle performansı yüksektir. Isı pompasının etkinlik sayısı (COP_{IP}), birim zamanda aktardığı ısının, kompresörün birim zamanda harcadığı net enerjiye oranıdır (Burada; IP; ısı pompasını, H; ısıtmayı (*heating*), c; soğutmayı (*cooling*) göstermektedir);

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}_{C,net\ giren}} \quad (2.1)$$

Isı pompasının ısıtma etkinlik katsayısı (COP_H);

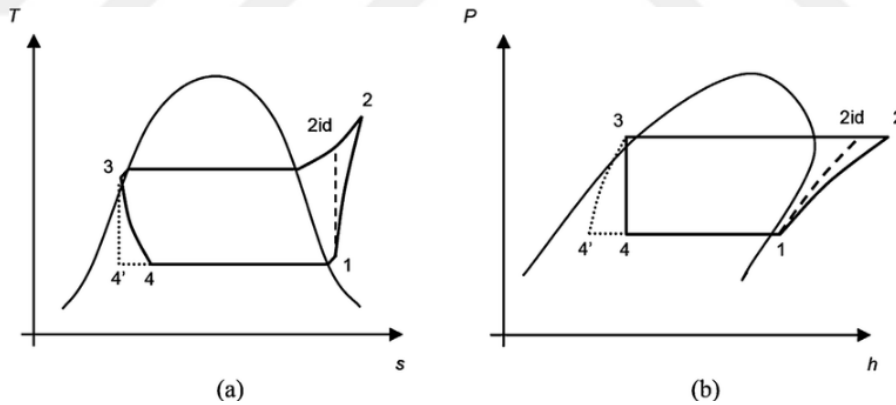
$$COP_H = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_C} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{1}{1 - \dot{Q}_L/\dot{Q}_H} \quad (2.2)$$

ve soğutma etkinlik sayısı (COP_C);

$$COP_C = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_C} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{1}{\dot{Q}_L/\dot{Q}_H - 1} \quad (2.3)$$

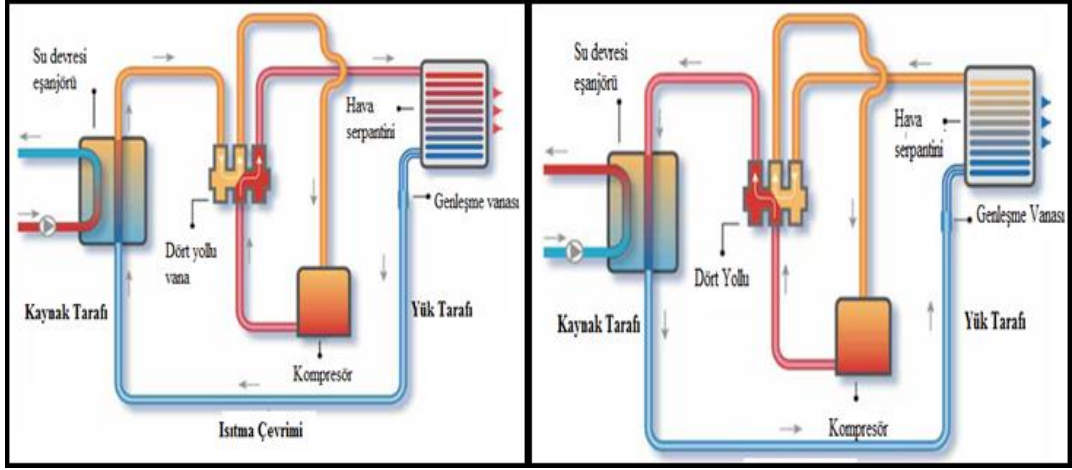
eşitlikleriyle ifade edilir.

Isı pompasının termodinamik çevimi, aşağıda T-s ve P-h diyagramları üzerinde görülmektedir (Şekil 2.3). Faz başlangıç ve bitiş rakamları, Şekil 2.2 ile uyumludur.



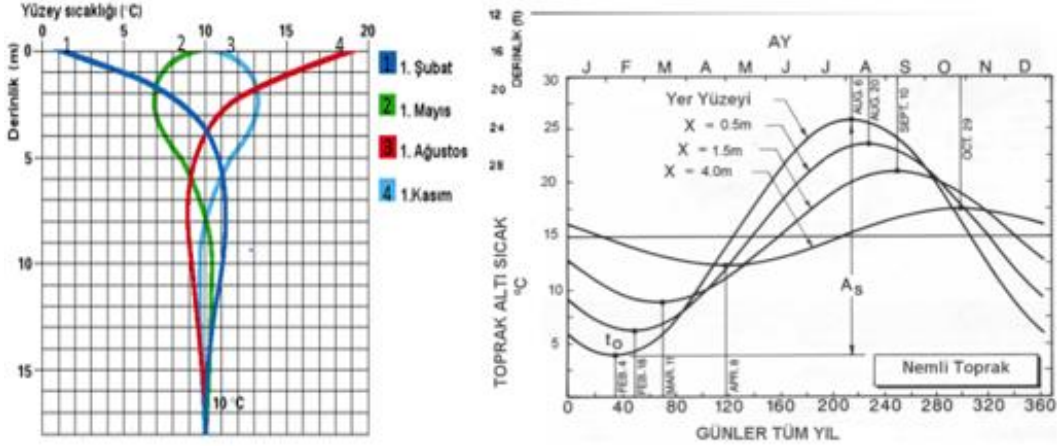
Şekil 2.3 : Isı pompası T-s (a) ve P-h (b) diyagramları.

Isı pompaları çift yönlü çalışabilirler; yani, ısıtma devresinde akışın yönü, dört yönlü vana ile değiştirilmek suretiyle, soğutma devresine dönüştürülerek hem ısıtma, hem de soğutma yapabilmektedirler (Şekil 2.4). Bu durumda buharlaştırıcı ile yoğuşturucu rol değiştirmişlerdir. Birincisinde kaynaktan alınan ısı mahalle verilirken (ısıtma); ikincisinde mahalden alınan ısı kaynağa aktarılmaktadır (soğutma) [17]. Bu işi yaparken de 3 birimlik ısı aktarıyorsa kompresör sadece yaklaşık 1 birimlik elektrik enerjisi harcar. Böylece yüksek performansa ulaşır (örnek; $\frac{(1+3)}{1} = 4$).



Şekil 2.4 : Isı pompasının ısıtma devresi (sol) ve soğutma devresi (sağ).

Toprakta sıcaklık; derinlik arttıkça sabitleşir ve 4 - 5 m.'den sonra kararlı hale gelir. Isı pompasında, kaynak olarak kullanılabilmesini sağlayan toprağın bu özelliği Şekil 2.5'de görülmektedir. Bu sıcaklığın, yıl boyunca mevsimsel değişikliğine bakıldığında yüzeyde yaz - kış arasında fark 20 °C'yi geçerken; 4 m.'nin altında bu fark yaklaşık 5 °C ($15^{\circ} \pm 2,5^{\circ} \text{C}$) aralığında seyretmektedir [16].



Şekil 2.5 : Derinliğe göre toprak altı sıcaklığı (sol) ve yıllık değişimi (sağ).

2.1.1.1 Isı pompası seçim yöntemi

Bulunabilirlik ve verim bakımından ısı kaynağı seçilir. Binaın ısı kazanç ve kayıpları tasarım ısıtma ve tasarım soğutma yükleri bulunur. Isıtma için net ısı yükü (kW) alınır. Bunun için aşağıda açıklanan artırım yapıları;

Kullanma suyu ısıtması için artırım; 3 kişi/aile için 0,75 kW alınabilir. (Burada solar kollektörün yeterli olmadığı kadar güç hesaplanıp eklenecektir. 6 saat kesinti olması durumunda, sadece 4 saati dikkate alınır. Tez koşullarında kesinti olmadığından

dikkate alınmamıştır). Binanın toplam ısı yükü hesap edilir ve buna göre katalogtan uygun bir cihaz seçilir. Soğutma yükü, seçilen ısı pompasının katalogtaki soğutma değeridir. Cihaz üreticisi ısı pompasının ısıtma kapasitesinin, bina için gerekli maks. ısı gücünün yaklaşık % 70-85 (tekli işletme türü için) ve % 50 – 70 (ikili – paralel işletme türü için) olarak (DIN EN 12831'e göre) projelendirilmesini önermektedir [18].

2.1.1.2 Toprakaltı sondası (kuyu derinliği) hesabı

Soğuk kuzey iklimlerinde genellikle, ısıtma için gerekli boru boyu soğutmaya göre daha uzun; sıcak güney iklimlerde ise durum bunun tersidir. Ancak, genellemenin her zaman doğru çıkmayabileceğinden her ikisi için de ayrı ayrı hesaplama yapılması ve hangisi büyükse onun alınması gerekir. Isıtma için boru boyu (L_H) ve soğutma için boru boyu (L_C) aşağıdaki denklemlerle hesaplanır [19];

$$L_H = \frac{\dot{Q}_{HO} \cdot \frac{(COP_H - 1)}{COP_H} \cdot [R_P + (R_S \cdot F_H)]}{T_H - T_{EWT,min}} \quad (2.4)$$

$$L_C = \frac{\dot{Q}_{CO} \cdot \frac{(COP_C - 1)}{COP_C} \cdot [R_P + (R_S \cdot F_C)]}{T_{EWT,max} - T_L} \quad (2.5)$$

$$T_{EWT,max} = T_m + 5,56 \text{ }^\circ\text{C} + 8 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.6)$$

$$T_{EWT,min} = T_m - 5,56 \text{ }^\circ\text{C} - 8 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.7)$$

\dot{Q}_{HO} ve \dot{Q}_{LO} binanın ısıtma ve soğutma yükleridir. R_S ; toprak direnç değeri, R_P ise boru direnç değeridir. Dikey kuyu tipi için toprak direnç değeri; boru çapı ve delinecek toprağın cinsine göre Çizelge 2.1 (sol), boru ısıl direnç değeri; boru çapı ve malzeme

Çizelge 2.1 : Dikey tip için boru Φ 'na göre toprak dirençleri (sol) ve boru ısıl dirençleri (sağ).

Toprak Direnci (mK/W)			Boru Direnç Değerleri (mKW)					
Boru Çapı (φ)		Kaya	Dikey Boru Direnci					
		Nemli	PE SDR 40	PE SDR 11	PB SDR 17	PB SDR 13.5		
Boru Çapı (φ)	3/4"	0,347	Boru Çapı (φ)	3/4"	0,067	0,055	0,064	0,081
		0,613						
	1"	0,329		1"	0,063	0,055	0,064	0,081
		0,584						
	1 1/4"	0,312		1 1/4"	0,051	0,055	0,064	0,081
		0,555						
1 1/2"	0,306	1 1/2"	0,046	0,055	0,064	0,081		
	0,543							
1"	0,289	1"	0,039	0,055	0,064	0,081		
	0,514							

sınıfına göre Çizelge 2.1 (sağ)'den alınır. Bu çizelge sadece dikey tip içindir. Tüm tipler için Çizelge 2.2'den faydalanılır. Çizelge 2.3 ise hesaplamada yol gösterir [19].

Çizelge 2.2 : Dikey ve yatay tipler için toprak dirençleri (sol) ve boru dirençleri sağ).

Boru Çapı (ø)	Toprak Direnci (mK/W)										Boru Isıl Direnç Değerleri (mK/W)					
	Ağır Toprak - Nemli										Kaya Nemli	Yatay Boru Direnci				
	Kuru veya Hafif Nemli Toprak											Dikey Boru Direnci				
	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6	PE SCH 40	PE SDR - 11	PE SDR 17	PE SDR 13,5
3/4"	0,590	0,613	0,630	0,642	0,757	0,792	1,185	1,243	1,220	1,087	0,347	0,098	0,083	0,092	0,116	
	0,798	0,832	0,850	0,861	1,023	1,064	1,590	1,653	1,647	1,462	0,613	0,067	0,055	0,064	0,081	
1"	0,561	0,590	0,601	0,613	0,728	0,763	1,156	1,214	1,197	1,064	0,329	0,090	0,083	0,092	0,116	
	0,763	0,792	0,809	0,821	0,983	1,023	1,665	1,613	1,607	1,428	0,584	0,063	0,055	0,064	0,081	
1 1/4"	0,532	0,561	0,572	0,584	0,705	0,734	1,133	1,185	1,168	1,035	0,312	0,075	0,083	0,092	0,116	
	0,723	0,757	0,775	0,786	0,942	0,983	1,509	1,572	1,659	1,387	0,555	0,051	0,055	0,064	0,081	
1 1/2"	0,514	0,543	0,561	0,566	0,688	0,723	1,110	1,168	1,150	1,017	0,306	0,068	0,083	0,092	0,116	
	0,699	0,734	0,751	0,763	0,919	0,960	1,486	1,549	1,543	1,364	0,543	0,046	0,055	0,064	0,081	
2"	0,491	0,514	0,532	0,543	0,659	0,694	1,087	1,145	1,121	0,988	0,289	0,057	0,083	0,092	0,116	
	0,665	0,694	0,717	0,782	0,884	0,925	1,451	1,514	1,509	1,324	0,514	0,039	0,055	0,064	0,081	

Çizelge 2.3 : TKIP dikey tip boru boyu hesaplama klavuzu.

Grup	Sıra	Açıklama	Gösterim	Birim	Hesaplama
Boru Özellikleri	1	Boru Malzemesi			Seçilir
	2	Boru Çapı		inç	Seçilir
	3	Boru Direnci	R_p	mK/W	Çizelge 7.2
Toprak Özellikleri	4	Toprak Cinsi			Kabul edilir
	5	Toprak Direnci		mK/W	Çukurova Uni
Meteorolojik Veriler	6	Ortalama Yıllık Toprak Sıcaklığı		°C	Tespit edilir
	7	Değişim Derecesi	ΔT	°C	Tespit edilir
	8	Yüksek Toprak Sıcaklığı		°C	$T_m + \Delta T$
	9	Düşük Toprak Sıcaklığı		°C	$T_m - \Delta T$
Isı Pompası Özellikleri / Soğutma	10	Isı Pompasına Giriş Sıcaklığı		°C	Isı Pompası Karakteristiği
	11	Mahale Gidis Sıcaklığı		°C	Isı Pompası Karakteristiği
	12	Mahalden Dönüş Sıcaklığı		°C	Isı Pompası Karakteristiği
	13	Pompa Soğutma Kapasitesi		btu/h	Isı Pompası Karakteristiği
	14	Pompa Soğutma Performansı		-	Isı Pompası Karakteristiği
Isı Pompası Özellikleri / Isıtma	15	Isı pompasına Giriş Sıcaklığı		°C	Isı Pompası Karakteristiği
	16	Mahale Gidis Sıcaklığı		°C	Isı Pompası Karakteristiği
	17	Mahalden Dönüş Sıcaklığı		°C	Isı Pompası Karakteristiği
	18	Pompa Isıtma Kapasitesi		btu/h	Isı Pompası Karakteristiği
	19	Pompa Isıtma Performansı		-	Isı Pompası
İşletme Faktörleri	20	Tasarım Ay Dış Sıcaklığı		°C	Hesaplanır
	21	Isıtma dönemi için		kW	Hesaplanır
	22	Tasarım Ay Dış Sıcaklığı		°C	Hesaplanır
	23	Soğutma Dönemi için		kW	Hesaplanır
	24	Soğutma İşletme Faktörü		-	Hesaplanır
Boru Uzunluğu	25	Isıtma İşletme Faktörü		-	Hesaplanır
	26	Toprak Isı Değiştirgeci Uzunluğu		m	Eşitlik 2.4
	27	Toprak Isı Değiştirgeci Uzunluğu		m	Eşitlik 2.5

Bu hesaplamada ısı pompasının B0/W35 işletme noktasındaki Bursa'nın toprak sıcaklığı yaz - kış ve yıllık ortalama olarak Çizelge 2.4'de mevcuttur [20].

Çizelge 2.4 : Bazı illerin bir metre derinlikteki toprak sıcaklıkları (°C).

Ölçüm İstasyonu	Haz-Tem-Ağu Ortalaması*	Ekim-Mart Ortalaması	Bütün Yıl Ortalaması
Adana	26,7	17,9	21,2
Ankara	20,6	11,0	14,6
Antalya	26,3	17,4	20,5
Bursa	23,7	12,3	16,5

2.1.1.3 Boru boyu yaklaşık hesabı

Isı pompası cihaz üreticisine göre boru boyu hesaplamada soğutma gücü \dot{Q}_K temel alınır (seçilen ısı pompasının soğutma gücü), gerekli sonda uzunluğu (\dot{q}_E = zemine bağlı ortalama ısı çekme kapasitesi);

$$L = \dot{Q}_K / \dot{q}_E \quad (2.8)$$

$\dot{q}_E = 50$ W/m (Çizelge 2.5), cihaz üreticisi firmanın önerisi olup VDI 4640'dan alınmış olduğu belirtilmektedir [18]. VDI'daki çizelgenin kopyasına Çizelge B.4'de ulaşılabilir. Kestel'in toprak yapısı, İlçe Belediyesinin kentsel dönüşüm için bölgede yapılan sondaj ve toprak analizleri sonucu hazırlattığı raporda; zeminin yaşlı kireç taşları, volkanikler, metamorfikler ve alüvyon olduğu belirtilmektedir [21].

Çizelge 2.5 : Toprağın ortalama ısı çekme değerleri.

Tabaka	Spesifik Çekilen Isı
Genel Değerler	
Fakir Tabaka (kuru zemin) [$\lambda \leq 1.5$ W/(m · K)]	20 W/m
Standart sulu kaya tabakası Çamur [$\lambda \leq 1.5 - 3.0$ W/(m · K)]	50 W/m
Yüksek ısı geçiren kaya tabakası [$\lambda > 3.0$ W/(m · K)]	70 W/m
Seyrek zemin	
Çakıl, kum, kuru	<20 W/m
Su yollu Çakıl, kum	55 – 65 W/m
Killi, nemli	30 – 40 W/m
Kireçtaşı (katı)	45 – 60 W/m
Kumtaşı	55 – 65 W/m
Asidik magmatik (granit)	55 – 70 W/m
Bazik magmatik (bazalt)	35 – 55 W/m
Metamorfik kaya	60 – 70 W/m

Tablo: Sondajlar için spesifik ısı akımları (Çift U Borulu Sondajlar için) [VDI 4640 sayfa 2]

Buna göre seçilen 50 W/m değeri uygundur. Sistemin tam olarak projelendirilmesi toprağın niteliğine ve su taşıyan katmanlara bağlıdır. Bu nedenle sadece yerinde ve sondaj yapacak firma tarafından hesaplanabilir. Toprak ile borular arasındaki tüm boşluklar ıyı iyi ileten bir malzeme (bentonit) ile doldurulur. İki toprak sondası arasında verimli çalışma için önerilen mesafe:

- 50 m derinliğe kadar: min. 5 m.
- 100 m derinliğe kadar: min. 6 m.'dir.

Bu sistemler için sondaj öncesi (derinlik < 100 m. için) ilgili Su İşleri Müdürlüğü'ne; (derinlik > 100m. için) Maden İşleri Müdürlüğü'ne haber verilmelidir [18].

2.1.2 PV- Fotovoltaik panel

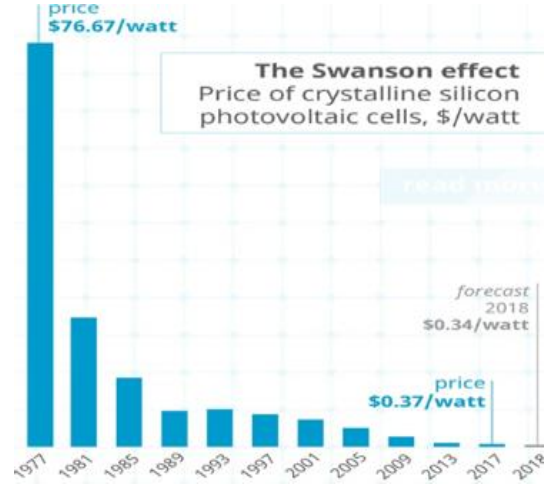
Gezegen sistemimizin merkezi güneşin, çekirdeğindeki milyarlarca ton hidrojenin, füzyon reaksiyonuyla sürekli helyuma dönüşerek açığa çıkan enerjisinin bir kısmı da ısı ve ışık olarak dünyamıza ulaşmakta ve yer yüzündeki yaşamın sürmesini sağlamaktadır.

Foto; ışın ve volta; elektrik kelimelerinden oluşan ve kısaca PV ile gösterilen fotovoltaik; ışık - elektrik etkisi gösterme özelliği olan yarı iletken maddeleri kullanarak güneş ışınımını doğru akım elektriğe dönüştürerek elektrik enerjisi elde etme metodudur. Metodun ayrıntılarına geçmeden önce, tarihçesini kısaca gözden geçirmekte fayda vardır.

2.1.2.1 PV'nin kısa tarihsel gelişimi

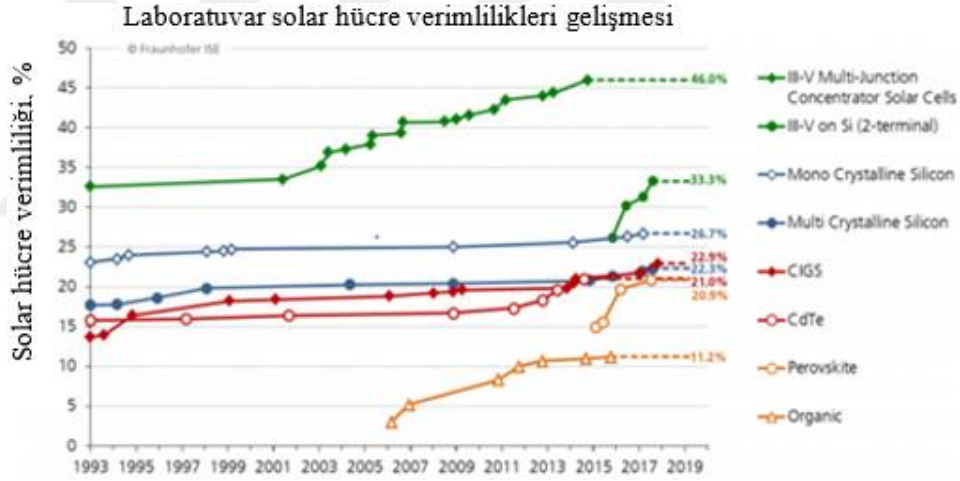
Bu muazzam ve bedava enerjiyi elektriğe dönüştürmek, 18. yy.'ın ilk yarısından bugüne dek gelen bilimsel çalışmaların sonucunda, ilk kez, 1954 yılında ABD Bell Laboratuvarlarında, Daryl Chapin, Calvin Fuller and Gerald Pearson'un geliştirdiği silikon güneş hücresi ile mümkün olmuştur. % 4'le başlayan ve sonra % 11'e ulaşan verimlilik düzeyi, uzay, askeri ve haberleşme alanlarında 1966'da ilk 1 kW kapasiteye (NASA, uzay güneş pili), 1978'de ilk bina PV uygulaması, 80'de ilk ince-film ve % 10 verimlilik (Dalware Üni.), 1982'de ilk MW seviyesinde güneş santrali (ARCO Solar, ABD), 1985'de verimlilikte ilk kez % 20 geçilmiş (South Wales güneş enerjisi ile çalışan uzaktan kumandalı uçak 20.000 ft'e çıkararak rekor kırmış (California), yine aynı yıl Subhendu Guha ilk solar şingilli bulmuştur [22].

ABD, Rusya, Japonya, Fransa'da başlayan ilk çalışmalar, İngiltere, Almanya ve benzeri ülkelerde yaygınlaşmış, yaklaşık 2015'lere kadar devam eden Almanya'nın liderliğinden sonra, Çin'in bu sektöre girişiyle modül fiyatları, 40 yılda 200 kattan fazla ucuzlayarak, 2000 sonrası güneş enerjisi uygulamalarının dünyada inanılmaz bir hızla yükselmesine ve yayılmasına yol açmıştır (Şekil 2.6) [23].



Şekil 2.6 : Silikon PV hücre fiyatlarının değişim seyri (1977 – 2017).

Bu büyümede şüphesiz maliyetlerin aşağı çekilmesine sebep olan ve sürekli yükselen PV teknolojisinin, modül verimliliği konusunda ulaştığı seviyedir (Şekil 2.7) [24].



Şekil 2.7 : Güneş hücreleri verimliliklerinin laboratuvar gelişmeleri.

2.1.2.2 Güneş ve ışınım

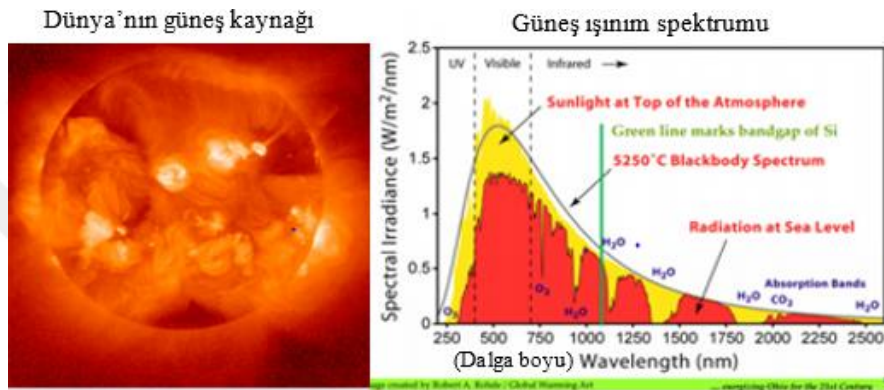
PV hücresinin elektrik üretimine, ışınımıyla girdi sağlayan güneşten dünyamıza enerjinin nasıl ulaştığı incelenmelidir. Güneş, diğer yıldızlar gibi yapısal olarak çok büyük bir oranda (% 92) hidrojen içerir. İçindeki (yüzeyinde 5.8×10^3 °K, çekirdeğinde 15×10^6 °K olan) yüksek sıcaklığın etkisiyle, hidrojen sahip olduğu tek elektronu kaybeder ve elektron ve protonun birbirinden bağımsız olarak hareket ettiği plazmayı oluşturur. Proton - proton birleşmesi (füzyon reaksiyonu) sonucu helyum ve nötrinolar oluşurken aynı zamanda çok büyük bir enerji açığa çıkar. 9.5×10^{25} W değerindeki bu muazzam enerji, dünyaya elektromanyetik dalga veya yüklü parçacıklar (foton)

radasyonu olarak ulaşır [25]. Kütlesi yaklaşık bütün güneş sistemi kadar olan güneşin merkezinde bu reaksiyonlar her saniye gerçekleşerek enerji üretir (Şekil 2.8) [26]. Fotonun enerjisi;

$$E = hv \quad (2.9)$$

Burada; h Planck's sabiti ve ν ışığın frekansıdır. Bu enerji, foton bir malzemeye girdiğinde çarptığı elektronun enerji seviyesini önceki durumundan (E_i) daha yüksek bir enerji seviyesine (E_f) yükseltir.

$$hv = E_f - E_i \quad (2.10)$$

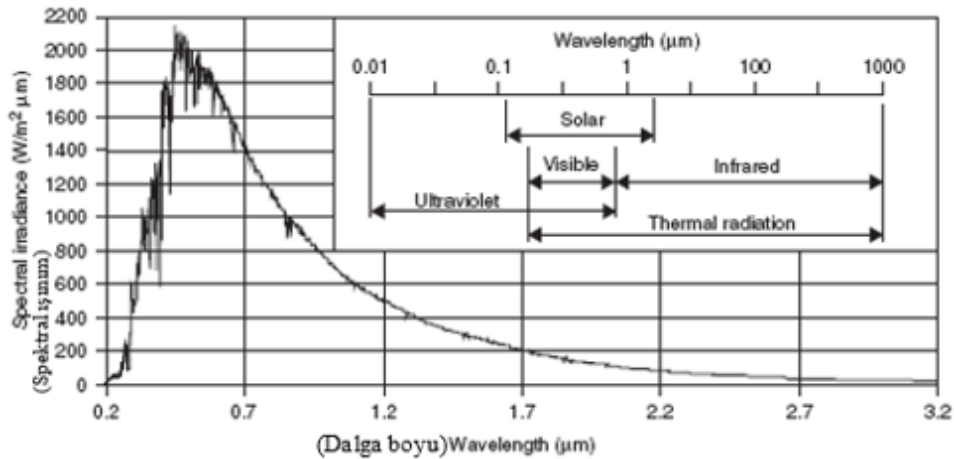


Şekil 2.8 : Güneşin enerji üretimi (sol) ve ışınım spektrumu (sağ).

Her sn. yaklaşık dört milyon ton güneş kütlesi bu reaksiyon sonucu enerjiye dönüşür.

$$E = mc^2 \quad (2.11)$$

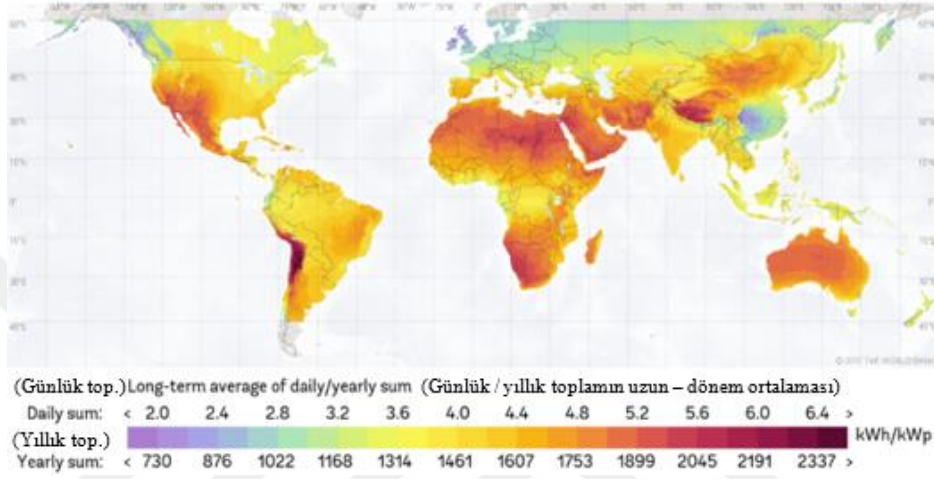
Bu ışınımın; % 9'unu mor ötesi (ultraviyole), % 45'ini görünür (visible) ışık, % 46'sını da kızılötesi (infrared) ışınları oluşturur. Güneş ışınlarının dalga boyları 0,2 – 3,2 μm arasında değişir (Şekil 2.9) [27].



Şekil 2.9 : Güneş ışınım eğrisi ve elektromanyetik spektrumdaki yeri.

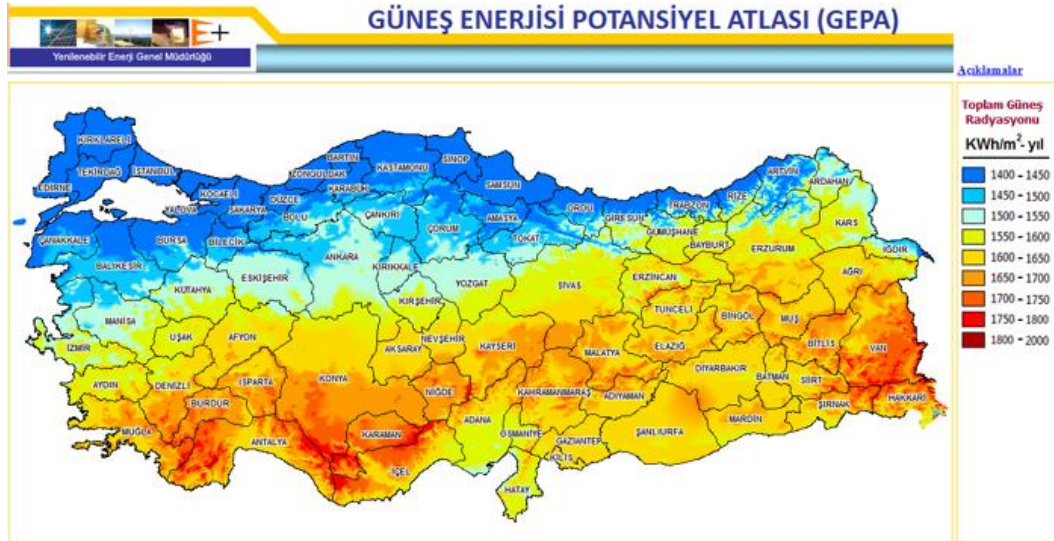
Solar bantın içindeki görünen ışığın dalga boyu aralığı yaklaşık 320 ila 780 nm. arasındadır. Dünyaya yaklaşık 150 milyon km. mesafeden gelen ve atmosfere girmeden önce yaklaşık 1367 W/m² değerinde olan güneş enerjisi, atmosferdeki soğrulmalar ve saçılmalardan dolayı yeryüzüne 0-1100 W/m² arası ancak ulaşır.

Yeryüzüne ulaşan bu enerjinin bir günlük miktarı günümüzde dünyanın yaklaşık 1,5 yılda tükettiği enerjiye eşittir. Dünya üzerinde güneş ışımının dağılımı Şekil 2.10'da görülmektedir [27].



Şekil 2.10 : Dünya solar radyasyon haritası.

Bu ışıınımdan, bulunduğu konum itibariyle, Türkiye'ye isabet eden ortalama toplam ışıınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük 3,6 kWh/m²) olup, güncel durum itibariyle isim ve organizasyonu değişmiş olan Yenilenebilir Enerjiler Genel Müdürlüğü (YEGM)'nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)'ndaki renk ölçeğine göre bu değer biraz yükselmiş görünmektedir (Şekil 2.11).



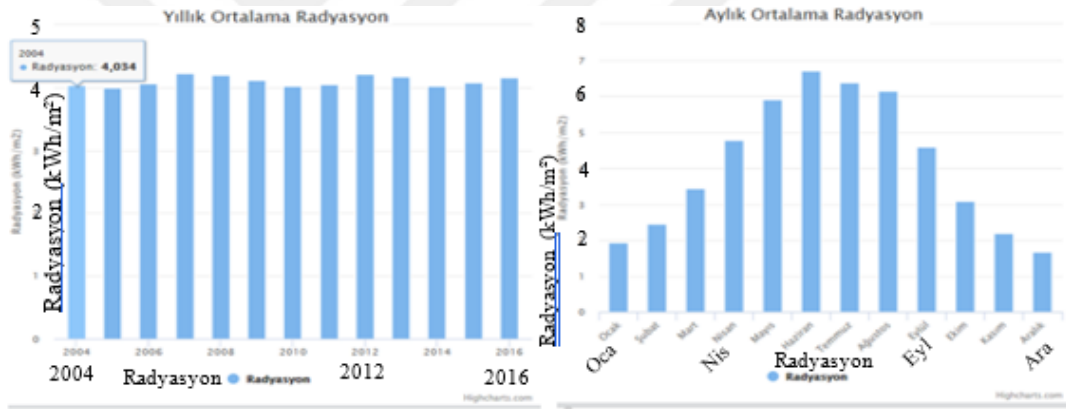
Şekil 2.11 : Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası.

Benzer şekilde aynı kurumun Bursa için yaptığı atlasa göre (Şekil 2.12), güneş enerjisi, MGM'nin ülke ortalaması olarak verdiği yukarıdaki değerin üzerindedir [28].



Şekil 2.12 : Bursa güneş enerjisi potansiyel atlası.

Bursa'nın yıllara ve aylara göre ortalama güneş ışınımı Şekil 2.13'te görülmektedir.



Şekil 2.13 : Bursa yıllık (sol) ve aylık (sağ) ortalama güneş ışınım değerleri.

Çizelge 2.6'da verilen Türkiye ve Bursa'nın güneş enerji potansiyeli, güneşlenme süresi ve toplam ışınım değerleri gösterdiği farklılıklar açısından irdelenmelidir [29].

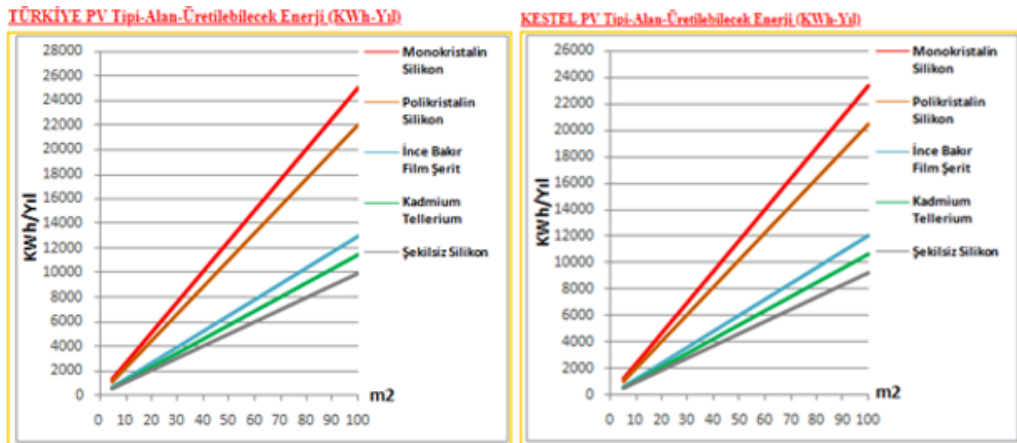
Çizelge 2.6 : Aylara göre ışınım enerjisi, gücü ve güneşlenme süreleri.

AYLAR	TÜRKİYE			BURSA		
	Toplam Işınım	Güneşlenme	Toplam Işınım	Toplam Işınım	Güneşlenme	Toplam Işınım
	Enerjisi (kWh/m²gün)	Süresi (h/gün)	Gücü (W/m²)	Enerjisi (kWh/m²gün)	Süresi (h/gün)	Gücü (W/m²)
OCAK	1,79	4,11	435,52	1,51	3,67	411,44
ŞUBAT	2,50	5,22	478,93	2,44	4,45	548,31
MART	3,87	6,27	617,22	3,43	5,61	611,41
NİSAN	4,93	7,46	660,86	4,65	6,87	676,86
MAYIS	6,14	9,10	674,73	5,81	8,88	654,28
HAZİRAN	6,57	10,81	707,77	6,23	10,03	621,14
TEMMUZ	6,50	11,31	574,71	6,05	10,88	556,07
AĞUSTOS	5,81	10,70	542,99	5,44	10,05	541,29
EYLÜL	4,81	9,23	521,13	4,39	8,44	520,14
EKİM	3,46	6,87	503,64	3,01	5,80	518,97
KASIM	2,14	5,15	415,53	1,83	4,33	422,63
ARALIK	1,59	3,75	424,00	1,32	3,35	394,03
ORTALAMA	4,18	7,20	538,09	3,84	6,86	539,71

Çizelge 2.6'da yıllık toplam ortalama ışınım $4,18 \text{ kWh/m}^2.\text{gn}$ verilmişken; MGM sitesinde Bursa - Kestel için $3,81 \text{ kWh/m}^2.\text{gn}$; güneşlenme süresi (doksan yılın ortalaması) 6,3 saat verilmiştir (Çizelge 2.7). Şekil 2.14'de ise Türkiye ve Kestel için ay bazında ortalama günlük ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri görülmektedir. Bu



Şekil 2.14 : Türkiye (üst)-Kestel (alt) günlük ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri. verilere göre Kestel, Türkiye ortalamasından % 9 düşüktür. Yine YEGM'nin verdiği Şekil 2.15'ten panel tipi ve alanına göre, üretilebilir yıllık enerji miktarı hesaplanabilir.



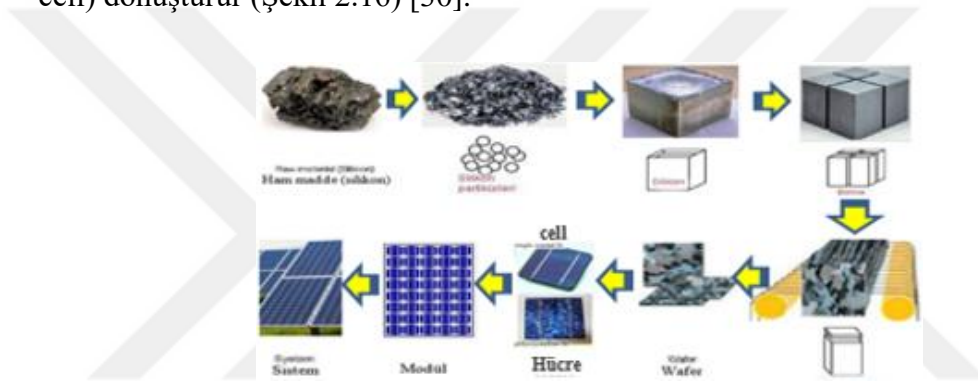
Şekil 2.15 : Türkiye (sol) ve Kestel (sağ) için PV tipine göre alan üretilebilirliği.

Çizelge 2.7 : Bursa aylara göre meteorolojik verilerin ortalama değerleri (90 yıllık).

BURSA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1928 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.3	6.2	8.3	12.9	17.7	22.1	24.5	24.3	20.1	15.4	10.9	7.3	14.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.5	10.8	13.8	18.9	23.8	28.3	30.8	31.0	27.1	21.9	16.5	11.5	20.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.7	2.2	3.6	7.2	11.4	14.9	17.2	17.2	13.6	10.1	6.4	3.5	9.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.9	3.4	4.2	5.8	7.8	9.9	10.8	10.1	7.9	5.6	4.1	2.9	75.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.9	13.5	12.6	11.2	9.0	6.0	3.1	2.9	5.1	9.1	11.2	14.3	112.9

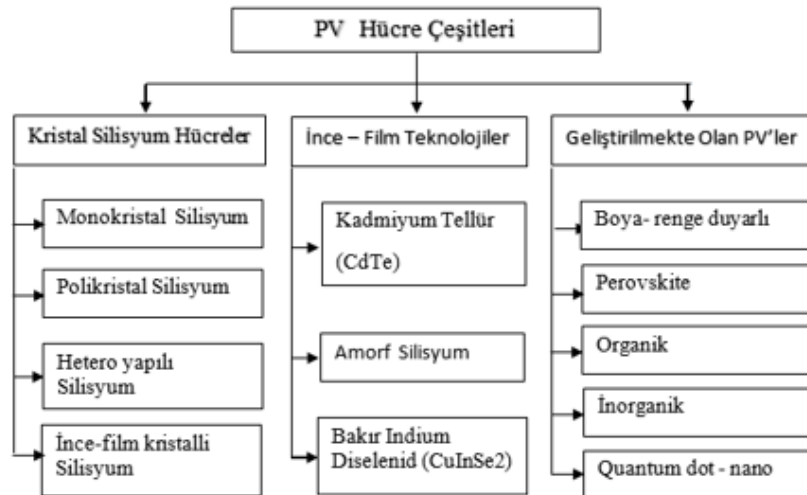
2.1.2.3 Fotovoltaik teknolojisi

Yarı iletken olarak hala en yaygın şekilde kullanılan ve dünyada kuarz ve kum (SiO_2) şeklinde en çok ve kolay bulunan maddelerden silisyumu, güneş ışığından elektrik elde etmek üzere uygun bir şekilde işleyerek, en küçük eleman olan güneş hücresine (PV cell) dönüştürür (Şekil 2.16) [30].



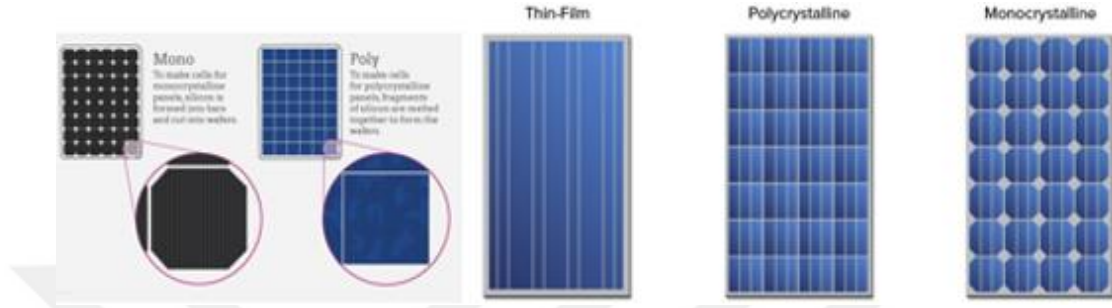
Şekil 2.16 : Hammaddeden sisteme PV silikonun geçirdiği üretim fazları.

Hücreler birleştirilerek modül, modüller birleştirilerek panel ve dizi sistemleri oluşturulur. Dünyada halen geliştirilmekte olan çok çeşitli PV hücre malzemeleri arasında en yaygın olarak üretilen ve kullanılanı polikristal silisyumdur (Şekil 2.17).



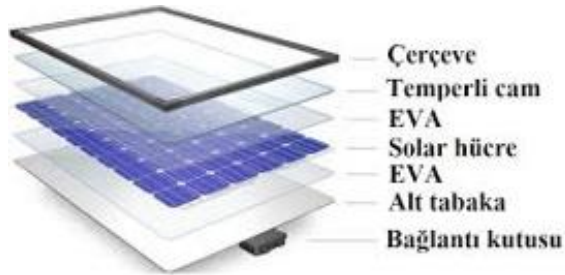
Şekil 2.17 : Malzeme ve yapılarına göre PV hücre çeşitleri.

Monokristalle birlikte ikisinin pazar payının % 98 olduğu tahmin edilmektedir. Şekil 2.16'da gösterilen üretim aşamalarında, mono kristal silikon hücreler, kütük (ingot) haline getirildikten sonra kesilerek oluşturulan waferlerden yapılırken; poli kristal silikon hücreler, parçalar eriyik haline getirildikten sonra doğrudan wafer olarak dökülür. O nedenle monokristal, polikristale göre daha düzgün bir yapı görüntüsüne sahiptir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : PV hücre mono-poli ve ince film silikon panel görünüşleri.

En yüksek 0,6 V elektrik üretebilen ve 0,2- 0,4 mm kalınlıkta ve 100x100, 125x125 veya 156x156 mm'lik standart boyutlarda üretilen hücrelerin; 36 –54 – 60 veya 72'lik adetler halinde seri bağlanmasıyla oluşan modüller, 12 V veya 24 V DC sistemi besleyecek şekilde üretilirler [31]. Panel oluşturulurken en dışta bir çerçeve, altında cam, ve her iki yüzü EVA (ethyl vinyl acetate) ile korunmuş güneş hücreleri bulunur. Alt tabaka ve bağlantı kutusuyla paket tamamlanır (Şekil 2.19) [32].



Şekil 2.19 : PV paneli oluşturan malzemeler.

Diziler (arrays) ise PV sistem kurulumları içinde panellerin çeşitli şekil ve kapasitede bir araya getirilmiş şeklidir (Şekil 2.20).



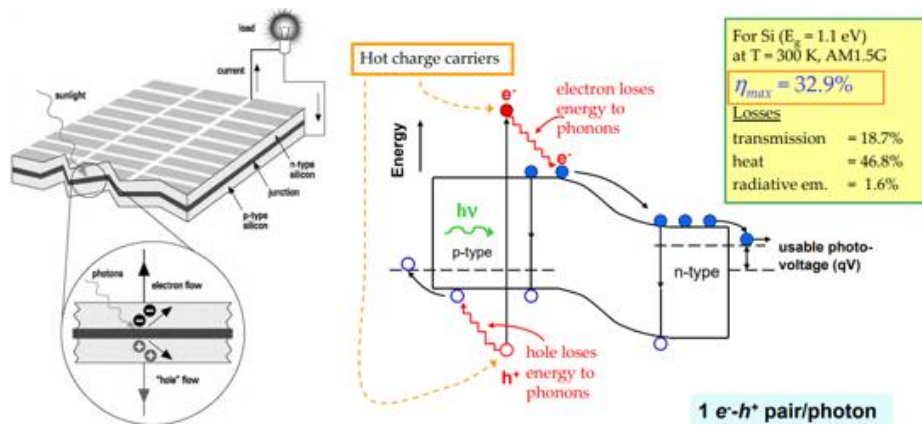
Şekil 2.20 : Çeşitli PV sistemleri içinde panellerin farklı dizileri (arrays).

Yıllar içinde yükselmiş olmasına rağmen, günümüzde piyasada bulunan panel hücre çeşitlerinin verimlilik oranları, halen Çizelge 2.8'de görüldüğü gibidir [32].

Çizelge 2.8 : Güneş pillerinde tiplere göre hücre verimlilik oranları.

Teknoloji	Kristal Silikon		İnce Film		
	Mono	Poli	Amorf Silisyum (a-Si)	Kadmiyum Tellür (Cd Te)	Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe ₂)
Hücre Verimi	% 15-24	% 14-19	% 6-13	% 10-16	% 13-20

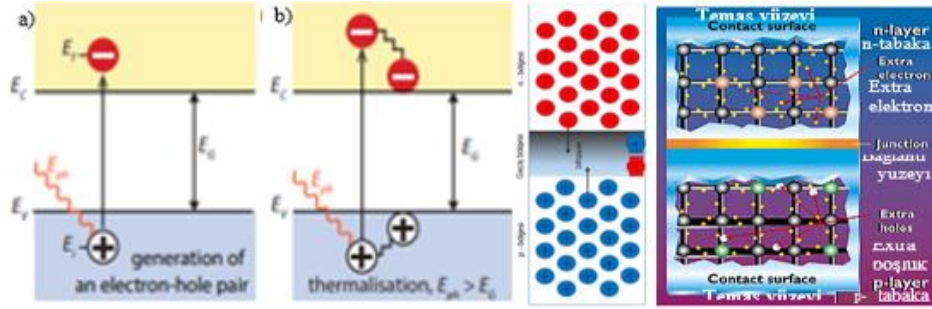
Güneşten gelen fotonların taşıdığı, değişik dalga boylarına göre değişik seviyelerdeki bu enerjinin yarı iletken hücreye çarptığında elektriğe dönüşmesi sürecini anlamak için fotovoltaik teknolojisini iyi kavramak gerekmektedir. Bilindiği gibi fotonlar bir PV hücre yüzeyine çarptığında; ya yansır, ya emilir ya da iletilir. Bu olduğu zaman foton enerjisini maddenin (yarı iletkenin) hücresindeki bir atomun elektronuna transfer eder. Yeni gelen bu enerjiyle elektron, bağlı olduğu atomdaki konumunu terk etme ve bir elektrik devresindeki akımın bir parçası olma yeteneğini kazanır. Bunu yaparken de terk ettiği pozisyonda bir boşluk (hole) oluşmasına yol açar. İşte bu şekilde Şekil 2.21'de de gösterildiği gibi; PV hücrenin sahip olduğu elektriksel özellikleriyle içinde oluşmuş bir elektrik alanı, dışarıdan bağlanmış bir devre üzerinden akımın akmasını (ve böylece lambanın yanmasını) sağlayacak itici güç olan voltaj (potansiyel) farkının oluşmasını sağlar [26].



Şekil 2.21 : Güneş pili basit çalışma şeması (sol) ve yük - enerji durumu (sağ).

Bu nedenle, PV hücre içinde bir elektrik alanı oluşturmak için biri; içindeki elektron fazlısıyla (-) yüklü (n-tipi silikon); diğeri de elektron eksikliğiyle (boşluklu) (+) yüklü (p-tipi silikon) iki tabaka yüz yüze bir araya getirilirse aralarında bir p/n eklemi (junction)

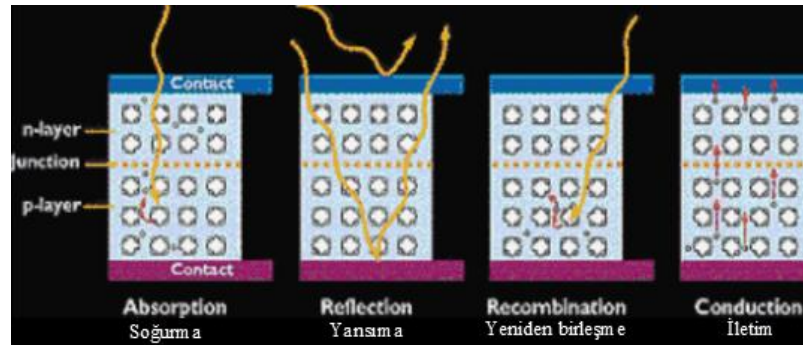
ve bir elektrik alanı oluşur (Şekil 2.22) [33]. Bu şekilde n-tipi ve p-tipi yarı iletkenler yüzyüze birleştirildiğinde, n-tipindeki fazla elektronlar p-tipine doğru; bu süreçte oluşmuş boşluklar da n-tipine doğru akarlar. Böylece oluşan elektron ve boşluk akışı,



Şekil 2.22 : Silikon kristalde n–p tipi katmanlar ve elektron-boşluk hareketleri.

iki yarı iletkenin bir batarya (akü) gibi davranmasına ve yüz yüze birleştikleri yerde, elektronların yarı iletkenden dışarı çıkmaya ve bir elektrik devresine doğru akmaya hazır olacak şekilde atlamasını sağlayacak bir elektrik alanı oluştururlar. Bu sırada boşluklar da ters yönde (+) yüzeye doğru hareket ederek yeni gelecek olan elektronları beklerler.

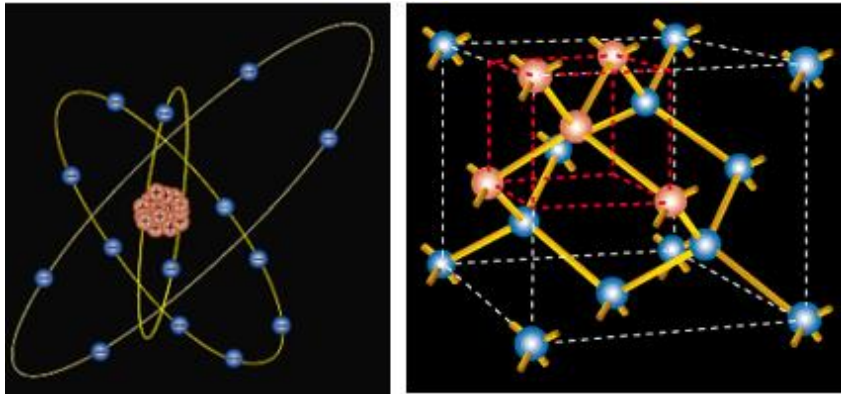
Bir PV hücresinde, fotonları soğuran p katımın, bu işi olabildiğince çok yapıp çok sayıda elektronun serbest kalmasını sağlaması ve de elektronların tekrar boşluklarla buluşmasını ve yeniden birleşmesini önleyecek şekilde ayarlanması çok önemlidir. Bunun yapılması için malzeme tasarımının, elektronların eklem yerine olabildiğince yakın serbest kalabilmesini sağlayacak ve elektrik alanının onları iletken (n katmanı) tabakaya, oradan da elektrik devresine geçişini kolaylaştıracak şekilde yapılması gerekir. Bütün bu özelliklerin en çoklanması, PV hücrenin ışığı elektrığe dönüştürmedeki verimliliğini artırır. Bu nedenle verimli bir güneş hücresi yapmanın yolu, soğurmayı maksimize etmek, yansıma ve yeniden birleşmeyi en aza indirmek ve böylece iletimi en üst seviyeye çıkartmaktan geçer (Şekil 2.23).



Şekil 2.23 : Güneş pillerinde yarı iletkene giren ışığın başına gelebilecek dört hal.

Bu da; p-tipi ve n-tipi silikon malzemenin ortaya çıkış nedenidir. Bunu yapabilmeyi bilinen en yaygın yolu da silikona; ekstra bir elektronu olan veya bir elektronu eksik olan bir malzemeyi eklemektir. Bu işlem “doping” (katkılama) olarak adlandırılır. Bu proses, başka malzeme ve tasarımlarda, fotovoltaik efekt (etki) biraz farklı yollarla uygulansa da; “kristalize silikon” PV cihaz yapımında başından bu yana yaygın ve başarılı bir şekilde kullanıldığı için burada silikon (silisyum) malzemesi üzerinden örneklendirilecektir. Bunu daha iyi anlamak için silikon ve katkılama maddelerinin atomik yapılarına biraz girmek gerekir. Şekil 2.24’de gösterildiği gibi, silikonun 14 elektronu vardır. Çekirdeğinin çevresinde en dış yörüngedeki sahip olduğu enerji seviyesiyle dört “valans” elektronu, ya verir ya alır ya da diğer atomlarla paylaşır.

Bilindiği gibi, eşit sayıdaki proton ve elektronla elektrikçe nötr olan atomda, proton ve nötronlardan oluşan çekirdeğin etrafında büyük bir hızla yörüngelerinde dönen elektronların enerji seviyeleri merkezden uzaklaştıkça artmaktadır. Valans elektron olarak adlandırılan bu elektronların “fotovoltaik efekt” üzerinde oynadıkları rol önemlidir. Çok sayıda silikon atomu, valans elektronları vasıtasıyla aralarında birleşerek oluşturdukları katı kristal yapıda, her bir atom, normal olarak dört valans elektronundan birini, *kovalent* bağ oluşturduğu dört komşu atomla paylaşır. Böylece katı silikon kristal, düzenli beş birimlik bir diz atomdan oluşur.

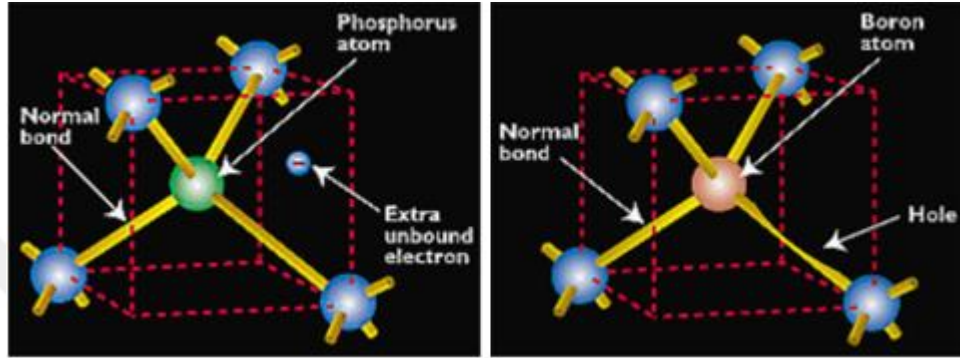


Şekil 2.24 : Silikon atomu (sol) ve katı silikon kristali (sağ).

Katkılama (doping) prosesi, silikonun elektriksel özelliklerini değiştirmek üzere, üç veya beş valans elektronu bulunan katkılayıcı (dopant) başka bir elementin atomunun silikon kristali içine girmesini sağlar. Bu nedenle; beş valans elektronu bulunan fosfor, beşinci elektronunun serbest kalmasıyla sonuçlanan katkılama yoluyla n-tipi silikon yapmak için kullanılır. Bu şekilde, silikonun kristal yapısındaki dört komşu atomun yerini, dört valans elektronuyla bağ yapan ve beşinci elektronu serbest kalan fosfor

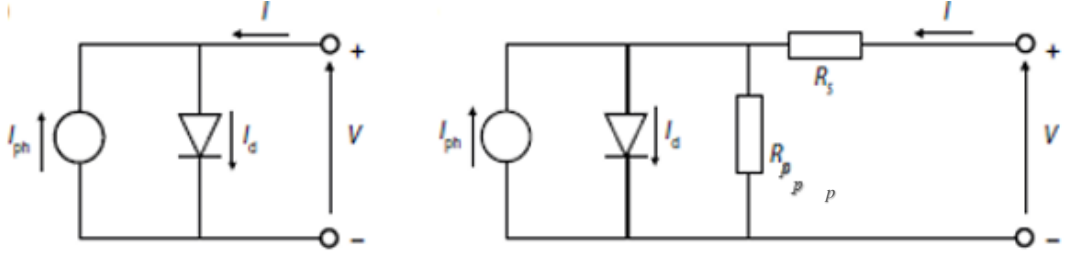
atomları alır. Böylece, bu işlem sırasında, fosfor miktarı arttıkça, serbest kalan ve bir iş yapmaya hazır olan elektron sayısı da artar (Şekil 2.25-sol).

Katkılamanın en yaygın yolu, bir silikon tabakasının üstünü fosforla kaplayıp, sonra fırında ısıtmaktır. Fosfor atomları silikona girip yayılmaya başlar ve bir süre sonra sıcaklığın düşürülmesiyle son bulur. Gazlı difüzyon, sıvı spreyli proses ve fosfor iyon bombardımanı gibi başka metodlar da vardır. Tabii ki sadece n-tipi silikonla elektrik alanı kendi başına oluşturulamaz; bu nedenle, biraz değişikliğe uğratarak zıt



Şekil 2.25 : Fosfor (sol) ve bor (sağ) katkılanmış silikon kristalleri.

elektriksel özellikler kazandırılmış silikon gereklidir. Boron (bor), üç valans elektronuyla p-tipi silikon katkılama için çok uygun bir elementtir. Silikona, PV cihaz yapımında, saflaştırma süreci esnasında katılır. Bor, daha önce bir silikon atomunun işgal ettiği, silikonun kristal kafesindeki yerini aldığı zaman, bağın ortak dış yörüngesinde, kristalin etrafında, görece serbest harekete hazır eksik bir elektron yeri (boşluk) kalır (8 yerine $4+3=7+$ boşluk) (Şekil 2.25-sağ). Silikonda olduğu gibi bütün PV malzemelerin, güneş pilinin karakteristiği olan elektrik alanını yaratabilmek için; p-tipi ve n-tipi konfigürasyona sahip olması gerekir. Fakat bunu yapmanın yolu sadece yukarıda anlatılan değildir. Örnek olarak; amorf silikonun kendine has yapısı, kendi içinde bir iç (intrinsic) bir katkılanmış tabaka (i-tabaka) ve p-i-n tipi bir kombinasyon oluşturur. Polikristal ince film (bakır indiyum diselenid: CuInSe_2 , kadmiyum telürid: CdTe) daha basit yollardan p-n olarak konfigüre edilebilir. Galyum arsenid (GaAs) genellikle indiyum, fosfor veya alüminyum ile aynı işi yapar. Aynı zamanda, n-p katmanları farklı yarı iletken malzemelerden üretilen ince-film polikristal güneş pilleri de üretilmektedir. Güneş pilinin verimliliği, PV hücrenin gelen güneş ışığının ne kadarını elektriğe dönüştürebildiğiyle doğru orantılıdır [27]. Sonuç olarak güneş pili, aşağıdaki devrede görülen yarı iletken bir diyot gibi çalışır (Şekil 2.26).



Şekil 2.26 : Güneş pili eşdeğer ideal devresi (sol), R_s seri direnç ve R_p şönt ilaveli devre (sağ).

I_{ph} : Güneş ışığı tarafından üretilen elektrik akımı, I_d : diyot akımı, I : seri direnç akımı, R_s : seri direnç, R_p : paralel (şönt) direnç ve V : devre voltajıdır. Güneş pilinin performansını karakterize etmek için kullanılan temel parametreler; maks. güç P_{max} , kısa devre akım yoğunluğu, J_{sc} , açık-devre voltajı V_{oc} , ve de fill faktörü FF 'dir. Devrede hiç akım akmadığı zamanki voltajına açık – devre voltajı;

$$V_{oc} = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{J_{ph}}{J_0} + 1\right) \quad (2.12)$$

Güneş pilinin maksimum gücü;

$$P_{max} = J_{mp}V_{mp} \quad (2.13)$$

ve

$$FF = \frac{J_{mp}V_{mp}}{J_{sc}V_{oc}} \quad (2.14)$$

Pilin ideal bir diyot olarak davrandığı varsayıldığında fill faktörü V_{oc} 'nin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir.

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \quad (2.15)$$

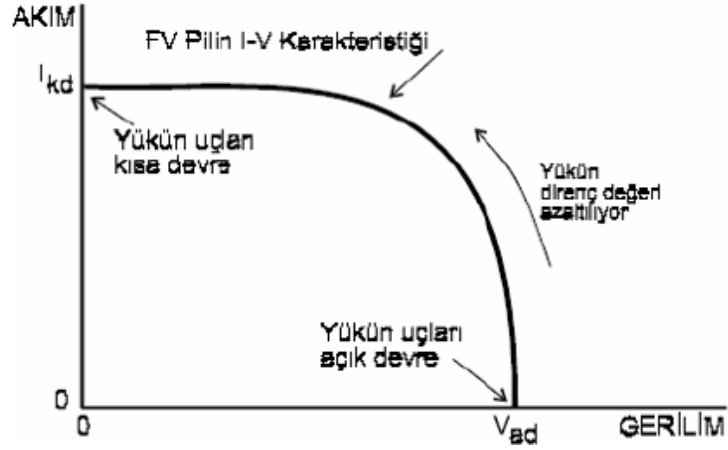
Güneş pilinin ışığı elektriğe dönüştürme etkinliği (verimi) ise;

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{J_{mp}V_{mp}}{P_{in}} = \frac{J_{sc}V_{oc}FF}{P_{in}} \quad (2.16)$$

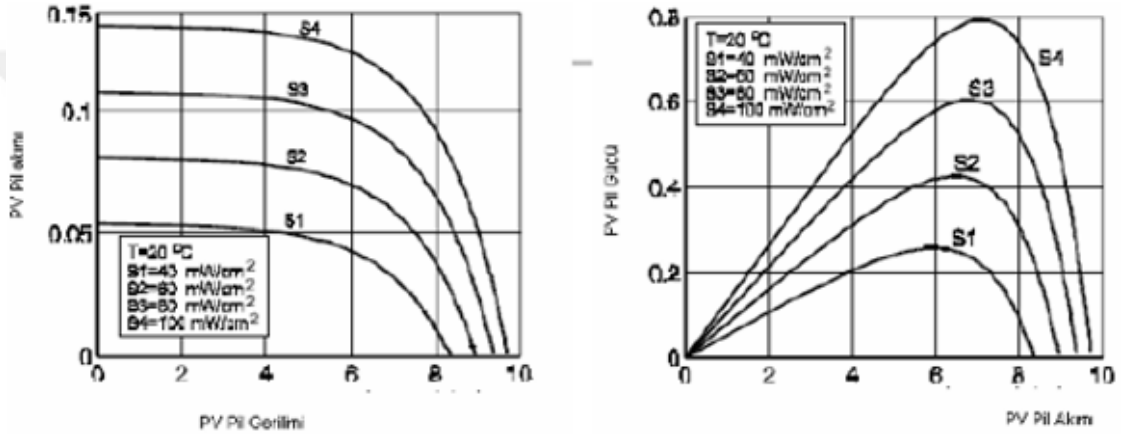
Bir kristal silikon güneş pilinin; $J_{sc} \approx 35$ mA/cm, V_{oc} 0,65 V'a kadar ve FF 0,75 ila 0,80 aralığındadır. Dönüştürme etkinliği (verimi) % 17 – 18'dir [27].

2.1.2.4 Güneş pilinin elektriksel karakteristikleri

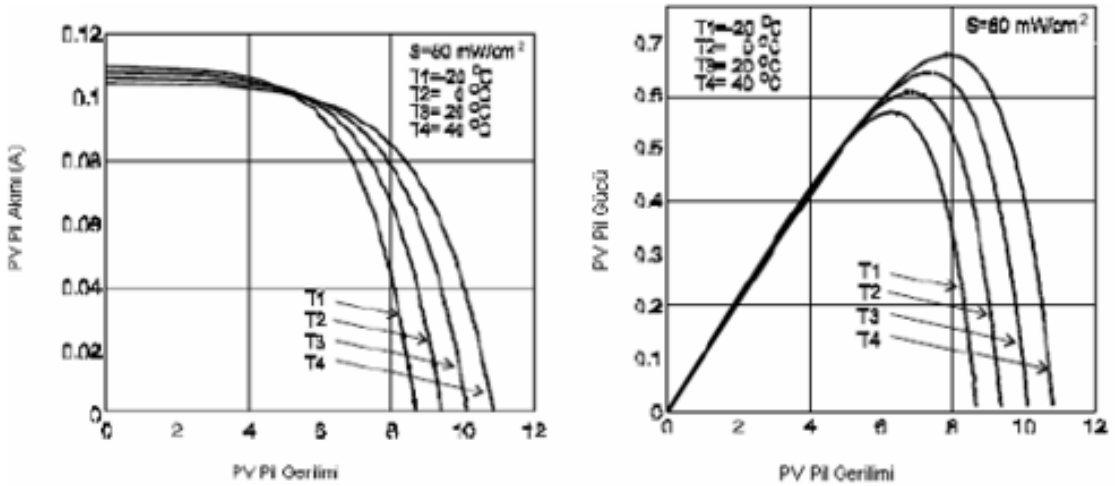
Güneş pilindeki gerilim – akım, akım – güç ve gerilim – güç ilişkileri Şekil 2.27, Şekil 2.28 ve Şekil 2.29'da güç ve sıcaklıkla ilişkili olarak gösterilmektedir. Bunlardan 1.si, eğrinin kısa devre ve açık devre durumunu, 2 ve 3. şekiller güce bağlı değişkenlikleri ve 4. ve 5. şekiller de sıcaklığa bağlı değişkenlikleri göstermektedir [33].



Şekil 2.27 : PV pilinin akım-gerilim karakteristiğinin yükü değişimi.



Şekil 2.28 : Güneş ışığının PV panele etkisi; gerilim-akım (sol), akım-güç (sağ).



Şekil 2.29 : PV karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimi; I-V (sol), V-P (sağ).

PV sistemin panellerinin yanında diğer bileşenleri; DC – AC çevirici (invertör), DC-AC pano, sistemin şebeke bağlantılı olmasından dolayı çift yönlü sayaç, kablolar, alüminyum taşıyıcı grup ve bağlantı parçalarıdır.

2.1.3 Isıtma sistemi

Bileşenleri; toprak kaynaklı, dikey sondalı ısı pompası, (sirkülasyon pompası, boiler, akümülatör ve diğer yardımcı elemanlarla), döşemeden (yerden ısıtma) ısıtma grubundan meydana gelmektedir.

Isı pompası topraktan aldığı ısıyı (kompresörünün enerjisini de ekleyerek) yerden ısıtma grubuna iletir. Yapı tek katlı olduğu için döşeme toprak temaslıdır. Sistemin ısı yükünün hesaplanması; birbiriyle etkileşimli alt bileşenleri olarak binanın, ısı pompası ve yerden ısıtma grubunun hesaplarının birlikte ele alınmasını gerektirir. Tasarım yükleri için belirleyici olan önce binadır. Binanın ısıtma yükü hesabı, iç ısı kazançları dikkate alınmadan sadece ısı kaybına dayanır. Bunun için de, T_i sıcaklığındaki binanın iç ortamı ile T_o sıcaklığındaki ($T_i > T_o$) dış ortam arasındaki 3-boyutlu sınırdan dışarıya (duvar, kapı, pencere, çatı ve zeminden) olan ısı iletim ve hava sızıntısı (*infiltrasyon*) taşınım kayıplarını bulmak gerekir. Bunun için basitten (elle), daha gelişmiş (bilgisayarlı) yöntemlere; TS 825, TS 1264 yalıtım standartlarını veya ASHRAE handbook'larını (diğer standartlar ve yöntemleri hariç) kullanarak bu hesaplar yapılabilir. Esasen bu çalışmadaki bütün hesaplar ASHRAE'nin de önerdiği ve saat tabanlı hesap yapan bir yöntem olan TFM (Transfer Function Method – Transfer Fonksiyon Metodu) üzerine kurulu bir paket program olan HAP 4.4'le yapılmıştır. Ancak; burada ASHRAE Fundamentals (SI) Handbook (1997-ch.27/28) referans olarak alınacaktır. Isı iletimi ve taşınımıyla, kararlı – dengeli durumda, bir yüzeyin ısı kayıpları için aşağıdaki denklem kullanılır;

$$q = UA(t_i - t_o) \quad (2.17)$$

Burada;

q = transmisyon ısı kaybı (duvar, pencere, tavan, çatı, zemin döşemesi veya benzeri dış ortama açılan yüzeyler), W

A = yüzey alanı, m²

U = toplam ısı geçirgenlik katsayısı, W/(m².K)

t_i = iç ortam sıcaklığı, °C

t_o = dış ortam sıcaklığı veya bitişik ısıtılmamış hacmin sıcaklığı, °C

Binanın ilgili yapı elemanlarının her birinin alan ve ısı geçirgenlik katsayısı bulunmuş ve her birinin ısı kaybı hesaplanmıştır.

Hava sızıntısı kaybı ise duyulur ısı ve gizli ısı şeklinde iki türlü hesaplanır. Duyulur ısı kaybı, içeri sızan havayı ısıtmak için gerekli ısı olup denklemi;

$$q_s = c_p Q \rho (t_i - t_o) \quad (2.18)$$

Burada;

$q_s = t_o$ sıcaklığındaki dış ortamdan t_i sıcaklığındaki iç ortama sızan havanın sıcaklığını yükseltmek için gereken ısı, W

c_p = havanın özgül ısısı, kJ/(kg.K)

Q = dış ortamdan binaya giren havanın hacimsel debisi, L/s

ρ = havanın t_o dış ortam sıcaklığındaki yoğunluğu, kg/m³

Gizli ısı kaybı ise kışın konfor için nemlendirilen havanın içindeki suyun, sızan havayla kaybedilen enerjinin eşdeğeri kadarını buharlaştırmak için ilave edilen enerjidir ve aşağıdaki denklemle hesaplanır;

$$q_l = \frac{Q \rho (W_i - W_o) h_{fg}}{1000} \quad (2.19)$$

Burada ise yukarıdakilerden farklı olarak;

q_l = binaya sızan havanın nemini W_o 'dan W_i 'ye artırmak için gerekli ısı akışı, W_i ve W_o = sırasıyla iç ve dış ortam havasının nem oranı, g/kg (kuru hava)

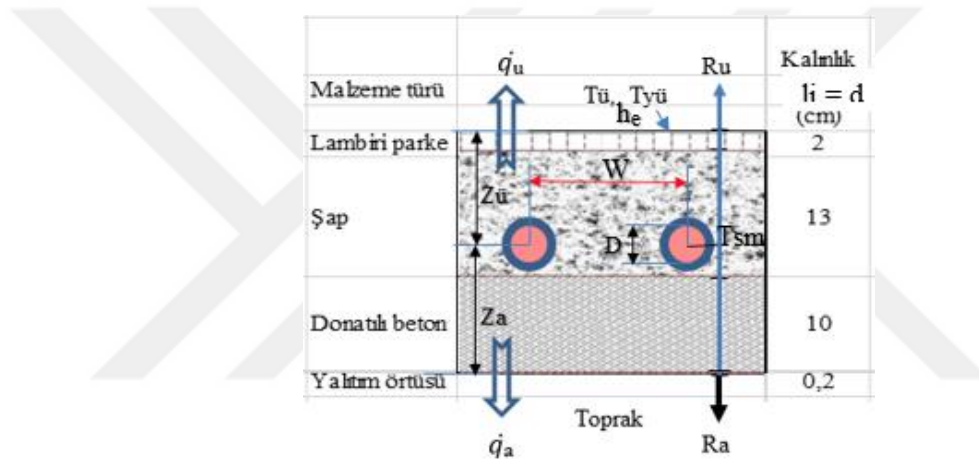
h_{fg} = buharın t_i sıcaklığındaki gizli ısısı, kJ/kg ($\rho = 1,2$ kg/m³, $h_{fg} = 2500$ kJ/kg olarak alınır).

Bu üç grup ısı kayıpları toplanarak binanın toplam ısı kaybı bulunur. Binamız için bu kayıp, % 10 güvenlik faktörüyle birlikte zon yükü olarak 2197 W, bulunmuş, havalandırma yüküyle birlikte toplam ısıtma yükü 4586 W olarak hesap edilmiştir. İç mekana aktarılacak ısıyı hesaplamada önce ısıtılacak ortamlarla boru arasındaki malzemelerin özellikleri ve kalınlıklarıyla ısı direnç hesaplanır. Sonra, döşeme yüzeyi ile döşeme altına olan ısı akışı analiz edilir. Döşemenin kesiti ve malzeme bileşenleri, kalınlık, ısı iletkenlik katsayı ve direnç değerleri ve hesaplanmış ısı geçirgenlik katsayıları Çizelge 2.9 ve Şekil 2.30'da görülmektedir. Duvarın ısı geçirgenlik katsayısını hesaplamak için yapı elemanlarının ısı iletkenlik ve direnç değerlerinin standart lardan (burada TS 825) elemanın cinsine seçilerek yazılır. U değerinin hesaplaması HAP içinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2.9 : Taban döşemesi yapı elemanları malzeme ve ısı değerleri.

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı Elemanının Kalınlığı d	Isı İletkenlik Hesap Değeri λ	Isı İletkenlik Direnci R	Isı Geçirgenlik Katsayısı U
			(m)	(W/mK)	(m ² K/W)	(W/m ² K)
TT-1-Taban (Toprak Temashi)						
1/a _i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)				0.17	
8.1.1	İğne yapraklı ağaçlardan elde edilmiş olanlar		0.02	0.13	0.15	
3.6.2	Genleştirilmiş perlit agregası (TS 3681); yoğunluk ≤100		0.13	0.06	2.17	
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500'e uygun) doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar		0.10	2.50	0.04	
9.2.2.5	Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri		0.002	0.19	0.01	
1/a _e	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)				0	
TOPLAM					2.54	0,5x0,394

Tabanın ısı iletkenlik direnci: 2,54 m²K/W; ısı geçirgenlik katsayısı: 0,197 W/m²K'dir.



Şekil 2.30 : Döşeme malzeme kesitleri ve ısı transferi.

Bu tür sistemlerde su giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki farkın 5 – 10°C'yi ve su debisinin 0,5 m/sn değerini geçmemesi önerilir. Ortalama su sıcaklığı (boru yerleşimine bağlı hesap yöntemi biraz değişse de çok fark etmediğinden) aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$T_{sm} = T_{\bar{u}} + \Delta T \quad (2.20)$$

$$T_{sm} = T_{\bar{u}} + \frac{T_{sg} - T_{sc}}{\ln \frac{T_{sg} - T_{\bar{u}}}{T_{sc} - T_{\bar{u}}}} \quad (2.21)$$

Döşemenin altından ve üstünden geçen ısı akıları için Çizelge 2.9 'da görünen ısı dirençleri hesaplanır.

$$R_{\bar{u}} = \frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{l_i}{k_i} \right) \quad \text{.. (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / W) \quad (2.22)$$

$$R_a = \frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{l_i}{k_i} \right) \quad \text{.. (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / W) \quad (2.23)$$

Burada; l_i (m) döşemeyi oluşturan tabaka kalınlıklarını, k_i (W/m°C) tabaka kalınlıklarının ısı iletim katsayılarını göstermektedir.

h_i taşınım katsayısı ise ortalama su sıcaklığında suyun dinamik viskozitesi, ısı iletim katsayısı, yoğunluk ve özgül ısıları tablolardan bulunduktan sonra aşağıdaki Reynolds, Nusselt ve Prandtl sayıları hesaplanabilir;

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}, \quad Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{k} \quad \text{ve} \quad Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n \quad (2.24)$$

$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n$ denklemindeki n katsayısı sistem ısınıyorsa 0,4; soğuyorsa 0,3 alınır. Bu eşitlik $0,7 \leq Pr \leq 160$ ve $Re > 10000$ olduğunda geçerlidir.

Reynolds ve Prandtl sayıları bulunduktan sonra Nusselt sayısı hesaplanır. Nusselt sayısı bulunca aşağıdaki eşitlikten boru içindeki taşınım katsayısı h_i hesaplanabilir.

$$Nu = \frac{h_i \cdot D}{k} \rightarrow h_i = \frac{Nu \cdot k}{D} \quad (2.25)$$

Döşeme üstündeki yüzey sıcaklığı insanı rahatsız etmemelidir; bu sınırlar aşağıdaki Çizelge 2.10'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.10 : Yüzey sıcaklık sınır değerleri.

Mekanlar	Maks. Yüzey Sıcaklığı (°C)
Ayak basılmayan kenar bölgeler	35
Banyo, havuz vb ıslak hacimler	33
Ayak basılan iç bölgeler	29

Maksimum yüzey sıcaklığına bağlı olarak döşeme yüzeyinden elde edilecek max. ısı akısı arasında;

$$q_{\dot{u}} = 8,92 (T_{y_{\dot{u}}} - T_{\dot{u}})^{1,1} \dots (W/m^2) \quad (2.26)$$

bağıntısı aşağıdaki Şekil 2.31'deki lineer ilişkiden çıkarılabilir. Bu ilişkiden birim alan (m²) başına 100 W ısı veren sistem, 20°C'lik ortam sıcaklığında 29°C yüzey sıcaklığına sahip olur.

Alt yüzey sıcaklığı ise alt ortam sıcaklığından (Çizelge 2.11) 2 °C fazlası alınabilir.



Şekil 2.31 : T_y-T_ü sıcaklık farkına bağlı maksimum ısı akıları.

Çizelge 2.11 : Toprak sıcaklıkları.

Dış ortam sıcaklığı (°C)	3	0	-3	-6	-9	-12	-15	-18	-21	-24	-27
Döşeme toprak sıcaklığı (°C)	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Duvarla temaslı toprak sıcaklığı (°C)	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5

Bu çizelgedeki değerler toprağın 1 m. derinliğindeki sıcaklıkları göstermektedir.

Yukarıdaki Şekil 2.31'e göre üst ve alt yüzeye iletilen ısıyı aşağıdaki eşitliklerden bulabiliriz [34];

$$\dot{q}_{\dot{u}} = \frac{Z_{\dot{u}} \cdot S_{\dot{u}}}{R_{\dot{u}} \cdot w \cdot L} (T_{sm} - T_{y\dot{u}}) \rightarrow (W/m^2) \quad (2.27)$$

$$S_{\dot{u}} = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{2w}{\pi D} \sinh \frac{2\pi Z_{\dot{u}}}{w}\right)} \rightarrow (m) \quad (2.28)$$

2.1.4 Soğutma sistemi

Soğutma sistemi ısı pompası, düşey sonda (toprak dikey kuyu borusu) ve fan-coilden oluşmaktadır. NC (doğal soğutma) modunda çalışırken, fan-coil, ısı pompasının antifriz devresine doğrudan bağlıdır. Fan-coilin gidiş – dönüş su sıcaklığı yaklaşık 12 - 16°C'dir.

Soğutma sistemlerinde, ısıtmanın aksine, ısı kazançlarına bakılır. Hesaplaması biraz daha karışıktır. Zira, içerdeki canlı ve cihazlardan açığa çıkan iç ısı kazançları önemlidir. Dolayısıyla ısı kazancı, dış ortamdan içeri giren ısı ile iç ortamda üretilen

ısının ve havalandırma ve dış hava sızıntısı kazançlarının toplamıdır ve iklimlendirme cihazlarının soğutma yükünün belirlenmesinde kullanılır.

Hesaplama yöntemleri arasında ASHRAE'nin Handbook'unda yer alan CLTD (Cooling Load Temperature Difference - Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı) yöntemiyle biraz daha geliştirilmiş şekilleri olan CLTD/CLF (CLF: Cooling Load Factor – Soğutma Yükü Çarpanı) ve CLTD/CLF/SCL (SCL: Solar Cooling Load – Güneş Soğutma Yükü) metodlarıyla, TETD (Total Equivalent Temperature Differential - Toplam Eşdeğer Sıcaklık Farkı) ve TFM (Transfer Fonksiyonu Metodu) kullanılır. Binamızın ısı kazançları ve soğutma yükü de bu yöntemi kullanan HAP 4.4'le yapılmıştır.

Dolayısıyla, yük hesabı burada TFM'in prosedürü üzerinden örneklendirilecektir.

2.1.4.1 Dış ısı kazancı

Çatı ve duvarlardan iletilen ısı

$$q_{e,\theta} = A[\sum_{n=0} b_n(t_{e,\theta-n\delta}) - \sum_{n=1} d_n \left[\frac{q_{e,\theta-n\delta}}{A} \right] - t_{rc} - \sum_{n=0} c_n] \quad (2.29)$$

Burada;

b ve d = iletim transfer katsayıları- çatı; Tablo 13, duvar; Tablo 18 (ASHRAE HB.)

c = iletim transfer katsayıları-çatı, Tablo 14; duvar, Tablo 19 (ASHRAE HB.'dan)

$$t_e = t_o + \frac{\alpha I_t}{h_o} - \varepsilon \Delta R / h_o \quad (2.30a)$$

$$t_e = t_{oa} + \frac{\alpha}{h_o \left(\frac{IDT}{24} \right)} - \varepsilon \Delta R / h_o \quad (2.30b)$$

Burada;

t_e = güneşli hava sıcaklığı

t_o = güncel saat kuru-termometre sıcaklığı, tasarım db 'ten (Ch.26) Tablo 2

tarafından ayarlanmış günlük % değerler aralığı (Ch.: Bölümün kısaltması)

α = yüzeyin güneş ışınımının soğurma katsayısı

α/h_o = yüzey renk faktörü = 0,026 açık renkler için, 0,052 koyu renkler için

I_t = toplam gelen güneş yükü = 1,15 (SHGF), Ch.29, Tablolar 19'dan 29 ile

$\varepsilon \Delta R / h_o$ = uzun-dalga ışınım faktörü = -3,9 °C yatay yüzeler, 0 °C dikey yüzeyler için

t_{ea} = 24-h ortalama güneşli-hava sıcaklığı

t_{oa} = 24-h ortalama kuru-termometre sıcaklığı

I_{DT} = toplam günlük güneş ısı kazancı (Ch.29, Tablolar 15'den 21'e ile)

Cam'dan

$$\text{Taşınım (Convective) } q = UA(t_o - t_i) \quad (2.31)$$

$$\text{Güneş (Solar) } q = A(SC)(SHGF) \quad (2.32)$$

U = tasarım ısı transfer katsayıları, cam – Ch.29

SC = gölgelenme katsayısı – Ch.29

$SHGF$ = konumlanma, kuzey enlem, saat ve ayla ilgili solar ısı kazanç faktörü-
Ch.29, Tablolar 15'den 21'e

Bölmeler, tavan ve zeminden

$$q = UA(t_b - t_i) \quad (2.33)$$

t_b = bitişik mahaldeki sıcaklık

t_i = iklimlendirilen mahaldeki tasarım iç sıcaklığı

2.1.4.2 İç ısı kazancı

İnsanlardan

$$q_{duyulur} = N \text{ (Duyulur ısı kazancı)} \quad (2.34)$$

$$q_{gizli} = N \text{ (Gizli ısı kazancı)} \quad (2.35)$$

N = mahalde bulunan insan sayısı, mahalde oturan insan kaynaklı gizli ısı kazancı için
Tablo 3 veya Ch.8; gerektiği gibi ayarlanır.

Aydınlatmadan

$$q_{el} = WF_{ul}F_{sa} \quad (2.36)$$

W = elektrik planındaki watt girdisi veya aydınlatma cihazı verisi

F_{ul} = aydınlatma kullanma faktörü, ilk bölümden, uygun olarak

F_{sa} = özel izin faktörü, ilk bölümden, uygun olarak

Güç kaynaklarından

$$q_p = PE_F \quad (2.37)$$

P = elektrik planındaki anma gücü veya imalatçı firma verisi

EF = verimlilik katsayıları ve koşullara uydurmak için düzenlemeler

Cihazlardan

$$q_{duyulur} = q_{girdi}^{FUFR} \quad (2.38)$$

veya

$$q_{duyulur} = q_{girdi}^{FL} \quad (2.39)$$

q_{girdi} = cihazların anma enerji girdileri -Tablo 5'ten 9'a veya imalatı firma verisi (cihaz eğer çıkış kapağının altında ise gizli ısı = 0 alınır)

FU, FR, FL = kullanma faktörleri ışınım faktörleri, yük faktörleri

Havalandırma ve hava sızıntısından

$$q_{duyulur} = 1.23Q(t_o - t_i) \quad (2.40)$$

$$q_{gizli} = 3010Q(W_o - W_i) \quad (2.41)$$

$$q_{toplam} = 1.20Q(h_o - h_i) \quad (2.42)$$

Q = havalandırma debisi, ASHRAE *Standard* 62; infiltrasyon, m³/s, Ch.25

t_o, t_i = dış ortam, iç ortam hava sıcaklığı, °C

W_o, W_i = dış ortam, iç ortam hava nem oranı, kg (su)/kg (kuru hava)

H_o, H_i = dış ortam, iç ortam hava entalpi değeri, kJ/kg (kuru hava)

Binamızda, yapılan hesaplarla, ısı kazançları toplamı sonucu toplam soğutma yükü, % 10'luk emniyet payıyla birlikte 10.015 W olarak bulunmuştur.

Sistemimizde ısı pompasına bağlı çalışan fan-coil ünitesi iç ortamların ısıtma ve / veya soğutulmasında kullanılan en temel, yaygın iklimlendirme cihazlarından. Fan-coile iletilen akışkanın, içinde dolaştığı ısı değiştirgeçi (batarya) üzerinden, içindeki fan yardımıyla, mahalden veya kanal yoluyla dışardan alınan ve girişinde filtrelenen hava, ısıtılacak veya soğutulacak ortama uygun açıyla üflenir. Bataryaya, giren akışkan veya suyun soğuk veya sıcak olmasına bağlı olarak, fancoil soğutma veya ısıtma konumunda çalışır. Bu tez çalışmasında iç ortamı soğutma amaçlı kullanılmaktadır (Şekil 2.32). Fan-coilin soğutma kapasitesi, ASHRAE 79-2006 standardına göre hava ve su taraflarının ayrı ayrı kapasitelerinin ortalamasına eşittir. Buna göre [35];

Soğutma kapasitesi (su tarafı);

$$\dot{Q}_{tcv} = \dot{m}_w c_{pw} (T_{w2} - T_{w1}) \quad (2.43)$$

Burada;

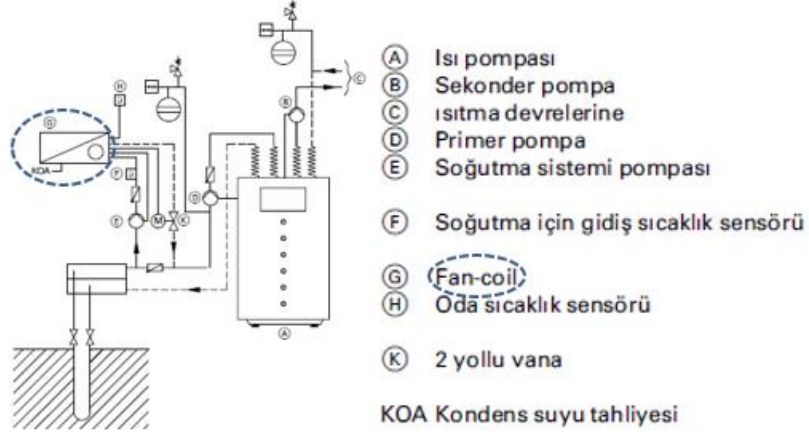
\dot{Q}_{tcv} = su tarafı toplam soğutma kapasitesi, (kW)

\dot{m}_w = suyun kütledebisi, (kg/s)

c_{pw} = suyun özgül ısısı, (kJ/kg°C)

T_{w2} = su çıkış sıcaklığı, (°C)

T_{w1} = su giriş sıcaklığı, (°C)



Şekil 2.32 : Isı pompası ve fan-coilli soğutma sistemi şeması [36].

Suyun özgül ısısı, su giriş - çıkış sıcaklıkları ortalamasına göre hesaplanır.

Soğutma kapasitesi (hava tarafı);

Sistemdeki kütle ve enerji dengesi için bağıntılar;

$$\dot{m} = \dot{m}_n + \dot{m}_{cw} \quad (2.44)$$

$$\dot{m}h + \dot{Q}_{ca} = \dot{m}_n h_n + \dot{m}_{cv} h_{cv} \quad (2.45)$$

$$\dot{Q}_{ca} = |\dot{m}_n h_n + \dot{m}_{cv} h_{cv} - \dot{m}h| \quad (2.46)$$

Bu eşitliklerde;

\dot{m} = fan-coilin emdiği havanın kütleli debisi, (kg/s)

\dot{m}_n = üfleyiciden geçen (fan-coil çıkış) havanın kütleli debisi, (kg/s)

\dot{m}_c = bataryada yoğuşan suyun kütleli debisi, (kg/s)

h = oda havasının entalpisi, (kJ/kg)

\dot{Q}_{ca} = bataryadan havaya ısı transferi, (kW)

h_n = üfleyiciden geçen havanın entalpisi, (kJ/kg)

h_{cw} = yoğuşan suyun entalpisi, (kJ/kg)

Nemli havanın entalpisini hesaplamak için Eşitlik 2.47 kullanılmıştır.

$$h = 1,006T + W(25501 + 1,86T) \quad (2.47)$$

Burada; T : havanın sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), ve W : havanın nem oranı ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kuru hava}}$) dir. Yoğuşan suyun entalpisi doymuş suya ait termodinamik tablolardan bulunur. Yoğuşan suyun sıcaklığı, bataryayı terk eden havanın çığ noktası sıcaklığı ile eşit kabul edilebilir.

Batarya üzerinde yoğuşan suyun kütleli debisi;

$$\dot{m}_{cv} = \dot{m} - \dot{m}_n \quad (2.48)$$

Hava tarafı toplam soğutma kapasitesi ise;

$$\dot{Q}_{tca}[\text{kW}] = \dot{Q}_{ca} + \frac{\dot{Q}_k - P_e}{1000} \quad (2.49)$$

Burada; P_e elektrik motorunun çektiği güç, \dot{Q}_k ise batarya ile üfleyici arasındaki kanalın yüzeyinden odaya iletilen ısıdır (ısı kaybı). olayısıyla hava tarafı soğutma kapasitesi hesabında, motorun çektiği gücü hava tarafı ısı transferi değerinden düşürmek gerekir (ısıtma toplanır).

Isı yalıtılmış yapılmış kanaldan ısı kaybı;

$$\dot{Q}_k = U_k A_k (T_a - T_n) \quad (2.50)$$

Burada;

\dot{Q} = oda havasından kanal içi havasına ısı transferi, (W)

\dot{Q}_k = yalıtılmış kanalın ısı transfer katsayısı, (W/m² °C)

A_k = fan-coil çıkış ve üfleç girişi arasındaki kanalın yüzey alanı, (m²)

Kanalın ısı transferi katsayısı;

$$U_k = \frac{1}{R_c} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ha}} + \frac{1}{h_{sa}} + \frac{t_1}{k_y} + \frac{t_2}{k_s}} \quad (2.51)$$

ve fan-coilin soğutma kapasitesi aşağıdaki eşitlikle bulunur;

$$\dot{Q}_c = \frac{\dot{Q}_{tca} + \dot{Q}_{tca}}{2} \quad (2.52)$$

Duyulur soğutma kapasitesi ise;

$$\dot{Q}_s = c_{pa} (\dot{m} \cdot T_a - \dot{m}_n \cdot T_n) + \left(\frac{\dot{Q}_k}{1000} \right) \quad (2.53)$$

Burada; duyulur soğutma kapasitesi \dot{Q}_s (kW) ve c_{pa} ise havanın özgül ısıdır ve 1,0056 olarak kabul edilebilir.

Fan-coilin gizli soğutma kapasitesi ise aşağıdaki eşitlik (2.54)'ten bulunur;

$$\dot{Q}_l = \dot{Q}_c - \dot{Q}_s \quad (2.54)$$

Duyulur ısı oranı (D.I.O) ise duyulur soğutma kapasitesinin, soğutma kapasitesine oranıdır ve giriş su ve hava şartları, çevre basıncı ve batarya yapısı gibi parametreler tarafından etkilenir.

$$D.I.O = \dot{Q}_s / \dot{Q}_c \quad (2.55)$$

2.2 Bina Isıtma ve Soğutma Yükleri Hesabı

Isıtma – soğutma ve havalandırma ısı yüklerinin hesaplanması, HAP (Hourly Analysis Program) programı 4.4 versiyonuyla yapılmıştır (Şekil 2.33).

Saatlik Analiz Programı'nın kısaltılmış adı olan program; bilgisayar ortamında, saat bazlı hesaplama üzerine kurulu TF Metodunu kullanır, ısı kazanç ve kayıplarını, tasarım yüklerini, simülasyonu, bina enerji sarf ve maliyetini analiz ederek hesaplar, detaylı ve özet sonuçlarını verir. Programda aynı anda farklı alternatifler denenebilir.

HAP 4.4 Basic Training Seminar

WHAT IS HAP?

- HAP is a computer tool which assists engineers in designing HVAC System, for commercial Buildings.
- First, it is a tool for **estimating loads** and designing systems.
- Second, it is a tool for **simulating energy use and calculating energy costs**.
- Summary reports can be used to compare building design alternatives

HAP SYSTEM DESIGN LOAD FEATURES

- Easy to use load calculation.
- System-based design (sizing based on equipment type).
- Based on ASHRAE Transfer Function Method for load calculation

HAP ENERGY ANALYSIS FEATURES

- Simulate hour-by-hour operation of all HVAC systems in the building.
- Simulate hour-by-hour operation of all plant equipment in the building.
- Simulate hour-by-hour operation of non-HVAC systems, for example lighting and appliances.
- Calculate total annual energy use and energy cost.

Şekil 2.33 : HAP 4.4 programı eğitim semineri sunumu örnek sayfaları.

Bursa için solar ışınım verileri Metronom programından indirilerek programa önce hava sistem bilgileri: sisteminin adı, tipi, cihaz sınıfı, zon (bölge) sayısı, bina zemin alanı, yerleşim alanı tasarım parametreleri gibi bilgiler girilmiştir (Şekil 2.34). Mahal

(hacim, iç ortam) sıcaklığı ısıtma için min. 19 °C, soğutma için maks. 26 °C olarak tanıtılmıştır.



Şekil 2.34 : HAP 4.4 programı, iş konum (sol) ve sistem veri giriş (sağ) sayfa örnekleri.

Programla yerden ısıtma – fan-coilli, ısı pompalı alternatif sistem ve karşılaştırma için kombi, split klimalı klasik sistemin ısı kayıp – kazançları, ısıtma ve soğutma tasarım yükleri hesaplaması; her ikisi için de bina enerji sistem simülasyonu ve maliyetlerinin analizi gerçekleştirilmiştir. Binanın mimari özelliklerinden yapı elemanları, alan ölçüleri, malzeme cinsleri, ısı iletkenlik ve direnç katsayıları girilmiş, dış duvar, iç duvar, çatı, taban döşemenin ısı geçirgenlik katsayıları hesaplatılmıştır. Hesaplanmış ısı geçirgenlik katasayısı (U) değeri ile birlikte dış duvarın bileşenlerinin kalınlık, ısı iletkenlik, direnç değerleri örnek olarak Çizelge 2.12’de görülmektedir.

Çizelge 2.12 : Dış duvar yapı elemanları kalınlık ve ısı değerleri.

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI				Yapı Elemanı n Kalınlığı d	Isı İletkenlik Hesap Değeri λ	Isı İletkenlik Direnci R	Isı Geçirgenlik Katsayısı U
DH-1-Duvar (Dış Hava Teması)				(m)	(W/mK)	(m ² K/W)	(W/m ² K)
1/a ₁	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)					0,13	
KT B	Styronit sıva		0,01	0,052	0,19		
8.2.1	Kontrplak (TS 46), kontrtabla (TS 1047)		0,015	0,13	0,12		
KT B	Cellibor		0,09	0,036	2,5		
8.2.1	Kontrplak (TS 46), kontrtabla (TS 1047)		0,015	0,13	0,12		
KT B	Styronit sıva		0,02	0,052	0,38		
1/a ₂	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)				0,04		
TOPLAM						3,48	0,288

Bilhare; binada oturan sayısı, aydınlatma ve varsayılan diğer HVAC - dışı cihazlar, güç kapasiteleri, haftalık – günlük kullanım süre ve oranları; toplam ve günlük enerji tüketimleri hesap edilerek belirlenmiş ve HAP’a girilmiştir (Şekil 2.13). Buna göre

günlük cihaz kullanımının elektrik enerjisi sarfiyatı toplam potansiyelin % 40'ıdır. Bu da toplamda cihaz kullanımından günde yaklaşık 4,5 kWh'lık bir enerji tüketimi olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2.13 : Sıfır enerji binasındaki cihazlar ve enerji tüketimleri.

Cihazın Adı ve Kullanımı	Cihazın Gücü (kW)	Günlük Çalışma Süresi (h)	Günlük Enerji Tük. (kWh)	Günlük Kullanım Oranı (%)
Fırın (haftada 2 saat)	1,670	0,29	0,477	10,7
Çamaşır makinası (haftada 2 saat)	1,900	0,29	0,543	12,2
Bulaşık Makinası (haftada 3 saat)	1,350	0,43	0,579	13
Buzdolabı (173 kWh/yıl)	0,025	24	0,480	10,8
Aspiratör	0,025	1	0,025	0,6
Elektrikli Ocak (günde 1.15 dak.)	1,200	1,25	1,500	33,8
TV	0,050	5	0,250	5,6
PC (Bilgisayar)	0,045	2	0,090	2,0
Saç Kurutma (günde 6 dk.)	1,400	0,01	0,014	0,3
Ütü (haftada 1 saat)	1,600	0,14	0,229	5,1
Elk. Süpürge (haftada 1 saat)	1,800	0,14	0,257	5,8
Toplam	11,060		4,443	
Cihazların günlük ort. güç kullanım oranı $(4,443 \text{ kWh} / 11,060 \text{ kWh}) * 100 = \% 40$				

2.2.1 Isı pompalı, yerden ısıtmalı ve fan-coilli sistemin bina ısıtma - soğutma yükü hesaplama sonuçları

Sistem tasarım verilerinin girişi tamamlandıktan sonra program çalıştırılıp bölge (zon) ve hacim (mahal) bazında ayrı ayrı ve birleştirilmiş özet sonuçlarına ulaşılmıştır. Salon, yatak odası ve banyo ısıtma ve soğutma için hacim (mahal) yükleri ve hava akış debilerinin toplu sonuçlarının özeti örnek olarak Çizelge 2.14'de görülebilir.

Çizelge 2.14 : Bölge (zon) / hacim (mahal) yükleri ve hava akış debileri.

Bölgenin Adı / Hacmin Adı	Çarpan	Hissedilir Soğutma (kW)	Hissedilir Maximum Yük Zamanı	Hava Debisi (L/s)	Isıtma Yükü (kW)	Zemin Alanı (m ²)	Hacim L/(s·m ²)
Z01 SALON							
Z01-SALON	1	7,3	Eyl 1600	527	1,5	26,4	19,97
Z02 YATAK ODASI							
Z02 YATAK ODASI	1	0,7	Tem 1500	51	0,4	9,2	5,54
Z03 BANYO							
Z03 BANYO	1	0,3	Tem 1700	14	0,3	6,0	2,41

% 10 emniyet payı ile birlikte buna göre;

binanın ısı kayıpları ve havalandırmadan kaynaklanan ısıtma yükü **4.586 W**,

ısı kazanç ve havalandırmadan kaynaklanan soğutma yükü de **10.021 W**

olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2.15).

Çizelge 2.15 : Isı pompalı, yerden ısıtma ve fan-coilli sistemin tasarım yükleri.

Açıklama:	SOĞUTMA TASARIMI			ISITMA TASARIMI		
DH: DIŞ HAVA (OA: OUTDOOR AIR) DB: KURU TERMOMETRE (Dry Bulb) WB: YAŞ TERMOMETRE (Wet Bulb)	Ağu 1600 SOĞUTMA VERİSİ SOĞUTMA DIŞ HAVA DB / WB 36.6 °C / 24.9 °C			ISITMA TASARIMINDAKİ ISITMA VERİSİ ISITMA DIŞ HAVA DB / WB -6.0 °C / -7.0 °C		
BÖLGE YÜKLERİ	Detaylar	Hissedilen (W)	Gizli (W)	Detaylar	Hissedilen (W)	Gizli (W)
Pencere & Çatı penceresi Güneş Yükleri	8 m ²	700	-	8 m ²	-	-
Duvar İletimi	65 m ²	200	-	65 m ²	467	-
Çatı İletimi	69 m ²	499	-	69 m ²	581	-
Pencere İletimi	8 m ²	109	-	8 m ²	410	-
Çatı Penceresi İletimi	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Kapı Yükleri	2 m ²	74	-	2 m ²	220	-
Zemin İletimi	42 m ²	0	-	42 m ²	228	-
Bölmeler	10 m ²	7	-	10 m ²	50	-
Tavan	8 m ²	-29	-	8 m ²	40	-
Tepeden Aydınlatma	0 W	11	-	0	0	-
Görev Aydınlatması	0 W	0	-	0	0	-
Elektrik Ekipmanı	5780 W	5399	-	0	0	-
İnsanlar	6	404	211	0	0	0
Hava Sızıntısı	-	0	0	-	0	0
Çeşitli	-	0	0	-	0	0
Güvenlik Faktörü	10% / 10%	737	21	10%	200	0
>> Toplam Bölge Yükleri	-	8112	232	-	2197	0
Bölge Şartlandırma	-	7996	232	-	2174	0
Kutu Duvar Yükü	0%	0	-	0	0	-
Kutu Çatı Yükü	0%	0	-	0	0	-
Kutu Aydınlatma Yükü	0%	0	-	0	0	-
Dışatım Fan Yükü	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Havalandırma Yükü	83 L/s	825	939	83 L/s	2435	0
Havalandırma Fan Yükü	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Hacim Fanı Coil Fanları	-	24	-	-	-27	-
Kanal Isı Kazanç / Kaybı	0%	0	-	0%	0	-
>> Toplam Sistem Yükleri	-	8844	1171	-	4586	0
Terminal Soğutma Ünitesi	-	8844	1177	-	0	0
Terminal Isıtma Ünitesi	-	0	-	-	4586	-
>> Toplam Şartlandırma	-	8844	1177	-	4586	0
Açıklama Notu:	Pozitif değerler soğutma yükleridir			Pozitif değerler ısıtma yükleridir		
	Negatif değerler ısıtma yükleridir			Negatif değerler soğutma yükleridir		

Güvenlik faktörü hariç; ısıtma yükünün % 45,5'u yapı elemanlarının kayıplarından kaynaklanan bölge yükü; geri kalan % 54,5'i de havalandırmadan kaynaklanan sistem yükü olarak ortaya çıkmıştır. Soğutma yükünün ise % 58'i elektrik ekipmanlarının, %

17'si yapı elemanlarının ve % 6,6'sı insanlardan kaynaklanan ısı kazançları olarak bölge yüklerinden; % 19'u havalandırma yükü olarak sistem yükünden meydana gelmektedir. Tasarım soğutma ve tasarım ısıtma verileri ise sırasıyla Çizelge 2.16 ve 2.17'dedir.

Çizelge 2.16 : Tasarım soğutma günü verileri.

Bileşen	Yer	Kuru-Term. Sıcaklığı (°C)	Spesifik Nem (kg/kg)	Hava Debisi (L/s)	CO2 Seviyesi (ppm)	Hissedilir Isı (W)	Gizli Isı (W)
Z01 SALON (Soğutma)							
Havalandırma Havası	-	-	-	55	-	-	-
Soğutma Coil Girişi	-	27,8	0,01073	527	0	-	-
Soğutma Coil Çıkışı	-	15,3	0,01010	527	0	7833	961
Isıtma Coil Girişi	-	15,3	0,01010	527	0	-	-
Isıtma Coil Çıkışı	-	15,3	0,01010	527	0	0	-
Bölge Havası	-	26,7	0,0102	527	0	7163	-
Z02 YATAK ODASI (Soğutma)							
Havalandırma Havası	-	-	-	14	-	-	-
Soğutma Coil Girişi	-	29,5	0,01228	51	0	-	-
Soğutma Coil Çıkışı	-	16,3	0,01083	51	0	802	216
Isıtma Coil Girişi	-	16,3	0,01083	51	0	-	-
Isıtma Coil Çıkışı	-	16,3	0,01083	51	0	0	-
Bölge Havası	-	26,8	0,01117	51	0	638	-
Z03 BANYO (Ölübant)							
Havalandırma Havası	-	-	-	14	-	-	-
Soğutma Coil Girişi	-	36,6	0,01527	14	0	-	-
Soğutma Coil Çıkışı	-	24,5	0,01527	14	0	209	0
Isıtma Coil Girişi	-	24,5	0,01527	14	0	-	-
Isıtma Coil Çıkışı	-	24,5	0,01527	14	0	0	-
Bölge Havası	-	35,8	0,01607	14	0	195	-

Çizelge 2.17 : Kış tasarım ısıtma verileri.

Bileşen	Yer	Kuru-Term. Sıcaklığı (°C)	Spesifik Nem (kg/kg)	Hava Debisi (L/s)	CO2 Seviyesi (ppm)	Hissedilir Isı (W)	Gizli Isı (W)
Z01 SALON (Isıtma)							
Havalandırma Havası	-	-	-	55	-	-	-
Soğutma Coil Girişi	-	16,3	0,00171	527	0	-	-
Soğutma Coil Çıkışı	-	16,3	0,00171	527	0	0	0
Isıtma Coil Girişi	-	16,3	0,00171	527	0	-	-
Isıtma Coil Çıkışı	-	21,1	0,00171	527	0	3057	-
Bölge Havası	-	18,8	0,00171	527	0	-1470	-
Z02 YATAK ODASI (Isıtma)							
Havalandırma Havası	-	-	-	14	-	-	-
Soğutma Coil Girişi	-	11,9	0,00171	51	0	-	-
Soğutma Coil Çıkışı	-	11,9	0,00171	51	0	0	0
Isıtma Coil Girişi	-	11,9	0,00171	51	0	-	-
Isıtma Coil Çıkışı	-	25,8	0,00171	51	0	841	-
Bölge Havası	-	18,6	0,00171	51	0	-435	-
Z03 BANYO (Isıtma)							
Havalandırma Havası	-	-	-	14	-	-	-
Soğutma Coil Girişi	-	-5,0	0,00171	14	0	-	-
Soğutma Coil Çıkışı	-	-5,0	0,00171	14	0	0	0
Isıtma Coil Girişi	-	-5,0	0,00171	14	0	-	-
Isıtma Coil Çıkışı	-	33,7	0,00171	14	0	668	-
Bölge Havası	-	18,1	0,00171	14	0	-269	-

2.2.2 Kombili, yerden ısıtmalı ve split klimalı sistemin bina ısıtma - soğutma yükü hesaplama sonuçları

2.2.1'deki sistemle ekonomik karşılaştırma amaçlı incelenmiştir. Karşılaştırmanın dengeli olması açısından duvardan radyatör panel ısıtma yerine yerden ısıtma olarak ele alınmıştır. Buna göre ısıtma ve soğutma yükleri bu sistemde de öncekine yakın değerler elde edilmiştir (Çizelge 2.18)

Çizelge 2.18 : Kombili, yerden ısıtma ve split-klimalı sistemin tasarım yükleri özeti.

DH: DIŞ HAVA (OUTDOOR AIR) DB: KURU TERMOMETRE WB: YAŞ TERMOMETRE	TASARIM SOĞUTMA			TASARIM ISITMA		
	Ağu 1500 SOĞUTMA VERİLERİ			TASARIM ISITMA VERİLERİ		
	SOĞUTMA DH DB / WB 37,0 °C / 25,0 °C			ISITMA DH DB / WB -6,0 °C / -7,0 °C		
BÖLGE YÜKLERİ	Detaylar	Hissedilir (W)	Gizi (W)	Detaylar	Hissedilir (W)	Gizi (W)
Pencere ve Çatı Penceresi Güneş Yükleri	8 m ²	720	-	8 m ²	-	-
Duvar İletimi	65 m ²	176	-	65 m ²	467	-
Çatı İletimi	69 m ²	519	-	69 m ²	581	-
Pencere İletimi	8 m ²	111	-	8 m ²	410	-
Çatı Penceresi İletimi	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Kapı Yükleri	2 m ²	75	-	2 m ²	220	-
Zemin İletim	42 m ²	0	-	42 m ²	228	-
Bölmeler	10 m ²	8	-	10 m ²	50	-
Tavan	8 m ²	-29	-	8 m ²	40	-
Tepe Aydınlatma	0 W	12	-	0	0	-
Görev Aydınlatma	0 W	0	-	0	0	-
Elektrik Ekipmanı	5780 W	5375	-	0	0	-
İnsanlar	6	404	211	0	0	0
Sızma	-	0	0	-	0	0
Çeşitli	-	0	0	-	0	0
Güvenlik Faktörü	10% / 10%	737	21	10%	200	0
>> Toplam Bölge Yükleri	-	8107	232	-	2197	0
Bölge Şartlandırma	-	7950	232	-	2175	0
Kutu Duvar Yüğü	0%	0	-	0	0	-
Kutu Çatı Yüğü	0%	0	-	0	0	-
Kutu Aydınlatma Yüğü	0%	0	-	0	0	-
Dışatım Fan Yüğü	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Havalandırma Yüğü	83 L/s	865	931	83 L/s	2435	0
Havalandırma Fan Yüğü	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Hacim Fan Coil Fanları	-	59	-	-	-59	-
Isı Kanalı Kazanç / Kayıp	0%	0	-	0%	0	-
>> Toplam Sistem Yükleri	-	8873	1163	-	4551	0
Terminal Ünite Soğutma	-	8873	1166	-	0	0
Terminal Ünite Isıtma	-	0	-	-	4551	-
>> Toplam Şartlandırma	-	8873	1166	-	4551	0
Anahtar:	Pozitif değerler soğutma yükleridir			Pozitif değerler ısıtma yükleridir		
	Negatif değerler ısıtma yükleridir			Negatif değerler soğutma yükleridir		

2.3 Bina Enerji Simülasyonu

Program tarafından enerji simülasyonunda; terminal ünitelerin batarya (coil) yükleri, sistem bileşenlerinin ve kaynak tiplerinin enerji tüketimleri ve faturalamaya esas enerji detayları HVAC ve HVAC-Dışı hesaplanıp çizelge halinde verilmektedir. Programın

amacı binanın yıllık enerji kullanımı ve enerji maliyetini tahmin etmektir. Bunun için izlenmesi gereken süreç; problemi tanımlama, verileri toplama, programa girme, simülasyon raporlarını çıkarmak üzere HAP programını çalıştırma ve sonuçları değerlendirme adımlarından meydana gelmektedir. Normal olarak iki veya daha fazla sistemin senaryolarını çıkarabilir. Konum, hava ve mimari proje bilgileriyle problem tanımlanır. Sonra, binadaki ısı transfer proseslerini modellemek ve binayı ısıtacak ve soğutacak HVAC ekipmanının çalışmasını analiz etmek için gerekli veriler toplanır. ASHRAE'den alınamadığı için Metronom Bursa tasarım hava koşulları verileri temin edilir; mayıstan kasıma tasarım soğutma aylarıdır, istenirse 12 aya çıkarılabilir. Mimari planlardan duvar, çatı, pencere ve dış gölgelemeler, aydınlatma, binada yaşayan kişi sayısı, mahallerin verileri, hava sistem bilgileri, soğutma ve ısıtma coil'leri, hava temin fanı, dönüş hava plenumu, zonlar (bölge), termostat ayar bilgileri, terminaller ve ölçülendirme kriterleri belirlenir ve programa girilir. Hava (iklim), mahal ve hava sistemi verilerini takiben, elektrik ve yakıt fiyatları da toplanıp girilir. Daha sonra program, çalıştırılır ve simülasyon raporları çıkarılır. Sonuçlara göre gerekli düzeltme ve düzenlemeler yapılabilir veya değişik varyasyonlar denenebilir.

Enerji hesaplamaları yapılırken program tarafından dikkate alınan hususlar aşağıdadır;

1. 'Soğutma Coil Yükleri' hava sistemi soğutma coil yüklerinin tamamının toplamıdır.
2. 'Isıtma Coil Yükleri' hava sistemi ısıtma coil yüklerinin tamamının toplamıdır
3. Saha Enerjisi gerçek tüketilen enerjidir.
4. Kaynak Enerjisi saha enerjisinin, elektrik üretim verimliliğine bölümüdür (% 28)
5. Yakıtlar için Kaynak Enerjisi saha enerjisi değerine eşittir.
6. Birim zemin alan başına düşen enerji, brüt bina zemin alanı üzerine dayalıdır.

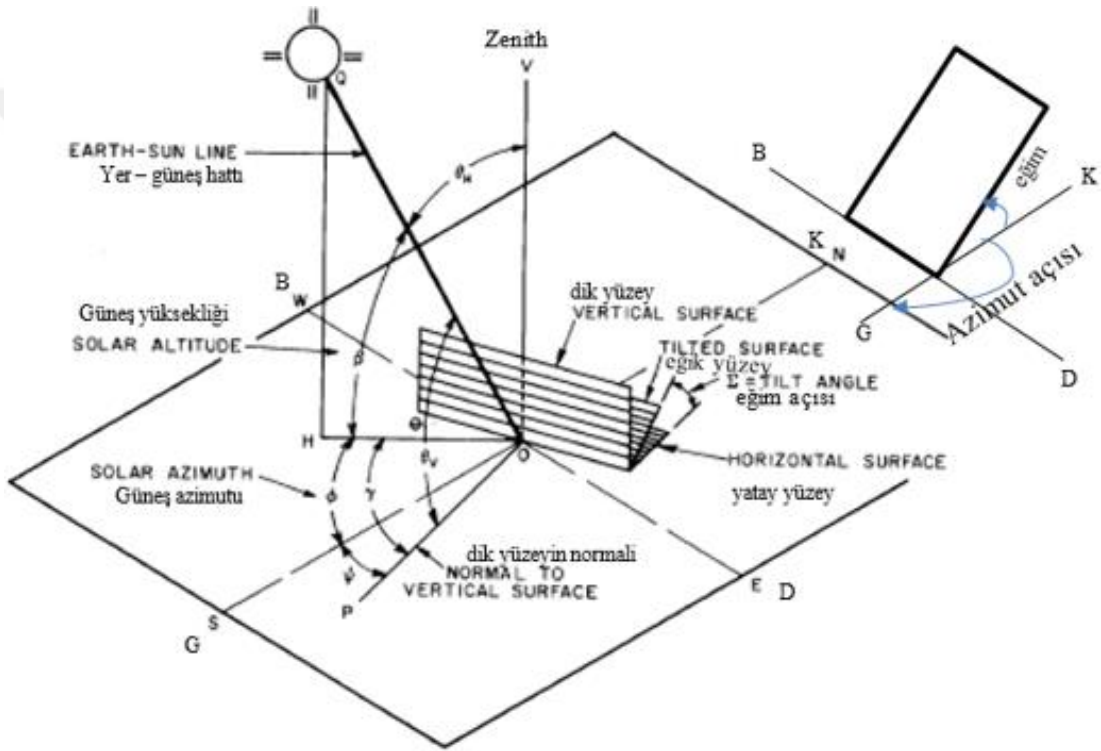
Brüt Zemin Alanı	41,6 m ²
------------------	---------------------

Şartlandırılmış Zemin Alanı	41,6 m ²
-----------------------------	---------------------

2.4 PV Sistem Hesabı

Şekil 4.64'te resim ve şeması görülen şebeke bağlantılı bir PV sistemin enerji üretimi, ana elemanı olan panellerin kendisiyle birlikte bir çok dış faktöre de bağlı olarak değişir.

Anma gücü olarak adlandırılan W_p (watt peak), panelin $25\text{ }^\circ\text{C}$ 'de standard test şartlarına (IEC 60904-1.) göre yapılan testteki performansını gösterir. Panelin coğrafi ve fiziki konumu, gölge ve rüzgar durumu, güneş ışınımının miktarı, ışığın geliş açısı, panelin ve komple sistemin kayıpları sonucu elde edilen nihai verimlilik önemli etkenlerdir. Daha verimli üretim için güneş ışığını uygun açıda izleme (tracking) sistemleri, genellikle çatı / cephe uygulamaları dışında kullanılabilen, karmaşık ve pahalı yöntemlerdir. Modüller güneşe yönlendirilmiş olmalı ve gölgelerden etkilenmemelidir. Optimum eğim ve azimut açısı da enerji ençoklaması için önemlidir (Şekil 2.35).



Şekil 2.35 : Güneşin geliş açıları (sol) ve güneşe bakan bir panelin eğim ve azimut açıları (sağ).

Yıl boyunca değişen eğimin optimum aralığının sabit sistemlerde, enlem açısına (φ) eşit veya ($\varphi \pm 15^\circ$) aralığında olması önerilmektedir [14].

Bursa için yapılan bir çalışmada, optimum eğim açıları mevsimsel ortalama olarak; kış için: 55° ; ilkbahar için: $19,6^\circ$; yaz için: $5,6^\circ$; sonbahar için: $44,3^\circ$ ve yıllık ort. olarak $31,1^\circ$ tespit edilmiştir [14]. Bunun ayarlanmasının mümkün olduğu durumlarda, güneşten enerji üretimi de artırılmış olacaktır. Meteoroloji Gn Md.'lüğü (MGM) sitesindeki Bursa ışınım verilerine göre yıllık optimum açıyla bu artış % 3,77

hesaplanmıştır. Azimut açısının etkisi de büyüktür. Güneydoğu Anadolu'da yapılan bir başka çalışma incelendiğinde bu etkinin enerji hasılatını %11 etkilediği görülmüştür [37]. Modüllerin verimliliği bölüm 2.1.2'de anlatıldığı için tekrar edilmeyecektir. Verimi etkileyen sistemle diğer parametreler kaynaklara göre biraz değişiklik gösterse de PVWatts'ın kullandığı (toplam % 14) kayıplar Çizelge 2.19'da görülebilir [38]. Ancak bu değer, farklı kaynaklarda farklı şekilde ele alınıp kullanılabilir.

Çizelge 2.19 : Sistem kayıp kategorileri için varsayılan değerler.

Category (Kayıp Türü)	Default Value (%) (Varsayılan Değer) (%)
Soiling (Tozlanma)	2
Shading (Gölgeleme)	3
Snow (Karlanma)	0
Mismatch (Uyumsuzluk)	2
Wiring (Kablaj)	2
Connections (Bağlantılar)	0.5
Light-Induced Degradation (Işık Kaynaklı Yıpranma)	1.5
Nameplate Rating (Tanicı Plaka Oranı)	1
Age (Yaş)	0
Availability (Bulunabilirlik)	3

Ülkemizde sektör firmaları, sistem kayıp oranını % 17 olarak kabul ettiğinden, bu çalışmada bu değer tercih edilerek kullanılmıştır [39].

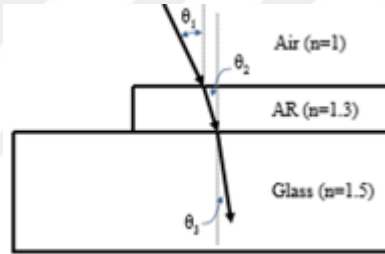
SEB'in elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak olan PV sistemin fotovoltaiik panel gereksiniminin ölçülendirilmesi için çeşitli çalışmalarda, çok sayıda yöntem ve denklem tanımlandığı literatürde görülebilmektedir. Ayrıca, sektörel bazda referans bir çok kamu ve özel kuruluş tarafından geliştirilmiş çok sayıda hazır paket program ve xls dosyaları mevcuttur. ABD Enerji Bakanlığı (Dept.Of Energy, DOE) bünyesindeki NREL (National Renewable Energy Laboratory: Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı) tarafından hazırlanmış olan PVWatts ve SAM (Şekil 2.36) ile Avrupa Birliği Enerji Komisyonu tarafından hazırlanan PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) programı bu amaçla incelenmiştir. İlkinde Türkiye iklim verileri mevcut değildir; ancak ikincisine Türkiye ve ortadoğu ile birlikte kuzey Afrika ülkeleri de dahildir.

PVWatts, algoritmasında NREL National Solar Radiation Database (NSRDB) TMY (saatlik tipik meteorolojik yıl) verilerini kullanarak hesaplama şöyle yapılır [40];



Şekil 2.36 : PVWatts' Calculator programı giriş (sol) SAM veri giriş (sağ) sayfaları.

- >Yatay ışınımdan, güneşin saatlik dizi panel düzlemi (POA: Plane of Array) ışınımı, enlemi, boylamı, ve güneş kaynak verileri, ve dizi panel tipinden eğim ve azimut girdileri hesaplanır.
- >Güneş ışınının geliş açısına bağlı olarak modül kaplamasından yansıma kayıplarını dikkate alan etkin POA ışınımı hesaplanır.



Şekil 2.37 : Güneş ışınının PV kaplaması (AR) ve camına girişi

$$\tau_{AR} = 1 - 0,5 \frac{\sin(\theta_2 - \theta_1)^2}{(\sin(\theta_2 + \theta_1))^2} + \frac{\tan(\theta_2 - \theta_1)^2}{\tan(\theta_2 + \theta_1)^2} \quad (2.56)$$

τ : iletim

$$\theta_3 = \arcsin \frac{n_{AR}}{n_{glass}} \sin(\theta_2) \quad (2.57)$$

Verilen;

$$n_{AR} = 1 \quad \text{ve} \quad n_{glass} = 1,526$$

$$\tau_{glass} = 1 - 0,5 \frac{\sin(\theta_3 - \theta_2)^2}{(\sin(\theta_3 + \theta_2))^2} + \frac{\tan(\theta_3 - \theta_2)^2}{\tan(\theta_3 + \theta_2)^2} \quad (2.58)$$

$$\tau_{cover} = \tau_{AR} \tau_{glass} \quad (2.59)$$

$$I_{poa} = I_b + I_{d,sky} + I_{d,ground} \quad (2.60)$$

- >4Dizi panel tipi, POA ışınımı, rüzgar hızı ve ortam sıcaklığına bağlı olarak hücre

sıcaklığı hesaplanır. Hücre sıcaklığı modelinde, modülün yerden 5 m yüksekliğe yerleştirilmiş olduğu varsayılır ve nominal çalışma hücre sıcaklığı, çatıdan yaklaşık 10 cm yükseltilmiş sabit montajlı opsiyon için 49°C ve diğer dizi panel tipleri için 45°C olarak kabul edilir. 1.000 W/m² referans POA ışınımlı DC sistem ölçeğinden ve hesaplanmış hücre sıcaklığından, ref. sıcaklık 25°C varsayılarak ve standart modül tipi için % -0,47 /°C, üst tipler için % -0,35 /°C, ince film tipler için % -0,20 /°C sıcaklık katsayısını hesaba katarak (PV) dizinin DC çıktısı hesaplanır.

>Hesaplanmış DC çıktısı, sistem kayıpları, deneysel ölçümlerden çıkarılmış, kısmi yüklü invertör verimliliği ile (% 96 varsayım) nominal invertör verimliliğinden sistemin AC çıktısı hesaplanır.

$$P_{dc} = \frac{I_{tr}}{1000} P_{dc0} (1 + \gamma(T_{cell} - T_{ref})) \quad (2.61)$$

Ancak elle hesaplama açısından bu algoritmayı kullanmak pek pratik görünmemektedir.

PVGIS proqramı ise PV güç hesaplamalarını, coğrafi konumun meteorolojik bilgileri, alınan direkt, yansıyan ve saçılı güneş ışınımları ve sağladığı solar güç ve enerjiyi uydu bazlı verileri kullanarak ve varsa elle girilen bilgilere göre gerekli değişikliklerle birlikte aşağıdaki eşitlikleri kullanarak yapar;

$$P = G/1000 * A * eff(G, T_m) \quad (2.62)$$

$$P = G/1000 * A * eff_{rel}(G, T_m) \quad (2.63)$$

$$eff_{rel}(G', T'_m) = 1 + k_1 \ln(G') + k_2 \ln(G')^2 + k_3 T'_m + 4 k_4 T'_m \ln(G') + k_5 T'_m \ln(G')^2 + k_5 T'_m{}^2 \quad (2.64)$$

Burada;

$$G' = \frac{G}{1000}, \quad T'_m = T_m - 25 \quad (2.65)$$

ve

$$T_m = T_a + \frac{G}{(U_c + U_1 W)} \quad (2.66)$$

burada da;

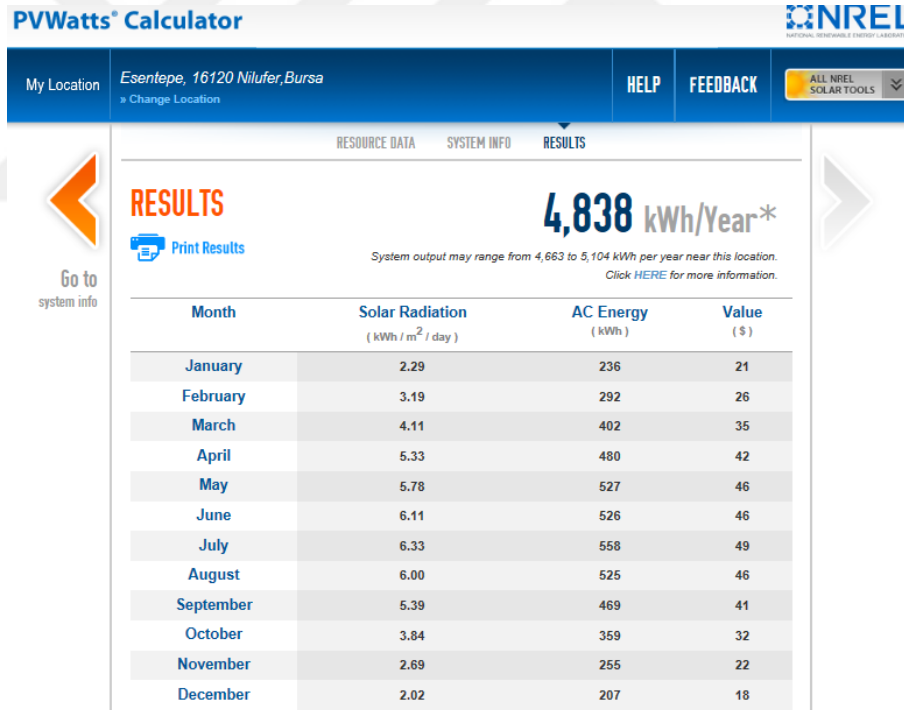
T_m = Modül sıcaklığı, T_a = Hava sıcaklığı, U_c ve U_1 için [41] referanstır.

Çizelge 2.20 : PVGIS hesaplamaları için PV güç modellerine göre katsayılar.

Katsayı	c-Si	CIS	CdTe
k_1	-0,017237	-0,005554	-0,046689
k_2	-0,040465	-0,038724	-0,072844
k_3	-0,004702	-0,003723	-0,002262
k_4	-0,000149	-0,000905	-0,000276
k_5	-0,000170	-0,001256	-0,000159
k_6	-0,000005	-0,000001	-0,000006

PVWatts'ta olduğu gibi PVGIS'te de bilgisayarla hesaplama için hazırlanmış olmasından dolayı elle hesaplama için pek uygun değildir.

PVWatts bir online hesaplayıcı olup belirli büyüklükteki kurulu PV sistemin üreteceği elektrik enerjisini ve üretilen elektriğin maliyetini hesaplamak için kullanılır. Raporunda enerji ve ekonomisi ile ilgili sonuçlar birlikte görülebilir (Şekil 2.38). SAM (System Advisor Model) ise daha detaylı ve profesyoneller için bir programdır ve ekonomik değerlendirme için LCOE Calculator'ı (Levelized Cost of Energy) kullanmaktadır.



Şekil 2.38 : PVWatts' Calculator'ın sonuçları gösteren örnek çıktı.

Elle hesaplamalarla bir tahmin yapabilmek için aşağıdaki basit iki eşitlik önerilir;

$$\text{PV Gücü (kW)} = \text{Dizi Alanı (m}^2\text{)} \times 1 \text{ kW/m}^2 \times \text{Modül Verimliliği} \quad (2.67)$$

$$\text{PV Gücü (kW)} = \text{Modül Anma Gücü (W)} \times \text{Modül ad.} / 1.000 \text{ W/ kW} \quad (2.68)$$

Ayrıca; NREL'in PVWatt Calculator, SAM ve Avrupanın PVGIS programlarının

tanıtıldığı photovoltaic - software sitesinde önerilen denklem;

$$E = A \times r \times H \times PR \quad (2.69)$$

Burada;

E = Enerji (kWh)

A = Toplam güneş paneli alanı (m²)

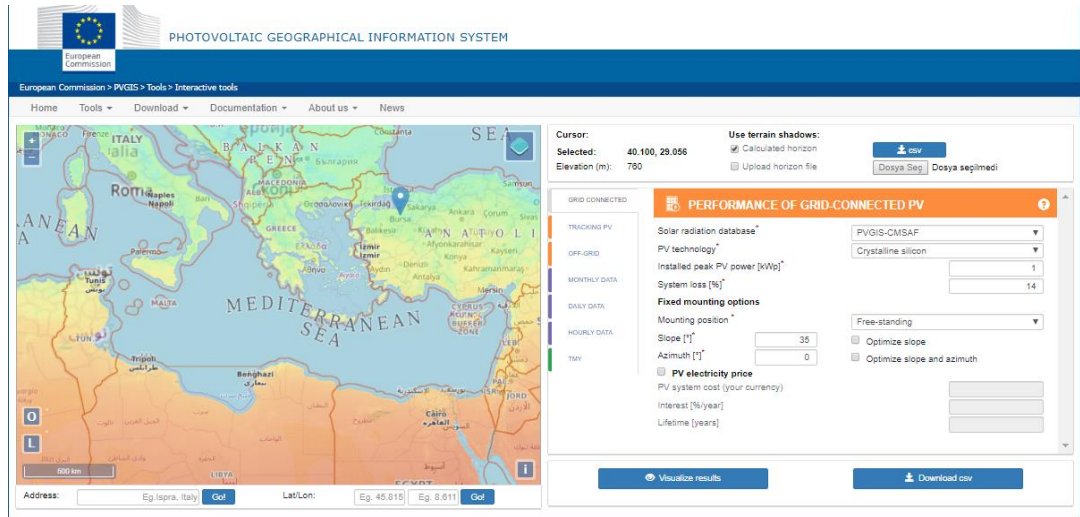
r = Güneş paneli çıktısı veya verimi (%)

H = Eğimli paneller üzerindeki yıllık ortalama güneş ışınımı (gölgeler hariç)

PR = Performans oranı veya tüm kayıpların oranı (0,5 - 0,9 arasındır, varsayılan = 0,75).

H değeri “mgm.gov.tr” adresinde Bursa için 10/06/2019 itibariyle alınan mevcut aylık ortalama değerlerin ortalaması olarak hesaplanmıştır (Yıllık toplam: 49,249 kWh/m² değeri, aylık ortalama için 12’ye bölünmüş ve 4,104 kWh/m²/ay değeri elde edilmiştir. Bazı kaynaklarda bu değer 3,84 kWh/m² olarak geçse de MGM’nin 2004 - 2016 arasını kapsayan grafikte bu değer 4’ün altına düşmediği görülebilir.

PVGIS, Avrupa Birliği komisyonun enerjiden sorumlu bölümünün teşviğiyle 2001–2005 yılları arasında “Photovoltaic Geographic Information System” içine entegre edilmiş ışınım modelleri ve iklim dataları ile 1 km x 1 km çözünürlüğünde geliştirilmiş olan Avrupa güneş veritabanıdır (Şekil 2.39).



Şekil 2.39 : PVGIS programı veri giriş sayfası.

Yapılan bu çalışmada standart bir 1 kWp şebekeye bağlı PV sistemin yıllık ortalama elektrik üretimi, potansiyel PV elektrik üretimi, (Türkiye dahil) her ülke için yıllık elektrik tüketiminin %1’ini karşılamak için kurulması gerekli olan PV sistemi belirlenmiştir. PVGIS geliştirilirken açık veri ve yazılım mimarisine, GIS’e entegre

edilmiş yüksek çözünürlüklü veriye ve bu konuda uzman olmayan biri için bile anlaşılır bir ara yüze dikkat edilerek tasarlanmıştır. Yapılan bu çalışmada PV sistemleri yatay, dikey ve optimum açı ile yerleştirilmiştir. Bunlardan alınan değerler teorik hesaplamalarla elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu hesaplamalarda Avrupa Güneş Radyasyonu Atlasının denklemlerine dayalı olan *r.sun* algoritması GRASS programı kullanılmıştır. Belirtilen çalışmada PV sistemlerinden üretilen elektriği hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır;

$$E = P_k PRG \quad (2.70)$$

Burada;

P_k : maksimum güç,

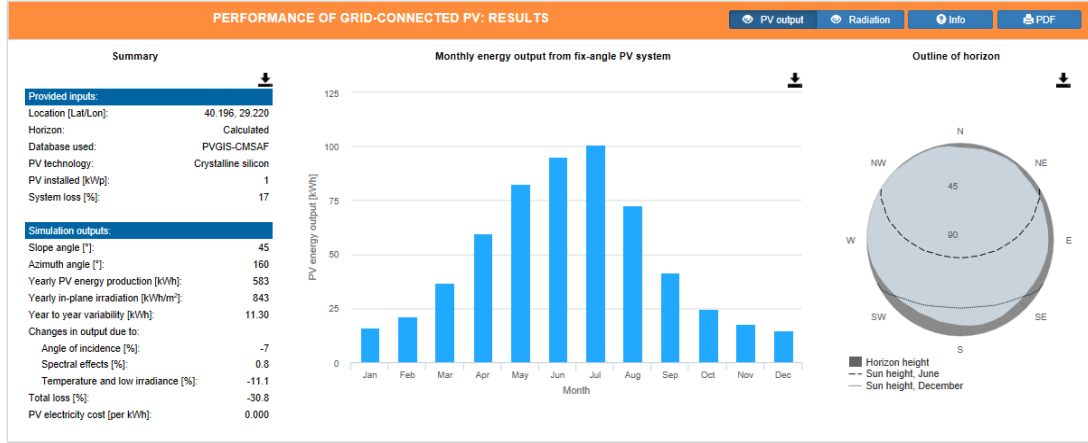
PR: sistemin performans oranı ve

G: yıllık toplam ışıınımı (kWh/m²) göstermektedir.

PR çatıya monte edilmiş mono / polikristal silikon sistemler için 0,75 alınmıştır [41]. Bu açıklamaları takiben PVGIS programıyla, SEB mahallinin koordinatları, azimut açısı, mimari tasarımdan gelen çatı – panel eğimi ve kabul edilmiş kayıp oranı Şekil 2.40'daki veri giriş sayfasına girilmiştir.

Şekil 2.40 : PVGIS programı Bursa - Kestel coğrafi ve çatı- panel konum veri girişi.

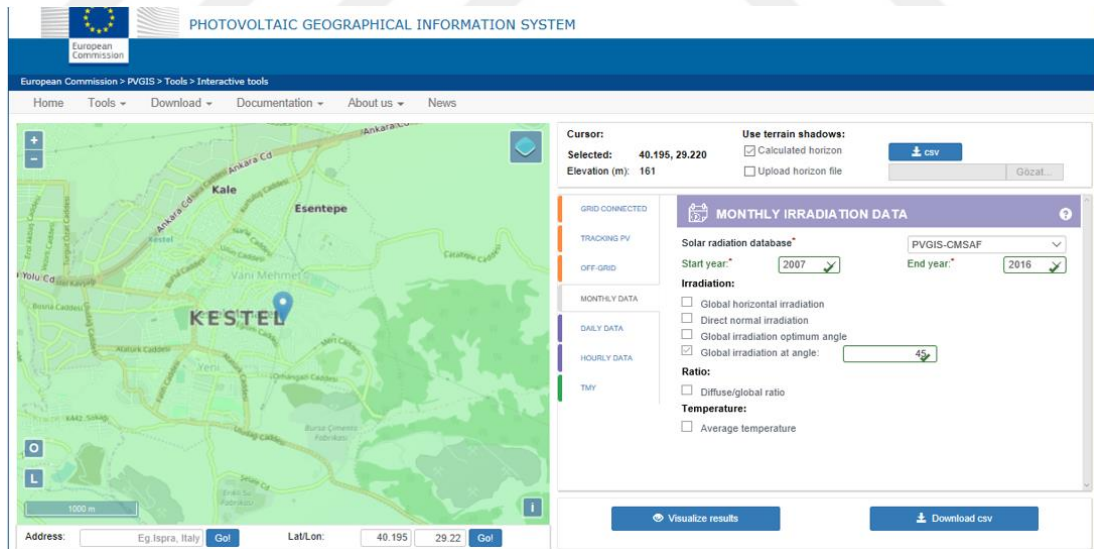
1 kWp'lık referans modüllü sistemin üreteceği elektrik enerjisi ve bunu sağlayan ışıınım değerleri ile sonuçları etkileyen değişkenler ve toplam sistem kaybı ile ilgili sonuçlar hesaplatılmıştır (Şekil 2.41 ve Çizelge 2.22).



Şekil 2.41 : Kestel, 45° eğim, 160° azimut konumlu 1 kWp PV panel üretim çıktıları.

Bu arada; PVGIS’te Bursa – Kestel’in koordinatları ve çatının 45° olan eğim açısına göre (Şekil 2.42) 2007 – 2016 arası aylık global ışınım değerleri aşağıya çıkarılmış (Şekil 2.43, Çizelge 2.21) ve MGM’nin verileriyle karşılaştırılmıştır (Çizelge 2.22).

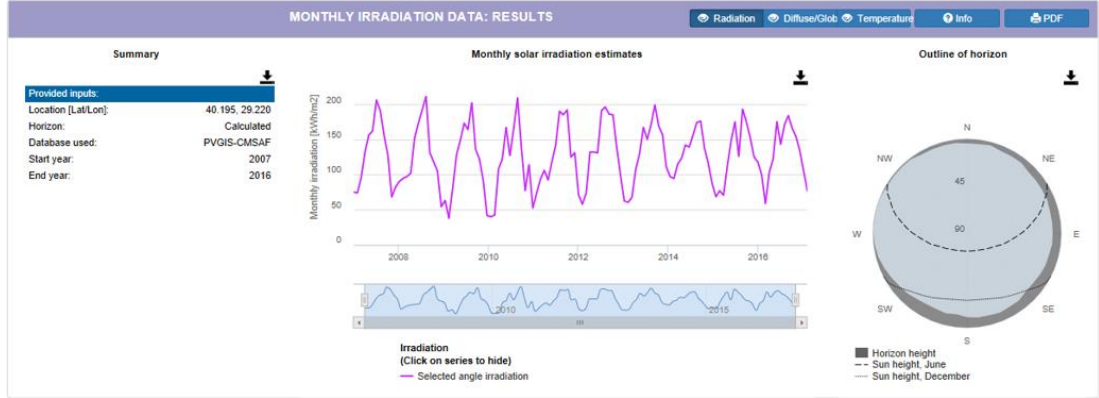
Buna göre MGM’nin ışınım verileri; PVGIS’e göre, yıllık toplamda 170 kWh/m², yıllık ortalamada 14,2 kWh/m² düşüktür. Mayıs, haziran ve temmuz ayları hariç diğer aylarda yaklaşık 4 ila 50 kWh/m², PVGIS’in değerlerinin altında kalmaktadır. Sonuç olarak MGM ışınım verileri PVGIS’ten ortalama % 12,2 daha düşüktür.



Şekil 2.42 : PVGIS ‘te Kestel’in 45° eğimde yıllık ışınım verileri istek girişi.

MGM’nin yer istasyonlarından güneşle ilgili verileri hangi doğruluk derecesinde topladığı; aynı şekilde PVGIS’in uydu kanalıyla bu verileri hangi doğruluk derecesinde elde ettiği hakkında net bir bilgiye ve bu nedenle karşılaştırma yapabilme yeterliliğine sahip değiliz. Ancak; yorum yapılabilir tek bilinen fark olarak PVGIS

verilerinin girilen 45° eğime bağlı, ışınımın kış aylarında daha fazla enerji eldesi göstermesi normal bir sonuçtur. MGM verileri normal olarak yatay geliş açılıdır.



Şekil 2.43 : PVGIS 'te Kestel'in 45° eğimde yıllık ışınım verileri sonuçları.

Çizelge 2.21 : 2007 – 2016 arası Kestel aylık güneş ışınimleri.

Global at user angle

Month	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
January	75.1	90.2	63.2	39.9	73.6	57.8	60.4	94.4	78.9	58.9
February	74	94.6	37.8	42.3	93.2	73.7	67.7	115	70.6	103
March	95.5	97.1	80.9	108	106	132	108	123	112	122
April	132	102	128	122	92.4	132	130	142	148	175
May	156	152	149	167	118	131	167	139	175	143
June	162	173	173	127	142	191	150	156	126	171
July	206	192	164	166	190	196	171	174	193	184
August	191	211	202	209	185	186	199	176	175	166
September	156	131	136	139	192	185	169	138	153	154
October	128	118	122	77.2	125	139	157	116	125	134
November	68.1	105	91.7	114	131	98.7	111	87.8	118	105
December	82	54.2	41.6	52.6	70.9	62.5	96.9	68.4	99.7	76.4

Çizelge 2.22 : PVGIS – MGM yıllara göre aylık ortalama ışınım farkları.

PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

Provided inputs

Latitude/Longitude:	40.195, 29.220
Horizon:	Calculated
Database used	PVGIS-CMSAF
Start year:	2007
End year:	2016

Variables included in this report:

Global horizontal irradiation:	No
Direct normal irradiation:	No
Global irradiation optimum angle:	No
Global Irradiation at 45°	Yes
Diffuse/global ratio	No
Average temperature	No

Eğim Prog.	45°	?	FARK
Ay	(kWh/m²)	(kWh/m²)	(kWh/m²)
Oca	76,7	46,5	-30,2
Şub	96,2	63,8	-32,4
Mar	119	105,4	-13,6
Nis	155	138,6	-16,4
May	152,3	180,1	27,8
Haz	151	186,9	35,9
Tem	183	187,2	4,2
Ağu	172,3	168	-4,3
Eyl	148,3	130,5	-17,8
Eki	125	93	-32,0
Kas	103,6	54,3	-49,3
Ara	81,5	40,3	-41,2
Top	1564,6	1394,6	-170,0
Ort	130,4	116,2	-14,2

Ayrıca yıllık bazdaki aylık değer değişimleri ve veri dönemi farkı da rol oynamıştır.

Yapılan bir başka tez çalışmasında da aşağıdaki yöntem kullanılmıştır [42].

$$A_{pv} = \frac{L_{el}}{H_{avg} * \eta_{pv} * \eta_B * \eta_i * TCF} \quad (2.71)$$

Burada;

A_{pv} = Gerekli PV panel alanı (m²)

L_{el} = Günlük elektrik yükü (kWh/gün)

H_{avg} = Günlük ortalama ışınım (kWh/m². gün)

η_{pv} = PV panellerin verimliliği

η_B = Akülerin verimliliği

η_i = İnvertör verimi

TCF = Sıcaklık düzeltme faktörü

Burada, sistem akülü olmadığı için η_B 1 kabule edilmiştir.

Ayrıca TCF, Bursa-kestel için -0.5/°C ile ortalama 45°C panel çalışma sıcaklığı üzerinden 0,90 olarak tahmin edilmiştir.

$$P_{pv} = A_{pv} * I_p * \eta_{pv} \quad (2.72)$$

Burada;

P_{pv} = Pik PV güç

A_{pvn} = PV panel dizi alanı (m²)

I_p = Pik güneş ışınımı (W/m²)

η_{pv} = PV panellerin verimliliği

Bu yöntemle bulunan değer, sistem sağlayıcısının önerdiği ile PVGIS hesaplaması arasında en yakın sonucu vermiştir.

2.5 Güneş Kollektörü Hesabı

SEB'in, sıcak su gereksinimini karşılayacak hesaplamalar için; hava veya su akışkanlı, güneşli aktif ısıtma sistemi veya yalnız kullanım amaçlı sıcak su sistemlerinin yıllık performansını belirlemek için geliştirilmiş olan f-chart yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin kullanımındaki bilinen kısıt, güneşli aktif ısıtma sisteminde enerjinin en az 20 °C sıcaklık ile dağıtılma zorunluluğudur. Bu yöntem, aylık ısıtma yükünün güneş karşılama oranını (f_a), ilki kollektör kayıplarının ısıtma yüküne oranıyla ilgili (X),

ikincisi ise kollektör tarafından yutulan güneş ışınımının ısıtma yüküne oranıyla ilgili (Y) olan iki boyutsuz parametreye bağlı olarak hesaplar [43].

$$f_a = 1.029Y - 0.065X - 0.24Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (2.73)$$

$$X = (F_R U_L) \times \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) \times (T_{ref} - \bar{T}_a) \times \Delta t \times \frac{A_c}{L_a} \quad (2.74)$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \times \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) \times \frac{(\bar{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} \times \bar{H}_T \times N \times \frac{A_c}{L_a} \quad (2.75)$$

f_a = güneş enerjili ısıtma sistemi tarafından sağlanan aylık ısı yükünün toplam ısı yüküne oranı (aylık faydalanma oranı veya aylık solar karşılama oranı)

F_R = kollektör ısı kazanç faktörü

F'_R = kollektör eşanjör verim faktörü

U_L = kollektör toplam ısı geçiş katsayısı (W/(m²°C))

\bar{T}_a = aylık ortalama çevre sıcaklığı (TS 3817 std.'a göre ortalama çevre sıcaklığı)

Δt = bir aydaki saniye sayısı (sn)

A_c = kollektör yüzey alanı (m²)

L_a = aylık toplam ısı yükü, (J)

$(\tau\alpha)_n$ = normal yönde gelen ışınım için aylık yutma - geçirme oranıdır ve

$$(\tau\alpha)_n \cong 1.01 \times \tau_n \times \alpha_n \quad (2.76)$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

$(\bar{\tau\alpha})$ = aylık güneş ışını yutma - geçirme oranıdır ve aylara göre değişir

$F_R U_L$ ve $F_R (\tau\alpha)_n$ = kollektör test sonuçlarından üretici firma verisidir (Çizelge 2.24)

\bar{H}_T = kollektör birim yüzeyine gelen aylık ortalama günlük radyasyon (J/m²)

(TS3817 std.'a göre mahaldeki ortalama güneş ışınımı (Enlem) (Çizelge 2.23)

N = ayın gün sayısı

$\frac{F'_R}{F_R}$ = Eğer dolaylı ısıtma (yani; kollektör deposunda bir ısı değiştirgeci (serpantin)

varsa bu durum kollektör verimini etkiler bu nedenle;

$$\frac{F'_R}{F_R} = \left[1 + \left(\frac{A_c F_R U_L}{(\dot{m} c_p)_c} \right) \left(\frac{(\dot{m} c_p)_c}{\epsilon (\dot{m} c_p)_{min}} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (2.77)$$

Eğer kollektör direkt ısıtmalı ise yani depoda bir serpantin yoksa bu oran 1 alınmalıdır.

Yaklaşık olarak $F_R'/F_R = 0.94$ alınabilir.

$\frac{(\bar{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} = \text{Kış uygulamasında kış sezonu ayları için } 0.96$ alınabilir [44].

$$L_a : \text{Aylık toplam ısı yükü} = \text{ısıtma yükü}(L_{IS})_a + \text{soğutma yükü}(L_{SO})_a + \text{sıcak su yükü}(L_{SS})_a \quad (2.78)$$

Kullanım amaçlı sıcak su için gerekli aylık ısı yükü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$(L_{SS})_a = \dot{m}_y c_p (SS - DGS)_a (L_{SS})_a \quad (2.79)$$

Burada

\dot{m}_y = günlük sıcak su ihtiyacı

T_y = kullanma suyu sıcaklığı (= 45 ~ 60 °C)

$c_p = 4180 \text{ J/kg C}$

\bar{T}_s = aylık ortalama şebeke suyu sıcaklığı ilgili çizelgeden alınır

$(SS-DGS)_a$ = aylık sıcak su derece-gün sayısıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$(SS - DGS)_a = (T_y - \bar{T}_s) N \quad (2.80)$$

Kişi başına sıcak su gereksinimi (SSG) genellikle Çizelge 2.25 gibi alınır. O halde;

$$\dot{m}_y = \text{kişi sayısı} \times \text{SSG} \quad (2.81)$$

şeklinde hesaplanır.

\bar{H}_T = ilgili çizelge'de verilmiştir.

Yıllık derece gün sayısı ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$(SS - DGS)_y = \sum_{i=1}^{12} N_i (T_y - \bar{T}_{s,i}) \quad (2.82)$$

buna göre yıllık ortalama sıcak su ısı yükü,

$$(L_{SS})_y = (\dot{m}_y) (c_p) (SS-DGS)_y \quad (2.83)$$

yıllık faydalanma oranı ise,

$$f_y = \sum_{i=1}^{12} f_{a,i} YDF_i \quad (2.84)$$

Burada; YDF yük dağılım fonksiyonudur ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$YDF = L_a / L_y \quad (2.85)$$

şeklinde hesaplanır. Burada; L_y yıllık toplam ısı yüküdür ve $\sum_1^{12} L_a$ şeklinde hesaplanır. Sıcak su üretimi için yıllık faydalanma oranı 0.75 olduğu zaman yaz

aylarındaki aylık faydalanma oranı yaklaşık 1 olur ki arzu edilen bir durumdur. Faydalanma oranı ve günlük tüketim bilgisiyle kollektör alanı bulunabilir (Şekil 2.44).

Çizelge 2.23 : Bursa ili aylara göre günlük ortalama ışınım ve sıcaklık değerleri.

ŞEHİR ADI	ENLEM	VERİLER		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN
BURSA	40°11'	YATAY	Kj/m ² -gün	4730	6656	9167	12349	15823	18377
		ENLEM	Kj/m ² -gün	7665	9012	10398	12152	14291	15974
		ENLEM-15	Kj/m ² -gün	6852	8468	10327	12667	15354	17397
		HAVA	°C	5.2	6.0	8.0	12.6	17.4	21.6
		ŞEBEKE	°C	9.2	8.0	9.2	12.2	16.6	21.2
ŞEHİR ADI	ENLEM	VERİLER		TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
BURSA	40°11'	YATAY	Kj/m ² -gün	19465	16325	12935	9125	6112	4353
		ENLEM	Kj/m ² -gün	17167	15572	14165	12056	9753	7531
		ENLEM-15	Kj/m ² -gün	18624	16438	14266	11428	8761	6622
		HAVA	°C	24.2	23.9	19.7	15.4	11.3	7.5
		ŞEBEKE	°C	24.2	25.6	23.9	19.7	15.9	11.9

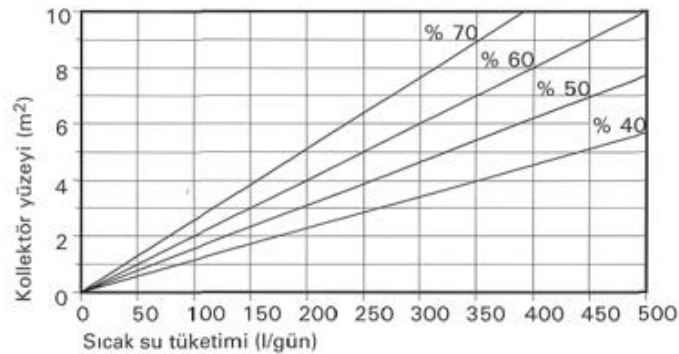
Çizelge 2.24 : Düz kollektörlerde katsayılar.

Kollektör Tipi	$F_R(\tau\alpha)_n$	F_{RUL}
Selektif Kollektör Prizmatik Camlı	0.82	4.05
Selektif Kollektör Düz Camlı	0,8	4,3
Bakır Kollektör Prizmatik Camlı	0,78	5,2
Bakır Kollektör Düz Camlı	0,75	5,5
Alüminyum Kollektör Prizmatik Camlı	0,75	6,1
Vakum borulu güneş kollektörü	0,73	6,5

Çizelge 2.25 : Kişi başı sıcak su miktarı.

SSG (litre/gün-kişi)	
konutlarda	
yüksek konfor	60 -100
normal konfor	30-60
az konfor	15-30

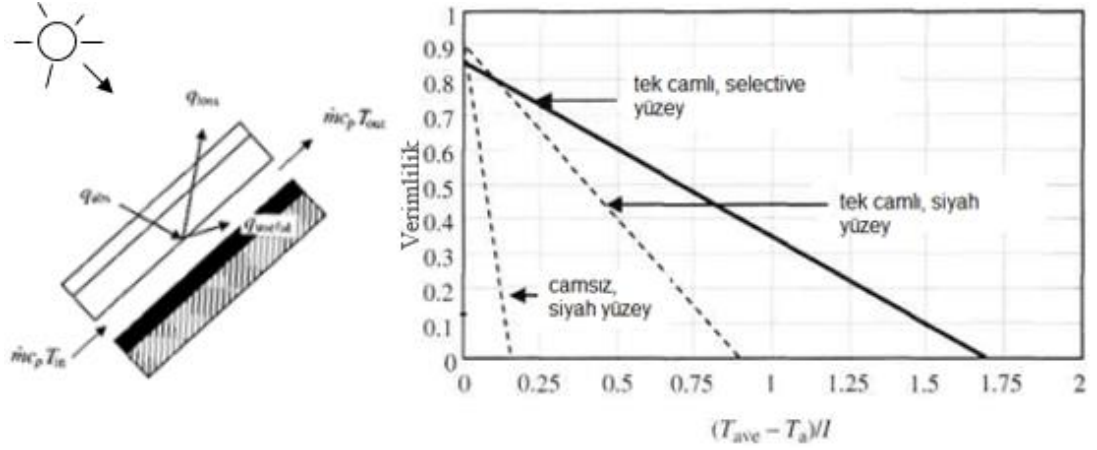
Vitosol 100



Şekil 2.44 Günlük sıcak su tüketimi ve yıllık karşılama oranına göre kollektör alanı.

Kollektör verimi η deneysel olarak bulunur. Test prosedürünü tanımlayan standartlar arasında ISO9806-1:1994 ve ANSI/ASHRAE standart 93:2010 no. yaygın kullanılır.

$F_R(\tau\alpha)_n$ parametresi verim eğrisinin düşey eksenini kestiği noktadır (intercept), ve $-F_R U_L$ parametresi ise verim eğrisinin eğimidir (Şekil 2.45).



Şekil 2.45 : Düz güneş kolektörü (sol) ve tipik verim eğrileri (sağ).

SEB için sıcak su güneş kolektörü hesabı, yaz ortasında ihtiyacı % 100 karşılamak üzere temmuz ayı için yapılmıştır. 3 kişi için kişi başı 67 lt/gün sıcak su ($m_y = 201$ kg/gün) ve kullanma suyu sıcaklığı ($T_y = 45^\circ\text{C}$), firma (Wiessmann) katalog değeri olarak $F_R(\tau\alpha)_n = 0,8$; ve $F_R U_L = 4,3$ alınmıştır. Kolektör tahmini alanı (A_c) = 4,64 olarak seçilmiştir. Hesaplama işlemi f-chart xls programı üzerinden gerçekleştirilmiş ve sonuçlar doğrulanmıştır.

2.6 Sistem ve Komponent Seçimi

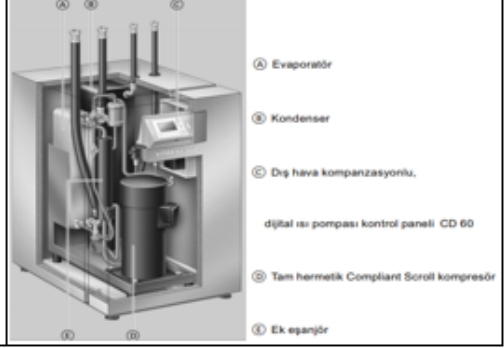
Sistem ve komponent (bileşen) seçimi; hesaplamalar sonucu ortaya çıkan ısıtma ve soğutma tasarım yükleri ve ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi değerleri üzerinden alınan tekliflerle gerçekleştirilmiştir.

2.6.1 Isıtma – soğutma sistemi seçimi

Toprak Kaynaklı Isı Pompası (TKIP); yerden ısıtma düzeneği ile birlikte ısıtma; fan-coille birlikte soğutma sistemini oluşturmaktadır. Sistem ve komponentleri, Aktamar Yapı'dan alınan teklife göre oluşmuş olup Şekil 2.46'da ayrıntıları, cihaz resim ve sistem şemasıyla birlikte özet halinde bir araya getirilmiştir. Buna göre; Isıtma gücü = 6,2 kW, soğutma gücü = 4,9 kW'tır (ısıtma gücüne bağlı katalog değeri)

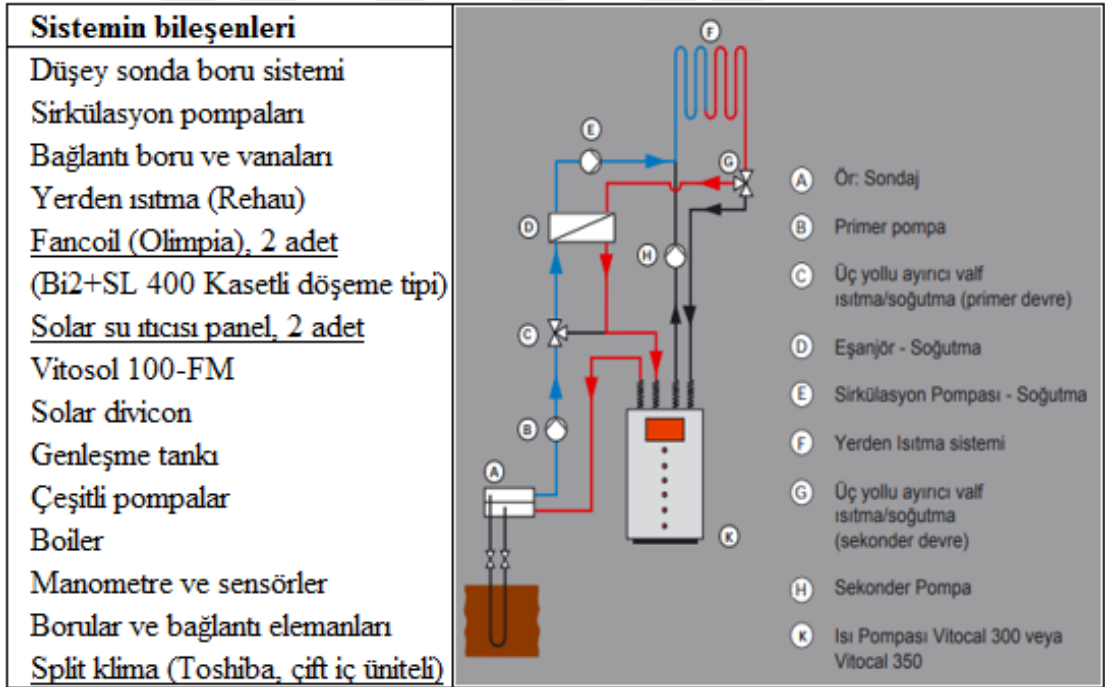
Binanın soğutma için enerji sarfiyatı düşüktür, ancak tasarım yükü yaklaşık 10 kW olduğu için pik yükün gerektiği anlarda, çift iç üniteli ek bir split klima öngörülmüştür.

Cihazın adı / özellikleri	Isı pompası	Cihazın bileşenleri
Markası	Wiessmann	Kompresör, hermetik, scroll tip (D)
Modeli, toprak kaynaklı	Vitocal 300G	Buharlaştırıcı (A)
Anma gücü, ısıtma, kW	6,2	Genleşme vanası
Anma gücü, soğutma, kW	4,9	Yoğuşturucu (B)
Kompresör gücü, kW	1,38	Ara ısıtıcı (ek eşanjör) €
COP, ısıtma	4,5	Dijital kontrol paneli, WPR 300 ©
COP, soğutma	3,5	
Akışkan türü, primer devre	Antifriz /su	
Antifriz/su sıcaklığı, °C	0/35	
Akışkan türü, devresi	R407C	
Sıcak su için max. gidiş sıc., °C	65	
İşletme tipi, (ısıtma ve kullanma suyu ısıtması için) (dış hava kompanzasyonlu ve "natural soğutma" ya da "aktif soğutma" modülasyonlu)	Tekli	



Şekil 2.46 : Vitocal 300G toprak kaynaklı ısı pompası sistemi cihazı ve özellikleri.

Sistemin bileşenlerinin detay bilgileri ise Şekil 2.47’de görülmektedir.



Şekil 2.47 : Vitocal 300G toprak kaynaklı ısı pompası sistemi bileşenleri ve şeması.

Sistemin, topraktan ısı emici (ısıtma) ve toprağa ısı verici (soğutma) tarafını oluşturan dikey sonda borular (PE 32 3,0) cihaz imalatçısı firma tarafından önerilmektedir.

Bu boruya ait bilgi imalatçı firma kataloğunda (Çizelge 2.26) boru boyu (sonda derinliği) ile ilgili yaklaşık hesaba ait notla birlikte görülmektedir [18].

Çizelge 2.26 : Isı pompa tiplerine göre toplam boru ve sonda uzunlukları.

Yaklaşık hesap		yüksek olduğuna dikkat edilmelidir (bkz. „Boyutlandırma“) Bir referans değer olarak, bir toprak sondası sisteminde yıllık çekme işi değeri 100 kWh/m - a üzerine çıkmamalıdır.		
Bu hesaplamada ısı pompasının B0/W35 işletme noktasındaki soğutma gücü \dot{Q}_k temel alınır.				
$\dot{Q}_k = 50$ W/m için gerekli toprak sondaları ve antifriz dağıtıcılar, sonda (VDI 4640'a göre 2000 işletme saati için) (yaklaşık değer)				
Isı pompası tipi	\dot{Q}_k kW	PE 32 x 2,9 Toplam boru uzunluğu m	Toprak sondaları Uzunluk (m)	Antifriz dağıtıcıları Sip.-No.
1 kademeli ısı pompası				
BW, BWC 106	4,9	98	1 x 98	1 x 7373 330
BW, BWC 108	6,6	132	2 x 66	1 x 7143 763
BW, BWC 110	8,1	162	2 x 81	1 x 7143 763
BW, BWC 112	9,6	192	2 x 96	1 x 7143 763
BW, BWC 114	11,9	238	3 x 80	2 x 7373 329
BW, BWC 117	13,8	276	3 x 92	2 x 7373 329
2 kademeli, her kademe aynı güçte				
BW+BWS 106+106	9,8	196	2 x 98	1 x 7143 763
BW+BWS 108+108	13,2	264	3 x 88	2 x 7373 329
BW+BWS 110+110	16,2	324	4 x 81	2 x 7143 763
BW+BWS 112+112	19,2	384	4 x 96	2 x 7143 763

Dikey boru (sonda) seçimi;

Ortalama ısı çekme kapasitesi $E = 50$ W/m.

$$K = 4,9 \text{ kW}$$

$$\text{Sonda uzunluğu } L = K/E = 4900 \text{ W}/50 \text{ W/m} = 98 \text{ m} \approx 100 \text{ m.}$$

Sonda için seçilen boru: 0,531 l/m ile PE 32 x 3,0 (2,9) (PE SDR 11), çap 1 1/4".

2.6.2 PV sistemi seçimi

PV sistem ve komponentleri, BES'in yıllık elektrik enerjisi gereksimini karşılamak üzere Sunvital'den alınan teklife göre Şekil 2.48'de görüldüğü gibi oluşmuştur. Seçilen sistemin, sağlayıcının hesaplarına göre ihtiyacı karşılamakta olduğundan SEB tanımını karşılamaktadır. Sistem, şebeke bağlantılı olduğu için, PV elektrik üretiminin yetersiz olduğu durumlarda, dış hatlardan beslenecektir.

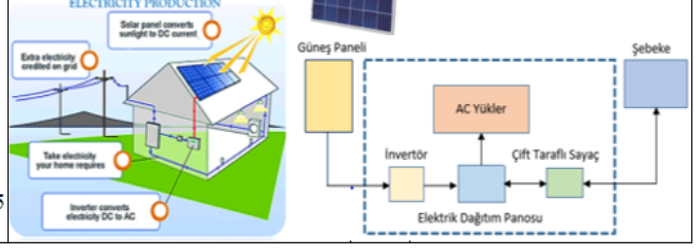
Önerilen HT Poly marka, HT60-156P model, gücü 275 Wp (toplam 3,575 Wk), verimliliği 16,9 olan polikristal bir paneldir.

Optimum çalışma voltajı 38,2 V, optimum çalışma akımı 8,37 A'dir.

İstenen yükü karşılayacak şekilde 13 adet olarak hesaplanmıştır. Bunun için 21,15 m²'lik bir alan gerekmekte olup 45°'lik çatının güneye bakan cephesinin üçte ikisi yeterli olacaktır.

Sistem bileşenleri; 5000 W'lık bir invertör, bağlantı kutusu, DC-AC pano, kablo, konnektör ve çift yönlü sayaçtır.

Cihazın adı / özellikleri	PV panel	Cihazın bileşenleri	Sistemin bileşenleri
Markası	HT Poly	Hücre tipi - ölçüsü, mm: polikristal-156,75x156,75	Bağlantı kutusu: IP67
Modül modeli	HT60-156P	Hücre adedi : 60 (6x10)	İnvertör, 5000W
Modül max.(STC) gücü, W _p	275	Ön cam, yüksek iletkenlikli : temperli	DC-AC pano
Toplam güç, kW _p / (adet)	3,575 / (13)	Çerçeve : alüminyum alaşım	Kablo, mm ² (IEC), mm: 4, 900
Panel verimliliği (%)	16,9	Alüminyum konstrüksiyon	Konnektörler: MC4/MC4 uyumlu
Açık -devre voltajı (V _{oc}), V	38,2		Çift yönlü sayaç
Kısa-devre akımı (I _{sc}), A	9,18		
Opt. çalışma voltajı (V _{mp}), V	31,7		
Opt. çalışma akımı (I _{mp}), A	8,37		
Güç toleransı, W	0 ~ + 5		
Max. sistem voltajı (DC)(IEC),V	1000/1500		
Max. seri sigorta reytinji, A	15		
Çalışma sıcaklığı, °C	-40 ila +85		
Boyutları, mm	1640x992x35		
Ağırlığı, kg	18,5		



Şekil 2.48 : HT polikristal PV panel ve bileşenleriyle sistem bileşenleri ve şeması.

2.7 Ekonomik Analiz

Ekonomik olarak amaç; bütün yıl tam kapasitede veya ona yakın olarak çalışabilen ve talebin % 100'ünü tam karşılayamasa da; eksikliğini yardımcı sistemlerden tamamlayabilen bir solar sistem tasarlamaktır. Zira; böyle bir sistem, enerji yükü talebini tam karşılayan büyük sistemlerden daha ekonomiktir. Güneş enerjisi tarafından karşılanan yıllık yükün toplam enerji yüküne oranına, *solar fraksiyon* “güneş karşılama oranı” denir.

Konu sürecin ekonomik analizi için P1, P2 metodu kullanılmıştır [44].

Bu çalışmada analiz edilen “ısı pompalı, yerden ısıtılmalı ve fan-coilli ve split klimalı, elektriği PV sistem tarafından karşılanan sistem” S1; “kombili, yerden ısıtılmalı ve split klimalı, şebekeden beslenen elektrikle çalışan sistem” S2 olarak adlandırılmış ve aralarındaki yatırım farkı hesap edilerek S1 yatırımının geri dönüş süresi değerlendirilmiştir.

Bakım, parazitik ve yakıt giderlerinden oluşan işletme maliyeti içinde sadece yakıt maliyeti dikkate alınmıştır.

Yakıt kazançları S1’in yakıt maliyetiyle (sıfır kabul edilmiştir), S2 arasındaki (S2’ye ait şebeke elektriği ve doğalgaz) yıllık maliyet farkıdır.

S1 ve S2 yatırımlarının gerekli enerji ihtiyaçlarını karşılayacak maliyetleriyle ilgili eşitlik;

Yıllık maliyet = mortgage ödemesi + yakıt maliyeti – bakım maliyeti + parazitik enerji maliyeti + emlak vergisi + sigorta maliyeti – gelir vergisi kazançları (2.86)

SEB ile ilgili eşitlik için, sigorta ve vergi de dikkate alınmadığından sadece ilk iki parametre geçerlidir. Denklemi yakıt kazancından sadece iki sistem arasındaki extra maliyetleri çıkararak da kurgulamak mümkündür.

Bugünkü para, n yıl sonraki aynı miktar paradan daha değerlidir. Bugünden yıl “n”e kadar yapılan bir nakit akışının (F), piyasa iskonto oranı (d) ile bugünkü değeri (P);

$$P = \frac{F}{(1+d)^n} \quad (2.87)$$

Para değerinden her yıl $1/(1+d)^n$ kadar değer kaybeder. Bu durumda n 'inci yıldaki paranın değeri aşağıdaki eşitlikle bulunabilir;

$$PW_n = \frac{1}{(1+d)^n} \quad (2.88)$$

Enflasyon dolayısıyla n-yıl sonra değeri değişen satınalma maliyetini eşitlik (2.89)'dan hesaplayabiliriz;

$$F = C(x + a)^{n-1} \quad (2.89)$$

Yatırımın veya maliyetin, enflasyonla birlikte n-yıl sonraki bugünkü (iskontolu) değerini (bir tek ödemenin) hesaplamak için ise eşitlik (2.86) kullanılır;

$$PW_n = \frac{C(1+i)^{n-1}}{(1+d)^n} \quad (2.90)$$

n-ödemeyi bir araya getirip toplamak için ise şu eşitlik kullanılır;

$$TPW = \left[\sum_{j=1}^n \frac{(1+i)^{j-1}}{(1+d)^j} \right] = C[PWF(n, i, d)] \quad (2.91)$$

Buradaki PWF (n, i, d) = şimdiki değer faktörünü aşağıdaki eşitlik verir;

$$PWF(n, i, d) = \sum_{j=1}^n \frac{(1+i)^{j-1}}{(1+d)^j} \quad (2.92)$$

Eşitlik (2.88)'in çözümü aşağıdadır;

Eğer $i = d$ ise, şimdiki değer faktörü

$$PWF(n, i, d) = \frac{n}{1+i} \quad (2.93)$$

Şayet $i \neq d$ ise;

$$PWF(n, i, d) = \frac{1}{d-i} \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^n \right] \quad (2.94)$$

PWF enflasyon oranını sıfıra (0) ve piyasa iskonto oranını da mortgage faiz oranına (d_m) eşitleyerek bulabiliriz;

$$PWF(n_L, 0, d_m) = \frac{1}{d_m} \left[1 - \left(\frac{1}{1+d_m} \right)^{n_L} \right] \quad (2.95)$$

Burada n_L = borcun eşit taksitlerle ödeneceği yıl sayısı

Eğer borcun ana parası M ise;

$$\text{Periyodik ödeme} = \frac{M}{PWF(n_L, 0, d_m)} \quad (2.96)$$

Bütün ödemelerin şimdiki değeri ilgili xls programıyla çözülebilir.

Güneş enerji kazançlarının her yılki değeri toplanarak ise;

$$PW_{LCS} = \sum_{j=1}^n \frac{\text{Solar enerji kazançları}}{(1+d)^j} \quad (2.97)$$

Ekonomik analizle ilgili hesaplamalar, bu eşitliklerle hazırlanmış xls programında gerçekleştirilmiştir.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Isıtma Pik Yüğü

Isı pompalı, yerden ısıtmalı, fan-coilli sistemin ısıtma tasarım (pik) yüğü; -6 °C dış ortam sıcaklığı itibariyle 4.586 W (yaklaşık 4,6 kW) olarak hesaplanmıştır.

Kombili, yerden ısıtmalı, fan-coilli sistemin ise ısıtma pik yüğü 4.551 W olarak bulunmuştur.

3.2 Soğutma Pik Yüğü

Ağustos ayı 36,6 °C dış ortam sıcaklığı itibariyle, ısı pompalı sistem için, soğutma tasarım (pik) yüğü 10.015 W (yaklaşık 10 kW) olarak hesaplanmıştır.

Kombili sistem için ise; soğutma pik yüğü 10.039 W olarak bulunmuştur.

3.3 Enerji Simülasyon Sonuçları

3.3.1 Isı pompalı, yerden ısıtmalı, fan-coilli sistemin enerji simülasyonu

Binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ise 6.284 kWh/yıl; soğutma enerjisi ihtiyacı ise 2.180 kWh/yıl bulunmuştur.

Sistem, % 44,4'ü HVAC, kalanı HVAC-Dışı cihazlar için olmak üzere toplam 4.283 kWh elektrik enerjisi harcamaktadır (Çizelge 3.1). Isıtma için 1.158 kWh elektrik harcanırken en fazla tüketim 1.688 kWh'le elektrik ekipmanları tarafından. Soğutma içinse toplam 446 kWh tüketilmektedir. Aylık tüketimde ısıtma ile birleşen ekipmanı tüketimi ocak ayında en yüksek değere 533 kWh'e çıkmaktadır (Çizelge 3.2). Nisan ayı 215 kWh ile en düşük tüketimin olduğu aydır. Aylık ortalama 356,9 kWh olarak gerçekleşmektedir. Birim alan başına düşen enerji miktarı yaklaşık 103 kWh/m² ve bunun içinde HVAC % 44,3'ünü oluşturmaktadır. Çizelge 3.3de ise enerji tiplerinin -ki ısı pompalı sistemde doğalgaz olmadığı için sadece elektrik enerjisi söz konusudur- Çizelge 3.1'deki bilgilerin aylara göre dağılmış özeti görünmektedir.

Çizelge 3.1 : Sistem bileşenlerinin saha ve kaynak enerjisi tüketimi.

Bileşen	Saha Enerjisi (kWh)	Saha Enerjisi (kWh/m ²)	Kaynak Enerjisi (kWh)	Kaynak Enerjisi (kWh/m ²)
Hava Sistemi Fanları	208	4,991	742	17,826
Soğutma	446	10,723	1.593	38,297
Isıtma	1.158	27,834	4.135	99,406
Pompalar	90	2,174	323	7,765
Isı Atma Fanları	0	0,000	0	0,000
HVAC Alt-Toplam	1.902	45,722	6.793	163,294
Aydınlatma	415	9,972	1.481	35,612
Elektrik Ekipmanı	1.688	40,570	6.027	144,891
Çeşitli Elektrik	278	6,687	994	23,883
Çeşitli Yakıt Kullanımı	0	0,000	0	0,000
HVAC Dışı Alt-Toplam	2.381	57,228	8.502	204,386
Genel Toplam	4.283	102,951	15,295	367,680

Çizelge 3.2 : Sistem bileşenlerinin aylık enerji kullanımı.

Bileşen	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Top
Hava Sistem Fanları (kWh)	18	16	18	17	18	17	18	18	17	18	17	18	210
Soğutma													
Elektrik (kWh)	0	0	0	7	30	86	141	137	45	0	0	0	446
Doğalgaz (m ³) (md)*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isıtma													
Elektrik (kWh)	272	221	174	0	0	0	0	0	0	97	158	237	1.159
Doğalgaz (m ³) (md)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pompalar (kWh)	10	9	9	1	5	7	8	8	5	9	9	10	90
Isı atım fanları (kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aydınlatma (kWh)	40	36	40	27	28	27	28	28	39	40	39	40	412
Elektrik Ekip (kWh)	143	129	143	139	143	139	143	143	139	143	139	143	1.686
Çeşitli Elektrik (kWh)	50	45	37	24	6	0	0	0	6	25	36	50	279
Çeşitli Yakıt													
Doğalgaz (m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam	533	456	421	215	230	276	338	334	251	332	398	498	4.283

HAP'ın Raporlama formatı içinde, aynı bilgiler farklı başlıklar altında ele alınarak değerlendirildiği için sonuçlar arasındaki ortak yönler (benzerlikler) dikkat çekebilir.

Çizelge 3.3: Enerji tiplerinin aylık enerji kullanımı.

Aylar	HVAC		HVAC- Dışı		TOPLAM	
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (m ³)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (m ³)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (m ³)
Ocak	299	0	233	0	532	0
Şubat	246	0	211	0	457	0
Mart	201	0	221	0	422	0
Nisan	25	0	190	0	215	0
Mayıs	52	0	178	0	230	0
Haziran	109	0	166	0	275	0
Temmuz	167	0	172	0	339	0
Ağustos	163	0	172	0	335	0
Eylül	68	0	184	0	252	0
Ekim	123	0	208	0	331	0
Kasım	184	0	214	0	398	0
Aralık	264	0	233	0	497	0
Toplam	1.902	0	2.381	0	4.283	0

Çizelge 3.4’de de yıllık tüketimin aylara göre dağılımıyla birlikte, her ayın max. güç olarak talep miktarını ve ayın hangi gününde gerçekleştiği görülmektedir. Buna göre talep 5,8 ile 7,0 kW arasında değişmekte olup; ocak, şubat en yüksek aylardır.

Çizelge 3.4 : Elektrik faturalama enerji detayları.

Faturalama Dönemi	Toplam Tüketim (kWh)	Max. Talep (kW)	Max. Talep Zamanı (ay/gün)
Ocak	532	7,0	1/15
Şubat	456	7,0	2/14
Mart	422	6,5	3/8
Nisan	215	6,0	4/11
Mayıs	230	5,8	5/27
Haziran	275	5,8	6/19
Temmuz	339	5,8	7/21
Ağustos	335	5,8	8/17
Eylül	251	6,0	9/3
Ekim	332	5,8	10/28
Kasım	398	6,5	11/29
Aralık	497	6,9	12/24
Yıllık Toplam	4.283	(ort=6.2 kW)	
Aylık Ortalama	356,9		

3.3.2 Kombili, yerden ısıtmalı, split-klimalı sistemin enerji simülasyonu

Kombili, yerden ısıtmalı, split-klimalı sistemde ısıtma için yıllık 6.834 kWh’lik enerji (doğalgaz) kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Bundan dolayı HVAC toplamı 8.133 kWh ile toplam 11.302 kWh’lik harcamanın % 72’sini oluşturmaktadır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 : Sistem bileşenlerinin saha ve kaynak enerjisi tüketimi.

Bileşen	Saha Enerjisi (kWh)	Saha Enerjisi (kWh/m ²)	Kaynak Enerjisi (kWh)	Kaynak Enerjisi (kWh/m ²)
Hava Sistemi Fanları	517	12,431	1.847	44,397
Soğutma	768	18,452	2.741	65,899
Isıtma	6.834	164,270	6.903	165,934
Pompalar	14	0,348	52	1,242
Isı Atma Fanları	0	0	0	0,000
HVAC Alt-Toplam	8.133	195,500	11543	277.472
Aydınlatma	415	9,972	1.481	35,612
Elektrik Ekipmanı	1.688	40,570	6.027	144,891
Çeşitli Elektrik	0	0,000	0	0,000
Çeşitli Yakıt Kullanımı	1.067	25,639	1.067	25,639
HVAC - Dışı Alt-Toplam	3.169	76,180	8.576	206.143
Genel Toplam	11.302	271,681	20.118	483.615

Aylara göre ise ort. 285,7 kWh elektriğin yanında yıllık toplam 820 m³ de doğalgaz tüketilmektedir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6 : Sistem bileşenlerinin aylık enerji kullanımı.

Bileşen	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Top.
Hava Sistem Fanları (kWh)	44	40	44	43	44	43	44	44	43	44	44	44	521
Sogutma													
Elektrik (kWh)	0	0	0	11	48	146	249	241	73	0	0	0	768
Doğalgaz (m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isitma													
Elektrik (kWh)	6	5	4	0	0	0	0	0	0	2	4	6	27
Doğalgaz (m ³)	170	137	105	0	0	0	0	0	0	56	95	146	709
Pompalar (kWh)	3	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2	3	14
Aydınlatma (kWh)	40	36	40	27	28	27	28	28	39	40	39	40	412
Elektrik Ekipmanı (kWh)	143	129	143	139	143	139	143	143	139	143	139	143	1686
Cesimli Yakıt													
Doğalgaz (m ³)	22	20	14	8	2	0	0	0	2	8	13	22	111
Toplam (kWh)	236	212	233	220	263	355	464	456	294	231	228	236	3428
Toplam (m³)	192	157	119	8	2	0	0	0	2	64	108	168	820

820 m³'lük bu tüketimin % 86'sı ısıtma amaçlı (HVAC) tüketimdir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7 : Enerji tiplerinin aylık enerji kullanımı.

Aylar	HVAC		HVAC - Dışı		TOPLAM		
	Aylık elektrik tüketimi (kWh)	Aylık doğalgaz tüketimi (m ³)	Aylık elektrik tüketimi (kWh)	Aylık doğalgaz tüketimi (m ³)	Aylık elektrik tüketimi (kWh)	Aylık doğalgaz tüketimi (m ³)	Aylık doğalgaz enerji tüketimi (kWh)
Ocak	53,0	170,0	184,0	22,0	237,0	192,0	1841,9
Şubat	47,0	137,0	166,0	20,0	213,0	157,0	1506,1
Mart	50,0	105,0	184,0	14,0	234,0	119,0	1141,6
Nisan	53,0	0,0	166,0	8,0	219,0	8,0	76,7
Mayıs	92,0	0,0	172,0	2,0	264,0	2,0	19,2
Haziran	188,0	0,0	166,0	0,0	354,0	0,0	0,0
Temmuz	293,0	0,0	172,0	0,0	465,0	0,0	0,0
Ağustos	285,0	0,0	172,0	0,0	457,0	0,0	0,0
Eylül	116,0	0,0	178,0	2,0	294,0	2,0	19,2
Ekim	48,0	56,0	184,0	8,0	232,0	64,0	614,0
Kasım	48,0	95,0	178,0	13,0	226,0	108,0	1036,0
Aralık	52,0	146,0	184,0	22,0	236,0	168,0	1611,6
Yıllık Toplam	1.326	709,0	2.103	111,0	3.429	820,0	7866,3
Ortalama	110,5	59,1	175,3	9,25	285,8	68,3	655,5

Çizelge 3.8'e bakıldığında ise tüketim ve güç talebinin split – klima dolayısıyla temmuz, ağustos aylarında yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu görülecektir. Bu nedenle; HVAC-Dışı aylık ortalama 175 kWh iken, aylık ortalaması 110 kWh olan HVAC elektrik sarfi temmuz-ağustosta 300 kWh'e yaklaşmıştır.

Çizelge 3.8 : Elektrik faturalamanın enerji detayları.

Faturalama Dönemi	Toplam Tüketi (kWh)	Maksimum Talep (kW)	Max. Talep Zamanları (ay/gün)
Ocak	237	5,0	1/12
Şubat	213	5,0	2/14
Mart	234	5,0	3/8
Nisan	219	5,4	4/11
Mayıs	264	6,1	5/27
Haziran	354	6,5	6/19
Temmuz	465	6,7	7/21
Ağustos	456	6,4	8/19
Eylül	294	6,3	9/4
Ekim	232	4,9	10/28
Kasım	226	5,0	11/29
Aralık	236	5,0	12/24
Toplam	3.429	(ort=5,6 kW)	

İki sistem (S1 ve S2) arasındaki enerji tüketim farkları Çizelge 3.9'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ancak S2'nin içinde doğalgaz farkı yansıtılmamıştır.

Çizelge 3.9 : İki sistem arasında faturalamaya esas enerji sarf detayları.

S1-Sistem 1, S2-Sistem 2 Faturalama Dönemi	S1 Toplam Tüketim (kWh)	S2 Toplam Tüketim (kWh)	S1 - S2 Fark (kWh)	S1 Max. Talep (kW)	S2 Max. Talep (kW)	S1 - S2 Fark (kW)
Ocak	532	237	295	7,0	5,0	2,0
Şubat	456	213	243	7,0	5,0	2,0
Mart	422	234	188	6,5	5,0	1,5
Nisan	215	219	-4	6,0	5,4	0,6
Mayıs	230	264	-34	5,8	6,1	-0,3
Haziran	275	354	-79	5,8	6,5	-0,7
Temmuz	339	465	-126	5,8	6,7	-0,9
Ağustos	335	456	-121	5,8	6,4	-0,6
Eylül	251	294	-43	6,0	6,3	-0,3
Ekim	332	232	100	5,8	4,9	0,9
Kasım	398	226	172	6,5	5,0	1,5
Aralık	497	236	261	6,9	5,0	1,9
Yıllık Toplam	4.283	3.429	854,0	max. 7,0	5,0	2,0
Aylık Ortalama	356,9	285,8	71,1	min. 5,8	4,9	0,9
(Sistem 1 / Sistem 2)*	1,25			1,2	1,0	0,2

*Sistem 1: Isı pompalı yerden ısıtmalı - fancoil; Sistem 2: Kombili, yerden ısıtmalı - split klimalı

S1'e pik günlerde split klima ilavesi tercihi, alınan tekliflerden sonra ortaya çıkmıştır.

Çizelge 3.10 : S2'nin elektrik ve doğalgaz enerji sarfları (birleşik).

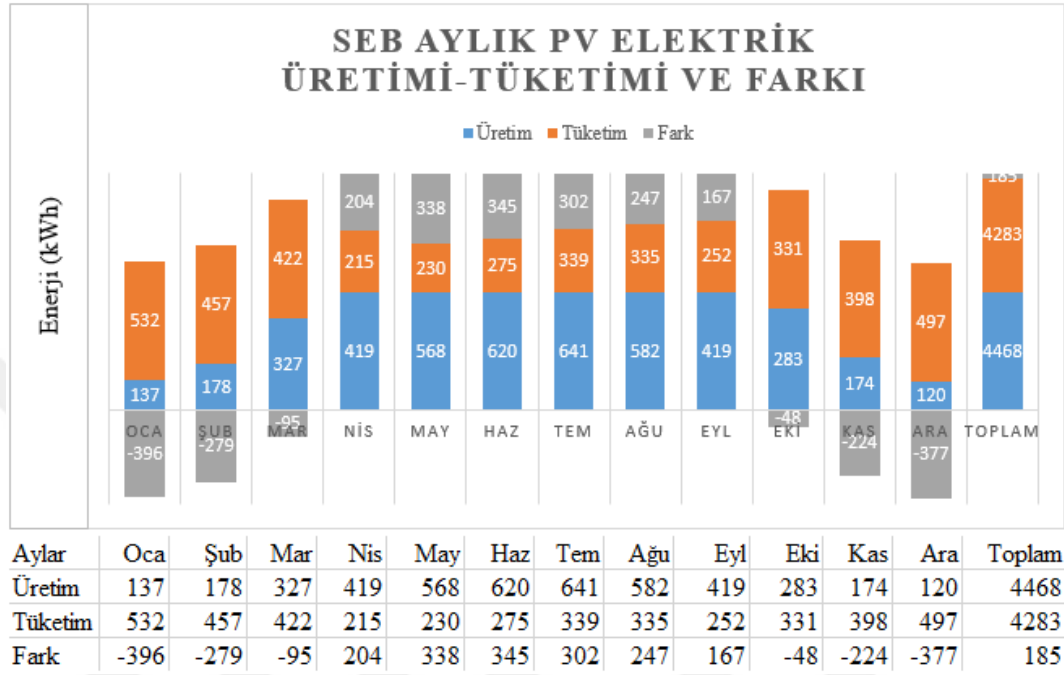
Faturalama Dönemi	S2 Aylık HVAC doğalgaz tüketimi (m ³)	S2 Aylık HVAC-Dışı doğalgaz tüketimi (m ³)	S2 Aylık toplam doğalgaz tüketimi (m ³)	S2 Aylık toplam doğalgaz enerji tüketimi (kWh)
Ocak	170	22	192,0	1841,9
Şubat	137	20	157,0	1506,1
Mart	105	14	119,0	1141,6
Nisan	0	8	8,0	76,7
Mays	0	2	2,0	19,2
Haziran	0	0	0,0	0,0
Temmuz	0	0	0,0	0,0
Ağustos	0	0	0,0	0,0
Eylül	0	2	2,0	19,2
Ekim	56	8	64,0	614,0
Kasım	95	13	108,0	1036,0
Aralık	146	22	168,0	1611,6
Yıllık Toplam	709	111	820,0	7866,3
Aylık Ortalama	59,08	9,25	68,33	655,5

Doğalgazın hesaplamaları için HAP'a 8250 kcal/m³ alt ısı değeri girilmiş olup çıkan sarfiyat değerleri bu değer üzerinden hesaplanmıştır. Bursagaz'ın web sitesinde Bursa, 2018 yılı için verilen (2019 aylarına ait değerler henüz girilmemiştir) aylık ortalama üst ısı değeri üzerinden düzeltme yapılmak istenirse, ortaya yıllık yaklaşık 100 m³'lük bir fark çıkmaktadır. Ocak 2019 referans fiyatlarıyla yıllık 127 ₺ yapan bu fark ihmal edilebilir olarak değerlendirilmiştir. HAP tarafından enerji tüketiminde sadece m³ olarak değerlendirilen doğalgazın; maliyet hesaplamadaki etkisi, yakıt fiyatı üzerinden dikkate alınmıştır.

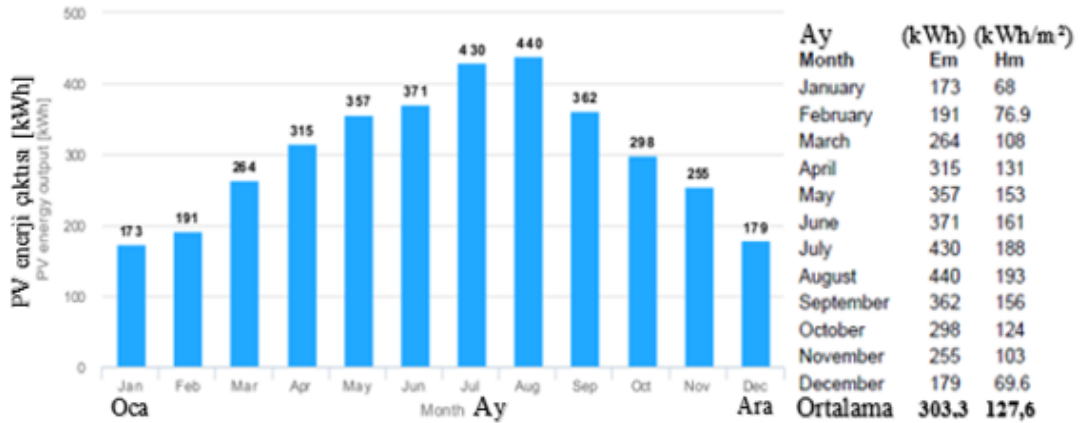
3.4 PV Panel Hesap Sonuçları

PV panel hesapları; 4283 kWh'lik elektrik enerjisi ihtiyacının yaz aylarında soğutma için ısı pompasının yetersiz kalması durumlarda takviye klimanın enerji ihtiyacını karşılaması amacıyla biraz yüksek tutulmuştur. Çünkü soğutma yükü, ısıtmaya göre seçilen ısı pompasının, katalog değeri olduğu ve bunun da tasarım soğutma yükünü karşılamaması dolayısıyla, gerektiği durumlarda takviye için sisteme küçük bir, çift iç üniteli split klima ilave edilmiştir. Buna göre PV elektrik üretim 4.468 kWh tahmin

edilmektedir (Şekil 3.1). PV panelin (boy x en x kalınlığı: 1640 mm x 992 mm x 35 mm.) olan ölçüleriyle 13 adedi için 21,15 m²'lik bir alana ihtiyaç olup çatının 45° açılı, güneşe bakan ve 31,5 m² olan alanı; 6 ve 7'li iki sıra halinde bir yerleşim için uygun ve yeterlidir. Şekil 3.2 'de PVGIS 'le hesaplanan sonuçlar görülmektedir.



Şekil 3.1 : SEB'in aylara göre PV elektrik üretimi, tüketimi ve farkı.



Şekil 3.2 : PVGIS'le hesaplanan SEB'nin aylık PV elektrik enerjisi üretimi.

Sistem sağlayıcının sunduğu aylık değerler, PVGIS'in verileriyle (Çizelge 3.11) ile karşılaştırıldığında (karşılaştırma her ikisi için de 3,3 kWp üzerinden yapılmıştır); teklifdeki sonuçlarının kış aylarında düşük; yaz aylarında ise oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bunun bir açıklaması da teklifte panel eğim açısının 45°'den çok daha düşük olarak hesaplanmış olma olasılığıdır. Bunun dışında kış aylarının daha düşük,

yaz aylarının daha yüksek çıkmasını açıklayacak bir sebep görülememiştir. Bu durumla ilgili sistem sağlayıcıdan bilgi de alınamamıştır.

Çizelge 3.11 : SEB PV sistem enerji hesaplama sonuçları karşılaştırması (kWh).

	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Top.
SUNVITAL	126	164	302	387	524	572	592	537	387	261	161	111	4124
PVGIS	173	191	264	315	357	371	430	440	362	298	255	179	3635
FARK	-47	-27	38	72	167	201	162	97	25	-37	-94	-68	489
%	-37	-16	12,6	18,6	31,9	35,1	27,4	18,1	6,46	-14	-58	-61	11,9

Bölüm 2.4 'de verilen son eşitlikle yakl. 21 m² panel alanı ve 13 adet panel hesabıyla sistem sağlayıcısı ve PVGIS arasındaki sonuçlar birbirine uzak değildir.

3.5 Güneş Kollektörü - Sıcak Su Hesap Sonuçları

Güneş ışınımının en fazla olduğu temmuz ayında sıcak su gereksinimini % 100 karşılayacak şekilde f-chart yöntemiyle yapılan hesaplamalarda Çizelge 3.12 'de görülen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.12 : Sıcak su hesaplama sonuçları.

AY	DGSa	L	X	Y	fa	YDF	fa*YDF
1	1109,8	9,32E+08	4,89E+00	0,817294	0,41428	1,07E-01	0,0442229
2	1036	8,70E+08	4,6913353	0,929756	0,496888	0,099648	0,0495139
3	1109,8	9,32E+08	4,7454254	1,108705	0,60108	0,106746	0,0641632
4	984	8,27E+08	4,9204853	1,414241	0,749798	0,094646	0,0709656
5	880,4	7,40E+08	5,3707144	1,920851	0,927788	0,084682	0,0785665
6	714	6,00E+08	6,0828829	2,562041	1,060936	0,068676	0,0728611
7	644,8	5,42E+08	6,7293981	3,150507	1,126504	0,062020	0,0698661
8	601,4	5,05E+08	7,2435802	3,064023	1,094838	0,057846	0,0633318
9	633	5,32E+08	7,0275418	2,562616	1,021939	0,060885	0,0622210
10	784,3	6,59E+08	6,1747615	1,818997	0,857775	0,075438	0,0647089
11	873	7,33E+08	5,6286077	1,279365	0,651645	0,083970	0,0547185
12	1026,1	8,62E+08	5,1604086	0,868508	0,435482	0,098696	0,0429802
						fy =	0,7381198

Ac	FRTAn	FRUL	DGSy	Ly	Qy (j)	Ly+Qy
4,64	0,8	4,3	10396,6	8,74E+09	1,22E+11	1,31E+11

Bu sonuçlara göre; aylık ısıtma yükünü güneşin karşılama oranı,

$fa = 1,126504$ bulunmuş ve bu sonuç > 1 olduğu için öngörülen 2,64 m²'lik kollektör alanı yeterli çıkmıştır.

Buna göre öngörülen 2 adet x 1,32 m²/adet kollektör, bu kapasitesiyle temmuz ayı için

İhtiyacın yaklaşık % 13 fazlasını ve toplamda yıllık ihtiyacın da dörtte üçünü karşılayabilmektedir ($f_y = 0,7381198$).

İhtiyacın en fazla olduğu ocak ayında, gerekli enerji = 9320 kJ; güneş kollektörü tarafından üretilen enerji ise = 3861 kJ ($9320 \times 0,41428$)'dür. Gerekli olan takviye enerjisi ise = 5459 kJ (=1,517 kWh) olup ısı pompası tarafından sağlanacaktır.

3.6 Maliyet Hesapları

3.6.1 İlk yatırım maliyeti

Önceki bölümlerde S1 ve S2 adı altında gruplandırılan ısı pompalı, yerden ısıtılmalı ve fan-coilli (+ küçük bir split klimalı) alternatif sistemle karşılaştırılan klasik sistemin ilk yatırım detayları Çizelge 3.13'de görülmektedir. Euro cinsinden girilen fiyatlar, 02 Ocak 2019'daki kur oranı üzerinden değerlendirilmiştir. Verilen tarihte geçerli olan ₺ / € kuru 6,1196 ₺/€'dur. HAP 4.4 ve diğer tüm hesaplamalarda referans alınmıştır. S1'in % 28,12'si € bazlı satınalma fiyatlarına dayanmaktadır. Buna göre maliyet karşılaştırması için sistem tanımları;

S1 = Isı pompası grubu + yerden ısıtma grubu + fan-coil (2 ad.) + split klima (çift iç üniteli, 1 ad.)

S2 = Kombi (1 ad.) + yerden ısıtma grubu + split klima (2 ad.) olarak yapılmıştır.

S1 grubunun nihai yatırım maliyeti (KDV dahil); 174.469,00 ₺; S2 grubunun yatırım maliyeti ise (KDV dahil); 31.675,00 ₺'dir. Aradaki fark ise (KDV dahil); 142.794 ₺'dir.

Bu farktan % 20 peşinat düşüldüğünde kredi olarak alınacak miktar; 114.400,00 ₺ olarak görünmektedir.

Yatırımın geri dönüşüyle ilgili sonuçlar; P1, P2 metoduyla hazırlanmış programın içinde bölüm 3.6.3'te detaylarıyla birlikte incelenecektir.

Çizelge 3.13 : S1 ve S2 gruplarının ilk yatırımı maliyetleri ve aralarındaki fark.

İlk yatırım maliyeti hesabı

S1 maliyet grubu	marka/model	adet	bir. fiyat	top. tutar	+%18 kdv'li tutar
ısıtma ve soğutma sistemi (isk)				147.855	174.469
ısı merkezi			€	9.204	€ 66.536
ısı pompası	vitokal 300g	1	6.383	€ 6.383	€ 46.143
devre elemanları			2.084	€ 2.084	€ 15.065
donanımlar			737	€ 737	€ 5.328
yerden ısıtma	rehau		2204	€ 2204	€ 15.933
fan-coil	olimpia	2	460,78	€ 922	€ 6.665
solar sıcak su			2917	€ 2917	€ 21.087
kollektör	vitocal 100fm	2	427,12	€ 854	€ 6.174
devre elemanları				€ 2.063	€ 14.913
pompalar		2		€ 466	€ 3.365
ısıtma	grundfos		259,11	€ 259,11	€ 1.873
resirkülasyon	grundfos		207,02	€ 207,02	€ 1.497
diğerleri				₺ 24.417	₺ 28.812
boru, bağlantı elemanları ve aks.				7.277	₺ 8.587
mek. işler ve işçilik				5.640	₺ 6.655
kablolama, pano ve elk. işçilik				3.500	₺ 4.130
proje, devreye alma, test ve kont.				8.000	₺ 9.440
% 10 iskonto ile birlikte toplam				126.799	149.623
split-klima (çift iç, tek dış üniteli)	Toshiba	1			₺ 7.500
sondaj kuyu açma ve borulama				14.700	₺ 17.346
PV sistem				₺ 19.769	₺ 22.369
panel 275W poly / A klas	HT	13	812,5	₺ 10.563	₺ 11.505
İnvertör 5000W	ABAX	1	3687,5	₺ 3.688	₺ 4.351
DC-AC pano		1	625	₺ 625	₺ 738
çift yönlü sayaç	Köhler	1	1.081,4	₺ 1.081	₺ 1.276
AC-DC kablo				₺ 813	₺ 959
alüminyum konstrüksiyon				₺ 500	₺ 590
montaj ve diğer işçilikler				₺ 2.500	₺ 2.950
PV % 8 iskonto ile birlikte top.				18.187	21.461
S2 maliyet grubu		adet	bir. fiyat	tutar	+%18 kdv'li tutar
ısıtma ve soğutma sistemi top.				26.843	31.675
kombi, 24 kW	demirdöktüm	1	2895	₺ 2895	₺ 3.416
yerden ısıtma	rehau		2204	€ 13488	₺ 15.915
doğalgaz tesisatı mlz ve işçilik				₺ 3000	₺ 3.540
split-klima	airfel	2	2.480	₺ 4960	₺ 5.853
klima tesisatı mlz ve işçilik				₺ 2500	₺ 2.950
Net maliyet farkı = S1 grubu maliyeti - S2 grubu maliyeti:				121.012	142.794

2.1.2 Enerji tüketim maliyetleri

3.6.2.1 Isı pompalı, yerden ısıtmalı, fan-coilli sistemin enerji tüketim maliyetleri

Kısaca ısı pompalı sistem olarak adlandırabileceğimiz alternatif sistemin toplam enerji maliyeti 2.441 ₺ ve % 44,4'ü HVAC kaynaklıdır. Bunun içinde de ısıtmanın payı % 7, soğutmanın payı da yaklaşık %10'dur. Birim maliyet yaklaşık 59 /m²'dir.

Bileşenlere göre maliyetlerin detayları Çizelge 3.14 ve 3.15'te görülmektedir.

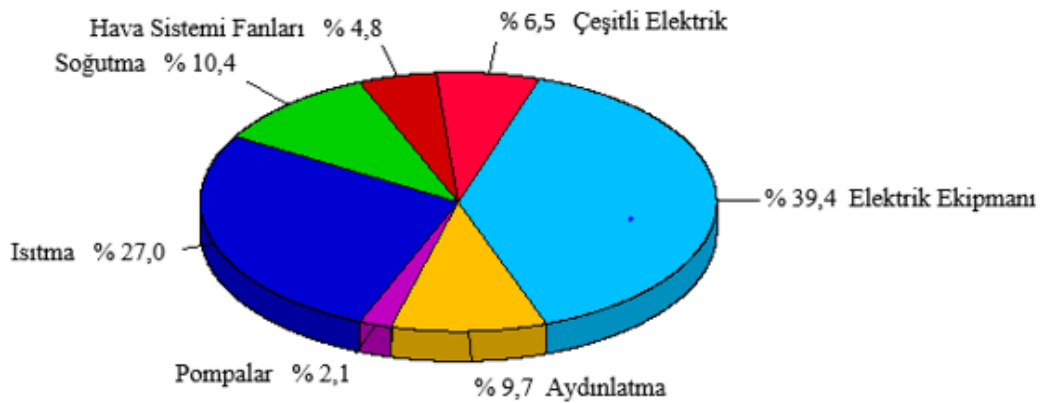
Çizelge 3.14 : Sistem bileşenlerinin yıllık toplam, birim ve % maliyetleri.

Bileşen Maliyetleri	Yıllık Maliyet	Birim Maliyet	Yüzde Maliyet
Bileşen	ISI POMPASI (TL)	ISI POMPASI (TL/m ²)	ISI POMPASI (%)
Hava Sistemi Fanları	118	2,845	4,8
Soğutma	254	6,113	10,4
Isıtma	660	15,866	27,0
Pompalar	52	1,239	2,1
Isı Atma Fanları	0	0,000	0,0
HVAC Alt-Toplam	1.084	26,063	44,4
Aydınlatma	236	5,684	9,7
Elektrik Ekipmanı	962	23,126	39,4
Çeşitli Elektrik	159	3,812	6,5
Çeşitli Yakıt Kullanımı	0	0,000	0,0
HVAC-Dışı Alt-Toplam	1.357	32,621	55,6
Genel Toplam	2.441	58,684	100,0

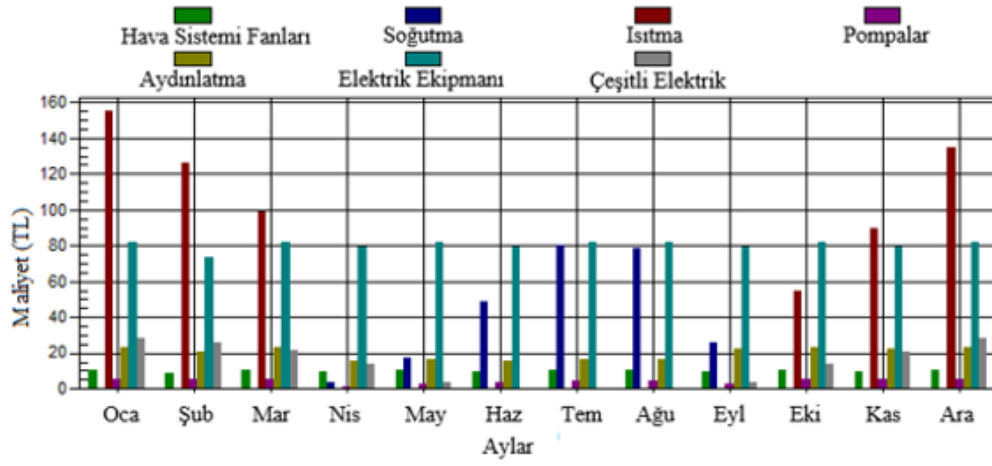
Çizelge 3.15 : HVAC ve HVAC – Dışı bileşenlerin enerji maliyetleri.

Enerji Maliyetleri	Yıllık Maliyet	Birim Maliyet	Yüzde Maliyet
Bileşen	ISI POMPASI (TL)	ISI POMPASI (TL/m ²)	ISI POMPASI (%)
HVAC Bileşenleri			
Elektrik	1.084	26,062	44,4
Doğal Gaz	0	0,000	0
HVAC Alt-Toplam	1.084	26,062	44,4
HVAC Dışı Bileşenler			
Elektrik	1.357	32,621	55,6
Doğal Gaz	0	0,000	0
HVAC-Dışı Alt-Toplam	1.357	32,621	55,6
Genel Toplam	2.441	58,684	100,0
Brüt Zemin Alanı (m ²)		41,6	
Şartlandırılmış Zemin Alanı (m ²)		41,6	

Şekil 3.3'ten de çok net olarak görüldüğü gibi enerji maliyetinin; elektrik ekipmanları yaklaşık % 40'ı, ısıtma % 27'siyle toplamın üçte ikisini oluşturmakta ve kış aylarında ısınmadan dolayı da artmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 : Bileşen maliyetlerinin yüzde olarak dağılım oranları.



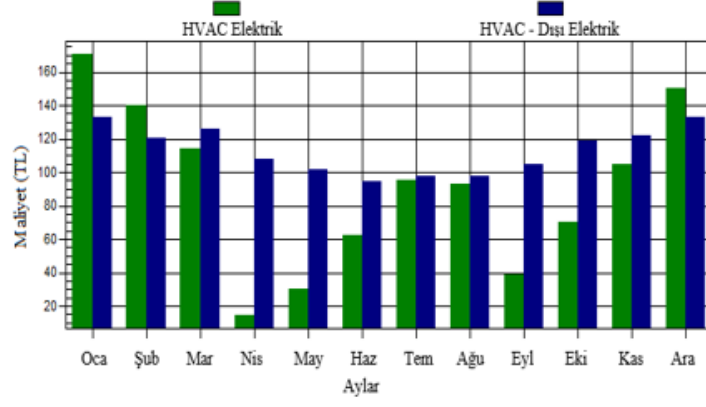
Şekil 3.4 : Aylık bileşen maliyetlerinin gidişatı.

Çizelge 3.16 : Aylara göre HVAC bileşen maliyetleri.

Aylar	Hava Sistemi Fanları (TL)	Soğutma (TL)	Isıtma (TL)	Pompalar (TL)	Isı Atım Fanları (TL)	HVAC Toplam (TL)
Ocak	10	0	155	6	0	171
Şubat	9	0	126	5	0	140
Mart	10	0	99	5	0	114
Nisan	10	4	0	1	0	15
Mayıs	10	17	0	3	0	30
Haziran	10	49	0	4	0	63
Temmuz	10	80	0	5	0	95
Ağustos	10	78	0	5	0	93
Eylül	10	26	0	3	0	39
Ekim	10	0	55	5	0	70
Kasım	10	0	90	5	0	105
Aralık	10	0	135	6	0	151
Toplam	118	254	660	52	0	1.084

Çizelge 3.17 : Aylara göre HVAC – Dışı bileşenlerin maliyetleri.

Aylar	Aydınlatma (TL)	Elektrik Ekipmanı (TL)	Çeşitli Elektrik (TL)	Çeşitli Yakıt Kullanımı (TL)	HVAC Dışı Toplam (TL)	Genel Toplam (TL)
Ocak	23	82	28	0	133	304
Şubat	21	74	26	0	120	260
Mart	23	82	21	0	126	240
Nisan	16	79	14	0	108	123
Mayıs	16	82	4	0	101	131
Haziran	16	79	0	0	95	158
Temmuz	16	82	0	0	98	193
Ağustos	16	82	0	0	98	191
Eylül	22	79	3	0	105	144
Ekim	23	82	14	0	119	189
Kasım	22	79	21	0	122	227
Aralık	23	82	28	0	133	284
Toplam	236	962	159	0	1.357	2.441



Şekil 3.5 : Aylara göre HVAC ve HVAC - Dışı Elektrik Masrafları Dağılımı.

Çizelge 3.18 : Aylık enerji tüketim fatura maliyeti.

Faturalama Dönemi	Toplam Ücret (TL)	Toplam Tüketim (kWh)
Ocak	304	532
Şubat	260	456
Mart	240	422
Nisan	123	215
Mayıs	131	230
Haziran	157	275
Temmuz	193	339
Ağustos	191	335
Eylül	143	251
Ekim	189	332
Kasım	227	398
Aralık	284	497
Yıllık Toplam	2.441	4.283
Aylık Ortalama	203,4	356,9

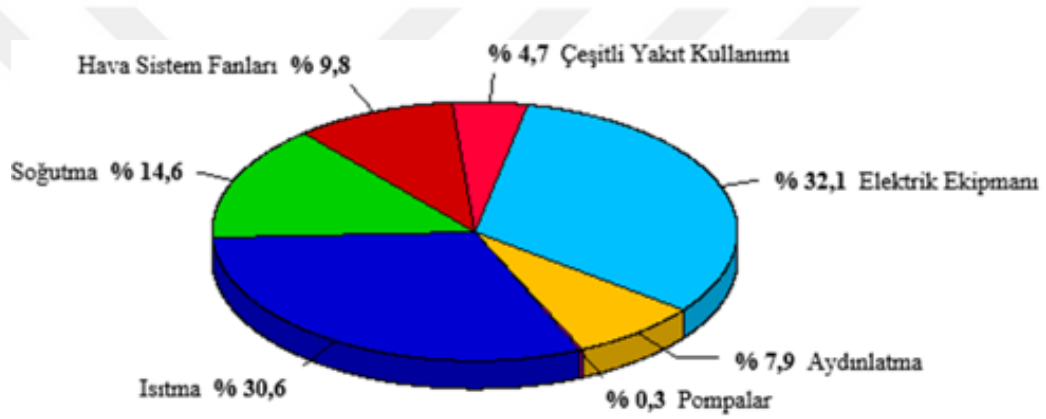
3.6.2.2 Kombili, yerden ısıtmalı, split-klimalı sistemin enerji tüketim maliyetleri

Çizelge 3.19 : Bileşenlerin yıllık toplam, birim ve yüzde maliyetleri.

Bileşen	Toplam Maliyet	Birim Maliyet	Yüzde Maliyet
	KOMBİ-SPLIT KLİMA (TL)	KOMBİ-SPLIT KLİMA (TL/m ²)	KOMBİ-SPLIT KLİMA (%)
Hava Sistemi Fanları	295	7,086	9,8
Soğutma	438	10,518	14,6
Isıtma	916	22,015	30,6
Pompalar	8	0,198	0,3
Isı Atma Fanları	0	0,000	0
HVAC Alt Toplam	1.656	39,817	55,3
Aydınlatma	236	5,684	7,9
Elektrik Ekipmanı	962	23,126	32,1
Çeşitli Elektrik	0	0,000	0,0
Çeşitli Yakıt Kullanımı	141	3,392	4,7
HVAC - Dışı Alt Toplam	1.340	32,201	44,7
Genel Toplam	2.996	72,019	100,0

Çizelge 3.20 : Klasik sistemde enerji bileşenleri yıllık tüketim ve maliyetleri.

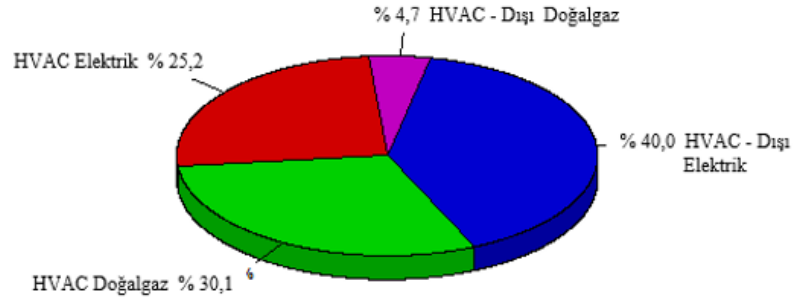
Bileşen	Toplam Maliyet	Enerji Tüketimi	Birim Maliyet	Yüzde Maliyet
	KOMBI-SPLIT KLİMA (TL)	KOMBI-SPLIT KLİMA	KOMBI-SPLIT KLİMA (TL/m ²)	KOMBI-SPLIT KLİMA (%)
HVAC Bileşenleri				
Elektrik	756 (TL)	1.326 (kWh)	20,800 (TL/m ²)	23,3 (%)
Doğalgaz	900 (TL)	709 (m ³)	20,888 (TL/m ²)	23,4 (%)
HVAC Alt-Toplam	1.656 (TL)		41,688 (TL/m²)	46,7 (%)
HVAC - Dışı Bileşenler				
Elektrik	1198 (TL)	2.103 (kWh)	44,176 (TL/m ²)	49,5 (%)
Doğalgaz	141 (TL)	111 (m ³)	3,392 (TL/m ²)	3,8 (%)
HVAC - Dışı Alt-Toplam	1.340 (TL)		47,567 (TL/m²)	53,3 (%)
Genel Toplam	2.996 (TL)	3.429 (kWh)	89,255 (TL/m²)	100,0 (%)
		820 (m²)		



Şekil 3.6 : Bileşenlerin yıllık maliyet oranları.

Çizelge 3.21: Bileşenlerin yıllık toplam, birim maliyet ve yüzdeleri.

Bileşen	Yıllık Maliyet (TL)	Birim Maliyet (TL/m ²)	Toplamın Yüzdesi (%)
Hava Sistemi Fanları	295	7,086	9,8
Soğutma	438	10,518	14,6
Isıtma	916	22,015	30,6
Pompalar	8	0,198	0,3
Isı Atma Fanları	0	0,000	0,0
HVAC Alt- Toplam	1.656	39,817	55,3
Aydınlatma	236	5,684	7,9
Elektrik Ekipmanı	962	23,126	32,1
Çeşitli Elektrik	0	0,000	0,0
Çeşitli Yakıt Kullanımı	141	3,392	4,7
HVAC - Dışı Alt- Toplam	1.340	32,202	44,7
Genel Toplam	2.996	72,019	100,0



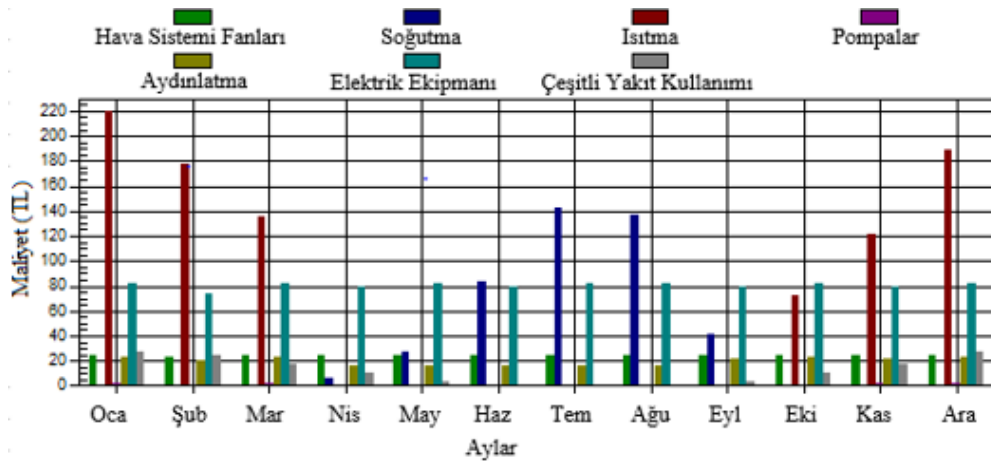
Şekil 3.7 : HVAC ve HVAC – Dışı enerji kaynakları yıllık maliyet dağılımları.

Çizelge 3.22 : HVAC ve HVAC – Dışı enerji kaynakları yıllık maliyet değerleri.

Bileşen	Yıllık Maliyet (TL/Yıl)	Birim Maliyet (TL/m ²)	Toplamın Yüzdesi (%)
HVAC Bileşenleri			
Elektrik	756	18,171	25,2
Doğalgaz	900	21,646	30,1
HVAC Alt-Toplam	1.656	39,817	55,3
HVAC - Dışı Bileşenler			
Elektrik	1.198	28,810	40,0
Doğalgaz	141	3,392	4,7
HVAC - Dışı Alt-Toplam	1.340	32,201	44,7
Genel Toplam	2.996	72,019	100,0

Çizelge 3.23 : HVAC ve HVAC – Dışının toplam, birim maliyet ve oranları.

Bileşen	Yıllık Maliyet (TL/yr)	Birim Maliyet (TL/m ²)	Toplamın Yüzdesi (%)
HVAC	1.656	39,817	55,3
HVAC- Dışı	1.340	32,201	44,7
Genel Toplam	2.996	72,019	100,0



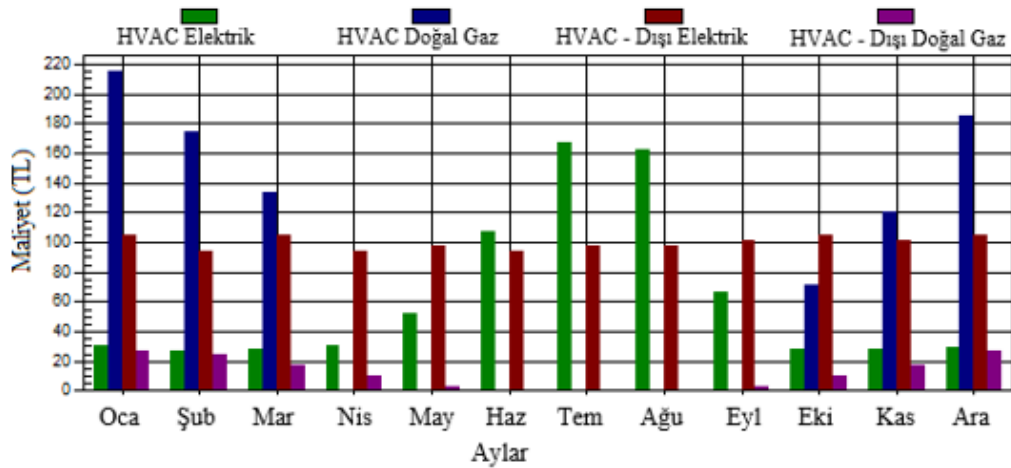
Şekil 3.8 : Kombi – split klimada bileşen maliyetlerinin aylık gidişatı.

Çizelge 3.24 : HVAC bileşenlerinin aylık maliyet değerleri.

Aylar	Hava Sistemi Fanları (TL)	Sogutma (TL)	Isıtma (TL)	Pompalar (TL)	Isı Atım Fanları (TL)	HVAC Toplam (TL)
Ocak	25	0	219	1	0	245
Şubat	23	0	177	1	0	201
Mart	25	0	136	1	0	162
Nisan	24	6	0	0	0	30
Mayıs	25	28	0	0	0	53
Haziran	24	83	0	0	0	107
Temmuz	25	142	0	0	0	167
Ağustos	25	137	0	0	0	162
Eylül	24	42	0	0	0	66
Ekim	25	0	72	1	0	98
Kasım	24	0	122	1	0	147
Aralık	25	0	189	1	0	215
Toplam	295	438	916	8	0	1,656

Çizelge 3.25 : HVAC - Dışı bileşenlerinin aylık enerji kullanım maliyet değerleri

Aylar	Aydınlatma (TL)	Elektrik Ekipmanı (TL)	Çeşitli Elektrik (TL)	Çeşitli Yakıt Kullanımı (TL)	HVAC-Dışı Toplam (TL)	Genel Toplam (TL)
Ocak	23	82	0	27	132	377
Şubat	21	74	0	25	119	320
Mart	23	82	0	18	122	284
Nisan	16	79	0	10	105	135
Mayıs	16	82	0	3	101	154
Haziran	16	79	0	0	95	202
Temmuz	16	82	0	0	98	265
Ağustos	16	82	0	0	98	260
Eylül	22	79	0	3	104	170
Ekim	23	82	0	11	115	213
Kasım	22	79	0	17	118	265
Aralık	23	82	0	27	132	347
Toplam	236	962	0	141	1,34	2,996



Şekil 3.9 : HVAC ve HVAC – Dışı enerji kaynaklarının aylık maliyet gidişatı.

Çizelge 3.26 : HVAC ve HVAC – Dışı enerji kaynaklarının aylık maliyet değerleri.

Aylar	1. HVAC		2. HVAC - Dışı		TOPLAM	
	Elektrik (TL)	Doğalgaz (TL)	Elektrik (TL)	Doğalgaz (TL)	Elektrik (TL)	Doğalgaz (TL)
Ocak	30	216	105	27	135	243
Şubat	27	174	95	25	122	199
Mart	29	134	105	18	134	152
Nisan	30	0	95	10	125	10
Mayıs	53	0	98	3	151	3
Haziran	107	0	95	0	202	0
Temmuz	167	0	98	0	265	0
Ağustos	162	0	98	0	260	0
Eylül	66	0	101	3	167	3
Ekim	28	71	105	11	133	82
Kasım	28	120	101	17	129	137
Aralık	30	186	105	27	135	213
Toplam	756	900	1.198	141	1.954	1.041

Çizelge 3.27 : Aylık toplam elektrik tüketimi ve bedeli, max. güç talep ve zamanları

Faturalama Dönemi	Toplam Ücret (TL)	Toplam Tüketim (kWh)
Ocak	135	237
Şubat	121	213
Mart	133	234
Nisan	125	219
Mayıs	150	264
Haziran	202	354
Temmuz	265	465
Ağustos	260	456
Eylül	167	294
Ekim	132	232
Kasım	129	226
Aralık	134	236
Toplam	1.954	3.429
Aylık Ortalama	162,8	285,8

Çizelge 3.28 : S1 ve S2 enerji maliyetleri farkı

Faturalama Dönemi	S1 Aylık elk enerji maliyeti (TL)	S2 Aylık elk enerji maliyeti (TL)	S1 - S2 Aylık elk enerji maliyet farkı (TL)	S2 Aylık doğalgaz enerji maliyeti (TL)	S2 Aylık toplam enerji maliyeti (TL)
Ocak	304	135	169	243,8	378,8
Şubat	260	121	139	199,4	320,4
Mart	240	133	107	151,1	284,1
Nisan	123	125	-2	10,2	135,2
Mayıs	131	150	-19	2,5	152,5
Haziran	157	202	-45	0	202
Temmuz	193	265	-72	0	265
Ağustos	191	260	-69	0	260
Eylül	143	167	-24	2,5	169,5
Ekim	189	132	57	81,3	213,3
Kasım	227	129	98	137,1	266,1
Aralık	284	134	150	213,3	347,3
Yıllık Toplam	2.441	1.954	487,0	1.041,3	2.995,3
Aylık Ortalama	203,4	162,8	40,6	86,8	249,6

3.6.2 P1, P2 metoduyla ekonomik analiz sonuçları

Programa girdi olarak girilen bilgiler;

- Klasik sistemin yıllık toplam yakıt maliyeti: 3.000,00 ₺
- Ekstra yatırım: 143.000,00 ₺
- Peşinat: 28.000,00 ₺
- Peşinat oranı: 0,20
- Kredi: 114.400,00 ₺
- Kredi vadesi: 7,00 yıl
- Kredi faiz oranı: 0,08
- Yakıt maliyetinin yıllık tahmini artış oranı: 0,30
- Sistemin ekonomik ömrü: 20 yıl
- Ekonomik ömrü sonunda bugünkü değerine göre hurda değeri oranı: 0,30
- Genel piyasa iskonto oranı: 0,19 (şubat 2019 itibariyle)
- Enflasyon oranı: 0,30

İlk yılda ekstra bakım, sigorta ve parazit enerji maliyetleri, ekstra emlak vergisi, ekstra vergilerin yıllık artış oranı tahminine ve ekstra emlak vergisi ve ipoteye verilen faize ait değerler sıfır kabul edilmişlerdir.

Buna göre hesaplama sonucu çıktılar;

PWF (şimdiki değer faktörü) = 4

Geri ödeme süresi = 16 yıl

Enerjiden net tasarruf = 413.000,00 ₺ ve bunun şimdiki değeri 13.855,00 ₺'dir.

Çizelge 3.29'da yıllara göre kredi geri ödemesi, enerji tasarrufu, net tasarruf ve şimdiki değeri görülmektedir. Net tasarruflar, 7. yıldan sonra artıya geçmektedir. İlave split-klimanın maliyeti geri ödeme süresini yıl olarak uzatmamış ancak son yılın içinde (16. yıl) birkaç ay ileriye atmıştır (Çizelge 2.30).

Yatırım yapılabilirlik açısından sonucun daha pozitif çıkmamasının sebebi olarak, son birkaç yıldaki kararsız ekonomik koşullar; kurların aşırı yükselmesi, enflasyon ve faizlerin yüksekliğinin olumsuz etkisinin olduğu söylenebilir.

Çizelge 3.29 : Yıllara göre yatırım getirisi ve kredi geri ödeme.

yıl	kredi ödemesi	enerji tasarrufu	ek sigorta, bakım ve parazit maliyetleri	ek emlak vergisi	gelir vergisi tasarrufu	net tasarruf	net tasarrufun şimdiki değeri
0,00	-	-	-	-	-	-28.600,00 ₺	-28.600,00 ₺
1,00	0,00 ₺	3.000,00 ₺	0,00	0,00	0,00	3.000,00 ₺	2.531,65 ₺
2,00	0,00 ₺	3.887,70 ₺	0,00	0,00	0,00	3.887,70 ₺	2.768,57 ₺
3,00	-28.599,38 ₺	5.038,07 ₺	0,00	0,00	0,00	-23.561,31 ₺	-14.159,38 ₺
4,00	-28.599,38 ₺	6.528,84 ₺	0,00	0,00	0,00	-22.070,54 ₺	-11.192,82 ₺
5,00	-28.599,38 ₺	8.460,72 ₺	0,00	0,00	0,00	-20.138,66 ₺	-8.618,64 ₺
6,00	-28.599,38 ₺	10.964,24 ₺	0,00	0,00	0,00	-17.635,13 ₺	-6.368,96 ₺
7,00	-28.599,38 ₺	14.208,56 ₺	0,00	0,00	0,00	-14.390,81 ₺	-4.385,88 ₺
8,00	0,00 ₺	18.412,88 ₺	0,00	0,00	0,00	18.412,88 ₺	4.735,60 ₺
9,00	0,00 ₺	23.861,25 ₺	0,00	0,00	0,00	23.861,25 ₺	5.178,79 ₺
10,00	0,00 ₺	30.921,79 ₺	0,00	0,00	0,00	30.921,79 ₺	5.663,45 ₺
11,00	0,00 ₺	40.071,55 ₺	0,00	0,00	0,00	40.071,55 ₺	6.193,47 ₺
12,00	0,00 ₺	51.928,72 ₺	0,00	0,00	0,00	51.928,72 ₺	6.773,10 ₺
13,00	0,00 ₺	67.294,43 ₺	0,00	0,00	0,00	67.294,43 ₺	7.406,97 ₺
14,00	0,00 ₺	87.206,85 ₺	0,00	0,00	0,00	87.206,85 ₺	8.100,16 ₺
15,00	0,00 ₺	113.011,36 ₺	0,00	0,00	0,00	113.011,36 ₺	8.858,23 ₺
16,00	0,00 ₺	146.451,43 ₺	0,00	0,00	0,00	146.451,43 ₺	9.687,24 ₺
17,00	0,00 ₺	189.786,40 ₺	0,00	0,00	0,00	189.786,40 ₺	10.593,83 ₺
18,00	0,00 ₺	245.944,20 ₺	0,00	0,00	0,00	245.944,20 ₺	11.585,27 ₺
19,00	0,00 ₺	318.719,09 ₺	0,00	0,00	0,00	318.719,09 ₺	12.669,50 ₺
20,00	0,00 ₺	413.028,06 ₺	0,00	0,00	0,00	413.028,06 ₺	13.855,19 ₺
TOPLAM	-142.996,88						

Çizelge 3.30 : Yıllara göre geri ödemeler ve kümülatif tasarruf değerleri.

yıl	faiz ödemesi	anapara ödemesi	ana denge	kümülatif tasarruf
0,00	-	-	114.400,00 ₺	-28.600,00 ₺
1,00	0,00 ₺	0,00 ₺	114.400,00 ₺	-26.068,35 ₺
2,00	0,00 ₺	0,00 ₺	114.400,00 ₺	-23.299,78 ₺
3,00	9.071,92 ₺	19.527,46 ₺	94.872,54 ₺	-37.459,16 ₺
4,00	7.523,39 ₺	21.075,98 ₺	73.796,56 ₺	-48.651,99 ₺
5,00	5.852,07 ₺	22.747,31 ₺	51.049,25 ₺	-57.270,63 ₺
6,00	4.048,21 ₺	24.551,17 ₺	26.498,08 ₺	-63.639,59 ₺
7,00	2.101,30 ₺	26.498,08 ₺	0,00 ₺	-68.025,47 ₺
8,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-63.289,87 ₺
9,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-58.111,08 ₺
10,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-52.447,63 ₺
11,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-46.254,16 ₺
12,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-39.481,06 ₺
13,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-32.074,09 ₺
14,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-23.973,93 ₺
15,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-15.115,70 ₺
16,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-5.428,46 ₺
17,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	5.165,37 ₺
18,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	16.750,65 ₺
19,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	29.420,14 ₺
20,00	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	43.275,34 ₺

16 yıl = geri ödeme süresi

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; konumu Bursa ili, Kestel ilçesinde tasarlanan, bağımsız tek katlı bir konutun, HAP 4.4 programı yardımıyla yapılan analiz sonuçlarıyla, ısıtma, soğutma ve elektrik enerjisi gereksinimlerini, yenilenebilir kaynaklardan temin edebildiği ve literatürdeki sıfır enerji binası (SEB) tanımına uygunluk sağlayabildiği gösterilmiştir.

Enerji kaynakları; ısıtma ve soğutma için dikey borulu, toprak kaynaklı ısı pompası, elektrik için PV panel sistemidir.

Binanın; yaklaşık değerlerle ısıtma yükü (- 6 °C dış ortam sıcaklığında) 4,6 kW, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 6.300 kWh/yıl; soğutma yükü (36,6 °C dış ortam sıcaklığında) 10 kW, yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı 2.200 kWh'tir.

Isıtma enerjisi ihtiyacı, ısıtma anma gücü 6,2 kW olan yaklaşık 100 m.(2 x 50 m.) dikey borulu, antifriz/su giriş-çıkış sıcaklıkları B0W35 bir ısı pompası tarafından karşılanmaktadır. Kompresörün anma gücü 1,38 kW olup; ısı pompasının ısıtma performans katsayısı (COP_H) 4,5; soğutma performans katsayısı (COP_C) 3,5'tir.

Isıtmadaki kapasitesi, yerden ısıtma sistemiyle mahallin ısı ihtiyacını ve güneş kollektörü tarafından 0,74'ü karşılanan sıcak su sisteminin takviyesi için de yeterlidir.

Binanın sıcak su ihtiyacı, çatıda toplam 4,6 m² alan kaplayan iki adet güneş kollektörü tarafından, 45 °C su sıcaklığına göre sağlanmakta olup; yaz ayları dışında, ısı pompası tarafından gereken en çok takviye ocak ayında yaklaşık 1.500 kWh civarındadır.

Elektrik enerjisi ihtiyacı ise yıllık 4.300 kWh/yıl olup, güneşe bakan 45° eğimli çatısında 21 m² alan kaplayan her biri 275 W_p olan 13 adet PV panel tarafından sağlanan yıllık yaklaşık 4.500 kWh'lik üretimle karşılanmaktadır. Üretilen elektrik enerjisinin, görünen tüketimden biraz yüksek olması, ısı pompasının soğutma kapasitesinin yetersiz kaldığı günlerde devreye girecek olan ilave split klimanın da ihtiyacını karşılayacak olmasındandır.

Burada; alternatif sisteme bir küçük split klima ilave edilmesinin yerine ısı pompasının soğutma kapasitesinin tasarım yükünü karşılayacak şekilde yüksek seçilmemesinin

sebebi; 10 kW'lık tasarım yükünün, (imalatçı firmanın önerisiyle) en az %70, en çok % 85'ini karşılayacak olan 6,6 kW soğutma gücüne karşılık 8,4 kW ısıtma gücü ya da 8,1 kW soğutmaya karşı 10,1 kW ısıtma gücü olan üst modellerini seçme durumunda hem atıl ısı kapasitesi ortaya çıkacak; hem de buna bağlı olarak kompresörün gücü (1,38 kW'tan 1,82 veya 2,23'e) yükselecek ve yatırım bedeli de ona göre artacaktır. Bunun, split klimalı çözüme göre daha ekonomik olmayacağı aşikardır. O nedenle tasarım soğutma günü düzeyinde soğutma ihtiyacının çok kısıtlı sürede geçerli olacağı düşünülerek, pratik ve ekonomik çözüm olarak 18.000 Btu, 1,7 kW kompresörü ve 6,59 COP'si olan, çift iç üniteli bir split klima SEB tanımının dışına çıkmadan çözüm sağlamış ve geri ödeme süresini de yıl olarak artırmamıştır.

Diğer yandan soğutma sistemi fan-coil split klima yerine yerden serinletme olarak da üzerinde çalışılıp değerlendirilebilir.

Ancak, bu çalışma için alınan tekliflerin yanında piyasada çok daha ekonomik fiyatlarda marka ve modellerin ısı pompa grubu, yerden ısıtma grubu ve PV sistemi vb. için var olduğu bilinen bir gerçektir. Yapılacak geniş, detaylı bir pazar araştırması sonucunda, geri ödeme süresini daha aşağılara çekecek ve böylece bu yatırımı daha uygulanabilir yapacak çözümler bulunabileceği aşikardır.

İthal girdisi yüksek alanlarda yerleşmenin hızlandırılması da süreci kolaylaştıracaktır.

Bu gerçek, 8.000.000 konut çatısı, 85.000.000 m² sanayi çatısı bulunan Türkiye'nin çatılarda PV sistemlerini uygulamasını geciktirmek için bir engel olarak görülmemelidir. Zira yalnız PV yatırımı, kendini, bugünkü olumsuz ekonomik koşullarda bile, 6 – 7 yıl içinde geri ödeyebilmektedir.

Çatılar PV panellerle dolduğunda GESler için arazileri kullanma ihtiyacı kalmayacak, dağıtım ve iletim kayıpları sıfırlanacak, elektrik üretildiği yerde tüketilecek ve milli ekonomiye büyük katkılar sağlayacaktır.

Bunun için; başta kamu yönetimi olmak üzere, özel sektör, yerel yönetimler, mimar, mühendis odaları, müteahhitler; üniversitelerin öncülüğünde tüm eğitim sektörü ve sivil toplum kuruluşlarıyla toplum topyekün bilinçlenmeli ve güneşimizin enerjisine sahip çıkmalıyız.

KAYNAKLAR

- [1] Mazerov, K. (2018), Forecasts through 2050 suggest balance mix of fuel sources while underscoring need for continued investments in of-fuel-sources. *Drillingcontractor.org web site*. Retrieved July 2, 2019. Available from <http://www.drillingcontractor.org/forecasts-through-2050-suggest-balanced-mix>
- [2] TEİAŞ, (2019), Kurulu Güç Raporu, *TEİAŞ web sitesi*, Erişim: 18 Haziran 2019, https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-7/KURULU%20G%C3%9C%C3%87%20C4%B0NTERNET%20HAZ%20C4%B0RAN%20AYI_0.pdf
- [3] EMO (2017). Elektrik İstatistikleri, *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 2017 Temmuz, Sayı 461, 89, Erişim 25 Mayıs, <https://docplayer.biz.tr/54669767-Elektrik-muhendisligi.html>
- [4] Gibbons, O. (2011). The Energy Report, 100% Renewable Energy by 2050 Energy Senario, *WWF, ECOFYS – OMA raporu*, 115, Erişim adresi: <https://www.google.com/search?q=The+Energy+Report%2C+100%25+Renewable+Energy+by+2050+Energy+Senario%2C+WWF%2C+ECOFYS&oq=The+Energy+Report%2C+100%25+Renewable+Energy+by+2050+Energy+Senario%2C+WWF%2C+ECOFYS&aqs=chrome..69i57.2306j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- [5] TÜİK, (2018). Net Elektrik Tüketiminin Sektörler Göre Dağılımı, *Elektrik İstatistikleri*, Erişim adresi: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029
- [6] AUSTROTHERM Yalıtım Malzemeleri, (2019). *Web raporu*, Erişim adresi: <https://www.austrotherm.com.tr/bilgi-servisi/haberler/son-7-yilda-evlerde-bulunan-isi-yalitimi-orani-yaklasik-2-katina-cikti/>
- [7] Bıyıkoğlu, A. (2018). Türkiye İklimlendirme Sanayi Sektör Raporu, *TOBB Yayın No: 2018/316*, TOBB İklimlendirme Meclisi, Ankara. Erişim adresi: https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2018/Tobb_iklimlendirme%20C3%A7al%20C4%B1%20C5%9Fmalar%20C4%B1_bask%20C4%B1.pdf
- [8] KSÜ, (2017). Gazlı kombi eğitim seti devre şeması, *Eğitim Notu*, Erişim adresi: http://mm.ksu.edu.tr/depo/belgeler/H-60%20GAZLI%20KOMB%20C4%B0%20ISITMA%20VE%20SICAK%20SU%20DENEY%20C4%B0%20-%202017_1702281415398815.pdf
- [9] Marszal A., J., Heiselberg, P., Bourrelle, J., S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., Napolitano, A., (2010). Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies, *Energy and Buildings*, Erişim adresi: journal homepage: www.elsevier.com/locate/enbuild
- [10] GÜNDER Güneş Derneği, (2014). Yüzbin çatı projesi durumu, *Rapor*, Erişim adresi: www.gunder.org.tr
- [11] SINTEF-Sartori, I., Napolitano, A., Voss, K., (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*, *Article*, 1-13, Erişim adresi: <http://brage.bibsys.no/sintef>

- [12] **Tsalikis, G. & Martinopoulos G.** (2015). Solar energy systems potential for nearly net zero energy residential buildings, *Solar Energy*, (115), 743-756, Erişim adresi: Solar energy systems potential for nearly net zero energy residential buildings
- [13] **Üçgül, İ., Tüysüzoğlu, E., Yakut, Z., M.** (2014). PV Çatı uygulaması için enerji hesaplaması ve ekonomik analizi, *Journal of Natural and Applied Science* 18 (2),1-6. Erişim: <https://w3.sdu.edu.tr/personel/00269/prof-dr-ibrahim-ucgul>
- [14] **Arslanoğlu, N.** (2016). Optimization-of-Tilt-Angle-for-Solar-Coll-ectors-A-Case-Study-for-Bursa-Turkey, *International Journal of Energy and Power Engineering*, 10 (5), International Journal of Power and Energy Engineering, Engineering of Technology, World Academy of Science.
- [15] **Thygesen, R. & Karlsson, B.** (2013). Article: Economic and energy analysis of three solar asissted heat pump system in near zero energy buildings, *Energy and Buildings*; (66), 77-87.
- [16] **Kıncay, O.**, Isı pompaları, *Sunum notları*, Erişim: 6 Temmuz 2019
- [17] **Canovate Enerji Sistemleri**, (2019). Isı pompaları çalışma sistemleri, *Web sitesi dokümanı*, Erişim adresi: <http://portal.canovateenerji.com/tr-TR/su-kaynakli-isi-pompasi/>
- [18] **WIESSMANN**, (2019), Vitocal 300/350 Isı pompası, *Planlama Klavuzu*.
- [19] **Açıkgöz, Ö.**, (2007). *Bir birleşik enerji sisteminde güneş enerjisi desteğinin araştırılması*, Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20] **Kıncay, O.**, (2009). Su Kaynaklı Isı Pompaları (SKIP), *Sunum notları*, 36, http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/OK_SUKAYNAKLI_ISIPOMPALARI-2009.pdf
- [21] **KENTTASARIM**, Kestel Belediyesi, Kestel (Bursa) Revizyon Uygulama İmar Planı, *Plan Açıklama Raporu, Kentsel dönüşüm raporu*, 8-11, Erişim: 2 Temmuz 2019
- [22] **DOE**, The Efficiency of Renewable Energy, The History of Solar. Erişim adresi: https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf
- [23] **Shahan, Z.**, (2018). What is the cost of PV panels?, *Cleantechnica web yazısı*, Erişim: 2 Ağustos 2019, <https://cleantechnica.com/2014/02/04/current-cost-solar-panels/>
- [24] **NREL**, Solar cell efficiency. Erişim adresi: https://www.wikiwand.com/en/Solar_cell_efficiency
- [25] **Özgün, H.**, (2015). Fotovoltaik Enerji Sistemleri, *GÜNDER Güneş Kitaplığı*.
- [26] **SSARE, PVIC**, (2012). Principles and Varieties of Solar Energy and Fundamentals of Solar Cells. Erişim adresi: <http://www.emeraldinsight.com/fig/0870210205001.png>
- [27] **Jager, K., Isabella, O., Smetz, A., H., M., Van Swaa, R., Zeman, M.**, (2014). Solar Energy; Fundamentals.Technology, and Systems, *Book*, Delft University of Technology, Netherlands
- [28] **YEGM**, (2018). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. Erişim adresi: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>
- [29] **Eren, Ö., Öztürk, H., H., Atal, M., Şen, Z., Karamangil, M., İ., Şahin, A., D.** (2010). Güneş Işınım Ekserjisi ve Bursa İlindeki Değişimi, *VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, "Yenilenebilir Enerji ve Yerel Yönetimler" Bildiriler Kitabı*.

- [30] **Zengin E.**, Güneş Pillerinin Enerji Dönüşüm Kalitesini Etkileyen Önemli Faktörler, *Yarbis*. Erişim: http://www.emo.org.tr/ekler/6498f1f48b54a20_ek.pdf
- [31] **Svarc, J.** (2018). How are solar panels made?, *Clean Energy Reviews*, Erişim adresi: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>
- [32] **Cezim, C.**, (2013). Fotovoltaik Sistemler ve Uygulamaları, TMMOB-Elektrik Mühendisleri Odası, *Eğitim ve Seminer Etkinlikleri*, EMI-MISEM.
- [33] **Kıncay, O., Bekiroğlu, N., Yumurtacı, Z.**, Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller) 1. Bölüm, *Slides*, YTÜ. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/2856756-Gunes-pilleri-fotovoltaik-piller-i-bolum.html>
- [34] **Doğan, V. & Çalışır, O.**, (2012). Döşemeden (Yerden) Isıtmada Hesap Yöntemi, *Bildiri*, Tesisat Mühendisliği Dergisi (130), 44-50. Erişim adresi: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/6bda678e171cd88_ek.pdf?dergi=1266
- [35] **Firouzar, A., ÜNTES**, (2017). Fan-coil ünitesi komponentlerinin bütünleşik performanslarının değerlendirilmesi, *Bildiri*, MMO Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi.
- [36] **WIESSMANN**, Isı pompası uygulamaları, *Isı Pompaları, Mesleki Yayınlar*.
- [37] **Aktacı, M., A.** (2019). Binaya entegre fotovoltaik sistemlerde azimut ve eğim açısı etkilerinin İncelenmesi, *Article in Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* April 2018. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/324588825->
- [38] **Aron, P.** (2014). NREL PVWatts Version 5 *Manual*, 10, Erişim adresi: <https://pvwatts.nrel.gov/downloads/pvwattsv5.pdf>
- [39] **Şahin, D., A. Ş.**, (2009). Güneş Enerjisi Ölçümleri ve Fizibilite Süreci, *Sunum*, Erişim adresi: sahind@itu.edu.tr (mail adresi sunum üzerinde)
- [40] **NREL**, National Solar Radiation Database (NSRDB), Erişim adresi: <https://nsrdb.nrel.gov/>
- [41] **PVGIS**, Overview of PVGIS data sources and calculation methods, European Commission-Photovoltaic Geographical Information System Erişim adresi: <https://photovoltaic-software.com/pv-softwares-calculators/online-free-photovoltaic-software/pvgis>
- [42] **Kamali, S.**, (2016). Physibility analysis of standalone photovoltaic electrification system in a residential building in Cyprus, *Article*, *Renewables and sustainables Energy Reviews* 65 (2016) 1279-1284. Erişim adresi: www.elsevier.com/locate/rser
- [43] **Kara, Y., A.** (2016). Güneş Enerjisi, *Ders Notları*, Bursa Teknik Üniversitesi.
- [44] **Kalogirou, S., A.** (2014). Solar Energy Engineering, Processes and Systems, Second Edition *AP Elsevier*, Erişim adresi: <http://1.droppdf.com/files/AvIdq/solar-energy-engineering-processes-and-systems-2nd-ed-2014-.pdf>

EKLER

EK A: Harita



Şekil A.1: Bursa Kestel ilçesi yerleşim alanı (doğu tarafı) uydu haritası.

EK B

Çizelge B.1 : TÜİK Net elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımı.

Net elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımı

Distribution of net electricity consumption by sectors

Yıl	Toplam	Mesken	Ticaret	Resmi daire	Sanayi	Aydınlatma	Diğer ⁽¹⁾
Year	Total	Household	Commercial	Government	Industrial	Illumination	Other ⁽¹⁾
	(GWh)			(%)			
1970	7.308	15,9	4,8	4,1	64,2	2,6	8,4
1971	8.289	16,3	4,6	4,1	64,5	2,4	8,1
1972	9.527	16,1	4,7	3,8	65,0	2,2	8,2
1973	10.530	14,8	4,3	3,5	67,3	2,1	8,0
1974	11.359	15,2	5,1	3,8	66,7	2,0	7,2
1975	13.492	17,5	4,9	3,7	64,8	1,9	7,2
1976	16.079	17,5	4,7	3,5	65,3	1,6	7,4
1977	17.969	17,7	5,0	3,1	66,7	1,4	6,1
1978	18.934	18,9	4,9	3,2	65,5	1,5	6,0
1979	19.633	20,1	5,7	3,2	63,9	1,5	5,6
1980	20.398	21,5	5,6	3,0	63,8	1,4	4,7
1981	22.030	20,9	5,7	2,9	64,5	1,4	4,6
1982	23.587	20,9	5,8	2,5	64,4	1,3	5,1
1983	24.465	21,0	5,7	2,8	63,7	1,2	5,6
1984	27.635	19,8	5,7	2,8	65,2	1,2	5,3
1985	29.709	19,0	5,5	3,0	66,0	1,4	5,1
1986	32.210	19,0	5,2	3,2	64,8	2,1	5,7
1987	36.697	18,9	4,8	3,2	65,1	2,1	5,9
1988	39.722	20,0	5,0	3,2	63,6	2,1	6,1
1989	43.120	19,6	5,3	3,0	64,0	2,1	6,0
1990	46.820	19,6	5,5	3,1	62,4	2,6	6,8
1991	49.283	22,0	6,2	3,8	57,9	2,9	7,2
1992	53.985	21,3	6,1	3,7	58,4	3,4	7,1
1993	59.237	21,2	6,1	3,8	57,8	3,8	7,3
1994	61.401	21,9	6,0	5,4	55,6	4,1	7,0
1995	67.394	21,5	6,2	4,5	56,4	4,6	6,8
1996	74.157	22,1	7,7	4,0	54,8	4,2	7,2
1997	81.885	22,6	8,4	4,6	53,1	4,0	7,3
1998	87.705	22,8	8,8	4,9	52,6	4,2	6,7
1999	91.202	24,8	9,0	4,1	51,0	4,6	6,5
2000	98.296	24,3	9,5	4,2	49,7	4,6	7,7
2001	97.070	24,3	10,2	4,5	48,4	5,0	7,6
2002	102.948	22,9	10,6	4,4	49,0	5,0	8,1
2003	111.766	22,5	11,5	4,1	49,3	4,5	8,1
2004	121.142	22,8	12,9	3,7	49,2	3,7	7,7
2005	130.263	23,7	14,2	3,6	47,8	3,2	7,5
2006	143.071	24,1	14,2	4,2	47,5	2,8	7,2
2007	155.135	23,5	14,9	4,5	47,6	2,6	6,9
2008	161.948	24,4	14,8	4,5	46,2	2,5	7,6
2009	156.894	25,0	15,9	4,5	44,9	2,5	7,2
2010	172.051	24,1	16,1	4,1	46,1	2,2	7,4
2011	186.100	23,8	16,4	3,9	47,3	2,1	6,5
2012	194.923	23,3	16,3	4,5	47,4	2,0	6,5
2013	198.045	22,7	18,9	4,1	47,1	1,9	5,3
2014	207.375	22,3	19,2	3,9	47,2	1,9	5,5
2015	217.312	22,0	19,1	3,7	47,6	1,9	5,7
2016	231.204	22,2	18,8	3,9	46,9	1,8	6,4
2017	249.023	21,8	19,8	4,1	46,8	1,8	5,7

Kaynak: TEDAŞ, Türkiye Elektrik Dağıtım ve Tüketim İstatistikleri

Çizelge B.2 : SEB tasarım parametreleri.

Tasarım Parametreleri:

Şehir Adı	BURSA
Bulunduğu Yer	Türkiye
Enlem	40.1 Derece
Boylam	-29.4 Derece
Rakım	99.0 m
Yaz Tasarım Kuru Termometre Sıcaklığı	37.0 °C
Yaz Karşılık Gelen Yaş Termometre Sıcaklığı	25.0 °C
Yaz Günlük Sıcaklık Aralığı.....	13.7 K
Kış Tasarım Kuru Termometre Sıcaklığı.....	-6.0 °C
Kış Tasarım Yaş Termometre Sıcaklığı	-7.0 °C
Atmosferik Berraklık Sayısı	1.00
Ortalama Yer Yansıtırlık Oranı	0.20
Toprak İletkenliği	1.385 W/(m K)
Mahalli Zaman Zonu (GMT +/- N saat)	-3.0 saat
Güneşiği kazanç zamanını dikkate alma	Hayır
Hava Simulasyon verileri	(EXT)
Mevcut veriler	Kullanıcının değiştirdiği
Tasarım Soğutma Ayları	Ocaktan Aralık?

Çizelge B.3 : Bursa aylara ve yönlere göre güneş ışınım verileri (HAP).

Ay	Yön	N K	NNE KKD	NE KD	ENE DKD	E D	ESE DGD	SE GD	SSE GGD	S G
Ocak		61.3	61.3	61.3	256.2	473.1	656.8	753.0	789.9	799.5
Subat		75.4	75.4	139.4	407.9	597.1	731.9	783.7	774.9	758.9
Mart		90.6	90.6	320.6	513.6	686.7	753.7	746.9	687.3	648.3
Nisan		105.7	219.7	441.7	613.3	691.0	710.1	634.9	539.0	481.0
Mayıs		116.4	327.2	508.3	649.5	693.7	653.7	544.8	417.2	350.9
Haziran		143.1	361.4	533.1	655.5	680.3	625.5	501.1	365.3	298.4
Temmuz		119.5	318.1	509.6	638.4	671.8	642.0	532.4	407.9	343.0
Agustos		111.2	207.9	432.6	589.3	668.8	685.5	615.7	521.8	466.4
Eylul		94.0	94.0	299.0	493.4	643.2	722.7	713.6	663.0	627.2
Ekim		77.9	77.9	163.4	361.8	579.6	703.8	760.0	751.9	735.4
Kasım		62.3	62.3	62.3	254.1	466.7	637.2	744.6	785.4	786.0
Aralık		54.7	54.7	54.7	200.1	413.5	609.9	721.7	780.4	790.3
Ay	Yön	SSW GGB	SW GB	WSW BGB	W B	WNW BKB	NW KB	NNW KKB	HOR	Mult
Ocak		798.6	759.5	645.8	479.4	255.4	61.3	61.3	415.3	1.00
Subat		775.0	785.5	735.8	600.7	388.8	168.8	75.4	564.6	1.00
Mart		684.0	739.2	758.9	669.6	533.3	314.7	90.6	697.9	1.00
Nisan		538.4	633.6	709.6	693.7	613.7	439.9	222.2	786.5	1.00
Mayıs		417.9	543.6	654.6	692.5	650.0	510.2	326.1	830.1	1.00
Haziran		362.9	504.6	622.1	683.3	653.1	527.1	363.9	839.0	1.00
Temmuz		402.8	534.1	635.9	681.7	635.9	496.4	327.2	822.8	1.00
Agustos		519.4	610.9	684.1	669.6	592.8	426.9	220.2	774.1	1.00
Eylul		664.3	716.6	718.0	650.0	482.9	299.2	94.0	673.0	1.00
Ekim		750.8	756.2	703.8	572.3	390.2	134.0	77.9	554.0	1.00
Kasım		778.1	738.7	644.9	462.4	253.7	62.3	62.3	412.8	1.00
Aralık		781.8	719.5	610.1	410.2	201.9	54.7	54.7	347.2	1.00

Çizelge B.4 : VDI 4060 Standardında ısı pompa kuyu ısı geçirgenlik değerleri.

Table 1. Specific energy extraction rates for borehole heat exchangers provided by VDI 4640 (2001).

general guideline values [W m ⁻¹]	Specific heat extraction rates*	
	for 1800h per year [W m ⁻¹]	for 2400h per year [W m ⁻¹]
Poor underground (dry) ($\lambda < 1.5$)	25	20
Normal rocky underground and saturated sediments (dry) ($\lambda < 1.5 - 3.0$)	60	50
Consolidated rock with high thermal conductivity (dry) ($\lambda > 3.0$)	84	70
Individual rocks		
Gravel, Sand (dry)	< 25	< 20
Gravel, Sand (saturated water)	65-80	55-65
For strong groundwater flow in gravel and sand	80 - 100	80 - 100
Clay, loam, wet	35 - 50	30 - 40
Limestone (massif)	55 - 70	45 - 60
Sandstone	65 - 80	55 - 65
Siliceous magmatite (e.g. granite)	65 - 85	55 - 70
Basic magmatite (e.g. basalt)	40 - 65	35 - 55
Gneiss	70 - 85	60 - 70

*(VDI-Richtlinie 2001)

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Hüseyin Ergün
Doğum Tarihi ve Yeri : 1956 - Armutlu
E-posta : huseyine6@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1981, Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2019, Bursa Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı

MESLEKİ DENEYİM:

- 1983 - 1986 : Enka Arabia: Atölye Şefi
- 1987 - 2007 : TOFAŞ Kalite Yöneticisi
- 2007 - 2009 : VALEO Debriyaj Kalite Müdürü
- 2009 - 2010 : Federal Elektrik Kalite Müdürü
- 2010 - 2015 : Eğitim ve Serbest Danışmanlık
- 2015 - 2019: FCA NAFTA PWT Quality Resident.