



**SERA İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ISI POMPASI
KULLANIMININ TEKNİK VE EKONOMİK İNCELEMESİ**

Emre EKİNCİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2024

ETİK BEYAN

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

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

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

Emre EKİNCİ

22/07/2024

SERA İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ISI POMPASI KULLANIMININ TEKNİK VE EKONOMİK İNCELEMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Emre EKİNCİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2024

ÖZET

Günümüzde artan enerji ihtiyacı ve çevresel faktörler, tarım sektörünü sürdürülebilir ve enerji verimli yöntemlere yönlendirmeye zorlamaktadır. Sera iklimlendirme sistemleri, mevsim dışında üretimi desteklemek ve bitki büyüme koşullarını optimize etmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'deki seralarda elektrik harcayan ekipmanın bilinçsiz kullanılması ile elektrik tüketimi artmaktadır. Ayrıca, yaz aylarında seraların soğutulması, kış aylarında ise seraların ısıtılması elektrik tüketimini artırmaktadır. Bu çalışmada, ısı pompalarının sera iklimlendirme sistemlerindeki ısı ve ekonomik etkileri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda seracılıkta kullanılan bazı örtü malzemeleri ve seralarda yetiştirilen domates ürününün sıcaklık ve nem gereklilikleri esasları üzerinden farklı iklim koşullarında ısı kaybı ve kazancı hesapları yapılmış ve ANSI ASAE EP 406.4 standardı esas alınarak seraların ısıtılması ve soğutulmasında gerekli olan ısı yükleri belirlenmiştir. Bu yüklerin hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının sera sistemlerindeki uygulanabilirliğinin karşılanması, enerji verimliliği ve maliyet etkinlikleri incelenmiş ve ısı pompalarının ihtiyacı olan elektrik enerjisini karşılamak için fotovoltaik sistem alternatifi değerlendirilmiştir. Türkiye'deki bazı iller için seranın ısı kaybı/kazancı hesapları sıcaklığın minimum olduğu Ocak ayına, sıcaklığın maksimum olduğu Temmuz ayına ve diğer aylar için de ortalama sıcaklık değerlerine göre psikrometrik diyagramla MS Excel programında hazırlanan bir hesaplama aracı ile yapılmıştır. Seralarda ısı pompası kullanımının ısı ve ekonomik fizibilite çalışması bulunduğumuz Ankara ilinde ve cam seraların yoğun olduğu Antalya, Mersin ve Muğla illerinde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, şebekeye bağlı çalışan ısı pompaları ile kıyaslandığında fotovoltaik destekli ısı pompalarının amortisman sürelerini Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinde sırasıyla çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemeli serada 6, 8, 8 ve 5 yıl, tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemeli serada 5, 11, 13 ve 5 yıl, sert polikarbonat çift cidarlı serada ise 6, 8, 9 ve 5 yıl daha da kısalttığını göstermiştir.

Bilim Kodu : 91408

Anahtar Kelimeler : Yenilenebilir enerji, sürdürülebilirlik, ısı pompası, fotovoltaik, sera

Sayfa Adedi : 165

Danışman : Prof. Dr. Mustafa Zeki YILMAZOĞLU

TECHNICAL AND ECONOMIC INVESTIGATION OF THE USE OF HEAT PUMP
IN GREENHOUSE AIR CONDITIONING SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Emre EKİNCİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2024

ABSTRACT

Today, increasing energy demand and environmental factors are forcing the agricultural sector to turn to sustainable and energy efficient methods. Greenhouse air conditioning systems are widely used to support off-season production and optimize plant growth conditions. Electricity consumption in greenhouses in Turkey is increasing due to the unconscious use of electricity consuming equipment. Additionally, cooling of greenhouses in the summer months and heating of greenhouses in the winter months increase electricity consumption. In this study, the thermal and economic effects of heat pumps in greenhouse air conditioning systems were evaluated. In this context, heat loss and gain calculations were made in different climatic conditions on the basis of some cover materials used in greenhouse cultivation, temperature, and humidity requirements of the tomato products grown in greenhouses, and the thermal loads required for heating and cooling of greenhouses were determined based on the ANSI ASAE EP 406.4 standard. The feasibility of meeting these loads with air, water, and ground source heat pumps in greenhouse systems, energy efficiency and cost effectiveness were examined and photovoltaic system alternative was evaluated to meet the electrical energy required by the heat pumps. Heat loss/gain calculations of the greenhouse for some provinces in Turkey were made with a calculation tool prepared in MS Excel program with a psychrometric diagram according to January when the temperature is minimum, July when the temperature is maximum, and the average temperature values of the provinces for other months. Thermal and economic feasibility study of the use of heat pumps in greenhouses were carried out in Ankara province where we are located and in Antalya, Mersin, and Muğla provinces where glass greenhouses are intensive. According to the results, compared to grid-connected heat pumps, photovoltaic assisted heat pumps were further reduced the amortization periods in greenhouses by 6, 8, 8, and 5 years in double layer glass sealed cover material, 5, 11, 13, and 5 years in single layer glass sealed cover material, 6, 8, 9, and 5 years in rigid polycarbonate double wall cover material in Ankara, Antalya, Mersin and Muğla provinces, respectively.

Science Code : 91408

Key Words : Renewable energy, sustainability, heat pump, photovoltaic, greenhouse

Page Number : 165

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa Zeki YILMAZOĞLU

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince değerli yardım ve katkılarıyla bana yol gösteren, sürekli bilgi ve önerileriyle bana destek olan danışmanım Prof. Dr. Zeki YILMAZOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen kıymetli annem ve babama, tez yazımı sırasında her zaman yanımda olan sevgili eşime ve canım oğluma teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
3. SERACILIK	17
3.1. Seralarda İklimlendirme Sistemleri	18
3.1.1. Isıtma sistemleri	18
3.1.2. Soğutma sistemleri.....	18
3.1.3. Havalandırma sistemleri	19
3.1.4. Nem kontrol sistemleri.....	19
3.1.5. Işıklandırma sistemleri.....	19
3.1.6. Kontrol ve otomasyon sistemleri	19
3.2. Seralarda İklimlendirme Sistemlerini Kullanmanın Avantajları	19
3.2.1. Bitki büyümesi ve gelişimi	20
3.2.2. Verim ve kalite.....	20
3.2.3. Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik	20
3.2.4. Hastalıkların ve zararlıların kontrolü	21
3.2.5. Otomasyon ve veri analizi.....	21
3.2.6. Maliyet ve yatırım geri dönüşü	21

	Sayfa
3.2.7. İklim değışikliğı ve risk azaltma	21
3.2.8. Eğitim ve uygulama	21
3.2.9. Çeşitli ürünleri yetiştirme imkânı	22
3.3. Seralarda Üretilen Ürünler	22
3.4. Seralarda Sıcaklık ve Nem	27
4. ISI POMPALARI	29
4.1. Isı Pompalarının Çalışma Prensipleri	29
4.2. Isı Pompalarında Etkinlik	30
4.3. Isı Pompası Türleri	31
4.3.1. Hava kaynaklı ısı pompaları	31
4.3.2. Su kaynaklı ısı pompaları	32
4.3.3. Toprak kaynaklı ısı pompaları	32
5. SERALARDA ISI KAYBI VE ISI KAZANCI	35
5.1. Seralarda Isı Kaybı	36
5.2. Seralarda Isı Kazancı	41
5.3. Örtü Malzemesine göre Isıtma ve Soğutma İhtiyacının Belirlenmesi	43
5.3.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için hesaplama	43
5.3.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için hesaplama	48
5.3.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için hesaplama	52
6. TEORİK İNCELEME	57
6.1. Isı Pompalarının Sera İklimlendirme Sistemlerine Entegrasyonu	57
6.1.1. Seralarda ısı pompası kontrol stratejileri	58
6.1.2. Seralarda ısı pompası kapasitesinin belirlenmesi	59
6.2. İllere göre Isı Pompası Seçimi	60
6.2.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için ısı pompası seçimi ...	63
6.2.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için ısı pompası seçimi ...	65

	Sayfa
6.2.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için ısı pompası seçimi	68
6.3. Enerji Verimliliği ve Çevresel Etkiler	70
7. EKONOMİK BAKIMDAN İNCELEME	73
7.1. Maliyet Analizi	73
7.1.1. Yatırım maliyetleri	73
7.1.2. İşletme maliyetleri	74
7.1.3. Net bugünkü değer (NBD)	74
7.2. Isıtma İhtiyacının Kömür ile Karşılanması Durumunda Ekonomik Analiz	74
7.2.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için kömür tüketim hesabı	75
7.2.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için kömür tüketim hesabı	77
7.2.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için kömür tüketim hesabı .	79
7.3. Isıtmanın Elektrik Enerjisi ile Karşılanması Durumunda Ekonomik Analiz	80
7.3.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için elektrik tüketim hesabı	80
7.3.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için elektrik tüketim hesabı	82
7.3.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için elektrik tüketim hesabı	84
7.4. Fotovoltaik Destekli Isı Pompası Kullanılması Durumunda Ekonomik Analiz .	85
7.4.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için fotovoltaik sistem hesabı	86
7.4.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için fotovoltaik sistem hesabı	100
7.4.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için fotovoltaik sistem hesabı	112
7.5. Amortisman Süresi Hesabı	126
7.5.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için amortisman hesabı...	126
7.5.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için amortisman hesabı...	136

Sayfa

7.5.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için amortisman hesabı.....	145
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	157
KAYNAKLAR	161
ÖZGEÇMİŞ	165



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Türkiye'deki seralarda sebze ve meyve üretimi (ton)	23
Çizelge 3.2. Türkiye'deki cam seralarda sebze ve meyve üretimi (ton).....	26
Çizelge 3.3. Serada yetiştirilen çeşitli sebzeler için sıcaklık tablosu	27
Çizelge 3.4. Bazı sebzeler için optimum bağıl nem değerleri.....	28
Çizelge 5.1. Sera kaplama yöntemi ve malzemesine göre yaklaşık U değerleri.....	37
Çizelge 5.2. İllerin kış tasarımı sıcaklıkları (°C).....	38
Çizelge 5.3. Sera tipi ve konstrüksiyonuna göre sızıntı oranı değerleri.....	39
Çizelge 5.4. İllerin ocak ayı bağıl nem değerleri (%)	40
Çizelge 5.5. İllerin yaz tasarımı sıcaklıkları (°C).....	42
Çizelge 5.6. Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre güneş radyasyonu değerleri (W/m ²)	43
Çizelge 5.7. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için programa girilen veriler.	46
Çizelge 5.8. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için illerin Ocak ayı ısı kaybı, Temmuz ayı ısı kazancı ve t_{inlet} değerleri.....	47
Çizelge 5.9. Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C)	47
Çizelge 5.10. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kaybı değerleri (kW).....	48
Çizelge 5.11. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kazancı değerleri (kW)	48
Çizelge 5.12. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için illerin Ocak ayı ısı kaybı, Temmuz ayı ısı kazancı ve t_{inlet} değerleri.....	51
Çizelge 5.13. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kaybı değerleri (kW).....	51
Çizelge 5.14. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kazancı değerleri (kW)	52
Çizelge 5.15. Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtüsü için illerin Ocak ayı ısı kaybı, Temmuz ayı ısı kazancı ve t_{inlet} değerleri.....	54
Çizelge 5.16. Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kaybı değerleri (kW)	54

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.17. Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kazancı değerleri (kW)	55
Çizelge 6.1. Hava kaynaklı ısı pompası verileri.....	61
Çizelge 6.2. Su kaynaklı ısı pompası verileri.....	62
Çizelge 6.3. Toprak kaynaklı ısı pompası verileri	63
Çizelge 7.1. Serada kullanılan kazana ve kazanda kullanılan ithal kömüre ait bilgiler	75
Çizelge 7.2. Günlük çalışma süresinin aylara ve illere göre dağılımı (saat).....	75
Çizelge 7.3. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık kömür sarfiyatları ile yıllık kömür maliyetleri	77
Çizelge 7.4. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık kömür sarfiyatları ile yıllık kömür maliyetleri	78
Çizelge 7.5. Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık kömür sarfiyatları ile yıllık kömür maliyetleri	80
Çizelge 7.6. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesine göre iller için belirlenen ısı pompalarının aylara göre COP _{IP} değerleri	81
Çizelge 7.7. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık elektrik maliyetleri (TL)	82
Çizelge 7.8. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesine göre iller için belirlenen ısı pompalarının aylara göre COP _{IP} değerleri.....	83
Çizelge 7.9. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık elektrik maliyetleri (TL)	84
Çizelge 7.10. Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık elektrik maliyetleri (TL)	85
Çizelge 7.11. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için belirlenen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi. ...	86
Çizelge 7.12. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi ...	89
Çizelge 7.13. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi ...	91
Çizelge 7.14. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi ...	93

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.15. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen su kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi	96
Çizelge 7.16. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi.	98
Çizelge 7.17. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için belirlenen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi.	100
Çizelge 7.18. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi ...	103
Çizelge 7.19. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi ...	105
Çizelge 7.20. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi ...	108
Çizelge 7.21. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen su kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi	110
Çizelge 7.22. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Ankara için belirlenen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi.	112
Çizelge 7.23. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Antalya için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi ...	115
Çizelge 7.24. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Mersin için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi ...	117
Çizelge 7.25. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi ...	120
Çizelge 7.26. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen su kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi	122
Çizelge 7.27. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi.	124
Çizelge 7.28. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL).....	128
Çizelge 7.29. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile fotovoltaiik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL).....	129
Çizelge 7.30. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL).....	130

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.31. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	131
Çizelge 7.32. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	132
Çizelge 7.33. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL) ..	133
Çizelge 7.34. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	135
Çizelge 7.35. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL) ..	135
Çizelge 7.36. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	137
Çizelge 7.37. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	137
Çizelge 7.38. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	139
Çizelge 7.39. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	140
Çizelge 7.40. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	141
Çizelge 7.41. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL) ..	142
Çizelge 7.42. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	144
Çizelge 7.43. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL) ..	144
Çizelge 7.44. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	146
Çizelge 7.45. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL) ..	147

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.46. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	148
Çizelge 7.47. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL) ..	149
Çizelge 7.48. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	150
Çizelge 7.49. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL) ..	151
Çizelge 7.50. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)	153
Çizelge 7.51. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL) ..	153

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Türkiye'deki cam seraların illere göre dağılımı.....	17
Şekil 3.2. Türkiye'deki seralarda üretilen sebze ve meyve dağılımı.....	22
Şekil 3.3. Türkiye'deki cam seralarda üretilen sebze ve meyvelerin dağılımı.....	26
Şekil 4.1. Isı pompası çevrimi.....	29
Şekil 6.1. Isı pompasının şematik çizimi, $T-s$ ve $P-h$ diyagramları	59
Şekil 7.1. Çift kat cam örtü malzemesine göre seçilen ısı pompaları ve amortisman süreleri	154
Şekil 7.2. Tek kat cam örtü malzemesine göre seçilen ısı pompaları ve amortisman süreleri	155
Şekil 7.3. Sert polikarbonat örtü malzemesine göre seçilen ısı pompaları ve amortisman süreleri	156

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

m³	Metreküp
m²	Metrekare
°C	Santigrat derece
kg	Kilogram
s	Saniye
J	Joule
kJ	kilojoule
kW	kilowatt
kWe	kilowatt elektrik
kWp	kilowatt peak
W	Watt

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASAE	American Society of Agricultural Engineers – Amerikan Ziraat Mühendisleri Derneği
COP	Coefficient of Performance – Etkinlik katsayısı
EER	Energy Efficiency Ratio – Enerji etkinlik oranı
HKIP	Hava Kaynaklı Isı Pompası
kTEP	Kilo Ton Eşdeğer Petrol
LPG	Liquefied Petroleum Gas – Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NBD	Net bugünkü değer
SKIP	Su Kaynaklı Isı Pompası
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası

1. GİRİŞ

Bir ülkenin gıda güvenliği tarımsal üretime dayanır ve bu durum başlıca çevresel zorlukları ve artan gıda talebini karşılamak için tarımın yaygınlaştırılmasıyla ilişkilidir. Tarımsal genişlemenin küresel çevresel etkileri, iklim koşulları, su kaynakları ve enerji kaynakları gibi bir dizi hususa karşı oldukça hassastır ve sürdürülebilir ve verimli uygulamaları zorunlu kılar. Büyümenin her aşamasındaki her ürün, iklim koşullarındaki değişim aralığına kendi kısıtlamasını getirir. Örneğin, minimum bir değerin altındaki bir sıcaklık bir fidenin büyümesini durdurabilir ve maksimum bir eşiğin üzerindeki bir sıcaklık bitkide geri dönüşü olmayan bir hasara bile neden olabilir. Bu da sonuçta tarımsal kazanımlara ulaşmak için uygulamalarda köklü bir değişiklik yapılmasını gerektirir. Tarımsal ekosistemlere sürdürülebilirlik ve istikrar sağlama anlayışıyla, bitki büyümesini etkileyen önemli özellikleri kontrol ederek hasadın artırılması için sera teknolojisi geliştirilmiştir. Bu durum, daha önce açık seralarda görülmeyen iklim koşullarının kombinasyonlarına yol açmaktadır. Kapalı sera teknolojisinin kullanılmaya başlanması, mahsul büyümesi ve elde edilebilecek maksimum verim için hangi iklim koşulları kombinasyonunun optimum kabul edilmesi gerektiğine dair soruları gündeme getirmiştir. Son yıllarda, kapalı seralarda enerji tasarrufu ve mahsul üretimini artırma gibi ikili amaçları olan bir dizi araştırma projesi yürütülmüştür. Bu nedenle, önceden tanımlanmış teknik ve ekonomik hedefleri karşılamak için herhangi bir stres uygulanmadan sorunsuz bir mahsul gelişimi elde etmek amacıyla mikro iklim değişkenleri yönlendirilmelidir. Sonuç olarak, verimlilikte ilerlemeye ve ekonomik performansta artışa katkıda bulunulur. Bu da seralarda iklimlendirme sisteminin uygun şekilde tasarlanması ve işletilmesi ile gerçekleştirilir.

Başlangıçta, seraların iklim kontrolü ilkel yöntemlerle yapılmaktaydı. Ekstrem şartlardan kaçınılmış ve cihazlar manuel olarak çalıştırılmıştır. Daha sonra, öncelikle işgücünden tasarruf etmek için otomasyon kullanılmaya başlanmıştır. Mahsulün büyümesi ve gelişmesi sera havasının sıcaklığı ile yakından ilişkilidir. Sıcaklığı düşürmek için havalandırmanın verimliliği, uzaklaştırılacak ısı miktarına, hava değişim oranına ve bitki örtüsünün durumuna bağlıdır. Farklı mahsul yetiştirme koşullarında ekonomik açıdan iklim kontrolünü (ısıtma, CO₂, nem) optimize eden değerler hakkında bilgi üretmek gereklidir. Bu şekilde enerji, daha iyi bir ekonomik düzene ulaşmak için önemli bir maliyet faktörü oynar. Dolayısıyla, bu bağlamda bir optimizasyon sürecinin söz konusu olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Optimizasyon algoritması, mahsulün iç iklim koşullarına bağlı iç dönüşüme ilişkin durumu,

alt seviye kontrolörün kısıtlamaları ve enerji tasarrufu açısından seranın performansının kombinasyonuna uygun olmalıdır.

Seralar, tarımsal üretimi geliştirmek için dünya çapında kullanılan önemli tesislerdir. Ancak, mevcut sera ısıtma yaklaşımlarının enerji tüketimi ve maliyetleri nispeten yüksektir. Fosil yakıtla ısıtma uzun süredir en ekonomik ısıtma yöntemi olmakla birlikte ciddi çevre kirliliğine yol açmaktadır. Ülkemizde de seraların ısıtılmasında genellikle fosil yakıtlı sistemler tercih edilmektedir. Bitkilerin gelişimini hızlandırmak için emisyonun bir miktarı (%20 civarında) sera içine verilmektedir. Sistemler sobaları, kaloriferleri, sıcak hava apareylerini içermektedir. Bunlara ek olarak güneş ile ısıtma ve jeotermal enerjinin olduğu bölgelerde jeotermal ısıtma sistemleri de kullanılmaktadır. Ancak, genellikle yenilenebilir kaynakların maliyetleri yatırımcıları fosil kaynakları kullanmaya itmektedir. Seralarda temiz ve sürdürülebilir ısıtma gerçekleştirmenin önemli bir yolu, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji ve atık ısı gibi yerel yenilenebilir enerjiden tam olarak yararlanmaktır. Bu ısıtma planları seralarda temiz ve sürdürülebilir ısıtma amacına ulaşabilse de, yalnızca yenilenebilir kaynakların bol olduğu alanlarda uygulanabilir ve yaygın olarak tanıtılması zordur. Bu nedenle, enerji verimliliğini ön plana alan temiz ve sürdürülebilir ısıtma stratejilerinin araştırılması gerekmektedir.

Türkiye'nin Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı belgelerine göre tarım sektörü nihai enerji tüketimi 2012-2022 döneminde %34 artmıştır (3.8 MTEP'den 5 MTEP'e). Tarım sektöründe kullanılan birincil enerji kaynaklarından en büyük payı petrol almaktadır. Elektrik tüketimindeki artış 2020'den sonra artmıştır. Ancak, tarım sektöründe enerji verimliliği sağlama projeksiyonları sulama sistemleri ile kısıtlanmış ve PV teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak yatırımlar bu yöne doğru kaymıştır. I. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planında 6 eylemde yapılan uygulamalarla tarım sektöründe 112 kTEP enerji tasarrufu sağlandığı belirtilmiştir ancak, bu genel olarak sulama sistemlerini kapsayan uygulamalar olmuştur. Seracılıkla ilgili olan faaliyetlerde ise sera, kümes ve ağıl için 100 projeye 73 milyon TL hibe desteği verildiği belirtilmiştir ve jeotermal kaynaklı tarım organize sanayi bölgeleri kurulması çalışmaları belirtilmiştir. Nevşehir'in Kozaklı ilçesinde 1352,2 dekarlık bir alan (87°C sıcaklık ve 75 L/s debide), Çanakkale'nin Ayvacık ilçesinde 160 adet 2423,6 dekarlık bir sera alanı, Kütahya'nın Simav ilçesinde 828 dekarlık bir alan gibi 18 adet proje talep toplama ve proje aşamasına gelmiştir.

Günümüzde artan enerji ihtiyacı ve çevresel faktörler, tarım sektörünü sürdürülebilir ve enerji verimli yöntemlere yönlendirmeye zorlamaktadır. Sera iklimlendirme sistemleri, mevsim dışında üretimi desteklemek ve bitki büyüme koşullarını optimize etmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu sistemlerin enerji tüketimi ve çevresel etkileri, tarım endüstrisini sürdürülebilir ve ekonomik bir hale getirmek adına dikkatle ele alınması gereken konular arasında yer almaktadır.

Bu bağlamda, güneş enerjisi destekli ısı pompaları, sera iklimlendirme sistemlerinde enerji verimliliğini artırmak için potansiyel bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, sera iklimlendirme sistemlerinde güneş enerjisi destekli hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının ısı ve ekonomik etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Isı pompaları, dış ortamdan ısıyı çekip iç ortama aktaran cihazlardır ve bu özellikleriyle sera sistemlerinin ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılamak için etkili bir çözüm sunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ayrıca, ısı pompalarının temel işleyiş prensipleri ve faydaları da detaylı bir şekilde ele alınacak olup, hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının sera sistemlerine nasıl entegre edilebileceği detaylı bir şekilde incelenecektir.

Ekonomik açıdan, ısı pompalarının kullanımının maliyet-etkinliği, yatırım getirisi ve uzun vadeli ekonomik avantajları ele alınacaktır. Sera iklimlendirme sistemlerinde ısı pompası kullanımının hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik verimlilik açısından değerlendirilmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Son yıllarda, toprak kaynaklı ısı pompası ve hava kaynaklı ısı pompası ile temsil edilen ısı pompalı ısıtma teknolojisi, yüksek enerji verimliliği, temiz çevre koruması ve geniş uygulama kapsamı avantajları nedeniyle yoğun ilgi görmüştür. Özellikle toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtma, sera ısıtmasında en çok ilgi gören yaklaşımdır. Hava kaynaklı ısı pompası ile karşılaştırıldığında, toprak kaynaklı ısı pompası ısı kaynağı olarak nispeten sabit sıcaklığa sahip sığ toprak kullanır ve ısıtma verimliliği ortam sıcaklığından etkilenmez. Bu nedenle, geceleri yüksek enerji verimliliği ve ekstrem hava koşullarında stabil ısıtma performansı avantajlarına sahiptir.

Ozgener ve Hepbasli (2005), Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde bir seranın ısıtılması için kullanılan güneş enerjisiyle çalışan bir toprak kaynaklı ısı pompası ile fiziksel olarak deney yapmıştır. Bu sistemde 50 m dikey derinliğe ve 32 mm nominal çapa sahip bir U-bükümlü zemin ısı eşanjörü kullanmıştır. Tüm sistem ile 2,38 COP ve %67,7'lik bir ekserji verimi elde edilmiştir.

Curtis, Lund, Sanner, Rybach ve Hellström (2005), toprak kaynaklı ısı pompalarının toprağın geniş yenilenebilir depolama kapasitesini kullanarak yüksek verimli ısıtma ve soğutma sağlayabilen bir teknoloji olduğunu, CO₂ emisyonunda azalmalar sağlayabildiğini ve ileride tüm dünyada bu sistemlerin geliştirilmesi ve kurulumunda çok hızlı bir şekilde büyüme olacağını belirtmişlerdir.

Hanova ve Dowlatabadi (2007), yüksek enerji fiyatları ve iklim değişiklikleriyle ilgili endişelerden dolayı, toprak kaynaklı ısı pompalarının giderek dikkat çektiğini, geleneksel ısıtma sistemleri tarafından tüketilen enerjinin %25-30'unu kullanarak ısıtma sağlayabilmekte olduğunu, sera gazı emisyonlarını azalttığını ve hükümet politikalarının uzun vadeli çevresel ve ekonomik faydaları olan bu sistemlere yönlendirme yapmasının gerektiğini belirtmişlerdir.

Aye, Fuller ve Canal (2010), Avustralya'nın Melbourne kentinde bulunan 4 000 m²'lik bir sera için havadan suya ısı pompası sisteminin finansal ve çevresel uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Sistemin performansını tahmin etmek için TRNSYS simülasyon sistemini kullanmışlardır. Isı pompası sisteminin yaklaşık 6 yıllık basit bir geri ödeme süresine sahip

olduğunu ve LPG tüketimini %16 oranında azalttığını tespit etmişlerdir. Ancak, sera gazı emisyonları, mevcut LPG kazanına göre ısı pompası sisteminde %3 daha yüksek çıkmıştır. Toprak sıcaklığı kışın ortalama hava sıcaklığından daha yüksek olduğu için, toprak kaynaklı ısı pompasının hava kaynaklı ısı pompasından muhtemelen daha iyi enerji verimliliği sağlayacağını belirtmişlerdir.

Tong, Kozai, Nishioka ve Ohya (2010), kışın geceleri 151,2 m² taban alanına sahip deneysel bir serayı ısıtmak için 10 adet ev tipi hava kaynaklı ısı pompası kullanmışlardır. Ayrıca ısı pompalı sera ile aynı özellikte olan geleneksel bir seranın da enerji dengesi analizini de eş zamanlı olarak araştırmışlardır. Temel amaçları sistem performans katsayısını (COP) araştırmak olmuştur. İç hava sıcaklığı yaklaşık 16°C’de tutulduğunda ve dış hava sıcaklığı -5°C ile 6°C arasında değiştiğinde, saatlik ortalama COP 4,0 ve en yüksek COP 5,8 olarak bulunmuştur. Dış sıcaklık 0°C’nin altında olduğunda bile, ısı pompaları asenkron olarak buz çözerken ortalama saatlik COP 3,3 olmuştur. İç havanın sıcaklık dağılımı ısı pompalı serada geleneksel seraya göre daha homojen olmuştur.

Blum, Campillo, Münch ve Kölbel (2010), Almanya’da toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri ile geleneksel ısıtma sistemlerini CO₂ emisyonu bakımından karşılaştırmışlardır. Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin uygulanmasıyla, geleneksel bir ısıtma sistemine göre %35 oranında CO₂ emisyonunun önlenebileceğini ve bir kişinin yılda CO₂ emisyonunu en az %20 oranında azaltılabilecek kapasiteye sahip olabileceğini belirtmişlerdir.

Benli (2011), bir serada gizli ısı termal depolama tankına sahip toprak kaynaklı ısı pompalı ısıtma sistemi tasarlamıştır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi, geleneksel hava kaynaklı ısıtma sistemlerinden daha iyi bir performans göstermiştir. Toprak sıcaklığı en soğuk ay boyunca bile neredeyse sabit olduğu için kompresör çalışması nispeten kararlı olmuştur. Isı pompasının ve genel sistemin COP’si sırasıyla 2,3-3,8 ve 2-3,5 aralığında bulunmuştur.

Özyurt ve Ekin (2011), Erzurum’da toprak kaynaklı ısı pompasının kış iklimi koşullarında analizler yapmışlardır. Ocak-Mayıs ayları arasında yapılmış ve ısı pompası ve sistemin COP’si sırasıyla 2,43-3,55 ve 2,07-3,04 arasında çıkmıştır. Oluşturulan sistemin ülkemizin en soğuk iklim bölgelerinden olan Erzurum ilinde konut ısıtması için kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Chai, Ma ve Ni (2012), Pekin'de Çin güneş seraları ve cam kaplı çok açıklıklı seraların ısıtma deneyleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yürütmüş ve ısıtma enerjisi performans katsayıları sırasıyla 3,83 ve 3,91 olmuştur.

Greening ve Azapagic (2012), İngiltere'de hava, su ve toprak kaynaklı ev tipi ısı pompalarını gaz kazanlarıyla karşılaştırmışlardır. Isı pompalarının hepsinin emisyon değerleri gaz kazanına göre düşük çıkmıştır. Kazana göre hava kaynaklı ısı pompasında %6, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarında da %36 CO₂ tasarrufu sağlanmıştır.

Esen ve Yüksel (2013), biyogaz, güneş enerjisi ve toprak kaynaklı ısı pompası gibi çeşitli sera ısıtma stratejilerini karşılaştırıp analiz etmişler ve toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtmanın en istikrarlı ve uygulanabilir olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Li, Nagano, Lai, Shibata ve Fujii (2013), Japonya'nın Akabira şehrinde 12 seraya ısıtma ve soğutma sağlamak için toprak kaynaklı ısı pompası kurmuşlardır. Isı pompasının COP'si 3,0 çıkmıştır. Isıtma modunda sistemin CO₂ emisyonu, hava kaynaklı ısı pompası ve gazyağı sistemlerine göre sırasıyla %20 ve %22 daha düşük hesaplanmıştır.

Benli (2013), Elazığ'da cam seraların ısıtılması üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. DeneySEL sonuçlar, dikey gömülü borulara sahip toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtma sisteminin COP'sinin, 3,3'e ulaşan yatay gömülü borulara göre yaklaşık %10 daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Self, Reddy ve Rosen (2013), toprak kaynaklı ısı pompası ile geleneksel ısıtma sistemlerini maliyetler, CO₂ emisyonu ve diğer parametler açısından karşılaştırmışlardır. Toprak kaynaklı ısı pompasının ekonomik olarak avantajlı olduğunu, en düşük emisyonu sahip olduğunu ve bir binayı ısıtmak için diğer alternatif ısıtma sistemlerine göre daha az enerji kullandığını belirtmişlerdir.

Çanakçı, Emekli, Bilgin ve Çağlayan (2013), Antalya, Muğla, Mersin, Adana ve Hatay illerinde 1 hektarlık seranın ısıtma ihtiyaçları ve maliyetleri ile ilgili çalışma yapmışlardır. Ocak ayı ısıtma ihtiyacının en yüksek olduğu ay olmuştur. En kısa ısıtma süresi Mersin ve en uzun ısıtma süresi Muğla ilinde çıkmıştır. Bunun nedenini Muğla'nın en düşük gece sıcaklıklarına sahip olması ve diğer illere göre Muğla'da daha uzun süre ısıtma işlemine

ihtiyaç duyulması olarak açıklamışlardır. Seçilen illerde ısıtma maliyetleri olarak yine aynı şekilde Mersin en düşük, Muğla ise en yüksek olmuştur. Hem ısıtma süresi olarak hem de ısıtma maliyetleri olarak Mersin'i sırasıyla Antalya, Adana ve Hatay takip etmiştir.

Qian ve Wang (2014), toprak sıcaklık dağılımını ve toprak kaynaklı ısı pompasının performansını test etmek için bir model geliştirmişlerdir. Daha büyük yükler ve sondaj kuyuları arasındaki daha küçük mesafeler, toprak sıcaklığında pompanın COP'sini olumsuz yönde etkileyecek büyük değişikliklere neden olmuştur. Isıtma ve soğutma yüklerinin dengeli olması için, uzun sondaj kuyuları ve sondaj kuyuları arasındaki boşluğun uzatılması gerektiğini açıklamışlardır. Ayrıca, aralıklı çalışma modunun toprak kaynaklı ısı pompasının performansını artırabileceğini ve daha az sondaj kuyusuna ihtiyaç duyulacağını belirtmişlerdir.

Safa, Fung ve Kumar (2015), Kanada'nın Ontario kentinde sürdürülebilir konutlar için toprak kaynaklı ısı pompası ile hava kaynaklı ısı pompalarının termal performanslarını karşılaştırmışlardır. Isı pompaları zorlu hava koşullarında hem ısıtma hem de soğutma modlarında test edilmiştir. Soğutma modunda hava kaynaklı ısı pompasının COP'si 4,7-5,7 arasında değişirken, toprak kaynaklı ısı pompasının 4,9-5,6 arasında değişmiştir. Isıtma modu için ise hava kaynaklı ısı pompasının COP'si 1,79-5 arasında değişirken, toprak kaynaklı ısı pompasında bu oran 3,05-3,44 arasında değişmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompasının, hava kaynaklı ısı pompasına göre daha sabit performans gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeni de hava sıcaklığının aksine toprak sıcaklığının sabit olmasıyla açıklanmıştır.

Wang, Gong , Su ve Yu (2015), Çin'in güneyinde fotovoltaik hava kaynaklı ısı pompasının etkinliğini değerlendirmişlerdir. Entegre sistemin, soğutma için birim yatırım başına ekserji tüketiminde %41,16 ve ısıtma için %35,02 tasarruf sağladığını bulmuşlardır. Fotovoltaik sistemin kullanım süresi 26 yıl olmuş ve işletme maliyetinden en az 1228,39 \$ tasarruf edilmiştir. Şebekeden sağlanan elektrikle çalışan bir hava kaynaklı ısı pompası sistemine göre, fotovoltaik sistemin 26 yıllık kullanımı süresince CO₂ emisyonunda toplamda yaklaşık 11,2 ton azalma sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Niederhäuser, Huguelet, Rouge, Guiol ve Orlando (2015), İsviçre'deki bir binaya şebekeden gelen elektrik tüketimini azaltarak binanın ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için fotovoltaik ısı

pompası yerleştirmişler ve bu sistemin geleneksel olarak çalışan ısı pompası ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Fotovoltaik sistemin, geleneksel sisteme göre performansta %23'lik bir iyileşme sağladığını belirtmişlerdir.

Sun, Dai, Novakovic, Wu ve Wang (2015), Çin'in Şanghay kentinde geleneksel hava kaynaklı ısı pompası ile doğrudan genleşmeli güneş destekli ısı pompasının performans karşılaştırmasını yapmışlardır. Temiz ve bulutlu günlerde güneş destekli sistem geleneksel hava kaynaklı sistemden daha verimli çalışmış, ancak, gece koşullarında güneş destekli sistem geleneksel hava kaynaklı sistemden her zaman daha düşük performans göstermiştir. Yıllık yapılan analizde güneş destekli sistemin aylık ortalama COP değeri geleneksel hava kaynaklı sistemden daha yüksek olmuştur.

Zhu, Wang ve Liu (2015), Çin'in soğuk iklim bölgesinde yer alan ve ısı talebinin yoğun olduğu Tianjin kentindeki bir dizi binaya toprak kaynaklı ısı pompası ile mevsimsel güneş enerjisi depolama birleşiminden oluşan bir sistem kurmuşlardır. Sistemin ve ısı pompası ünitelerinin COP'leri, mevsimsel güneş enerjisi depolama işlemi olmadan çalışma verilerine göre sırasıyla %3,4 ve %2,4 artmıştır. Ekonomi ve çevre koruma açısından, sistemin kentsel ısıtma ve gaz kazanı sistemlerine göre çok daha iyi uygulanabilirliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Van Beveren, Bontsema, Van Straten ve Van Henten (2015), Hollanda'da 4 hektarlık bir serada enerji girdisini en aza indirmek için sıcaklık, nem ve CO₂ konsantrasyonunu dikkate alan bir optimizasyon çalışması yapmışlardır. Bu optimizasyon çalışmaları sonucunda ısıtmada %47, soğutmada %15 ve CO₂ emisyonunda %10 azalma olmuştur.

Mattinen, Nissinen, Hyysalo ve Juntunen (2015), Finlandiya'da bir binada hava kaynaklı ısı pompası ile toprak kaynaklı ısı pompasının enerji kullanımı ve sera gazı emisyonlarını karşılaştırmışlardır. Geleneksel ısıtma sistemine göre, hava kaynaklı ısı pompası ile toprak kaynaklı ısı pompasının emisyonları sırasıyla %40 ve %70 daha düşük belirlenmiştir. Düşük dış hava sıcaklıklarında, toprak kaynaklı ısı pompası hava kaynaklı ısı pompasına göre daha verimli çalışmıştır.

Luo ve diğerleri (2015), Almanya'nın Nürnberg kentindeki bir ofis binasına kurdukları toprak kaynaklı ısı pompasının performansını incelemişlerdir. Sistemin performansını

değerlendirmek için 4 yıl boyunca izleme yapmışlardır. İzleme verilerine göre sistem kışın aralıklı olarak, yazın ise sürekli olarak çalışmıştır. Sistemin COP'si kışın 3,9, EER'si yazın 8,0 olmuştur. Uzun vadeli dönem için mevsimsel EER artarken, mevsimsel COP'i düşmüştür. Bu ters yönlü hareketin nedenini, binanın ısıtma ve soğutma yükünün dengesiz dağılımından kaynaklandığını açıklamışlardır.

Mobtaker, Ajabshirchi, Ranjbar ve Matloobi (2016), İran'ın Tebriz kentinde farklı sera tiplerinin enerji tüketimlerini incelemişlerdir. Seralar hem doğu-batı hem de kuzey-güney yönelimleri için incelenmiş ve uzunluk, genişlik ve yükseklikleri aynı tutulmuştur. Kuzey tuğla duvarlı doğu-batı yönlü tek açıklıklı bir seranın, bitkinin istenen sıcaklığını korumak için minimum ek enerji kullanımı açısından en optimum sera olduğunu tespit etmişlerdir. Doğu-batı yönelimli, tek açıklıklı seranın kuzey tarafında tuğla duvar kullanılması ek enerji ihtiyacını %37,1 oranında azaltmıştır.

D'Arpa ve diğerleri (2016), İtalya'nın Apulia bölgesinde toprak kaynaklı ısı pompası kullanılan seraların analizini yapmışlardır. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanılan sistemlerin, hava kaynaklı sistemlerle karşılaştırıldığında 2-3 yıl arasında değişen geri ödeme sürelerinin olduğu bulunmuştur. Dizel yakıtların kullanımının azalmasının CO₂ emisyonunun azalmasına neden olduğunu ve bulunan bulguların sera sektörünün rekabet gücünü artıracığını belirtmişlerdir.

Yıldırım ve Bilir (2017), hem toprak kaynaklı ısı pompasına güç sağlamak hem de domates, salatalık ve marul olmak üzere üç farklı ürün içeren seraların aydınlatma ihtiyacını karşılamak için fotovoltaik paneller kullanarak İzmir'de deneyler gerçekleştirmişlerdir. Üç farklı tarımsal ürün için seranın aylık ve yıllık ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Mevsimsel COP'i değerleri soğutma modu için 2,25 ve ısıtma modu için 2,76 olarak hesaplanmıştır. Yaz aylarında fotovoltaik elektrik üretiminin sera talebinin %33,2-67,2'sini karşılayabildiği görülmüştür. Buna karşılık fotovoltaik elektrik üretiminin kış aylarında sera talebini karşılama oranı domates için %95,7, salatalık için %86,8 ve marul için %104,5 olmuştur. Ayrıca domates için 7,2, salatalık için 7,4 ve marul için 7 yıllık geri ödeme süreleri ortaya çıkmıştır.

Semple, Carriveau ve Ting (2017), Kanada'nın Ontario kentinde 0,4 hektarlık bir serada hem düşük hem yüksek sıcaklık sistemleri ile araştırma yapmışlardır. Düşük sıcaklıktaki sistemde

ısı pompası kullanılmıştır. Isı pompası çalışması kış mevsimi boyunca daha tutarlı bir ısıtma kaynağı sağlamıştır. Ayrıca düşük sıcaklıklı sistem için güneş kolektörü ve termal enerji depolama verimliliği, yüksek sıcaklı sistemlere göre daha yüksek olmuştur.

Lu, Narsilio, Aditya ve Johnston (2017), Avustralya'nın Melbourne kentinde dikey tip toprak kaynaklı ısı pompalarının ekonomik göstergelerini analiz etmişlerdir. Analizleri sonucunda 20 yıllık bir tasarım ömrü için hava kaynaklı ısı pompası sisteminin bir toprak kaynaklı sistemden daha cazip olduğunu, ancak, 40 yıllık bir tasarım ömrü için toprak kaynaklı ısı pompalarının diğer alternatif sistemlerden daha fazla tasarruf sağladığını belirtmişlerdir. 20 yıllık bir sürede toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin getirisinin düşük olmasının nedenini mevcut yüksek sermaye maliyetlerinden ve Melbourne kentinin ılıman hava koşullarından kaynaklandığını açıklamışlardır. Ayrıca Avustralya'da toprak kaynaklı ısı pompalarına uygulanan düşük vergi kredilerinin de bu sistemlerin teşvik edilmesinde hükümetin rolünün önemli olduğunu göstermiştir.

Boughanmi, Lazaar ve Guizani (2018), Tunus'un kuzeyinde 14,8 m²'lik bir cam sera için spiral tip toprak ısı eşanjörlü toprak kaynaklı ısı pompasının ısıtma performansı deneyini gerçekleştirmiş ve sistem COP'sini 2,64 olarak elde etmiştir.

A. Nemš, M. Nemš ve Šwider (2018), Polonya'da hava kaynaklı ısı pompası, toprak kaynaklı ısı pompası ve geleneksel kazan ile ısıtılan bir serada teknik, ekonomik ve çevresel karşılaştırmalar yapmıştır. Hemen hemen aynı kapasitelere sahip hava kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompaları için COP sırasıyla 2,59-4 ve 5,53-5,83 aralıklarında bulunmuştur. Toprak kaynaklı ve hava kaynaklı ısı pompalarının geri ödeme süreleri sırasıyla 18 ve 5,5 yıl olmuştur. Toprak kaynaklı bir ısı pompası kullanılan sistemin, geleneksel kazanlı kazana göre yıllık karı %62 bulunmuş olup, bu oran hava kaynaklı ısı pompasında %32 olmuştur.

Pospíšil, Špiláček ve Kudela (2018), Çekya'nın Brno kentinde hava kaynaklı ısı pompasının mevsimsel COP'sinin iyileştirilmesi için deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda mevsimsel COP'de %23 kadar bir artış olduğunu göstermiştir. COP'deki artışın da, yıllık elektrik tüketiminde %20'lik bir düşüşe denk geldiğini bulmuşlardır. Mevsimsel COP'deki potansiyel artışın, ısıtma mevsimindeki ortalama hava sıcaklığının artmasıyla birlikte artacağını belirtmişlerdir.

R. Hassanien, E. Hassanien, Li ve Tang (2018), Çin'in Kunming kentinde kurulan seraların ısıtılması için güneş kolektörü destekli ısı pompasının analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sistem sera için gerekli toplam ısıнын %35'inden fazlasını sağlayabilmiştir. Sistem ısıtma için sıcaklık ayarlamaları ile bazı aylarda enerji gereksinimlerinin çoğunu karşılayabilmiştir, ancak, maksimum ısıtmanın getirdiği ocak ve şubat aylarında enerji taleplerini tek başına karşılayamamıştır. Güneş kolektörünün termal verimliliği 0,49 ve geri ödeme süresi 4,1 yıl iken, ısı pompasının COP'si 4,24 olmuştur.

Zhou ve diğerleri (2019), Çin'in Pekin kentindeki bir eğitim binasının iki farklı alanında neredeyse aynı özellikteki hava kaynaklı ısı pompaları kullanarak testler yapmışlardır. Yalnız birinci alandaki ısı pompasına oda termostatları, basınçtan bağımsız balans ve kontrol vanaları ile basınç tahliye regülatörleri de dahil edilmiştir, ancak, ikinci alandaki ısı pompasına ise hiçbir şey dahil edilmemiştir. Birinci alana eklenen kontrolcüler sonucunda, birinci alanda önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmıştır. Birinci alan, ikinci alana göre %38,6 daha az ısı ve %31,5 daha az elektrik tüketmiştir. Birinci alan ve ikinci alandaki COP'ler sırasıyla 3,56 ve 3,54 olmuştur. Bu durum kontrolcülerin önemini ortaya koymuştur. Bu sayede birinci alandaki ısı pompasının geri ödeme süresi de daha kısa olmuştur.

Ahamed, Guo ve Tanino (2019), seralarda ısıtma maliyetlerini azaltmak için uygulanabilecek farklı enerji tasarrufu tekniklerini incelemişlerdir. Seranın enerji tasarrufunun konumuna bağlı olarak değişebileceğini, doğu-batı yönlü seraların daha verimli olduğunu belirtmişlerdir. Fosil yakıtların fiyatı arttıkça, yenilenebilir enerji gibi alternatif enerji kullanımlarına geçişin, ısıtma maliyetlerini azaltmak için bir seçenek olduğunu ifade etmişlerdir.

Pakari ve Ghani (2019), Katar'daki sıcak mevsim boyunca mevcut güneş radyasyonu miktarını, domates büyümesi için gerekli optimum değerlerle sınırlamak için sera tasarlamışlardır. Sıcak iklim bölgelerinde seraların soğutma talebinin temel olarak güneş radyasyonunun girişine ve sera duvarlarından ısı kazanımına bağlanmıştır. Tasarlanan seranın aylık soğutma yükünün geleneksel seraya göre ortalama %80 daha az olduğunu ve böylece soğutma yükü azaldığından, soğutma amacıyla gerekli enerjiyi sağlamak için güneş panellerinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Luo, Xue ve Shao (2020), Çin’de bir serada ısıtma ve soğutma için geleneksel bir kazanın bir toprak kaynaklı ısı pompası ile değiştirilmesini incelemişlerdir. Isı pompası yazın soğutma işlemini de yerine getirdiği için kazandan daha iyi bir seçim olmuştur. Bir yıl boyunca yapılan izlemeler sonucunda kazanın verimliliğinin 0,53-0,68 aralığında değişmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompasının COP’si de soğutma için ortalama 4,1 ve ısıtma için 3,3 olarak bulunmuştur. Toprak kaynaklı ısı pompasının sermaye ve işletme maliyetleri geleneksel kazandan daha yüksek olmasına rağmen ortalama enerji fiyatı analizi toprak kaynaklı ısı pompasının daha yüksek bir ekonomik performansa sahip olduğunu göstermiştir.

Wei ve diğerleri (2020), yarı iki kademeli hava kaynaklı ısı pompasını aşırı soğuk bölgelerde kullanmak için Çin’in Harbin kentinde test düzeneği oluşturmuşlardır. Merkezi ısıtma ile karşılaştırıldığında, %17,33 daha yüksek enerji verimliliği elde edilmiş ve CO₂ emisyonu %14,76 oranında azaltılmıştır. Ayrıca, enerji tasarrufu sağlayan binalar için geri ödeme süresi 9,86 yıl ve mevsimsel COP 2,35 olmuştur.

Lazzarin (2020), ısı pompaları ve güneş enerjisinin birlikte kullanımının gelecekte artacağını belirtmiştir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, hem ısı pompasını çalıştırmak için elektriğin bir kısmını sağlayan hem de ısı pompasının soğuk kaynak tarafına güneş enerjisi sağlayan sistemlere odaklanıldığı belirtilmiştir.

Esmaeli ve Roshandel (2020), İran’ın Tahran kentinde güneş enerjili sera modeli oluşturarak optimum sera tasarımını bulmak için çalışma yapmışlardır. Güneş enerjili seralar fosil yakıt tüketimini azalttığı için yüksek verimli gıda üretimi artmış ve enerji talebi azalmıştır. Güneş enerjili seraların yerel iklim koşullarına göre tasarlanması gerektiğini belirtmişler ve bu da güneş enerjili seraların optimum tasarımı için optimizasyon tekniklerinin uygulanmasının önemli olduğunu göstermiştir.

Chahidi, Fossa, Priarone ve Mechaqrane (2021), İtalya’daki bir serada çatıdaki yarı saydam fotovoltaiik paneller, pasif soğutma sistemi ve bir toprak kaynaklı ısı pompasını enerji tasarrufu açısından incelemişlerdir. Toprak kaynaklı ısı pompasının, geleneksel bir iklimlendirme sistemine kıyasla %21 enerji tasarrufu sağlayabildiğini ve yarı saydam fotovoltaiik panellerin yıllık iklimlendirme ihtiyacının %44’ünü karşıladığını bulmuşlardır.

Harjunowibowo, Omer ve Riffat (2021), İngiltere’de bir serada yatay borularla döşenmiş toprak kaynaklı ısı pompasının performansını araştırmışlardır. Toprak ısı eşanjörünün termal kayıplarını azaltmak için kalın izolasyonlar yerleştirilmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompasına güç sağlamak için seranın 46,94 m²’lik alanına fotovoltaiik paneller yerleştirilmiştir. Isı pompasının ısıtma ve soğutma COP’leri sırasıyla 1,48-2,97 ve 1,20-3,45 aralıklarında çıkmıştır. Toprak ısı dengersizlik oranını yıllık %33 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

Aprianti ve diğerleri (2021), Avustralya’nın Perth kentinde neredeyse aynı olan iki konuttan birine hava kaynaklı diğerine de toprak kaynaklı ısı pompası kurarak, sistemlerin karşılaştırmasını yapmışlardır. 2 yıllık bir süre boyunca her iki konuttan veriler toplanarak sistemlerin soğutma kapasitesi ve COP’si hesaplanmıştır. Isıtma için toprak kaynaklı ısı pompasının COP’si ortalama 4,0 değerine sahipken, bu oran hava kaynaklı ısı pompasında 2,0-3,0 arasında değişmiştir. Soğutma için ise toprak kaynaklı ısı pompası ortalama 3,2 COP’ye sahipken, bu oran hava kaynaklı ısı pompasında 1,4-2,9 arasında değişmiştir.

Y. Seo ve U. J. Seo (2021), Güney Kore’de otoyol kavşakları ve kavşakların yakınındaki seralara toprak kaynaklı ısı pompaları kurmuşlardır. Buna göre önceden tanımlanmış dört senaryo üzerinden çalışma yapmışlardır. Birinci senaryo yağ kazanı yerine toprak kaynaklı ısıtma, ikinci senaryo yağ kazanı ve iklimlendirme ünitelerinin yerini alan toprak kaynaklı ısı pompası ile soğutma ve ısıtma, üçüncü senaryo tam kapasitede çalışan toprak kaynaklı ısı pompası ile soğutma-ısıtma ve dördüncü senaryo ise sabir bir kar marjı sağlayan toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtmadır. En yüksek finansal değere sahip senaryo üçüncü senaryo çıkmıştır. Birinci ve ikinci senaryolar en kötü sonuçlara sahip olmuştur çünkü elde edilen kâr işletme maliyetlerini telafi etmek için yeterli olmamıştır. Isı pompalarının sermaye ve işletme maliyetleri arasındaki fark, yağ kazanlarına göre daha büyük olmuştur. Bu nedenle, ısı pompası sistemlerinin geleneksel sistemlere göre çok daha fazla enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür.

Yang ve diğerleri (2022), Çin’deki bir seranın toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtma sistemine, mevsimsel güneş termal enerji depolamalı ve günlük güneş termal enerji depolamalı sistemler monte etmişlerdir. Günlük güneş termal enerji deposu olmadan toprak kaynaklı ısı pompasının COP değeri 2,79 olmuştur. Soğuk mevsimde günlük güneş termal enerji depolamalı sistem, toprak kaynaklı ısı pompasının elektrik tüketimini azaltmış ve mevsimsel güneş termal enerji depolamalı sistemin güç tüketimini karşılamıştır. Böylelikle

yıllık COP değeri 3,19'a yükselmiştir. Mevsimsel güneş termal enerji depolamalı sistemin sıcaklığının uygun bir seviyede ayarlanması, sirkülasyon pompalarının çalışma süresinin kısılmasına ve dolayısıyla enerji tüketim oranının azalmasına neden olmuştur.

Bae ve Nam (2022), sayısal bir analiz modeli kullanarak bir toprak kaynaklı hava pompasının performansını, ekonomik verimliliğini ve çevresel etkisini değerlendirmişlerdir. Isı pompasını hem aralıklı çalışma yöntemi ile hem de sürekli test yöntemine göre analiz ederek, aralıklı çalışma yönteminin yeraltı ısı kaynağını daha etkili kullandığını göstermişlerdir. Aralıklı çalışma yöntemi ilk yatırım maliyetini %22 azaltmıştır. Bu durum, sistemin ekonomik verimliliği açısından aralıklı çalışma yönteminin sürekli çalışma yönteminden daha etkili olduğunu doğrulamıştır.

Violante, Donato, Guidi ve Proposito (2022), İtalya'da bir binada bir toprak kaynaklı ısı pompası ile hava kaynaklı ısı pompasının üretim, kurulum, işletme ve kullanım ömürlerini yazılım aracılığıyla karşılaştırmışlardır. Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin üretim ve kurulum sırasında daha önemli etkiye sahip olmuştur. Ancak; işletme sırasında hava kaynaklı ısı pompasının biraz daha yüksek etkileri kaydedilmiştir. Sondaj kuyularının ömürlerinin oldukça uzun olduğu düşünülürse, analizlerin daha uzun bir süreye yayılması durumunda toprak kaynaklı ısı pompası kullanımının ekonomik ve çevresel etkilerinin daha da artacağı; hatta fotovoltaik toprak kaynaklı ısı pompası tasarımının daha da büyük bir katkı sağlayacağı belirtilmiştir.

Zhang ve diğerleri (2022), sürdürülebilir seraya yönelik enerji tasarrufu sağlayan stratejiler hakkında bilgi vermişlerdir. Seraların doğu-batı yöneliminin çoğunlukla tüm enlemler için uygun olduğunu, örtü malzemesi olarak camın en yüksek ışık geçirgenliğine sahip olduğunu, havalandırmanın iyi olduğu bir seranın verimliliğinin yılın en sıcak gününde bile %20 oranında artacağını, güneş enerjisinin toprak kaynaklı ısı pompası ile kombinasyonu ile seranın hem ekonomik hem de verimli bir şekilde ısıtılıp soğutulacağını, güneş destekli ısı pompalarının geleneksel toprak kaynaklı ısı pompalarına göre %18 enerji tasarrufu sağladığını ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı seralarda çevresel etkinin %25 oranında azalacağını belirtmişlerdir.

Liu ve diğerleri (2023), Çin'de bir serada güneş destekli toprak kaynaklı ısı pompasının enerji verimliliğini ve karbon tutma potansiyelini incelemişlerdir. Karbon emilim etkilerini

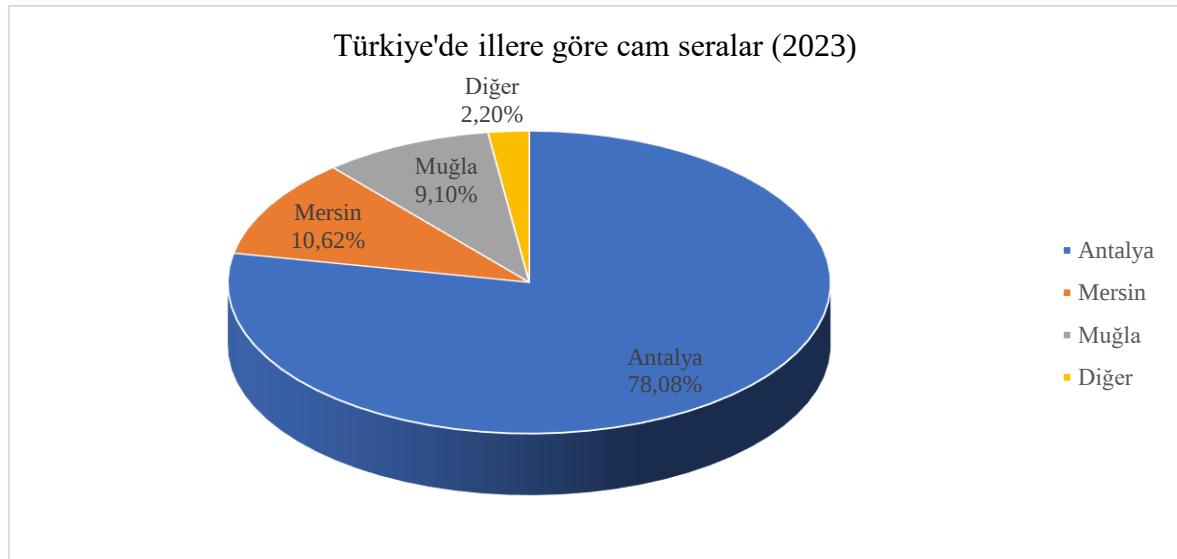
karşılaştırmak için de hıyar, domates, b r lce ve marulu seçmişlerdir. Sistemin COP'si en yoğun saatlerde 6,71 bulunmuştur ve sistem geleneksel sistemden %60'a yakın daha iyi performans göstermiştir. Domates, en yüksek karbon tutma özelliğini göstermiş olup, onu sırasıyla b r lce, hıyar ve marul takip etmiştir. Ayrıca, b r lce en güçlü günlük karbon tutma kapasitesine ve daha iyi ekonomik gelire sahip ürün olmuştur.

Tomczuk ve Obstawski (2024), Polonya'nın Var ova kentindeki bir binanın analizlerini yapmak için ısı pompalı iki model olu turmu lar ve bu modelleri kar ıla tırmı lardır. Birinci modelde yüksek sıcaklıklı iki kademeli ısı pompası tasarlanmış, ikinci modelde de tasarlanan ısı pompasını bir fotovoltai  sistem ile birle tirmi lerdir. İkinci modelin mevsimsel COP'si birinci modelden daha yüksek olmuştur. Aynı zamanda ikinci modelin elektrik tüketimi de birinci modelden daha düşük çıkmıştır.

Bu  alı mada Türkiye'de farklı iklim bölgelerinde belirlenen bir alan ve örtü tipine göre seralarda ısı pompası alternatifleri ısı ve ekonomik açıdan ele alınmıştır. Standarta uygun hesaplamalar yapmak için farklı tasarım alternatiflerini de karşılayacak biçimde ürün özelliklerine göre ısı kaybı ve ısı kazancını hesaplayan MS Excel programında bir hesap aracı geliştirilmiştir. Bulunan ısı kaybı ve kazancı değerlerine göre piyasadan alınan ısı pompası teklifleri ile sistem geri ödeme süresi ve net bugünkü değer karşılaştırması yapılmıştır.

3. SERACILIK

Ülkemizde seracılık, iklim koşullarının değişken olduğu bölgelerde meyve, sebze ve çiçek üretimi gibi pek çok tarımsal ürünün yetiştirilmesinde önemli bir role sahiptir. Özellikle Akdeniz ve Ege bölgelerinde iklim koşulları seracılık için uygun olduğundan, bu bölgelerde daha yoğun bir seracılık faaliyeti gözlemlenir. Şekil 3.1’de cam seraların 2023 yılında Türkiye’deki illere göre dağılımı görülmektedir. Buna göre cam seraların %98’ine yakının Türkiye’nin 3 şehrinde (Antalya, Mersin ve Muğla) toplandığı, cam seraların 3/4’ünden fazlasının da sadece Antalya şehrinde yer aldığı görülmektedir (TÜİK, 2024).



Şekil 3.1. Türkiye’deki cam seraların illere göre dağılımı (TÜİK, 2024)

Seracılık, çok çeşitli ürünlerin yetiştirilmesine olanak tanır. Bu ürünler arasında domates, biber, salatalık, marul, çilek, domates, patlıcan, fasulye, bezelye gibi sebzeler, ayrıca karanfil, gül, begonya gibi çiçekler ve bazı meyveler bulunmaktadır. Son yıllarda seracılık teknolojilerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Yüksek maliyetli enerji tüketimine yönelik olarak enerji verimli seracılık sistemleri, güneş enerjisi kullanımı, otomasyon ve sulama sistemleri gibi modern teknolojiler seracılık sektöründe daha yaygın hale gelmiştir. Ülkemiz, seracılık ürünleri açısından önemli bir ihracat potansiyeline sahiptir. Özellikle narenciye, domates, salatalık gibi ürünler, Türkiye’nin tarım ve ihracat gelirlerine önemli katkılarda bulunmaktadır.

Ülkemizde seracılığı teşvik etmek ve geliştirmek amacıyla çeşitli destek politikaları uygulanmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından çeşitli destek ve teşvikler sunularak seracılık sektörünün rekabet gücü artırılmaya çalışılmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının, Türkiye'nin Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planının 5 numaralı stratejik amacının 3. hedefinde ısı pompası teknolojisini gelişimini ve kullanımını desteklemek bulunmaktadır. Ayrıca Eylem Planının 9 numaralı yatay kodunda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve de Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile birlikte ısı pompası kullanımının yaygınlaştırılması için idari tedbirlerin alınması, tarım sektörü ile ilgili 3 ve 4 numaralı eylem kodlarında ise tarım sektöründe enerji verimliliği projelerinin desteklenmesi faaliyetleri kapsamında seralarda ısı pompası kullanımının desteklenmesi ve iklimlendirme amacıyla ısı pompasının yaygınlaştırılması yer almaktadır.

3.1. Seralarda İklimlendirme Sistemleri

Sera iklimlendirme sistemleri, sera ortamını kontrol etmek ve bitki yetiştirmek için gerekli olan sıcaklık, nem, ışık ve diğer faktörleri optimize etmek amacıyla kullanılan teknolojik sistemlerdir. Bu sistemler, bitki yetiştirme koşullarını istenen seviyede tutarak bitki gelişimini artırmak, ürün verimini optimize etmek ve mevsim dışında sürdürülebilir tarımı desteklemek için tasarlanmıştır.

3.1.1. Isıtma sistemleri

Sera iklimlendirme sistemlerinin temel unsurlarından biri ısıtma sistemleridir. Bu sistemler, serada istenen sıcaklık seviyelerini korumak için kullanılır. Isıtma, özellikle soğuk iklimlerde veya kış aylarında, bitkilerin donmaktan korunması için gereklidir.

3.1.2. Soğutma sistemleri

Serada aşırı sıcaklığı kontrol etmek için soğutma sistemleri kullanılır. Soğutma sistemleri ise sıcak hava koşullarında seranın iç sıcaklığını kontrol etmek için kullanılır. Havalandırma sistemleri, evaporatif soğutma sistemleri, fanlar ve klima sistemleri gibi çeşitli teknolojiler bu amaçla kullanılabilir.

3.1.3. Havalandırma sistemleri

Sera içinde hava sirkülasyonunu artırmak ve bitkilerin fotosentezi için gerekli olan karbondioksiti temin etmek amacıyla havalandırma sistemleri kullanılır. Doğal ve mekanik havalandırma yöntemleri mevcuttur.

3.1.4. Nem kontrol sistemleri

Sera ortamındaki nem seviyelerini kontrol etmek, bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyümesi için önemlidir. Bu nedenle, nem kontrol sistemleri kullanılarak istenen nem seviyeleri korunur. Bu sistemler genellikle nem sensörleri ve nem alma cihazlarını içerir.

3.1.5. Işıklandırma sistemleri

Kış aylarında veya gün ışığından yoksun ortamlarda bitkilerin fotosentez yapabilmesi için ışıklandırma sistemleri kullanılır. Bu sistemler, özellikle kış mevsiminde üretimi devam ettirmek için önemlidir.

3.1.6. Kontrol ve otomasyon sistemleri

Sera iklimlendirme sistemlerinde kullanılan çeşitli ekipmanları entegre eden ve yöneten otomasyon sistemleri, sera koşullarını sürekli olarak izleyip ayarlamak için kullanılır. Böylece, bitki ihtiyaçlarına uygun optimal ortam sağlanır.

Sera iklimlendirme sistemleri, seraların türüne, büyüklüğüne ve yetiştirilen bitkilere göre farklılık gösterebilir. Örneğin, büyük seralarda, birden fazla ısıtma ve soğutma sistemi kullanılabilir. Ayrıca, seralarda yetiştirilen bazı bitkilerin, özel iklimlendirme ihtiyaçları olabilir.

3.2. Seralarda İklimlendirme Sistemlerini Kullanmanın Avantajları

Sera iklimlendirme sistemleri, modern tarımın sürdürülebilirliğini ve verimliliğini artırmak amacıyla sürekli olarak geliştirilmekte olan bir alandır. Bu sistemler, çeşitli tarım uygulamalarında kullanılarak bitki yetiştirme koşullarını kontrol etme ve optimize etme konusunda önemli avantajlar sunmaktadır.

3.2.1. Bitki büyümesi ve gelişimi

- Sıcaklık kontrolü: İdeal sıcaklık koşulları, bitki metabolizmasını hızlandırabilir ve büyümeyi teşvik edebilir. Soğuk hava koşullarında sera içinde ısıtma sistemleri kullanılarak sıcaklık yükseltilirken, aşırı sıcak durumlarda ise soğutma sistemleri devreye alınarak bitkilerin stres altında kalmaları önlenir.
- Nem kontrolü: Bitkilerin nem ihtiyaçları, türlerine ve büyüme aşamalarına bağlı olarak değişir. Sera içinde nem kontrol sistemleri kullanılarak optimal nem seviyeleri sağlanır. Bu, bitkilerin su alımını ve transpirasyonunu (terleme) düzenleyerek sağlıklı büyümelerini destekler.
- Işıklandırma: Seralarda ürün yetiştirme, mevsim dışında veya ışıklandırma ihtiyacı olan bitkiler için önemli olabilir. Bu durumda, ışıklandırma sistemleri kullanılarak bitkilerin fotosentezi desteklenir.

3.2.2. Verim ve kalite

- Optimal koşullarda yüksek verim: İklimlendirme sistemleri, bitkilerin ihtiyaç duyduğu ideal koşulları sağlayarak ürün verimini artırabilir. Daha istikrarlı bir iklim, meyve ve sebzelerin daha düzenli bir şekilde büyümesini ve olgunlaşmasını sağlayabilir.
- Ürün kalitesi: Sıcaklık, nem ve ışık gibi faktörlerin kontrolü, bitkilerin daha kaliteli ürünler vermesine katkı sağlar. Bu renk, lezzet, besin değeri ve dayanıklılık gibi özelliklerde iyileşmelere neden olabilir.
- İklimlendirme ve pazar ihtiyaçları: İklimlendirme sistemleri, belirli ürünlerin yetiştirilmesine uygun koşulları sağlayarak pazar taleplerine daha iyi cevap verebilir. Örneğin, serada özel bir mikro çevre oluşturarak egzotik bitkiler veya meyveler yetiştirilebilir.

3.2.3. Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik

İklimlendirme sistemlerinin etkin kullanımı, enerji verimliliğini artırabilir. Yüksek verimli ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemleri kullanılarak enerji maliyetleri minimize edilebilir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş (örneğin güneş enerjisi kullanımı), sera işletmelerinin sürdürülebilirliğini artırabilir.

3.2.4. Hastalıkların ve zararlıların kontrolü

İklimlendirme sistemleri, sera içinde oluşturulan mikro çevreyi kontrol ederek bitkilerin hastalıklara ve zararlılara karşı direncini artırabilir. Örneğin, nem kontrolü ile mantar hastalıkları önlenmeye çalışılabilir. Ayrıca, sera içinde sıcaklık ve nem seviyelerini kontrol etmek, zararlı böceklerin üremesini azaltabilir.

3.2.5. Otomasyon ve veri analizi

İklimlendirme sistemlerinde kullanılan otomasyon teknolojileri, sürekli olarak sera koşullarını izleyip ayarlamak için kullanılır. Sensörler aracılığıyla toplanan veriler, bilgisayar tabanlı sistemler tarafından analiz edilir ve bu analizlere dayanarak otomatik ayarlamalar yapılır. Bu, hassas bir kontrol sağlar ve enerji kullanımını optimize eder.

3.2.6. Maliyet ve yatırım geri dönüşü

İklimlendirme sistemlerinin kurulumu ilk başta yatırım maliyeti gerektirse de, uzun vadede artan verimlilik ve kalite ile birlikte maliyetleri karşılayabilir ve karlılık sağlayabilir. Geri ödeme süreleri, kullanılan teknoloji ve sera tipine bağlı olarak değişebilir.

3.2.7. İklim değişikliği ve risk azaltma

İklimlendirme sistemleri, dış çevresel faktörlerden kaynaklanan belirsizliklere karşı bir önlem olarak görülebilir. Sera içinde kontrol edilen bir ortam, ani hava değişiklikleri, aşırı sıcaklık veya don olayları gibi olumsuz hava koşullarına karşı bitkileri koruyabilir.

3.2.8. Eğitim ve uygulama

İklimlendirme sistemleri, çiftçilere modern tarım tekniklerini uygulama ve öğrenme fırsatı sunar. Bu sistemler, çiftçilere iklimlendirme teknolojilerini kullanarak bitki yetiştirme konusunda daha bilinçli ve bilgili olma şansı verir.

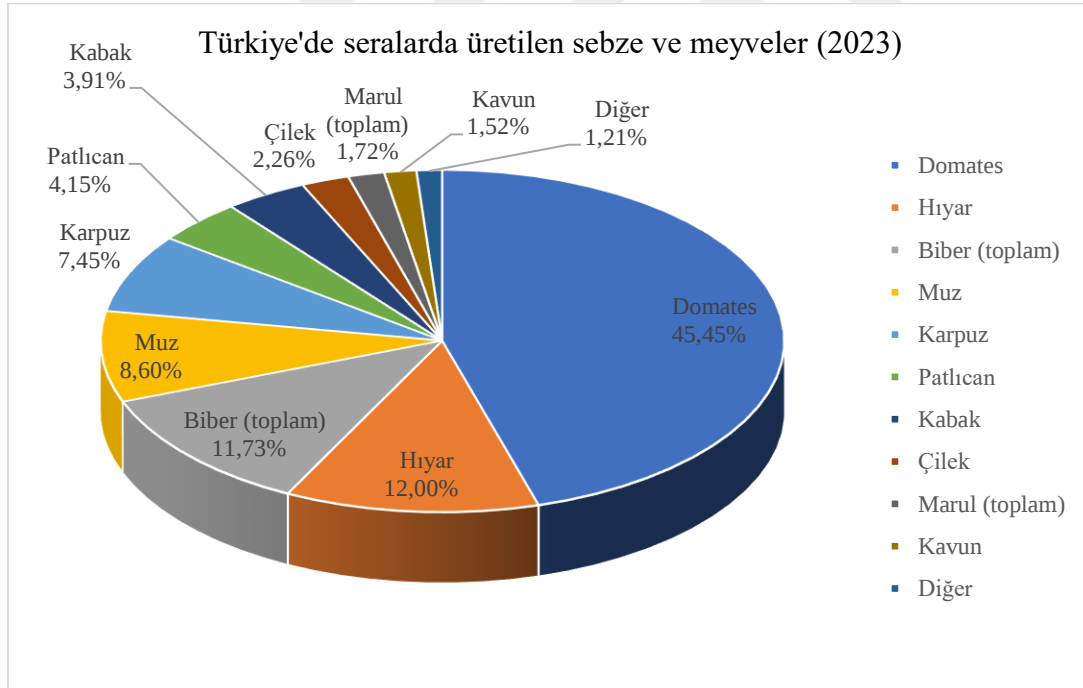
Internet of Things (IoT) teknolojileri, iklimlendirme sistemlerini uzaktan izleme ve kontrol etme olanağı sunar. Bu, çiftçilere mobil cihazlar aracılığıyla sera koşullarını anlık olarak takip etme ve gerektiğinde ayarlama imkânı sağlar.

3.2.9. Çeşitli ürünleri yetiştirme imkânı

İklimlendirme sistemleri, farklı iklim koşullarına sahip bölgelerde dahi çeşitli bitki türlerini yetiştirmeyi mümkün kılar. Bu, pazar taleplerine daha hızlı yanıt verme ve çeşitlendirilmiş ürün yelpazesi elde etme avantajını beraberinde getirir.

3.3. Seralarda Üretilen Ürünler

Seralarda üretilen ürünler geniş bir yelpazeye yayılmıştır ve iklim kontrollü ortamın avantajlarından yararlanarak birçok bitki türünün yetiştirilmesine olanak tanır. Çizelge 3.1’de Türkiye’de seralarda üretilen çeşitli sebze ve meyve türlerinin 2018-2023 yılları arasındaki üretim miktarları verilmiş olup, Şekil 3.2’de ise bu sebze ve meyve türlerinin 2023 yılındaki üretim miktarlarının dağılımı verilmiştir. Buna göre Türkiye’deki seraların yarısına yakınında domates ürününün yetiştirildiği gözükmemektedir (TÜİK, 2024).



Şekil 3.2. Türkiye’deki seralarda üretilen sebze ve meyve dağılımı (TÜİK, 2024)

Çizelge 3.1. Türkiye'deki seralarda sebze ve meyve üretimi (ton) (TÜİK, 2024)

Ürünler (ton)	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Bakla	1	-	1	-	-	-
Bamya	2	2	1	1	1	1
Bezelye	58	65	63	49	50	58
Biber (dolmalık)	100 253	115 797	120 378	180 792	176 948	180 754
Biber (salçalık, kapya)	136 242	178 086	191 615	285 304	304 679	328 388
Biber (sivri)	382 029	367 224	261 924	533 319	464 574	427 087
Biber (çarliston)	70 645	88 662	88 615	130 467	122 683	114 445
Börülce	9	9	-	-	-	-
Brokoli	6	6	5	29	18	18
Dereotu	139	137	211	592	1 308	1 199
Domates	3 888 555	4 083 681	4 099 129	4 406 920	4 139 337	4 071 131
Enginar	5	5	-	-	-	-
Fasulye (taze)	57 421	59 293	37 535	30 469	31 830	29 950
Hıyar	1 134 182	1 156 997	1 120 742	1 170 041	1 175 902	1 074 796
Ispanak	3 213	3 336	3 036	3 503	3 219	3 112
Kabak (sakız)	242 218	211 953	309 276	384 940	373 673	350 620
Karnabahar	-	-	-	16	46	202
Karpuz	871 845	877 505	849 150	818 350	695 811	667 484
Kavun	178 008	205 340	199 759	216 390	123 062	135 889
Lahana (karayaprak)	467	545	534	902	1 331	1 386
Lahana (kırmızı)	6	6	-	-	-	-
Lahana (büyükse)	-	-	-	-	-	-
Marul (göbekli)	24 510	25 654	35 749	38 834	41 490	41 926
Marul (kıvrıkcık)	66 025	69 676	67 702	89 265	95 172	95 125
Marul (aysberg)	21 591	22 258	22 435	19 173	18 596	16 704
Maydanoz	4 094	4 394	6 120	8 044	9 836	10 878
Nane	778	876	679	761	928	900
Patlıcan	332 742	323 009	333 974	388 969	346 657	371 352
Pazı	-	-	-	303	435	667
Pepino	-	-	24	60	100	68
Pırasa	193	188	203	249	254	196
Roka	6 105	6 618	7 690	20 074	27 174	27 592
Sarımsak (taze)	12	13	14	33	51	45
Semizotu	2 708	3 028	3 631	10 137	9 949	12 951
Soğan (taze)	8 789	7 375	7 234	8 291	7 820	8 739
Tere	2 612	2 762	4 294	4 297	5 020	5 037
Turp (kırmızı)	30	25	25	25	25	18
Turp (beyaz)	18	18	18	19	110	105
Çilek	180 378	195 206	203 206	253 153	282 169	202 855
Muz	353 227	424 837	542 809	722 703	866 366	770 117
Üzüm	1 121	1 184	1 114	1 214	1 411	1 963
Kayısı	602	562	513	479	477	624
Şeftali (nektarin)	20	20	10	10	10	1 511
Erik	167	264	336	366	827	1 011
Yaban mersini (mavi yemiş)	-	-	-	33	33	47
TOPLAM	8 071 026	8 436 616	8 519 754	9 728 576	9 329 382	8 956 951

Domates

Seralarda domates yetiştiriciliği oldukça yaygındır çünkü seralarda kontrol edilebilen sıcaklık ve nem seviyeleri domateslerin verimini artırır ve mevsim dışında daha düzenli bir tedarik sağlar.

Domatesler, yüksek nem seviyelerini seven bitkilerdir. Seralarda yetiştirildiklerinde, özellikle meyve oluşumu sırasında yüksek nem düzeyleri isteyebilirler. Bu nedenle, serada nem kontrolü önemlidir.

Hıyar

Seralarda hıyar yetiştiriciliği, bitkinin ihtiyaç duyduğu yüksek nem seviyelerini sağlamak açısından etkili olur.

Hıyarlar genellikle yüksek nem gereksinimine sahip bitkilerdir. Özellikle seralarda hıyar yetiştiriciliği yapılıyorsa, nem kontrolü önemlidir.

Biber

Seralarda biber yetiştiriciliği, özellikle seranın i ikliminin kontrol altında olduğu durumlarda, belli bir sıcaklık ve nem seviyesine daha kolay ulaşılabilmesi nedeniyle tercih edilir.

Biber bitkileri de domates gibi yüksek nem seviyelerini tercih eder. Serada yetiştirilen biberlerin verimli bir şekilde büyümesi için nem kontrolü sağlanmalıdır.

Marul ve diğer yeşillikler

Seracılık marul, roka, ıspanak ve diğer yeşil yapraklı sebzelerin mevsim dışında kontrollü bir şekilde yetiştirilebilmesine olanak sağlar.

Çilek

Seralarda çilek yetiştiriciliği, bitkinin ihtiyaç duyduğu nem ve sıcaklık koşullarını kontrol etmeyi kolaylaştırır.

Çilekler, yüksek nem seviyelerine ihtiyaç duyan meyve türlerindendir. Seralarda çilek yetiştiriciliği yapıldığında, nem kontrolü meyve kalitesini artırabilir.

Otlar (biberiye, fesleğen, nane)

Baharat ve tıbbi bitkiler, seralarda yetiştirilerek daha sık ve kontrollü bir şekilde hasat edilebilir.

Çiçekler (gül, orkide)

Seralarda çiçek yetiştiriciliği de yaygındır. Gül ve orkide gibi dekoratif bitkiler, seralarda özel bakım alabilir.

Havuç ve diğer kök sebzeler

Seralarda havuç gibi kök sebzeler de özellikle mevsim dışında yerel pazarlara taze ürün sağlamak amacıyla yetiştirilebilir.

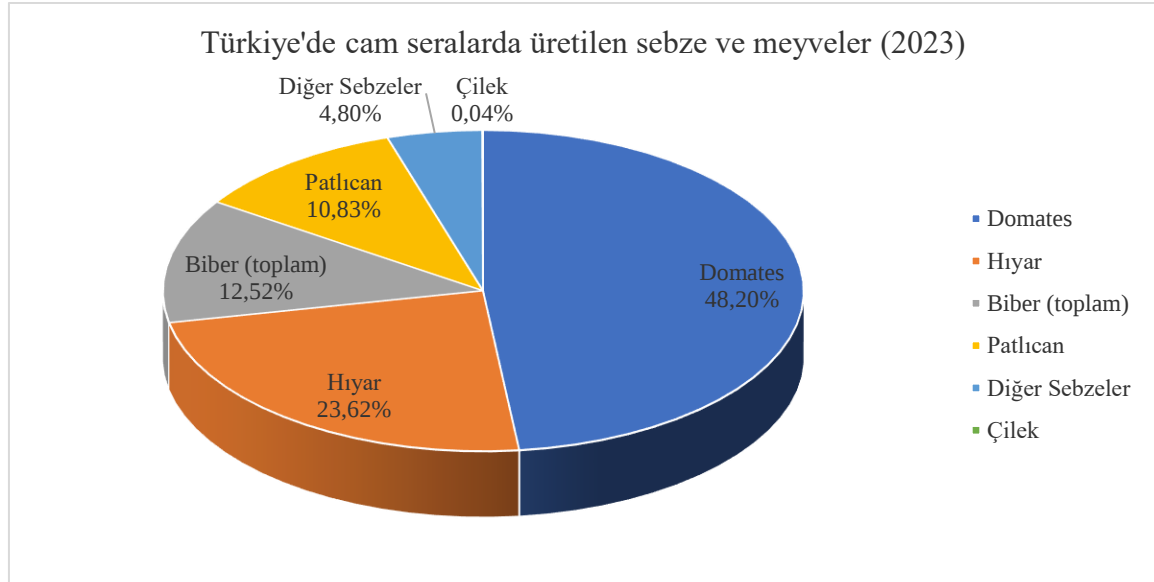
Fasulye ve bezelye

Bazı baklagiller, seralarda yetiştirildiğinde daha uzun bir hasat dönemi sağlayabilir.

Çizelge 3.1’de ve Şekil 3.2’de Türkiye’deki seraların tümünde üretilen sebze ve meyvelerin üretim miktarları ile bu ürünlerin dağılımı için veriler verilmişti. Çizelge 3.2’de ise Türkiye’deki cam seralarda üretilen çeşitli sebze ve meyve türlerinin 2017-2023 yılları arasındaki üretim miktarları, Şekil 3.3’te de bu sebze ve meyve türlerinin 2023 yılındaki üretim miktarlarının dağılımı verilmiştir. Buna göre Türkiye’deki cam seraların yarısına yakınında domates ürününün yetiştirildiği ve yine cam seraların %95’inden fazlasında sadece 4 ürünün (domates, hıyar, biber ve patlıcan) yetiştirildiği gözükmemektedir (TÜİK, 2024).

Çizelge 3.2. Türkiye'deki cam seralarda sebze ve meyve üretimi (ton) (TÜİK, 2024)

Ürünler (Ton)	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fasulye	21 568	24 253	24 509	10 672	9 815	8 571	7 883
Marul (toplam)	2 161	2 142	3 313	4 228	6 069	7 040	7 118
Ispanak	19	19	21	23	22	23	24
Enginar	6	5	5				
Semizotu	2	2	5				
Maydanoz	64	64	84	43	53	285	255
Roka	11	44	45	40	44	255	221
Tere	10	60	100	50	65	204	204
Karpuz	8 723	8 771	9 373	10 508	9 338	8 704	6 556
Kavun	4 815	4 990	3 940	4 090	14 426	8 836	6 707
Biber (toplam)	109 073	103 915	108 695	107 896	124 596	121 220	116 373
Hıyar	313 327	338 290	338 678	266 219	249 975	223 160	219 587
Patlıcan	118 964	112 042	107 616	119 667	108 827	85 341	100 732
Domates	736 731	716 827	710 110	670 983	677 563	495 867	448 103
Kabak	3 680	3 955	4 035	5 777	20 095	17 777	15 626
Muz, Plantain vb.	9 186						
Çilek	706	701	154	756	934	518	372
TOPLAM	1 329 046	1 316 080	1 310 683	1 200 952	1 221 822	977 801	929 761



Şekil 3.3. Türkiye'deki cam seralarda üretilen sebze ve meyvelerin dağılımı (TÜİK, 2024)

3.4. Seralarda Sıcaklık ve Nem

Seralarda üretilen ürünlerin sıcaklık ve nem değerleri, bitki türüne, çeşidine, büyüme aşamasına göre değişkenlik gösterir.

Kendirli (2010), sera içi gündüz ve gece sıcaklıkları arasında 5°C ila 8°C fark olması, ancak, sera içinin soğuk günlerde 15°C'den düşük, güneşli ve sıcak günlerde 30°C'den yüksek olmaması gerektiğini belirtmiştir.

Kaptaner (2008), serada kullanılan toprak ısısının belirli bir sıcaklığın altına düşmesi bitkilerin gelişimine olumsuz etki yapacağını ve aynı şekilde sera içi ısının en yüksek sıcaklığı aşmasıyla da bitkinin özümlemesinin duracağını belirtmiştir. Çizelge 3.3'te seralarda yetiştirilen çeşitli sebzelerin sıcaklık tablosu verilmiştir.

Çizelge 3.3. Serada yetiştirilen çeşitli sebzeler için sıcaklık tablosu (Kaptaner, 2008)

Bitki adı	Gündüz sıcaklığı (°C)	Gece sıcaklığı (°C)	Havalandırma sıcaklığı (°C)	En yüksek sıcaklık (°C)
Domates	18-20	15-17	22-24	27
Biber	18-20	15-17	22-24	27
Patlıcan	18-20	15-17	22-24	27
Bamya	18-20	15-17	22-24	27
Hıyar	22-25	16-20	27	30
Fasulye	21	15	23-25	27
Bezelye	21	15	23-25	27

Kaptaner (2008), sera içinde yetişen bitkilerin uygun aralıklarla düzenli olarak suya ihtiyacı bulunduğunu belirtmiştir. Ayrıca sulama nedeniyle sera içindeki toprağın taşıdığı nem basıncı, sera içindeki havada bulunan nem basıncından fazla olduğundan, toprakta bulunan nem buharlaşarak seranın içine yayıldığını, sera içindeki nem oranının artması bitkilerin gelişmesine olumlu katkı sağladığını, aynı zamanda bitkiler özümlene yaptıkları zamanda terlemeden dolayı nem oranında artış yaşandığını da belirtmiştir.

Kendirli (2010), normal bitki gelişmesi için en uygun bağıl nem değerinin %60 ila %80 arasında değiştiğini ve sera havasının optimum nem sınırlarının, yetiştirilen bitki türüne göre değiştiğini belirtmiştir. Çizelge 3.4'te seralarda yetiştirilen bazı sebzelerin optimum bağıl nem değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Bazı sebzeler için optimum bağıl nem değerleri (Kendirli, 2010)

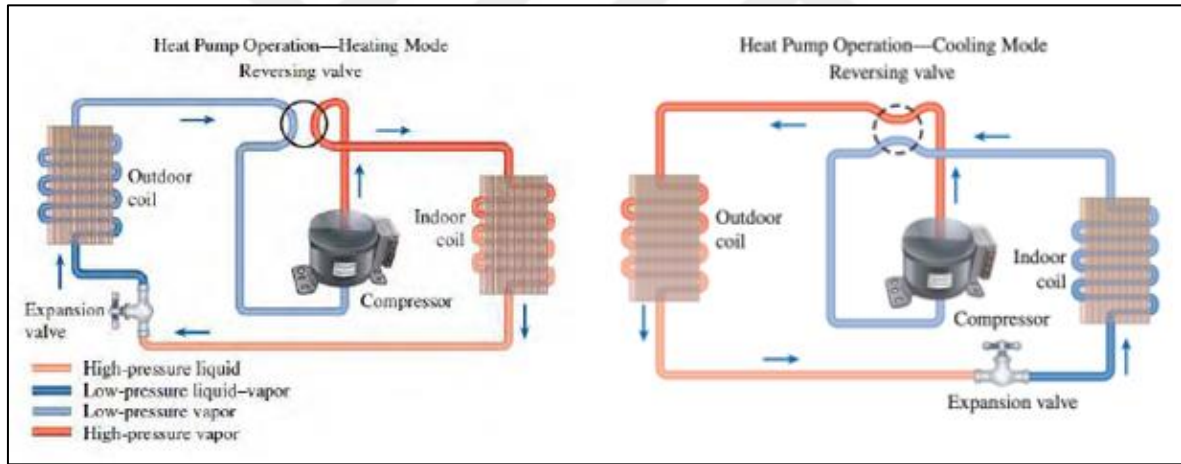
Sebzeler	Bağıl nem (%)
Hıyar	85-95
Kavun	65-75
Karpuz	65-75
Domates	50-60
Biber	50-60
Fasulye	50-60
Marul	70-80
Kereviz	70-80
Ispanak	70-80
Maydanoz	70-80
Lahana	65-75

4. ISI POMPALARI

Isı pompaları, bir ortamdan alınan ısıyı bir başka ortama transfer eden cihazlardır. Bu sistemler, dışarıdan enerji verilmesi ile ısıyı düşük sıcaklıklı bir ortamdan alıp yüksek sıcaklıklı bir ortama taşıyarak ısı transferini sağlar. Isı pompalarının temel işlevi, termal enerjiyi bir ortamdan diğerine taşımak ve bu süreci çevre üzerinde daha az etki ile gerçekleştirmektir.

4.1. Isı Pompalarının Çalışma Prensibi

Isı pompaları, termodinamik bir çevrim içinde çalışırlar. Carnot çevrimi olarak bilinen bu çevrimde, ısı taşıyıcı akışkan bir dizi işlem üzerinden geçer. Bu işlemler, sıkıştırma, ısı atma, genleşme ve ısı alma aşamalarını içerir.



Şekil 4.1. Isı pompası çevrimi (Cengel ve Boles, 2006)

Isı pompaları, dört temel bileşenden oluşur. Bu bileşenler buharlaştırıcı (evaporatör), kompresör, yoğusturucu (kondenser) ve genleşme valfidir. Evaporatöre sıvı fazda giren düşük basınç ve düşük sıcaklıktaki soğutucu akışkan, etrafındaki ortamın ısını çekerek, evaporatör çıkışında düşük basınç ve düşük sıcaklıktaki buhar fazına geçer. Düşük basınç ve düşük sıcaklıkta kompresöre giren buhar fazındaki soğutucu akışkan, kompresörde sıkıştırılarak, kompresör çıkışında yine buhar fazında kalır ancak yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa ulaşır. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta kondensere giren kızgın buhar fazındaki soğutucu akışkan, etrafındaki ortama ısı vererek, kondenser çıkışında yüksek basınç ve yüksek sıcaklıktaki sıvı faza geçer. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta genleşme valfine

giren sıvı fazdaki soğutucu akışkan, genişleme valfinden çıkışta yine sıvı fazda kalır ancak düşük basınç ve düşük sıcaklığa iner. Böylece evaporatöre tekrar düşük basınç ve düşük sıcaklıktaki sıvı fazda girmiş olur ve böylece çevrim tamamlanır. Bu tarif bir soğutma çevriminin çalışma prensibini açıklamaktadır. Isı pompasında ise bir 4 yollu vana marifetiyle kondenser ve evaporatörün yeri değiştirilerek kışın iç mahalin ısıtma işlemi sağlanır.

4.2. Isı Pompalarında Etkinlik

COP, 'Coefficient of Performance' (etkinlik katsayısı) anlamına gelir ve ısı pompalarının etkinliğini ölçen bir parametredir. COP_{IP} değeri, bir ısı pompasının bir birim enerji girişine karşılık olarak ne kadar ısıtma kapasitesi üretebildiğini gösterir. Bu değer ne kadar yüksekse, ısı pompasının etkinliği o kadar iyidir. Örneğin, COP_{IP} değeri 4 olduğunda, 1 birim elektrik enerjisi girişi ile 4 birim ısıtma kapasitesi elde edilebilir. Bu, enerjiyi daha etkili bir şekilde kullanma yeteneğini gösterir. COP_{IP} değeri, ısı pompasının tipine, tasarımına ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişebilir. Ayrıca, ısı pompaları genellikle bir yıl boyunca değişen dış hava sıcaklıklarına maruz kaldıkları için mevsimsel etkilere de bağlı olarak COP_{IP} değerleri değişebilir. Özellikle ısı pompalarının ısıtma modunda düşük dış sıcaklıklarda çalıştıkları durumlarda, COP_{IP} değerleri düşebilir. COP_{IP} , ısı pompası performansının bir ölçütü olarak kullanılır ve tüketicilere ısı pompalarının enerji etkinliğini değerlendirme konusunda yardımcı olur. Yüksek COP_{IP} değerleri, enerji tasarrufu sağlayan ve çevre dostu bir ısıtma çözümü sunduğunu gösterir. Ancak, COP_{IP} değeri tek başına bir ısı pompasının performansını tam olarak anlamak için yeterli değildir. Gerçek koşullarda kullanıldığında, ısı pompalarının COP_{IP} değerleri değişebilir ve sistemlerin tasarımı, dış hava koşulları ve bakım durumları gibi faktörlere bağlı olarak etkilenebilir. Bu nedenle, bir ısı pompası seçilirken ve değerlendirilirken, COP_{IP} değeri yanında diğer faktörler de dikkate alınmalıdır.

COP_{SM} ısı pompalarının verimliliğini ölçen bir diğer parametredir. COP_{SM} değeri, bir ısı pompasının bir birim enerji girişine karşılık gelen soğutma kapasitesini ölçer. Yüksek bir COP_{SM} değeri, daha verimli bir ısı pompası olduğunu gösterir, çünkü daha fazla soğutma kapasitesi elde etmek için daha az enerji kullanılır. COP_{SM} değeri, genellikle ısı pompasının performansını değerlendirmek ve enerji tasarrufu sağlayan bir ürün seçmek için tüketicilere rehberlik etmek amacıyla kullanılır. Ancak, COP_{SM} , sadece belirli bir döneme (genellikle yaz aylarında soğutma işlemi yapıldığı dönem) aittir ve tesisatın yerine, bölgenin iklim koşullarına ve diğer faktörlere bağlı olarak değişebilir.

EER, 'Energy Efficiency Ratio'(enerji etkinlik oranı) anlamına gelir ve soğutma performansı için kullanılan bir diğer parametredir. EER bir soğutma sisteminin belirli bir sıcaklık koşulunda harcadığı enerji miktarına karşılık ürettiği soğutma kapasitesini gösterir. (Çengel ve Boles, 1996), EER'yi tüketilen 1 Wh (watt-saat) elektrik enerjisi için, soğutulan ortamdaki çekilen ısıya BTU cinsinden değeri olarak tanımlamışlardır ve $EER = 3,412 \text{ COP}_{SM}$ bağıntısı olduğunu belirtmişlerdir.

COP_{IP} ve COP_{SM} değerleri, ısı pompalarının enerji verimliliğini değerlendirmek için kullanılan iki temel performans katsayısıdır. Bunlar, ürün performansını karşılaştırmak ve tüketicilere enerji tasarrufu sağlayan bir ürün seçme konusunda yardımcı olmak için kullanılır. Ancak, COP_{IP} ve COP_{SM} değerleri, bir ısı pompasının belirli çalışma koşullarında elde ettiği enerji verimliliğini ifade eder. Bu nedenle, kullanıcıların cihazlarını seçerken, iklim koşulları, cihazın boyutu, yerleşim yeri ve kullanım alışkanlıkları gibi faktörleri de dikkate almaları önemlidir. Ayrıca, enerji etiketleri ve sertifikalar gibi standardize edilmiş test protokollerine dayalı verileri inceleyerek karar verilmesi de önemlidir.

4.3. Isı Pompası Türleri

Isı pompaları, enerji transferini gerçekleştirebilmek için bir kaynak ve bir alıcı arasında çalışırlar. Kaynak, enerjinin alındığı ortamdır. Bu kaynaklar, ısı pompasının çalışma prensiplerine göre farklılık gösterebilir.

4.3.1. Hava kaynaklı ısı pompaları

Hava kaynaklı ısı pompaları, dış ortamdaki havayı kullanarak ısı transferi sağlar. Bu sistemler, dış hava sıcaklığındaki ısıyı çeker ve bu enerjiyi kullanarak iç mekanı ısıtma veya soğutma işlemlerini gerçekleştirir. Hava sıcaklığının yıl içinde hatta gün içinde değişmesi sebebiyle COP değeri değişkenlik gösterir.

Hava kaynaklı ısı pompalarının avantajları arasında dış ortamdaki havayı kullanarak enerji transferini gerçekleştirdiği için toprak altı veya su kaynaklı sistemlere göre daha kolay kurulması, uygun maliyetli bir seçenek olması, montaj, servis ve bakımlarının kolay olması yer almaktadır.

Hava kaynaklı ısı pompalarının dezavantajları arasında ise, dış hava sıcaklığına bağlı olarak düşük dış hava sıcaklıklarında verimliliğinin düşebilmesi yer almaktadır.

Hava sıcaklığının mevsimler arasında büyük değişiklikler gösterdiği karasal iklimlerde iç ve dış sıcaklıklar arasındaki fark artmaktadır. Bu nedenle ısı pompasının COP değeri azaldığı için karasal iklimlerde hava kaynaklı ısı pompalarının kullanımı sınırlıdır. Ancak, genelde ılıman iklimin yaşandığı Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde daha çok kullanılmaktadır.

4.3.2. Su kaynaklı ısı pompaları

Su kaynaklı ısı pompaları, enerji transferini gerçekleştirmek için su kaynaklarını kullanarak çalışan ısı pompası sistemleridir. Bu sistemler, genellikle göletler, nehirler, yeraltı suları veya diğer su kaynaklarından alınan ısıyı veya suya verilen ısıyı kullanarak iç mekanları ısıtma veya soğutma amaçlarıyla kullanılır. Su kaynaklı ısı pompalarının avantajları arasında; su genellikle daha yüksek ısı kapasitesine sahip olması nedeniyle su kaynaklı ısı pompalarının yüksek verimliliğe sahip olması ve hava sıcaklığının düşük olduğu durumlarda da sistemin verimliliğini koruması yer almaktadır. Su kaynaklı ısı pompalarının dezavantajları arasında ise, kurulum maliyetinin yüksek olması, yasal izinlere tabi olabilmesi ve belirli mevsimlerde donma gibi sorunların ortaya çıkması yer almaktadır.

4.3.3. Toprak kaynaklı ısı pompaları

Toprak kaynaklı ısı pompaları, topraktan alınan ısıyı veya toprağa verilen ısıyı kullanarak çalışır. Isı transferi, genellikle toprakta bulunan döngüler aracılığıyla gerçekleşir. Döngüler, borular içinde dolaşan dolaşım sıvısını içerir ve toprak içinde gömülüdür. Bu borular, toprağın ısınıp alarak veya toprağa ısı vererek sistem çalışır.

Toprak kaynaklı ısı pompalarının avantajları arasında toprağın genellikle daha sabit bir sıcaklığa sahip olması nedeniyle toprak kaynaklı ısı pompalarının mevsimsel değişimlere daha dirençli olması yer almaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompalarının dezavantajları arasında ise, kurulum maliyetinin genellikle yüksek olması, toprak kaynaklı sistemler için yeterli arazi alanına ihtiyaç olması, kurulumunun karışık olması, bakım ve servis maliyetlerin yüksek olması yer almaktadır. Toprak altındaki sıcaklık değişiminin havadaki kadar yüksek olmamasından dolayı, hava kaynaklı ısı pompalarında yaşanan sistem

verimliliği değişimleri, toprak kaynaklı ısı pompalarında daha azdır. Bu nedenle soğuk iklimlerde toprak kaynaklı ısı pompaları daha verimli çalışmaktadır.

Toprak kaynaklı ısı pompalarında topraktan ısıyı çekmek için iki yöntem kullanılmaktadır:

- Yatay tip sistemler: Bu sistemlerde, toprak altındaki borular yatay olarak döşenir. Bu tip sistemler genellikle daha geniş bir alana ihtiyaç duyar, ancak daha ekonomiktir.
- Dikey tip sistemler: Bu sistemlerde, borular dikey olarak yerleştirilir. Bu sistemler daha derin kazı gerektirebilir, ancak sınırlı yatay alanlarda da kullanılabilir.





5. SERALARDA ISI KAYBI VE ISI KAZANCI

Seralar, bitkileri dış ortamdan izole ederek, istenilen sıcaklık ve nem gibi kontrollü bir ortam oluşturmak için kullanılır. Bu kontrollü ortamı oluşturmak için seralarda ısı kayıplarını ve ısı kazançlarını belirlemek, bitkilerin yetiştirme ortamını düzenlemek ve optimal büyümeyi sağlamak için çok önemli bir konudur.

Seranın ısı kaybı, iç ortamdan dışarıya ısı geçişini ifade eder. Bu genellikle seranın duvarları, çatısı ve tabanı aracılığıyla gerçekleşir. Isı kaybı, dışarıdaki hava sıcaklığına, rüzgâr hızına, güneş ışığı miktarına ve seranın yapısına bağlıdır. Isı kaybı, seranın izole edilmesi veya ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak azaltılabilir.

Seranın içine giren güneş ışığı, ısı kazancını oluşturur. Bu, bitkilerin büyümesi için gerekli olan sıcaklığı sağlamak için kullanılır. Isı kazancı, seranın cam veya polikarbonat gibi malzemeler aracılığıyla güneş ışığını içeriye almasıyla gerçekleşir. Isı kazancı, dış ortamın güneş ışığı miktarına, bulutluluğa ve güneş ışığının açılmal yönüne bağlıdır.

Seranın içindeki sıcaklığı kontrol etmek için ısıtma ve soğutma sistemleri kullanılır. Isıtma sistemleri seranın kış aylarında sıcaklığı korumasına yardımcı olurken, soğutma sistemleri yaz aylarında aşırı sıcaklığı önlemek için kullanılır.

Isı kaybı ve ısı kazancı, termodinamik ilkelerle açıklanır. Seralarda sıcaklık kontrolü için sızdırmazlık ve yalıtım önlemleri alınır. Ayrıca, güneş ışığının maksimum şekilde kullanılması ve gerektiğinde seranın soğutulması da önemlidir. Isı kaybı ve ısı kazancı, bitkilerin ihtiyaç duyduğu optimal büyüme koşullarını sağlamak için dikkate alınmalıdır. Bazı bitkiler belirli sıcaklık aralıklarında en iyi şekilde büyürken, diğerleri farklı koşulları tercih edebilir. Bu nedenle, seranın sıcaklık yönetimi bitki türüne ve yetiştirme amacına bağlı olarak ayarlanmalıdır.

Seralarda ısı kayıpları çeşitli yollarla gerçekleşir. Isı, seranın duvarlarından, çatısından ve zemininden dışarıya doğru akar. Bu, sera malzemesinin ısı iletkenlik katsayısına bağlı olarak değişir. Seradaki hava sızıntıları, sıcak havanın dışarı kaçmasına ve soğuk havanın içeri girmesine neden olur. Bu nedenle, seranın tüm açıklıklarının ve bağlantıların hava sızdırmaz olması önemlidir.

Seralarda ısı kazancı da çeşitli yollarla gerçekleşir. Güneş ışınları seranın içine girerek ısı sağlar. Bu, bitkilerin büyümesi için gerekli olan ısıyı sağlar. Toprak, güneş ışınlamı ile ısınır ve bu ısı seraya geri döner. Toprağın ısı depolama kapasitesi yüksektir ve gece boyunca serayı ısıtmaya yardımcı olur.

5.1. Seralarda Isı Kaybı

ANSI ASAE EP 406.4 standardına göre bir serada meydana gelen toplam ısı kaybı değeri ($\dot{Q}_T$), seradan ışınlım, taşınım ve iletim ile gerçekleşen ısı transferi değeri ($\dot{Q}_{rc}$) ile sızıntı sonucu meydana gelen ısı transferi değeri ($\dot{Q}_i$) toplamına eşittir.

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_{rc} + \dot{Q}_i \quad (5.1)$$

“Eş. 5.1”de yer alan ışınlım, taşınım ve iletim ile gerçekleşen ısı transferi değeri $\dot{Q}_{rc}$ aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_{rc} = UA_c(t_i - t_o) \quad (5.2)$$

“Eş. 5.2”de, U toplam ısı transfer katsayısı $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, A_c sera örtüsünün yüzey alanı (m^2), t_i sera iç ortam sıcaklığı ($^\circ C$) ve t_o dış ortam tasarım sıcaklığıdır ($^\circ C$).

“Eş. 5.2”de yer alan U, sera kaplama yöntemi ve malzemesine göre Çizelge 5.1 kullanılarak belirlenir.

t_i ($^\circ C$) sera iç ortam sıcaklığı ise seranın içerisinde yetiştirilen bitkinin ısı gereksinimlerine göre belirlenir. Sera yetiştiriciliğinde farklı bitkiler için ihtiyaç duyulan sera içi sıcaklık değerleri literatürde yer almaktadır (Bkz. Çizelge 3.3).

Çizelge 5.1. Sera kaplama yöntemi ve malzemesine göre yaklaşık U değerleri

Sera kaplama malzemesi	U, W/(m ² ·°C)
Tek kat cam, sızdırmaz contalı	6,2
Tek kat cam, düşük yayma katsayılı	5,4
Çift kat cam, sızdırmaz contalı	3,7
Tek kat plastik	6,2
Tek kat polikarbonat, oluklu	6,2 – 6,8
Tek kat fiberglas, oluklu	5,7
Çift kat polietilen	4,0
Çift kat polietilen, IR inhibe edilmiş	2,8
Sert akrilik, çift cidarlı	3,2
Sert polikarbonat, çift cidarlı ¹⁾	3,2 – 3,6
Sert akrilik, W/polistiren peletler ²⁾	0,57
Cam üzeri çift katlı polietilen	2,8
Tek kat cam ve termal örtü ³⁾	4,0
Çift kat polietilen ve termal örtü ³⁾	2,5
¹⁾ Cidarlar arasındaki boşluk mesafesine bağlı olarak	
²⁾ Polistiren peletlerle doldurulmuş 32 mm sert akrilik paneller	
³⁾ Sadece örtü kapalı ve iyi yalıtımlı olması durumunda	

t_o (°C) dış ortam tasarım sıcaklığı ise, seranın kurulacağı il için en soğuk ayın en düşük dış sıcaklık değeri olarak alınabilir. Çizelge 5.2’de ülkemizdeki tüm illerin kış ayı dış tasarım sıcaklıkları verilmiştir. Ülkemizdeki tüm iller için en soğuk ay Ocak ayı olarak kabul edilebilir. Bu nedenle ülkemizdeki tüm illerdeki seralarda meydana gelebilecek ısı kaybı hesapları için Ocak ayı verileri kullanılabilir. Bir serada oluşabilecek en büyük ısı kaybı en soğuk ayda olabileceği için, Ocak ayındaki hesaplamalara göre yapılacak ısı pompası tasarım hesapları diğer aylar için de yeterli olacaktır.

Çizelge 5.2. İllerin kış tasarımı sıcaklıkları (°C) (MGM, 2024)

Plaka kodu	İl	Kış tasarımı sıcaklığı
01	Adana	0
02	Adıyaman	-9
03	Afyonkarahisar	-12
04	Ağrı	-24
05	Amasya	-12
06	Ankara	-12
07	Antalya	3
08	Artvin	-9
09	Aydın	-3
10	Balıkesir	-3
11	Bilecik	-9
12	Bingöl	-18
13	Bitlis	-15
14	Bolu	-15
15	Burdur	-9
16	Bursa	-6
17	Çanakkale	-3
18	Çankırı	-15
19	Çorum	-15
20	Denizli	-6
21	Diyarbakır	-9
22	Edirne	-9
23	Elazığ	-12
24	Erzincan	-18
25	Erzurum	-21
26	Eskişehir	-12
27	Gaziantep	-9
28	Giresun	-3
29	Gümüşhane	-12
30	Hakkari	-24
31	Hatay	0
32	Isparta	-9
33	Mersin	3
34	İstanbul	-3
35	İzmir	0
36	Kars	-27
37	Kastamonu	-12
38	Kayseri	-15
39	Kırklareli	-9
40	Kırşehir	-12
41	Kocaeli	-3

Plaka kodu	İl	Kış tasarımı sıcaklığı
42	Konya	-12
43	Kütahya	-12
44	Malatya	-12
45	Manisa	-3
46	Kahramanmaraş	-9
47	Mardin	-6
48	Muğla	-3
49	Muş	-18
50	Nevşehir	-15
51	Niğde	-15
52	Ordu	-3
53	Rize	-3
54	Sakarya	-3
55	Samsun	-3
56	Siirt	-9
57	Sinop	-3
58	Sivas	-18
59	Tekirdağ	-6
60	Tokat	-15
61	Trabzon	-3
62	Tunceli	-18
63	Şanlıurfa	-6
64	Uşak	-9
65	Van	-15
66	Yozgat	-15
67	Zonguldak	-3
68	Aksaray	-15
69	Bayburt	-15
70	Karaman	-12
71	Kırıkkale	-12
72	Batman	-9
73	Şırnak	-6
74	Bartın	-3
75	Ardahan	-21
76	Iğdır	-18
77	Yalova	-3
78	Karabük	-12
79	Kilis	-6
80	Osmaniye	-3
81	Düzce	-15

“Eş. 5.1”de yer alan sızıntı sonucu meydana gelen ısı transferi değeri $\dot{Q}_i$ aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_i = \rho_i NV[c_{p_i}(t_i - t_o) + h_{fg}(W_i - W_o)] \quad (5.3)$$

“Eş. 5.3”te, ρ_i sera havasının t_i sıcaklığındaki yoğunluğu (kg/m^3), N sızıntı oranı (1/s), V sera hacmi (m^3), c_{p_i} iç ortam havasının t_i sıcaklığındaki özgül ısısı ($\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$), t_i sera iç ortam sıcaklığı ($^\circ\text{C}$), t_o dış ortam sıcaklığı ($^\circ\text{C}$), h_{fg} t_i sıcaklığında suyun buharlaşma entalpisi (buharlaşma gizli ısısı) (J/kg), W_i iç ortam havasının özgül nemi ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$) ve W_o dış ortam havasının özgül nemidir ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$).

“Eş. 5.3”te yer alan sızıntı oranı N , Çizelge 5.3 aracılığı ile hesaplanabilir.

Çizelge 5.3. Sera tipi ve konstrüksiyonuna göre sızıntı oranı değerleri

Sera tipi ve konstrüksiyon özelliği	Sızıntı oranı (N) ¹⁾
	1/s
<u>Yeni yapı:</u>	
Çift kat plastik film	0,00021 – 0,00041
Cam veya Fiberglas	0,00014 – 0,00028
<u>Eski yapı:</u>	
Cam, iyi bakım	0,00028 – 0,00056
Cam, yetersiz bakım	0,00056 – 0,0011

¹⁾ Birim zamandaki iç hava hacmi değişimleri (1/s). Şiddetli rüzgârlar veya doğrudan rüzgâra maruz kalma, sızıntı oranlarını artıracaktır; tersine, düşük rüzgârlar veya rüzgârdan korunma sızıntı oranlarını azaltacaktır.

h_{fg} , t_i sıcaklığında suyun buharlaşma entalpisi (buharlaşma gizli ısısı) olup, aynı sıcaklıktaki suyun ve buharın entalpi değerleri farkından ya da direkt olarak tablo değerlerinden elde edilebilir (Çengel ve Boles, 1996).

“Eş. 5.3”te yer alan dış ortam özgül nemi W_o , illerin Ocak ayı dış ortam bağıl nem ölçüm değerlerine göre Çizelge 5.4’te yer almaktadır.

Çizelge 5.4. İllerin ocak ayı bağıl nem değerleri (%)

Plaka kodu	İl	Ocak
01	Adana	66
02	Adıyaman	69
03	Afyonkarahisar	78
04	Ağrı	82
05	Amasya	68
06	Ankara	76
07	Antalya	65
08	Artvin	64
09	Aydın	70
10	Balıkesir	81
11	Bilecik	78
12	Bingöl	71
13	Bitlis	77
14	Bolu	80
15	Burdur	74
16	Bursa	71
17	Çanakkale	84
18	Çankırı	80
19	Çorum	78
20	Denizli	73
21	Diyarbakır	75
22	Edirne	82
23	Elazığ	75
24	Erzincan	75
25	Erzurum	78
26	Eskişehir	79
27	Gaziantep	75
28	Giresun	71
29	Gümüşhane	71
30	Hakkari	71
31	Hatay	75
32	Isparta	71
33	Mersin	68
34	İstanbul	79
35	İzmir	71
36	Kars	82
37	Kastamonu	75
38	Kayseri	77
39	Kırklareli	79
40	Kırşehir	79
41	Kocaeli	78

Plaka kodu	İl	Ocak
42	Konya	76
43	Kütahya	71
44	Malatya	73
45	Manisa	75
46	Kahramanmaraş	70
47	Mardin	66
48	Muğla	76
49	Muş	80
50	Nevşehir	70
51	Niğde	75
52	Ordu	68
53	Rize	75
54	Sakarya	76
55	Samsun	68
56	Siirt	73
57	Sinop	72
58	Sivas	77
59	Tekirdağ	82
60	Tokat	69
61	Trabzon	69
62	Tunceli	75
63	Şanlıurfa	72
64	Uşak	74
65	Van	65
66	Yozgat	80
67	Zonguldak	70
68	Aksaray	70
69	Bayburt	72
70	Karaman	76
71	Kırıkkale	79
72	Batman	78
73	Şırnak	69
74	Bartın	84
75	Ardahan	77
76	Iğdır	66
77	Yalova	73
78	Karabük	73
79	Kilis	68
80	Osmaniye	64
81	Düzce	81

5.2. Seralarda Isı Kazancı

ANSI ASAE EP 406.4 standardına göre seralarda geleneksel soğutma alternatifleri, fazla enerjiyi uzaklaştırmak için egzoz fanlarına bağlıdır. Dışarıdaki havanın seranın içinden geçerken gölgelikten, zeminden ve çevredeki yapıdan gelen duyulur ısı nedeniyle enerji seviyesi yükselir. Belirli bir sıcaklık artışını korumak için gereken hava hacmi; $t_{ex} - t_{in}$ aşağıdaki yaklaşık enerji dengesi kullanılarak tahmin edilebilir.

$$(1 - E)\tau I A_f = U A_c (t_i - t_o) + \frac{Q_v A_f C_{p_{ex}}}{v_{ex}} (t_{ex} - t_{inlet}) \quad (5.4)$$

“Eş. 5.4”te, E evapotranspirasyon katsayısı (boyutsuz), τ örtünün güneş geçirgenliği (boyutsuz), I güneş radyasyonu (taban alanının W/m^2 ’si), A_f taban alanı (m^2), v_{ex} seradan çıkan havanın özgül hacmi (m^3/kg_{hava}), Q_v havalandırma oranı (taban alanının $m^3/(s \cdot m^2)$), $c_{p_{ex}}$ seradan çıkan havanın özgül ısısı ($J/(kg \cdot ^\circ C)$), t_{ex} seradan çıkan egzoz havasının sıcaklığı ($^\circ C$) ve t_{inlet} seraya giren havanın sıcaklığıdır ($^\circ C$).

“Eş. 5.4”teki U, A_c ve t_i terimleri “Eş. 5.2”dekilerle aynıdır. İç hava sıcaklığı t_i , giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması veya $(t_{ex} + t_{inlet})/2$ olarak alınabilir. Toplam ısı transfer katsayısı U için, bkz. Çizelge 5.1. Seradan çıkan havanın özgül hacmi v_{ex} ve özgül ısısı $c_{p_{ex}}$ psikrometrik diyagramlardan belirlenir. Evaporatif pedler kullanılıyorsa, giriş havası sıcaklığı t_{inlet} , pedlerin hemen içindeki sıcaklık olmalıdır aksi takdirde basitçe t_o olarak kabul edilir.

“Eş. 5.4”teki t_o ($^\circ C$) dış ortam sıcaklığı ise, seranın kurulacağı il için en sıcak ayın en yüksek dış sıcaklık değeri olarak alınabilir. Bu nedenle ülkemizdeki tüm illerdeki seralarda meydana gelebilecek ısı kazancı hesapları için en sıcak ay olan Temmuz ayı verileri kullanılabilir. Bir serada oluşabilecek en büyük ısı kazancı en sıcak ayda olabileceği için, Temmuz ayındaki hesaplamalara göre yapılacak ısı pompası tasarım hesapları diğer aylar için de yeterli olacaktır. Çizelge 5.5’te ülkemizdeki tüm illerin yaz ayı dış tasarım sıcaklıkları verilmiştir.

“Eş. 5.4”teki güneş geçirgenliği τ , tek katmanlı örtüler için 0,88 veya çift katmanlı örtüler için 0,79 varsayılır. Güneş radyasyonu I, Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illeri için aylara göre Çizelge 5.6’dan alınabilir.

Çizelge 5.5. İllerin yaz tasarımı sıcaklıkları (°C)

Plaka kodu	İl	Yaz tasarımı sıcaklığı
01	Adana	38
02	Adıyaman	38
03	Afyonkarahisar	34
04	Ağrı	34
05	Amasya	31
06	Ankara	35
07	Antalya	39
08	Artvin	30
09	Aydın	39
10	Balıkesir	38
11	Bilecik	34
12	Bingöl	33
13	Bitlis	34
14	Bolu	34
15	Burdur	36
16	Bursa	37
17	Çanakkale	34
18	Çankırı	34
19	Çorum	29
20	Denizli	38
21	Diyarbakır	42
22	Edirne	36
23	Elazığ	38
24	Erzincan	36
25	Erzurum	31
26	Eskişehir	34
27	Gaziantep	39
28	Giresun	29
29	Gümüşhane	33
30	Hakkari	34
31	Hatay	37
32	Isparta	34
33	Mersin	35
34	İstanbul	33
35	İzmir	37
36	Kars	30
37	Kastamonu	34
38	Kayseri	36
39	Kırklareli	35
40	Kırşehir	35
41	Kocaeli	36

Plaka kodu	İl	Yaz tasarımı sıcaklığı
42	Konya	34
43	Kütahya	33
44	Malatya	38
45	Manisa	40
46	Kahramanmaraş	36
47	Mardin	38
48	Muğla	37
49	Muş	32
50	Nevşehir	28
51	Niğde	34
52	Ordu	30
53	Rize	30
54	Sakarya	35
55	Samsun	32
56	Siirt	40
57	Sinop	30
58	Sivas	33
59	Tekirdağ	33
60	Tokat	29
61	Trabzon	31
62	Tunceli	37
63	Şanlıurfa	43
64	Uşak	35
65	Van	33
66	Yozgat	32
67	Zonguldak	32
68	Aksaray	34
69	Bayburt	33
70	Karaman	34
71	Kırıkkale	35
72	Batman	40
73	Şırnak	34
74	Bartın	31
75	Ardahan	27
76	Iğdır	36
77	Yalova	33
78	Karabük	32
79	Kilis	39
80	Osmaniye	38
81	Düzce	34

Çizelge 5.6. Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre güneş radyasyonu değerleri (W/m^2) (<https://en.tutiempo.net/solar-radiation>)

İl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ankara	238	348	528	668	846	889	890	804	662	459	277	207
Antalya	304	369	627	785	912	950	954	881	740	564	360	275
Mersin	300	377	608	746	894	945	948	865	725	552	352	272
Muğla	300	354	605	769	890	940	947	862	719	550	360	274

5.3. Örtü Malzemesine göre Isıtma ve Soğutma İhtiyacının Belirlenmesi

ANSI ASAE EP 406.4 standardına göre oluşturulan MS Excel hesaplama aracında Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinde aynı boyutlarda olan ve aynı bitkisel ürün yetiştirilen bir sera için ısı kaybı ve ısı kazancı hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalara seracılıkta kullanılan 3 farklı örtü malzemesi (çift kat cam sızdırmaz contalı, tek kat cam sızdırmaz contalı ve sert polikarbonat çift cidarlı) de dahil edilmiştir.

Seranın taban (zemin) alanı A_f , $500 m^2$ olarak kabul edilmiştir. Seranın yüksekliği 5 m olarak alınarak, seranın hacmi V , $2500 m^3$ olmuştur. Sera örtü alanı, sera taban alanının yaklaşık 1,7 katı olarak alınmıştır. Bu durumda $A_c = A_f \times 1,7$ $A_c = 500 \cdot 1,7 = 850 m^2$ olarak alınmıştır.

5.3.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için hesaplama

Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için U değeri $3,7 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ olarak bulunmuştur (bkz. Çizelge 5.1).

Ankara için ısı kaybı ve ısı kazancı hesabı

Serada yetiştirilecek ürün olarak domates seçilmiş olup, tüm bitkiler için gece ortam sıcaklığına uygun olması nedeniyle iç ortam sıcaklığı t_i $16^\circ C$ olarak belirlenmiştir (bkz. Çizelge 3.3). Dış ortam tasarım sıcaklığı t_o , Ankara ili için $-12^\circ C$ olarak belirlenmiştir (bkz. Çizelge 5.2).

Yukarıda verilen değerler, “Eş. 5.2”de yerlerine koyulursa seradan ışınlım, taşınım ve iletim ile gerçekleşen ısı transferi değeri $\dot{Q}_{rc}$ aşağıdaki gibi bulunur:

$$\dot{Q}_{rc} = 3,7 \cdot 850 \cdot (16 - (-12))$$

$$\dot{Q}_{rc} = 88\,060 \text{ Watt} = 88,06 \text{ kW}$$

Domatesin bağıl nemini (bkz. Çizelge 3.4) belirtilen oranlarda tutmak için iç ortam sıcaklığı (iç havanın kuru termometre sıcaklığı) t_i için bir iç hava yaş termometre sıcaklığı belirlenmelidir. Buna göre t_i 16°C olan bir domates serasında iç havanın yaş termometre sıcaklığı hesaplama aracında 12°C alınınca, domates için uygun bağıl nem ortamı oluşmuştur. Bu durumda 16°C iç hava kuru termometre sıcaklığı ile 12°C iç hava yaş termometre sıcaklığı verilerine göre hesaplama aracında sera havasının yoğunluğu ρ_i 1,08 kg/m³ ve iç ortam havasının özgül nemi W_i 0,0081 kg_{su}/kg_{hava} olarak hesaplanmıştır.

N, sızıntı oranı 0,0004 s⁻¹ olarak alınmıştır (bkz. Çizelge 5.3). İç ortam havasının 16°C'deki özgül ısı c_{pi} 1000,5 J/(kg·°C) olarak bulunmuştur.

16°C'de suyun buharlaşma entalpisi (buharlaşma gizli ısı) h_{fg} 2466,11 kJ/kg (2466110,00 J/kg) olarak bulunmuştur.

Ankara ili için ocak ayı bağıl nem değeri %76 (bkz. Çizelge 5.4) olarak belirlenmiştir. Ocak ayındaki nem değerini sağlamak için dış ortam tasarım sıcaklığı (dış havanın kuru termometre sıcaklığı) t_o için bir dış hava yaş termometre sıcaklığı belirlenmelidir. Buna göre t_o , -12°C için dış havanın yaş termometre sıcaklığı hesaplama aracında -12,8°C alınınca, Ankara ili için Ocak ayında uygun bağıl nem ortamı oluşmaktadır. Bu durumda -12°C dış hava kuru termometre sıcaklığı ile -12,8°C dış hava yaş termometre sıcaklığı verilerine göre hesaplama aracında dış ortam havasının özgül nemi W_o 0,0013 kg_{su}/kg_{hava} olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda verilen değerler “Eş. 5.3”te yerlerine koyulursa seradan sızıntı sonucu meydana gelen ısı transferi değeri $\dot{Q}_i$ aşağıdaki gibi bulunur:

$$\dot{Q}_i = 1,08 \cdot 0,0004 \cdot 2500 \cdot [1000,5 \cdot (16 - (-12)) + 2466110 \cdot (0,0081 - 0,0013)]$$

$$\dot{Q}_i = 48\,356,55 \text{ Watt} = 48,36 \text{ kW}$$

$\dot{Q}_{rc}$ ve $\dot{Q}_i$ değerleri “Eş. 5.1”de yerlerine koyulursa serada meydana gelen toplam ısı kaybı değeri $\dot{Q}_T$ aşağıdaki gibi bulunur.

$$\dot{Q}_T = 88,06 + 48,36 = 136,42 \text{ kW}$$

Ankara’da ısı kazancı hesapları için Temmuz ayı verileri kullanılmıştır. Buna göre evapotranspirasyon katsayısı, E , 0,80 olarak kabul edilmiştir. ANSI ASAE EP 406.4 standardına göre sera örtüsünün güneş geçirgenliği τ , çift kat cam için 0,79 olarak varsayılabilir. Güneş radyasyonu, I , değeri Ankara için 890 W/m^2 olarak alınmıştır (bkz. Çizelge 5.6). Bu durumda “Eş. 5.4”te eşitliğin sol tarafındaki ısı kazancı hesabı kullanılarak seradaki ısı kazancı aşağıdaki gibi bulunur.

$$(1 - 0,80) \cdot 0,79 \cdot 890 \cdot 500 = 70\,310,00 \text{ Watt} = 70,31 \text{ kW}$$

Seraya giren hava t_{inlet} değerini bulmak için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

Ankara için dış kuru termometre sıcaklığı (bkz. Çizelge 5.5) t_o 35°C olarak belirlenmiştir. İç hava kuru termometre sıcaklığı t_i 16°C alınmıştır. Bu durumda “Eş. 5.4”te eşitliğin sağ tarafındaki ilk işlem aşağıdaki gibi bulunur.

$$3,7 \cdot 850 \cdot (16 - 35) = -59\,755,00 \text{ Watt} = -59,76 \text{ kW}$$

Havalandırma oranı Q_v ANSI ASAE EP 406.4 standardına göre $0,06 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ olarak alınmıştır.

Seradan çıkan egzoz havasının sıcaklığı t_{ex} , $(t_o + t_i)/2$ hesabından $25,5^\circ\text{C}$ olarak bulunur. Domatesin bağıl nemini (bkz. Çizelge 3.4) belirtilen oranlarda tutmak için seradan çıkan egzoz havasının sıcaklığı (çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı) t_{ex} için çıkan havanın yaş termometre sıcaklığı belirlenmelidir. Buna göre t_{ex} $25,5^\circ\text{C}$ olan bir domates serasında çıkan havanın yaş termometre sıcaklığı hesaplama aracında $20,4^\circ\text{C}$ alınınca, domates için uygun bağıl nem ortamı oluşmuştur. Bu durumda $25,5^\circ\text{C}$ çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı ile $20,4^\circ\text{C}$ çıkan havanın yaş termometre sıcaklığı verilerine göre hesaplama aracında seradan çıkan havanın özgül ısı $c_{p\,ex}$ $1,006 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ve seradan çıkan havanın özgül hacmi v_{ex} ise $0,9608 \text{ m}^3/\text{kg}_{hava}$ olarak hesaplanmıştır.

“Eş. 5.4”e göre $t_{ex} - t_{inlet}$ değerini hesaplamak için eşitliğin sol tarafından eşitliğin sağ tarafının ilk işlemi çıkartılır. Çıkan sonuç $(Q_v \cdot A_f \cdot c_{p\ ex}) / v_{ex}$ değerine bölünür.

$$t_{ex} - t_{inlet} = [(70,31 - (-59,76))] / [(0,06 \cdot 500 \cdot 1,006) / 0,9608] = 4,14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{inlet} = t_{ex} - 4,14$$

$$t_{inlet} = 25,5 - 4,14 = 21,36 \text{ } ^\circ\text{C}$$

olarak bulunur.

Yukarıda Ankara için çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi ile yapılan hesaplamalar, aynı örtü malzemesi için Antalya, Mersin ve Muğla illeri için de yapılmıştır. Buna göre ilgili 4 il için hesaplama aracına girilen veriler Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için programa girilen veriler

	Ankara	Antalya	Mersin	Muğla
Örtü türü	Çift kat cam, sızdırmaz contalı			
Bitki türü	Domates			
Isı iletim (U)	3,7 W/(m ² ·°C)			
Örtü alanı (A _c)	850 m ²			
Dış hava kuru termometre sıcaklık (t _o) (Ocak ayı için)	-12,0 °C	3,0 °C	3,0 °C	-3,0 °C
İç hava kuru termometre sıcaklık (t _i) (Domates için)	16,0 °C			
Dış hava kuru termometre sıcaklık (t _o) (Temmuz ayı için)	35,0 °C	39,0 °C	35,0 °C	37,0 °C
Evapotranspirasyon katsayısı (E)	0,8			
Örtünün güneş geçirgenliği (τ)	0,79			
Güneş radyasyonu (I)	890,00 W/m ²	954,00 W/m ²	948,00 W/m ²	947,00 W/m ²
Sera taban (zemin) alanı (A _f)	500 m ²			
Sera hacmi (V)	2 500 m ³			
Seradan çıkan havanın sıcaklığı (t _{ex}) (Temmuz ayı için)	25,5 °C	27,5 °C	25,5 °C	26,5 °C

Çizelge 5.7’de girilen parametrelere göre çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için hesaplama aracı ile hesaplanan ısı kaybı, ısı kazancı ve seraya giren hava sıcaklığı t_{inlet} sonuçları da Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için illerin Ocak ayı ısı kaybı, Temmuz ayı ısı kazancı ve t_{inlet} değerleri

		Ankara	Antalya	Mersin	Muğla
Sera ısıtma (kW)	Ocak ayı ısı kaybı değeri (kW)	136,42	68,41	68,06	95,50
Sera soğutma (kW)	Temmuz ayı ısı kazancı değeri (kW)	70,31	75,37	74,89	74,81
Seraya giren havanın sıcaklığı (t_{in}) (Temmuz ayı için) (°C)		21,36	23,21	21,64	22,12

Seralarda yakıt tüketimi veya enerji sarfiyatı değerlerinin hesaplanabilmesi için, seralardaki enerji ihtiyaçlarının aylara göre belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen seranın Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerindeki ocak ayı ısı kaybı ve temmuz ayı ısı kazancı değerleri yukarıda hesaplanmıştır. Bu illerin diğer aylardaki ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının belirlenmesi için aylık ortalama sıcaklık değerleri dikkate alınır. Bu kapsamda Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla için ocak ve temmuz ayları hariç ortalama sıcaklık değerleri Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C) (MGM, 2024)

Plaka kodu	İl	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
06	Ankara	1,7	5,7	11,3	16,1	20	23,5	19	13,2	7,4	2,5
07	Antalya	10,7	12,9	16,4	20,6	25,3	28,4	25,3	20,6	15,5	11,6
33	Mersin	11,1	13,8	17,5	21,3	25	28,4	25,9	21,5	16,3	11,9
48	Muğla	6,1	8,5	12,8	17,8	22,8	26,3	21,9	16,2	10,8	7

Seranın iç ortam sıcaklığının 16°C’de tutulması için Çizelge 5.9 incelendiğinde Ocak ayı ile birlikte tüm illerimizde Şubat, Mart ve Aralık aylarında da ısıtma yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bunun dışında Nisan ayında Ankara ve Muğla’da, Ekim ayında sadece Ankara’da ve Kasım ayında Ankara ve Muğla ile birlikte az da olsa Antalya’da ısıtma

yapılması gerekmektedir. Diğer kalan aylarda tüm illerimizde seranın soğutulması gerektiği görülmektedir.

Bu kapsamda “Eş. 5.2” ve “Eş. 5.3” kullanılarak Ocak ayı ısı kaybı için hesaplama aracında yapılan hesaplamalar, ısıtma gereken diğer aylar için de hesaplama aracında yapıldığında Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla için Çizelge 5.10’daki gibi çıkmaktadır.

Çizelge 5.10. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kaybı değerleri (kW)

Plaka kodu	İl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Ekim	Kasım	Aralık
06	Ankara	136,42	72,34	52,34	22,72	12,07	43,52	68,29
07	Antalya	68,41	28,57	16,72	-	-	2,15	23,7
33	Mersin	68,06	25,8	10,9	-	-	-	21,47
48	Muğla	95,5	50,47	37,73	14,44	-	25,4	45,65

“Eş. 5.4”te eşitliğin sol tarafındaki ısı kazancı hesabı kullanılarak Temmuz ayı ısı kazancı hesabı için hesaplama aracında yapılan hesaplamalar, soğutma için gereken diğer aylar için de hesaplama aracında yapıldığında Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla için Çizelge 5.11’deki gibi çıkmaktadır. “Eş. 5.4”te yer alan I güneş radyasyonu değeri il ve aylara göre Çizelge 5.6’dan alınmıştır.

Çizelge 5.11. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kazancı değerleri (kW)

Plaka kodu	İl	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
06	Ankara	-	66,83	70,23	70,31	63,52	52,30	-	-
07	Antalya	62,02	72,05	75,05	75,37	69,60	58,46	44,56	-
33	Mersin	58,93	70,63	74,66	74,89	68,34	57,28	43,61	27,81
48	Muğla	-	70,31	74,26	74,81	68,10	56,80	43,45	-

5.3.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için hesaplama

Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için U değeri $6,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ olarak bulunmuştur (bkz. Çizelge 5.1).

Ankara için ısı kaybı ve ısı kazancı hesabı

Yukarıda verilen U değeri, “Eş. 5.2”de yerine koyulursa seradan ışıınım, taşınım ve iletim ile gerçekleşen ısı transferi değeri $\dot{Q}_{rc}$ aşağıdaki gibi bulunur:

$$\dot{Q}_{rc} = 6,2 \cdot 850 \cdot (16 - (-12))$$

$$\dot{Q}_{rc} = 147\,560 \text{ Watt} = 147,56 \text{ kW}$$

“Eş. 5.3” ile hesaplanan seradan sızıntı sonucu meydana gelen ısı transferi değeri $\dot{Q}_i$, sera örtü malzemesinin değişmesi ile bir değişim göstermemektedir. Bu durumda çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için hesaplanan sızıntı sonucu meydana gelen ısı transferi değeri $\dot{Q}_i$, tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için de 48,36 KW olacaktır.

$\dot{Q}_{rc}$ ve $\dot{Q}_i$ değerleri “Eş. 5.1”de yerlerine koyulursa serada meydana gelen toplam ısı kaybı değeri $\dot{Q}_T$ aşağıdaki gibi bulunur.

$$\dot{Q}_T = 147,56 + 48,36 = 195,92 \text{ kW}$$

Ankara’da ısı kazancı hesapları için Temmuz ayı verileri kullanılmıştır. Buna göre evapotranspirasyon katsayısı, E, 0,80 olarak kabul edilmiştir. ANSI ASAE EP 406.4 standardına göre sera örtüsünün güneş geçirgenliği τ , tek kat cam için 0,88 olarak varsayılabilir. Güneş radyasyonu, I, değeri Ankara için 890 W/m^2 olarak alınmıştır (bkz. Çizelge 5.6). Bu durumda “Eş. 5.4”te eşitliğin sol tarafındaki ısı kazancı hesabı kullanılarak seradaki ısı kazancı aşağıdaki gibi bulunur.

$$(1 - 0,80) \cdot 0,88 \cdot 890 \cdot 500 = 78\,320,00 \text{ Watt} = 78,32 \text{ kW}$$

Seraya giren hava t_{inlet} değerini bulmak için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

Ankara için dış kuru termometre sıcaklığı (bkz. Çizelge 5.5) t_o 35°C olarak belirlenmiştir. İç hava kuru termometre sıcaklığı t_i 16°C alınmıştır. Bu durumda “Eş. 5.4”te eşitliğin sağ tarafındaki ilk işlem aşağıdaki gibi bulunur.

$$6,2 \cdot 850 \cdot (16 - 35) = -100\,130,00 \text{ Watt} = -100,13 \text{ kW}$$

Havalandırma oranı Q_v ANSI ASAE EP 406.4 standardına göre $0,06 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ olarak alınmıştır.

Seradan çıkan egzoz havasının sıcaklığı t_{ex} , $(t_o + t_i)/2$ hesabından $25,5^\circ\text{C}$ olarak bulunur. Domatesin bağıl nemini (bkz. Çizelge 3.4) belirtilen oranlarda tutmak için seradan çıkan egzoz havasının sıcaklığı (çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı) t_{ex} için çıkan havanın yaş termometre sıcaklığı belirlenmelidir. Buna göre $t_{ex} 25,5^\circ\text{C}$ olan bir domates serasında çıkan havanın yaş termometre sıcaklığı hesaplama aracında $20,4^\circ\text{C}$ alınınca, domates için uygun bağıl nem ortamı oluşmuştur. Bu durumda $25,5^\circ\text{C}$ çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı ile $20,4^\circ\text{C}$ çıkan havanın yaş termometre sıcaklığı verilerine göre hesaplama aracında seradan çıkan havanın özgül ısı $c_{p \text{ ex}} 1,006 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ve seradan çıkan havanın özgül hacmi v_{ex} ise $0,9608 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{hava}}$ olarak hesaplanmıştır.

“Eş. 5.4”e göre $t_{ex} - t_{inlet}$ değerini hesaplamak için eşitliğin sol tarafından eşitliğin sağ tarafının ilk işlemi çıkartılır. Çıkan sonuç $(Q_v \cdot A_f \cdot c_{p \text{ ex}}) / v_{ex}$ değerine bölünür.

$$t_{ex} - t_{inlet} = [(78,32 - (-100,13))] / [(0,06 \cdot 500 \cdot 1,006) / 0,9608] = 5,68^\circ\text{C}$$

$$t_{inlet} = t_{ex} - 5,68$$

$$t_{inlet} = 25,5 - 5,68 = 19,82^\circ\text{C}$$

olarak bulunur.

Yukarıda Ankara için tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi ile yapılan hesaplamalar, aynı örtü malzemesi için Antalya, Mersin ve Muğla illeri için de yapılmıştır. Çizelge 5.7 ile çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için ilgili 4 il için hesaplama aracına girilen verilerden sadece örtü türü, U ve τ değerleri tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için farklıdır. Buna göre girilen parametrelere göre tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için hesaplama aracı ile hesaplanan ısı kaybı, ısı kazancı ve seraya giren hava sıcaklığı t_{inlet} sonuçları da Çizelge 5.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için illerin Ocak ayı ısı kaybı, Temmuz ayı ısı kazancı ve t_{inlet} değerleri

		Ankara	Antalya	Mersin	Muğla
Sera ısıtma (kW)	Ocak ayı ısı kaybı değeri (kW)	195,92	96,03	95,68	135,87
Sera soğutma (kW)	Temmuz ayı ısı kazancı değeri (kW)	78,32	83,95	83,42	83,34
Seraya giren havanın sıcaklığı (t_{in}) (Temmuz ayı için) (°C)		19,82	21,54	20,24	20,46

Çizelge 5.9’da verilen bilgilere göre Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinde ısıtma ve soğutma yapılacak aylar belirlenmişti. Bu kapsamda “Eş. 5.2” ve “Eş. 5.3” kullanılarak Ocak ayı ısı kaybı için hesaplama aracında yapılan hesaplamalar, ısıtma gereken diğer aylar için de hesaplama aracında yapıldığında Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla için Çizelge 5.13’teki gibi çıkmaktadır.

Çizelge 5.13. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kaybı değerleri (kW)

Plaka kodu	İl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Ekim	Kasım	Aralık
06	Ankara	195,92	102,73	74,23	32,71	18,02	61,79	96,98
07	Antalya	96,03	39,83	23,31	-	-	3,21	33,05
33	Mersin	95,68	36,22	15,57	-	-	-	30,18
48	Muğla	135,87	71,51	53,66	21,24	-	36,45	64,78

“Eş. 5.4”te eşitliğin sol tarafındaki ısı kazancı hesabı kullanılarak Temmuz ayı ısı kazancı hesabı için hesaplama aracında yapılan hesaplamalar, soğutma için gereken diğer aylar için de hesaplama aracında yapıldığında Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla için Çizelge 5.14’teki gibi çıkmaktadır. “Eş. 5.4”te yer alan I güneş radyasyonu değeri il ve aylara göre Çizelge 5.6’dan alınmıştır.

Çizelge 5.14. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kazancı değerleri (kW)

Plaka kodu	İl	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
06	Ankara	-	74,45	78,23	78,32	70,75	58,26	-	-
07	Antalya	69,08	80,26	83,60	83,95	77,53	65,12	49,63	-
33	Mersin	65,65	78,67	83,16	83,42	76,12	63,80	48,58	30,98
48	Muğla	-	78,32	82,72	83,34	75,86	63,27	48,40	-

5.3.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için hesaplama

Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtü malzemesi için U değeri $3,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ olarak alınmıştır (bkz. Çizelge 5.1).

Ankara için ısı kaybı ve ısı kazancı hesabı

Yukarıda verilen U değeri, “Eş. 5.2”de yerine koyulursa seradan ışınlım, taşınım ve iletim ile gerçekleşen ısı transferi değeri $\dot{Q}_{rc}$ aşağıdaki gibi bulunur:

$$\dot{Q}_{rc} = 3,3 \cdot 850 \cdot (16 - (-12))$$

$$\dot{Q}_{rc} = 78\,540 \text{ Watt} = 78,54 \text{ kW}$$

“Eş. 5.3” ile hesaplanan seradan sızıntı sonucu meydana gelen ısı transferi değeri $\dot{Q}_i$, sera örtü malzemesinin değişmesi ile bir değişim göstermemektedir. Bu durumda sert polikarbonat çift cidarlı sera örtüsü için hesaplanan sızıntı sonucu meydana gelen ısı transferi değeri $\dot{Q}_i$, tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için de 48,36 KW olacaktır.

$\dot{Q}_{rc}$ ve $\dot{Q}_i$ değerleri “Eş. 5.15.1” de yerlerine koyulursa serada meydana gelen toplam ısı kaybı değeri $\dot{Q}_T$ aşağıdaki gibi bulunur.

$$\dot{Q}_T = 78,54 + 48,36 = 126,9 \text{ kW}$$

Ankara’da ısı kazancı hesapları için Temmuz ayı verileri kullanılmıştır. Buna göre evapotranspirasyon katsayısı, E, 0,80 olarak kabul edilmiştir. ANSI ASAE EP 406.4 standardına göre sera örtüsünün güneş geçirgenliği τ , sert polikarbonat çift cidarlı için 0,79

olarak varsayılabilir. Güneş radyasyonu, I , değeri Ankara için 890 W/m^2 olarak alınmıştır (bkz. Çizelge 5.6). Bu durumda “Eş. 5.4”te eşitliğin sol tarafındaki ısı kazancı hesabı kullanılarak seradaki ısı kazancı aşağıdaki gibi bulunur.

$$(1 - 0,80) \cdot 0,79 \cdot 890 \cdot 500 = 70\,310,00 \text{ Watt} = 70,31 \text{ kW}$$

Seraya giren hava t_{inlet} değerini bulmak için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

Ankara için dış kuru termometre sıcaklığı (bkz. Çizelge 5.5) t_o 35°C olarak belirlenmiştir. İç hava kuru termometre sıcaklığı t_i 16°C alınmıştır. Bu durumda “Eş. 5.4”te eşitliğin sağ tarafındaki ilk işlem aşağıdaki gibi bulunur.

$$3,3 \cdot 850 \cdot (16 - 35) = -53\,295,00 \text{ Watt} = -53,295 \text{ kW}$$

Havalandırma oranı Q_v ANSI ASAE EP 406.4 standardına göre $0,06 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ olarak alınmıştır.

Seradan çıkan egzoz havasının sıcaklığı t_{ex} , $(t_o + t_i)/2$ hesabından $25,5^\circ\text{C}$ olarak bulunur. Domatesin bağıl nemini (bkz. Çizelge 3.4) belirtilen oranlarda tutmak için seradan çıkan egzoz havasının sıcaklığı (çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı) t_{ex} için çıkan havanın yaş termometre sıcaklığı belirlenmelidir. Buna göre t_{ex} $25,5^\circ\text{C}$ olan bir domates serasında çıkan havanın yaş termometre sıcaklığı hesaplama aracında $20,4^\circ\text{C}$ alınınca, domates için uygun bağıl nem ortamı oluşmuştur. Bu durumda $25,5^\circ\text{C}$ çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı ile $20,4^\circ\text{C}$ çıkan havanın yaş termometre sıcaklığı verilerine göre hesaplama aracında seradan çıkan havanın özgül ısı $c_{p \text{ ex}}$ $1,006 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ve seradan çıkan havanın özgül hacmi v_{ex} ise $0,9608 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{hava}}$ olarak hesaplanmıştır.

“Eş. 5.4”e göre $t_{\text{ex}} - t_{\text{inlet}}$ değerini hesaplamak için eşitliğin sol tarafından eşitliğin sağ tarafının ilk işlemi çıkartılır. Çıkan sonuç $(Q_v \cdot A_f \cdot c_{p \text{ ex}}) / v_{\text{ex}}$ değerine bölünür.

$$t_{\text{ex}} - t_{\text{inlet}} = [(70,31 - (-53,295))] / [(0,06 \cdot 500 \cdot 1,006) / 0,9608] = 3,94 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{inlet}} = t_{\text{ex}} - 3,94$$

$$t_{\text{inlet}} = 25,5 - 3,94 = 21,56 \text{ }^\circ\text{C}$$

olarak bulunur.

Yukarıda Ankara için tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi ile yapılan hesaplamalar, aynı örtü malzemesi için Antalya, Mersin ve Muğla illeri için de yapılmıştır. Çizelge 5.7 ile çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için ilgili 4 il için hesaplama aracına girilen verilerden sadece örtü türü ve U değerleri sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için farklıdır. Buna göre girilen parametrelere göre sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için hesaplama aracı ile hesaplanan ısı kaybı, ısı kazancı ve seraya giren hava sıcaklığı t_{inlet} sonuçları da Çizelge 5.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.15. Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtüsü için illerin Ocak ayı ısı kaybı, Temmuz ayı ısı kazancı ve t_{inlet} değerleri

		Ankara	Antalya	Mersin	Muğla
Sera ısıtma (kW)	Ocak ayı ısı kaybı değeri (kW)	126,90	63,99	63,64	89,04
Sera soğutma (kW)	Temmuz ayı ısı kazancı değeri (kW)	70,31	75,37	74,89	74,81
Seraya giren havanın sıcaklığı (t_{in}) (Temmuz ayı için) (°C)		21,56	23,44	21,83	22,34

Çizelge 5.9'da verilen bilgilere göre Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinde ısıtma ve soğutma yapılacak aylar belirlenmişti. Bu kapsamda “Eş. 5.2” ve “Eş. 5.3” kullanılarak Ocak ayı ısı kaybı için hesaplama aracında yapılan hesaplamalar, ısıtma gereken diğer aylar için de hesaplama aracında yapıldığında Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla için Çizelge 5.16'daki gibi çıkmaktadır.

Çizelge 5.16. Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kaybı değerleri (kW)

Plaka kodu	İl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Ekim	Kasım	Aralık
06	Ankara	126,9	67,48	48,84	21,13	11,12	40,6	63,7
07	Antalya	63,99	26,77	15,67	-	-	1,98	22,2
33	Mersin	63,64	24,14	10,15	-	-	-	20,08
48	Muğla	89,04	47,1	35,18	13,35	-	23,63	42,59

“Eş. 5.4”te eşitliğin sol tarafındaki ısı kazancı hesabı kullanılarak Temmuz ayı ısı kazancı hesabı için hesaplama aracında yapılan hesaplamalar, soğutma için gereken diğer aylar için de hesaplama aracında yapıldığında Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla için Çizelge 5.17’deki gibi çıkmaktadır. “Eş. 5.4”te yer alan I güneş radyasyonu değeri il ve aylara göre Çizelge 5.6’dan alınmıştır.

Çizelge 5.17. Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtüsü için Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin aylara göre ısı kazancı değerleri (kW)

Plaka kodu	İl	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
06	Ankara	-	66,83	70,23	70,31	63,52	52,30	-	-
07	Antalya	62,02	72,05	75,05	75,37	69,60	58,46	44,56	-
33	Mersin	58,93	70,63	74,66	74,89	68,34	57,28	43,61	27,81
48	Muğla	-	70,31	74,26	74,81	68,10	56,80	43,45	-



6. TEORİK İNCELEME

Seralarda verimliliği, sürdürülebilirliği ve üretkenliği artırmak için teknik inceleme önemli bir süreçtir. Seranın doğru tasarımı, kullanılan yapı malzemeleri, iklimlendirme sistemleri, enerji, otomasyon ve çevresel kontroller gibi bileşenlerin tümü bitkilerin yıl boyunca uygun bir ortamda yetişmesi için önemli parametrelerdir. Bunların doğru planlanması, uygulanması, yönetilmesi ile iklim koşullarından etkilenmeden seralarda ürün yetiştirilmesi mümkün olmaktadır.

6.1. Isı Pompalarının Sera İklimlendirme Sistemlerine Entegrasyonu

Seralarda kontrollü olarak bitki yetiştirilmektedir. Bitkilerin yetiştirme koşulları için gerekli olan ısı, ışık, su ve nem gibi parametreler dikkatli bir şekilde kontrol edilmektedir. Seraların ısıtılması veya soğutulması için daha çok fosil yakıtlı sistemler kullanılmaktadır. Ancak, fosil yakıtlı sistemler çevreye zarar vermekte ve seralarda işletme maliyetlerini artırmaktadır. Bu olumsuz durumları azaltmak için son yıllarda seralarda ısı pompaları kullanılmaktadır. Isı pompalarının kullanımı ile daha verimli sistemler oluşturulmaktadır. Isı pompaları ile hem ısıtma ve soğutma hem de sıcak su ihtiyacı karşılanabilmektedir. Daha verimli sistem oluşturulurken çevreye verilen zararlar azalmakta, enerji maliyetleri düşmekte ve böylece işletme maliyetleri de azalmaktadır.

Isı pompaları seralara entegre edilirken tasarım ve planlamanın düzgün yapılması önemlidir. Isı pompasının doğru boyutlandırılması ve konumlandırılması verimlilik için kritiktir. Bu nedenle detaylı ve planlı bir analiz yapılması gereklidir. Isı pompaları kurulurken, seradaki mevcut ısıtma ve soğutma sistemlerinin değerlendirilmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması önem arz etmektedir. Isı pompalarının verimli çalışabilmesi için otomasyon ve kontrol sistemlerinin de entegre edilmesi gerekmektedir. Böylelikle, sera içindeki sıcaklık, nem vb. diğer iklimsel veriler sürekli izlenir ve sistem tarafından gerekli ayarlamalar otomatik yapılır. Isı pompalarının bakım ve izlemelerinin de düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Düzenli bir ısı pompası bakımı ve performans izleme, sistemin uzun ömürlü ve verimli bir şekilde çalışmasına katkı sağlar.

6.1.1. Seralarda ısı pompası kontrol stratejileri

Seralarda ısı pompalarının etkin bir şekilde kullanılması için uygun kontrol stratejilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu stratejiler, enerji verimliliğini artırmak, işletme maliyetlerini düşürmek ve bitki büyüme koşullarını optimize etmek için önemlidir.

Bitki türüne bağlı olarak gece ve gündüz için farklı sıcaklık hedefleri belirlenmelidir. Isı pompaları bu sıcaklık hedeflerini otomatik olarak sağlamaktadır. Yaz ve kış aylarında da farklı sıcaklık hedefleri bulunduğundan ısı pompaları mevsimsel değişikliklere göre de ayarlanmalıdır. Seranın farklı bölgelerinde farklı sıcaklık ihtiyaçları olabileceğinden, ısı pompaları bölgesel kontrol ile her bölgenin ihtiyacına göre çalıştırılabilir. Özellikle hassas bitkiler için mikro iklim oluşturularak, ısı pompaları bu alanlarda hassas sıcaklık kontrolü sağlayabilir.

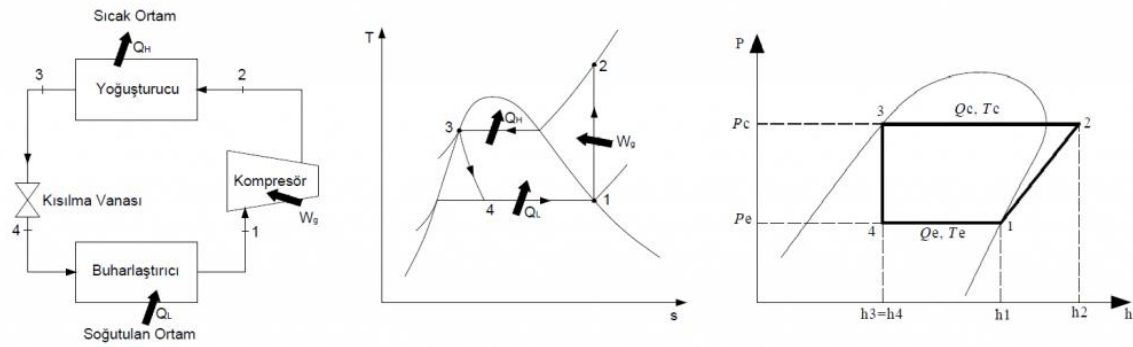
Farklı bitkiler için optimal nem seviyeleri belirlenir ve ısı pompaları bu seviyeleri korumak için çalışır. Nem sensörleri sürekli olarak ortamın nem seviyesini izler ve ısı pompaları bu verilere göre ayarlamalar yapar. Nem oranı yüksek olduğunda, ısı pompaları nem alma modunda çalışarak fazla nemi alır. Nem oranı düşük olduğunda ise ısı pompaları nemlendirme modunda çalışarak ortamın nem seviyesini artırır.

Isı pompaları enerji verimliliği stratejileri dikkate alınarak çalıştırılmalıdır. Örneğin, enerji tüketiminin düşük olduğu saatlerde çalıştırılması gibi ısı pompalarının belirli saatlerde çalışması için programlanması yapılabilir. Enerji fiyatlarının düşük olduğu saatlerde ısı pompaları daha yoğun çalıştırılabilir. Güneş enerjisi panelleri ile entegrasyon sağlanarak ısı pompalarının çalışması için gerekli enerji sağlanabilir. Fazla üretilen enerjinin depolanarak gerektiğinde kullanılması için enerji depolama sistemleri ile birlikte entegre kullanılabilir.

Isı pompaları internete bağlı cihazlar ve sensörler ile entegre edilerek sürekli izlenir ve kontrol edilir. Bu sensörlerden gelen veriler dikkate alınarak ısı pompalarının çalışması optimize edilir. Isı pompaları yaz aylarında doğal veya mekanik havalandırma sistemleri ile entegre çalışarak serayı soğutabilir. Gölgeleme sistemleri ile birlikte çalışarak seranın aşırı ısınmasını da engelleyebilir.

CO₂ seviyelerini sürekli izleyen sensörler ile entegre edilen ısı pompaları, ihtiyaç duyulan CO₂ miktarını otomatik olarak ayarlayabilir. Bitkilerin fotosentez için ihtiyaç duyulan CO₂ seviyeleri dikkate alınarak ısı pompaları çalıştırılabilir. Isı pompaları mobil uygulamalar veya internet tabanlı sistemler üzerinden uzaktan izlenebilir ve kontrol edilebilir. Sistemlerdeki herhangi bir anormallik veya arıza durumunda anlık bildirimler alınarak hızlı müdahale sağlanabilir. Isı pompaları kendi performanslarını sürekli izleyerek herhangi bir arıza veya performans düşüklüğünü tespit edebilir. Belirli aralıklarla bakım gereksinimlerini otomatik olarak bildirir. Elektrik kesintilerine karşı yedek enerji kaynakları kullanılarak ısı pompalarının kesintisiz çalışması sağlanabilir.

6.1.2. Seralarda ısı pompası kapasitesinin belirlenmesi



Şekil 6.1. Isı pompasının şematik çizimi, T - s ve P - h diyagramları

Şekil 6.1’de bir ısı pompasının şematik çizimi ile T - s ve P - h diyagramları gösterilmiştir. Buna göre; kompresör işi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (6.1)$$

“Eş. 6.1”de $\dot{m}$ soğutucu akışkanın debisi (kg/s), h_2 kompresörden yüksek basınçta ve kızgın buhar fazında çıkan soğutucu akışkanın t_2 sıcaklığındaki entalpisi (kJ/kg), h_1 ise kompresöre düşük basınçta ve buhar fazında giren soğutucu akışkanın t_1 sıcaklığındaki entalpisidir (kJ/kg).

Kondenserden sabit basınçta atılan ısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (6.2)$$

“Eş. 6.2”de h_3 kondenserden yüksek basınçta ve sıvı fazda çıkan soğutucu akışkanın t_3 sıcaklığındaki entalpisidir (kJ/kg).

Genleşme valfinde sabit entalpide soğutucu akışkanın basıncı düşer sıvı fazda kalmaya devam eder ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$h_3 = h_4 \quad (6.3)$$

Evaporatörden sabit basınçta çekilen ısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (6.4)$$

“Eş. 6.4”te h_4 evaporatöre düşük basınçta ve sıvı fazda giren soğutucu akışkanın t_1 sıcaklığındaki entalpisidir (kJ/kg).

Sistemin ısıtma modunda COP_{IP} ’si aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{comp}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (6.5)$$

Sistemin soğutma modunda COP_{SM} ’si aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$COP_{SM} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{comp}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (6.6)$$

6.2. İllere göre Isı Pompası Seçimi

İller için hesaplanan ısı kaybı ve ısı kazancı değerlerine göre ısı pompası seçimleri yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda ısı pompaları satışı yapan bir firmadan alınan kataloglara göre ısı pompası seçimleri yapılmıştır. Hava kaynaklı ısı pompası kapasitelerine göre verilen fiyat teklifleri ve illerin yaz-kış tasarım sıcaklıklarına göre hesaplanan COP’ler Çizelge 6.1’de

gösterilmektedir. Hava kaynaklı ısı pompalarının tesisata bağlantı fiyatı, ısı pompasının KDV hariç fiyatının %5'i kadar kabul edilerek hesaplamalara dahil edilmiştir.

Çizelge 6.1. Hava kaynaklı ısı pompası verileri

Norm Kapasite			kW	250	120	100	80
	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)						
Isıtma	-12 (Ankara)	Kapasite	kW	141,43	67,15	56,99	44,76
		COP _{IP}		2,42	2,4	2,18	2,4
		Elektrik Gücü	kW	58,44	27,98	26,14	18,65
	-3 (Muğla)	Kapasite	kW	184,64	87,22	75,07	58,16
		COP _{IP}		2,95	3,04	2,8	3,04
		Elektrik Gücü	kW	62,59	28,69	26,81	19,13
	3 (Antalya ve Mersin)	Kapasite	kW	219,72	103,56	89,27	69,03
		COP _{IP}		3,37	3,56	3,31	3,56
		Elektrik Gücü	kW	65,2	29,09	26,97	19,39
Soğutma	35 (Ankara ve Mersin)	Kapasite	kW	267,88	128,58	112,76	85,72
		COP _{SM}		5,94	7,54	6,96	7,54
		Elektrik Gücü	kW	45,1	17,05	16,2	11,37
	37 (Muğla)	Kapasite	kW	261,71	125,62	109,37	83,74
		COP _{SM}		6,1	7,82	7,19	7,82
		Elektrik Gücü	kW	42,9	16,06	15,21	10,71
	39 (Antalya)	Kapasite	kW	255,52	122,65	105,98	81,77
		COP _{SM}		6,27	8,1	7,42	8,1
		Elektrik Gücü	kW	40,75	15,14	14,28	10,1
		Fiyat (Euro)		28 000,00 €	12 000,00 €	10 000,00 €	8 000,00 €
		Euro Kuru		35,10			
		Fiyat (TL-KDV hariç)		982 800,00₺	421 200,00₺	351 000,00₺	280 800,00₺
		KDV Oranı		18,00%			
		Fiyat (TL-KDV Dahil)		1 159 704,00₺	497 016,00₺	414 180,00₺	331 344,00₺
		Tesisata bağlantı (Isı pompasının KDV hariç fiyatının %5'i)		5,00%			
				49 140,00₺	21 060,00₺	17 550,00₺	14 040,00₺
		Her şey dahil fiyat		1 208 844,00₺	518 076,00₺	431 730,00₺	345 384,00₺

Su kaynaklı ısı pompası kapasitelerine göre verilen fiyat teklifleri ve COP'ler Çizelge 6.2'de gösterilmektedir. COP'ler belirlenirken yeraltı suyu kaynaklı ısı pompasının kullanıldığı kabul edilmiştir. Bu durumda su kaynaklı ısı pompalarının tesisata bağlantı fiyatı, ısı pompasının KDV hariç fiyatının %60'ı kadar kabul edilerek hesaplamalara dahil edilmiştir.

Çizelge 6.2. Su kaynaklı ısı pompası verileri

Norm Kapasite		kW	170	120	100	80
Isıtma	Kapasite	kW	170	120	92,48	75
	COP _{IP}		4,8	4,8	4,8	4,8
	Elektrik Gücü	kW	35,42	25	19,27	15,63
Soğutma	Kapasite	kW	135	100	80	60
	COP _{SM}		3,8	3,8	3,8	3,8
	Elektrik Gücü	kW	35,53	26,32	21,05	15,79
Fiyat (Euro)			17 000,00 €	12 000,00 €	10 000,00 €	8 000,00 €
Euro Kuru			35,10			
Fiyat (TL-KDV hariç)			596 700,00₺	421 200,00₺	351 000,00₺	280 800,00₺
KDV Oranı			18,00%			
Fiyat (TL-KDV Dahil)			704 106,00₺	497 016,00₺	414 180,00₺	331 344,00₺
Tesisata bağlantı (Isı pompasının KDV hariç fiyatı*0,6)			60,00%			
			358 020,00₺	252 720,00₺	210 600,00₺	168 480,00₺
Her şey dahil fiyat			1 062 126,00₺	749 736,00₺	624 780,00₺	499 824,00₺

Toprak kaynaklı ısı pompası kapasitelerine göre verilen fiyat teklifleri ve COP'ler Çizelge 6.3'te gösterilmektedir. Toprak kaynaklı ısı pompalarının tesisata bağlantı fiyatı, ısı pompasının KDV hariç fiyatının %120'si kadar kabul edilerek hesaplamalara dahil edilmiştir.

Çizelge 6.3. Toprak kaynaklı ısı pompası verileri

Norm Kapasite		kW	170	100	80
Isıtma	Kapasite	kW	152	92,4	71,98
	COP _{IP}		4,66	4,65	4,18
	Elektrik Gücü	kW	32,62	19,87	17,22
Soğutma	Kapasite	kW	135	80	60
	COP _{SM}		4	4,2	4,2
	Elektrik Gücü	kW	33,75	19,05	14,29
Fiyat (Euro)			15 000,00 €	8 000,00 €	6 000,00 €
Euro Kuru			35,10		
Fiyat (TL-KDV hariç)			526 500,00₺	280 800,00₺	210 600,00₺
KDV Oranı			18,00%		
Fiyat (TL-KDV Dahil)			621 270,00₺	331 344,00₺	248 508,00₺
Tesisata bağlantı (Isı pompasının KDV hariç fiyatı*1,2)			120,00%		
			631 800,00₺	336 960,00₺	252 720,00₺
Her şey dahil fiyat			1 253 070,00₺	668 304,00₺	501 228,00₺

6.2.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için ısı pompası seçimi

Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için her bir ilde seçilen ısı pompaları aşağıda verilmiştir.

Ankara için ısı pompası seçimi

Çizelge 5.8’de çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için ısı kaybı değeri 136,42 kW ve ısı kazancı değeri de 70,31 kW olarak hesaplanmıştır. Ankara için Çizelge 6.1 incelendiğinde bir adet 250 kW hava kaynaklı ısı pompası seçimi yeterli olmaktadır. Bir adet 250 kW hava kaynaklı ısı pompasının fiyatı 1 208 844,00 TL’dir.

Çizelge 6.2 incelendiğinde Ankara için bir adet 170 kW su kaynaklı ısı pompası seçimi yeterli olmaktadır. Bir adet 170 kW su kaynaklı ısı pompasının fiyatı 1 062 126,00 TL’dir.

Çizelge 6.3 incelendiğinde Ankara için bir adet 170 kW toprak kaynaklı ısı pompası seçimi yeterlidir. Bir adet 170 kW toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı 1 253 070,00 TL’dir.

Bu kapsamda Ankara için seçilen toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı, hava kaynaklı ısı pompasının fiyatından 44 226,00 TL ve su kaynaklı ısı pompası fiyatından da 190 944,00 TL daha fazladır. Her ne kadar su kaynaklı ısı pompasının fiyatı daha ucuz olsa da Ankara’da yeraltı suyunun bulunabilirliği ve su miktarının yeterliliği sorunları bulunmaktadır. Literatür araştırmalarından da görüldüğü üzere kış aylarının sert geçtiği yerlerde hava kaynaklı ısı pompalarının yerine toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanımı daha uygundur ve ayrıca, Ankara için seçilen hava kaynaklı ısı pompası ile toprak kaynaklı ısı pompası fiyatı arasındaki fiyat farkı azdır. Belirtilen bu nedenlerden dolayı, Ankara’da kurulacak serada 170 kW toprak kaynaklı ısı pompasının seçilmesine karar verilmiştir.

Antalya ve Mersin için ısı pompası seçimi

Çizelge 5.8’de çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için ısı kaybı değeri 68,41 kW ve ısı kazancı değeri de 75,37 kW olarak hesaplanmıştı. Mersin için ise bu değerler sırasıyla 68,06 kW ve 74,89 kW olmuştu. Antalya ve Mersin için Çizelge 6.1 incelendiğine her bir il için bir adet 80 kW hava kaynaklı ısı pompası seçimi yeterli olmaktadır. Bir adet 80 kW hava kaynaklı ısı pompasının fiyatı 345 384,00 TL’dir.

Çizelge 6.2 incelendiğinde iki ilimiz için de bir adet 100 kW su kaynaklı ısı pompası yeterli olmaktadır. Bir adet 100 kW su kaynaklı ısı pompasının fiyatı 624 780,00 TL’dir.

İki ilimiz için Çizelge 6.3 incelendiğinde her bir il için bir adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompasının seçilmesi yeterlidir. Bir adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı 668 304,00 TL’dir.

Su kaynaklı ve hava kaynaklı ısı pompalarının fiyatları arasındaki fark 279 396,00 TL’dir. Toprak kaynaklı ve hava kaynaklı ısı pompalarının fiyatları arasındaki fark ise 322 920,00 TL’dir. Aradaki farkların yüksek miktarda olması ve yine literatür araştırmalarında da belirtildiği üzere ılıman iklimlerde hava kaynaklı ısı pompalarının tercih edilebilmesi nedenleriyle, Antalya ve Mersin için bir adet 80 kW hava kaynaklı ısı pompası seçilmesine karar verilmiştir.

Muğla için ısı pompası seçimi

Çizelge 5.8’de çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için ısı kaybı değeri 95,50 kW ve ısı kazancı değeri 74,81 kW olarak hesaplanmıştı. Muğla için Çizelge 6.1 incelendiğinde bir adet 120 kW hava kaynaklı ısı pompası seçimi yeterli olmaktadır. Bir adet 120 kW hava kaynaklı ısı pompasının fiyatı 518 076,00 TL’dir.

Çizelge 6.2 incelendiğinde Muğla için bir adet 100 kW su kaynaklı ısı pompası yeterli olmaktadır. Bir adet 100 kW su kaynaklı ısı pompasının fiyatı 624 780,00 TL’dir.

Çizelge 6.3 incelendiğinde Muğla için bir adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompası seçimi yeterlidir. Bir adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı 668 304,00 TL’dir.

Hava kaynaklı ısı pompasının fiyatı su kaynaklı ısı pompası fiyatından 106 704,00 TL ve toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatından 150 228,00 TL daha azdır. Ayrıca su kaynaklı ısı pompası ile toprak kaynaklı ısı pompası arasındaki fark 43 524,00 TL’dir. Bu durumda bir sonraki bölümde yapılacak olan maliyet analizleri sonucunda hangi pompanın Muğla için uygun olduğuna karar verilecektir.

6.2.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için ısı pompası seçimi

Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için her bir ilde seçilen ısı pompaları aşağıda verilmiştir.

Ankara için ısı pompası seçimi

Çizelge 5.12’de tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için ısı kaybı değeri 195,92 kW ve ısı kazancı değeri de 78,32 kW olarak hesaplanmıştı. Ankara için kış tasarım sıcaklığına göre Çizelge 6.1 incelendiğinde 195,92 kW ısı kaybı değeri tek bir hava kaynaklı ısı pompası ile karşılanamamaktadır. Bu nedenle bir adet 250 kW ve bir adet 100 kW hava kaynaklı ısı pompası seçimi ile ısı kaybı karşılanabilmektedir. Yaz tasarım sıcaklığına göre tek bir hava kaynaklı ısı pompası ile soğutma yeterli olmaktadır. Buna göre; en soğuk ay olan Ocak ayında Ankara ilinde yapılacak olan sera ısıtmasında 250 kW ve 100 kW’lık ısı pompalarının beraber çalıştırılması, diğer ısıtma yapılacak aylarda ise Çizelge 5.13’te verilen ısı değeri kayıplarına göre tek bir ısı pompasının çalıştırılması gerekmektedir.

Ayrıca, soğutma yapılacak aylarda ise tek bir hava kaynaklı ısı pompasının çalıştırılması yeterli olmaktadır. 250 kW'lık ısı pompasının fiyatı 1 208 844,00 ve 100 kW'lık ısı pompasının fiyatı 431 730,00 olmak üzere, toplam iki adet ısı pompasının fiyatı 1 640 574,00 TL olmaktadır.

Çizelge 6.2 incelendiğinde Ankara için 195,92 kW ısı kaybı değeri tek bir su kaynaklı ısı pompası ile karşılanamamaktadır. Bu nedenle iki adet 100 kW su kaynaklı ısı pompası seçilerek hem ısıtma hem de soğutma yapılabilir. İki adet 100 kW su kaynaklı ısı pompasının fiyatı 1 249 560,00 TL'dir.

Ankara için Çizelge 6.3 incelendiğinde 195,92 kW ısı kaybı değeri tek bir toprak kaynaklı ısı pompası ile karşılanamamaktadır. Bu nedenle iki adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompası seçilerek hem ısıtma hem de soğutma yapılabilir. İki adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı 1 336 608,00 TL'dir.

Bu kapsamda Ankara için seçilen iki adet toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı, yine iki adet seçilen hava kaynaklı ısı pompasının fiyatından 303 966,00 TL daha azdır. Ayrıca, iki adet toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı, iki adet su kaynaklı ısı pompasının fiyatından 87 048,00 TL daha fazla olmasına rağmen, Ankara'da yeraltı suyunun bulunabilirliği ve su miktarının yeterliliği sorunlarından dolayı iki adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompasının seçilmesine karar verilmiştir.

Antalya ve Mersin için ısı pompası seçimi

Çizelge 5.12'de tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için ısı kaybı değeri 96,03 kW ve ısı kazancı değeri de 83,95 kW olarak hesaplanmıştı. Mersin için ise bu değerler sırasıyla 95,68 kW ve 83,42 kW olmuştu. Antalya ve Mersin için Çizelge 6.1 incelendiğine her bir il için bir adet 100 kW hava kaynaklı ısı pompası seçimi yeterli olmaktadır. Bir adet 100 kW hava kaynaklı ısı pompasının fiyatı 431 730,00 TL'dir.

Çizelge 6.2 incelendiğinde iki ilimiz için de bir adet 100 kW su kaynaklı ısı pompası yeterli olmaktadır. Bir adet 100 kW su kaynaklı ısı pompasının fiyatı 624 780,00 TL'dir.

İki ilimiz için Çizelge 6.3 incelendiğinde her bir il için bir adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompasının seçilmesi yeterlidir. Bir adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı 668 304,00 TL'dir.

Su kaynaklı ve hava kaynaklı ısı pompalarının fiyatları arasındaki fark ise 193 050,00 TL'dir. Toprak kaynaklı ve hava kaynaklı ısı pompalarının fiyatları arasındaki fark 236 574,00 TL'dir. Aradaki farkların yüksek miktarda olması ve yine literatür araştırmalarında da belirtildiği üzere ılıman iklimlerde hava kaynaklı ısı pompalarının tercih edilebilmesi nedenleriyle, Antalya ve Mersin için bir adet 100 kW hava kaynaklı ısı pompası seçilmesine karar verilmiştir.

Muğla için ısı pompası seçimi

Çizelge 5.12'de tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için ısı kaybı değeri 135,87 kW ve ısı kazancı değeri 83,34 kW olarak hesaplanmıştı. Muğla için Çizelge 6.1 incelendiğinde 135,87 kW ısı kaybı değeri tek bir hava kaynaklı ısı pompası ile karşılanamamaktadır. Bu nedenle bir adet 100 kW ve bir adet 80 kW hava kaynaklı ısı pompası seçimi ile ısı kaybı karşılanabilmektedir. Yaz tasarım sıcaklığına göre tek bir hava kaynaklı ısı pompası ile soğutma yeterli olmaktadır. Buna göre; en soğuk ay olan Ocak ayında Muğla ilinde yapılacak olan sera ısıtmasında 100 kW ve 80 kW'lık ısı pompalarının beraber çalıştırılması, diğer ısıtma yapılacak aylarda ise Çizelge 5.13'te verilen ısı değeri kayıplarına göre tek bir ısı pompasının çalıştırılması gerekmektedir. Ayrıca, soğutma yapılacak aylarda ise tek bir hava kaynaklı ısı pompasının çalıştırılması yeterli olmaktadır. 100 kW'lık ısı pompasının fiyatı 431 730,00 ve 80 kW'lık ısı pompasının fiyatı 345 384,00 olmak üzere, toplam iki adet hava kaynaklı ısı pompasının fiyatı 777 114,00 TL olmaktadır.

Çizelge 6.2 incelendiğinde Muğla için bir adet 170 kW su kaynaklı ısı pompası yeterli olmaktadır. Bir adet 170 kW su kaynaklı ısı pompasının fiyatı 1 062 126,00 TL'dir.

Muğla için Çizelge 6.3 incelendiğinde bir adet 170 kW toprak kaynaklı ısı pompasının seçilmesi yeterlidir. Bir adet 170 kW toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı 1 253 070,00 TL'dir.

İki adet hava kaynaklı ısı pompasının fiyatı su kaynaklı ısı pompası fiyatından 285 012,00 TL ve toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatından 475 956,00 TL daha azdır. Su kaynaklı ısı pompasının fiyatı da toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatından 190 944,00 TL daha azdır. Bu durumda birer adet 100 kW ve 80 kW hava kaynaklı ısı pompaları ile bir adet 170 kW su kaynaklı ısı pompasından hangisinin Muğla için uygun olduğuna maliyet analizleri sonucunda karar verilecektir.

6.2.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için ısı pompası seçimi

Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtü malzemesi için her bir ilde seçilen ısı pompaları aşağıda verilmiştir.

Ankara için ısı pompası seçimi

Çizelge 5.15'te sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Ankara için ısı kaybı değeri 126,90 kW ve ısı kazancı değeri de 70,31 kW olarak hesaplanmıştı. Ankara için Çizelge 6.1 incelendiğinde bir adet 250 kW hava kaynaklı ısı pompası seçimi yeterli olmaktadır. Bir adet 250 kW hava kaynaklı ısı pompasının fiyatı 1 208 844,00 TL'dir.

Çizelge 6.2 incelendiğinde Ankara için bir adet 170 kW su kaynaklı ısı pompası seçimi yeterli olmaktadır. Bir adet 170 kW su kaynaklı ısı pompasının fiyatı 1 062 126,00 TL'dir.

Çizelge 6.3 incelendiğinde Ankara için bir adet 170 kW toprak kaynaklı ısı pompası seçimi yeterlidir. Bir adet 170 kW toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı 1 253 070,00 TL'dir.

Bu kapsamda Ankara için seçilen toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı, hava kaynaklı ısı pompasının fiyatından 44 226,00 TL ve su kaynaklı ısı pompası fiyatından da 190 944,00 TL daha fazladır. Her ne kadar su kaynaklı ısı pompasının fiyatı daha ucuz olsa da Ankara'da yeraltı suyunun bulunabilirliği ve su miktarının yeterliliği sorunları bulunmaktadır. Literatür araştırmalarından da görüldüğü üzere kış aylarının sert geçtiği yerlerde hava kaynaklı ısı pompalarının yerine toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanımı daha uygundur ve ayrıca, Ankara için seçilen hava kaynaklı ısı pompası ile toprak kaynaklı ısı pompası fiyatı arasındaki fiyat farkı azdır. Belirtilen bu nedenlerden dolayı, Ankara'da kurulacak serada 170 kW toprak kaynaklı ısı pompasının seçilmesine karar verilmiştir.

Antalya ve Mersin için ısı pompası seçimi

Çizelge 5.15'te sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Antalya için ısı kaybı değeri 63,99 kW ve ısı kazancı değeri de 75,37 kW olarak hesaplanmıştı. Mersin için ise bu değerler sırasıyla 63,64 kW ve 74,89 kW olmuştu. Antalya ve Mersin için Çizelge 6.1 incelendiğine her bir il için bir adet 80 kW hava kaynaklı ısı pompası seçimi yeterli olmaktadır. Bir adet 80 kW hava kaynaklı ısı pompasının fiyatı 345 384,00 TL'dir.

Çizelge 6.2 incelendiğinde iki ilimiz için de bir adet 100 kW su kaynaklı ısı pompası yeterli olmaktadır. Bir adet 100 kW su kaynaklı ısı pompasının fiyatı 624 780,00 TL'dir.

İki ilimiz için Çizelge 6.3 incelendiğinde her bir il için bir adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompasının seçilmesi yeterlidir. Bir adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı 668 304,00 TL'dir.

Su kaynaklı ve hava kaynaklı ısı pompalarının fiyatları arasındaki fark 279 396,00 TL'dir. Toprak kaynaklı ve hava kaynaklı ısı pompalarının fiyatları arasındaki fark ise 322 920,00 TL'dir. Aradaki farkların yüksek miktarda olması ve yine literatür araştırmalarında da belirtildiği üzere ılıman iklimlerde hava kaynaklı ısı pompalarının tercih edilebilmesi nedenleriyle, Antalya ve Mersin için bir adet 80 kW hava kaynaklı ısı pompası seçilmesine karar verilmiştir.

Muğla için ısı pompası seçimi

Çizelge 5.15'te sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Muğla için ısı kaybı değeri 89,04 kW ve ısı kazancı değeri 74,81 kW olarak hesaplanmıştı. Muğla için Çizelge 6.1 incelendiğinde bir adet 120 kW hava kaynaklı ısı pompası seçimi yeterli olmaktadır. Bir adet 120 kW hava kaynaklı ısı pompasının fiyatı 518 076,00 TL'dir.

Çizelge 6.2 incelendiğinde Muğla için bir adet 100 kW su kaynaklı ısı pompası yeterli olmaktadır. Bir adet 100 kW su kaynaklı ısı pompasının fiyatı 624 780,00 TL'dir.

Çizelge 6.3 incelendiğinde Muğla için bir adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompası seçimi yeterlidir. Bir adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatı 668 304,00 TL'dir.

Hava kaynaklı ısı pompasının fiyatı su kaynaklı ısı pompası fiyatından 106 704,00 TL ve toprak kaynaklı ısı pompasının fiyatından 150 228,00 TL daha azdır. Ayrıca su kaynaklı ısı pompası ile toprak kaynaklı ısı pompası arasındaki fark 43 524,00 TL'dir. Bu durumda bir sonraki bölümde yapılacak olan maliyet analizleri sonucunda hangi pompanın Muğla için uygun olduğuna karar verilecektir.

6.3. Enerji Verimliliği ve Çevresel Etkiler

Enerji verimliliği ve çevresel etkiler, seraların sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Isı pompaları, enerji tüketimlerini optimize ederken aynı zamanda çevresel etkileri de minimize edebilir. Isı pompalarının yüksek COP_{IP} değerine sahip olması enerjiyi az kullanarak daha fazla ısı üretmesine neden olur.

Geleneksel ısıtma sistemleri ile kıyaslandığında ısı pompaları daha düşük elektrik tüketmektedir. Böylelikle işletme maliyetleri düşmekte ve enerji kaynakları daha verimli kullanılmaktadır. Isı pompaları yenilenebilir enerji kaynakları ile kullanıldığında enerji verimliliği daha da artmaktadır.

Isı pompaları, geleneksel ısıtma sistemlerine göre daha düşük karbon emisyonlarına sahiptir. Bu da sera gazı salınımını azaltarak çevresel etkileri azaltır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan ısı pompalarının çevresel etkileri sıfır karbon ayak izine yakındır.

Modern ısı pompalarında kullanılan soğutucu akışkanların çevresel etkileri düşüktür. Kullanılan bu soğutucu akışkanlar ozon tabakasına zarar vermeyen ve küresel ısınma potansiyeli düşük olan akışkanlardır.

Isı pompalarının enerji tüketimini optimize eden kontrol sistemleri ile donatılması enerji verimliliğini artırır. Bu sistemler ısı pompalarının performansını sürekli olarak izler ve ayarlama yapar. Bu sayede enerji tüketimini minimize etmek için ısı pompalarının çalışma süresini ve yoğunluğunu optimize eder.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji depolanarak ısı pompalarının sürekli ve kesintisiz çalışması sağlanabilir. Ayrıca fazla ısı termal depolama sistemlerinde depolanarak gerektiğinde kullanılabilir. Böylelikle enerji tüketimi dengelenebilir ve enerji verimliliği artırılabilir.

Yüksek enerji verimliliği sayesinde ısı pompaları uzun vadede işletme maliyetlerini düşürür. Bu durum da seracılar için ekonomik bir avantaj sağlar. Birçok ülkede yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği projeleri için devlet desteği bulunmaktadır. Bu destekler sayesinde ısı pompaları daha ekonomik hale gelebilir.





7. EKONOMİK BAKIMDAN İNCELEME

Isı pompaları, seralarda ısıtma-soğutma maliyetlerini düşürmek ve enerji verimliliğini artırmak için kullanılan bir yöntemdir. Isı pompalarının seralarda kullanımının ekonomik incelemesi için bazı faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir.

7.1. Maliyet Analizi

Seralarda ısı pompalarının maliyet analizini yapmak için seraların spesifik ihtiyaçları ve ısı pompalarının kullanıldığı ortamlardaki performanslarını dikkate almak gerekir. Bu durumda ilk yatırım maliyetlerinin ve işletme maliyetlerinin analizine yönelik bir değerlendirme yapılması gerekmektedir.

7.1.1. Yatırım maliyetleri

Yatırım maliyetleri kapsamında öncelikle ısı pompası türüne karar verilmesi gerekmektedir. Hava kaynaklı, su kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompalarının maliyetleri farklılık göstermektedir. Örneğin; bir toprak kaynaklı ısı pompasının ilk kurulum maliyeti hava kaynaklı ısı pompasına göre daha yüksektir.

Kurulum için gereken işçilik ve ek donanım maliyetleri de önemli bir faktördür. Toprak kaynaklı ısı pompalarının ilk kurulumunda hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha fazla işçilik ve ek donanım ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Seranın büyüklüğü, ısı pompası kapasitesine ve kurulum maliyetlerine etki eder. Sera ne kadar büyüksse o kadar büyük kapasiteli sistemlere ihtiyaç vardır ve bu da ilk kurulum maliyetlerini artırır.

Isı pompalarının verimliliği, seranın bulunduğu bölgenin iklimine ve coğrafi koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Daha ılıman iklimlerde ısı pompaları genellikle daha verimli çalışır. Aynı büyüklükte ancak biri daha ılıman biri daha sert iklimde yer alan iki seraya kurulacak ısı pompalarının ilk kurulum maliyetleri de farklı olacaktır. Bunun nedeni daha sert iklimde yer alan seraya daha büyük kapasiteli ısı pompasının kullanılacak olması olarak açıklanabilir. Ayrıca; yüksek enerji gereksinimi olan büyük seralarda ısı pompalarının kullanımı daha fazla tasarruf sağlanmasına neden olur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ısı pompası sistemlerinin ekonomik fizibilitesini artırır. Ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarının ilk kurulum maliyetlerinin de maliyet analizleri yaparken dikkate alınması gerekmektedir. Seraların iyi izole edilmesi, ısı pompalarının verimliliğini artırır. Ancak, izolasyon kullanılması ek maliyetlere neden olur.

7.1.2. İşletme maliyetleri

Isı pompalarının işletme maliyetleri de önemli bir faktördür. İşletme ve bakım maliyetleri, sistemin ömrü boyunca dikkate alınmalıdır. Isı pompaları çalışmak için elektriğe ihtiyaç duyar. Ancak, bu elektrik enerjisi tüketimi geleneksel sistemlere göre daha azdır.

Enerji fiyatlarının gelecekteki durumu da ısı pompalarının ekonomik fizibilitesini doğrudan etkileyen bir faktördür. Enerji fiyatları artarsa, ısı pompalarının sağladığı tasarruf daha da artış gösterecektir.

Isı pompaları düzenli bakım gerektirir ve bu bakım maliyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bakımlar, sistemin verimli çalışmasını sağlar ve meydana gelebilecek arızaların önüne geçmesini sağlar. Zamanla parça değişimi de gerekebilir. Bu durumun da işletme maliyetlerine eklenmesi gerekmektedir.

7.1.3. Net bugünkü değer (NBD)

NBD, gelecekteki nakit akışlarının bugünkü değerini hesaplar. Pozitif bir NBD, yatırımın kârlı olduğunu gösterir. NBD hesaplaması için artış oranı belirlenir ve gelecekteki tasarruflar bu oranla bugünkü değere indirgenir.

$$NBD = \sum \frac{Net\ Tasarruf}{(1 + r)^t} \quad (7.1)$$

“Eş. 7.1”de r artış oranı ve t yıl sayısıdır.

7.2. Isıtma İhtiyacının Kömür ile Karşılanması Durumunda Ekonomik Analiz

Belirlenen serada ısıtma ihtiyacını kömür ile karşılamak için, otomatik beslemeli kömür kazanı kullanılarak serada oluşan ısı kayıplarının karşılanması öngörülmüştür. Bu kapsamda

otomatik beslemeli kazanın fiyatı, verimi ve kazanda kullanılacak ithal kömüre ait bilgiler Çizelge 7.1’de yer almaktadır.

Çizelge 7.1. Serada kullanılan kazana ve kazanda kullanılan ithal kömüre ait bilgiler

Kömür alt ısı değeri	kWh/ton	6 980,00
Kömür fiyatı	TL/ton	6 500,00₺
Kazan verimi		0,85
Kazan fiyatı (Dolar)		2 800,00 \$
Dolar kuru		32,74
Kazan fiyatı (TL-KDV hariç)		91 672,00₺
KDV oranı		20,00%
Kazan fiyatı (TL-KDV Dahil)		110 006,40₺

Buna göre her bil il için aylık kömür sarfıyatı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\text{Aylık kömür sarfıyatı} = \frac{\text{Isı kaybı değeri} \cdot \text{Günlük çalışma süresi} \cdot \text{Gün sayısı}}{\text{Kömür alt ısı değeri} \cdot \text{Kazan verimi}} \quad (7.2)$$

“Eş. 7.2”de belirtilen günlük çalışma süresinin aylara ve illere göre dağılımı Çizelge 7.2’de verilmektedir.

Çizelge 7.2. Günlük çalışma süresinin aylara ve illere göre dağılımı (saat)

İl	Ocak günlük çalışma süresi	Şubat günlük çalışma süresi	Mart günlük çalışma süresi	Nisan günlük çalışma süresi	Ekim günlük çalışma süresi	Kasım günlük çalışma süresi	Aralık günlük çalışma süresi
Ankara	15	14	13	11	12	13,5	14,5
Antalya	14	13	12			13,5	14
Mersin	14	13,5	12,5				14
Muğla	14	13,5	12,5	11,5		13,5	14

7.2.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için kömür tüketim hesabı

Ankara için Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ısıtmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Bu kapsamda Çizelge 5.10’daki çift kat cam sızdırmaz contalı örtü

malzemesi için aylara göre belirlenen ısı kaybı değerleri, Eş. 7.2 ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak Ankara için kömür sarfiyatı aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı kömür sarfiyatı} = (136,42 \cdot 15 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 10,69 \text{ ton}$$

$$\text{Şubat ayı kömür sarfiyatı} = (72,34 \cdot 14 \cdot 29) / (6980 \cdot 0,85) \approx 4,95 \text{ ton}$$

$$\text{Mart ayı kömür sarfiyatı} = (52,34 \cdot 13 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 3,56 \text{ ton}$$

$$\text{Nisan ayı kömür sarfiyatı} = (22,72 \cdot 11 \cdot 30) / (6980 \cdot 0,85) \approx 1,26 \text{ ton}$$

$$\text{Ekim ayı kömür sarfiyatı} = (12,07 \cdot 12 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 0,76 \text{ ton}$$

$$\text{Kasım ayı kömür sarfiyatı} = (43,52 \cdot 13,5 \cdot 30) / (6980 \cdot 0,85) \approx 2,97 \text{ ton}$$

$$\text{Aralık ayı kömür sarfiyatı} = (68,29 \cdot 14,5 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 5,17 \text{ ton}$$

$$\text{Yıllık toplam kömür sarfiyatı} = 10,69 + 4,95 + 3,56 + 1,26 + 0,76 + 2,97 + 5,17 \approx 29,36 \text{ ton}$$

$$\text{Yıllık kömür maliyeti} = (29,36 \text{ ton}) \cdot (6500 \text{ TL/ton}) \approx 190\ 840,00 \text{ TL}$$

Yukarıda yapılan hesaplamalar Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin tümü için hesaplama aracında yapılmıştır. Ankara için yıllık kömür maliyeti hesaplama aracında 190 856,52 TL olarak çıkmaktadır. Bunun nedeni yıllık toplam kömür sarfiyatının hesaplama aracında yuvarlamalar yapılmadan hesaplanmasıdır. Bu nedenle iller için çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için hesaplama aracı ile ortaya çıkan değerler Çizelge 7.3'te verilmiştir. Bundan sonraki karşılaştırmalarda bu çizelgedeki veriler kullanılacaktır.

Çizelge 7.3. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık kömür sarfiyatları ile yıllık kömür maliyetleri

	Ankara	Antalya	Mersin	Muğla
Ocak kömür sarfiyatı (ton)	10,69	5,00	4,98	6,99
Şubat kömür sarfiyatı (ton)	4,95	1,82	1,70	3,33
Mart kömür sarfiyatı (ton)	3,56	1,05	0,71	2,46
Nisan kömür sarfiyatı (ton)	1,26	0,00	0,00	0,84
Ekim kömür sarfiyatı (ton)	0,76	0,00	0,00	0,00
Kasım kömür sarfiyatı (ton)	2,97	0,15	0,00	1,73
Aralık kömür sarfiyatı (ton)	5,17	1,73	1,57	3,34
Yıllık kömür sarfiyatı (ton)	29,36	9,75	8,96	18,69
Yıllık kömür maliyeti (TL)	190 856,52	63 364,56	58 262,78	121 506,37

7.2.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için kömür tüketim hesabı

Ankara için Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ısıtmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Bu kapsamda Çizelge 5.13'teki tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için aylara göre belirlenen ısı kaybı değerleri, Eş. 7.2 ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak Ankara için kömür sarfiyatı aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı kömür sarfiyatı} = (195,92 \cdot 15 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 15,36 \text{ ton}$$

$$\text{Şubat ayı kömür sarfiyatı} = (102,73 \cdot 14 \cdot 29) / (6980 \cdot 0,85) \approx 7,03 \text{ ton}$$

$$\text{Mart ayı kömür sarfiyatı} = (74,23 \cdot 13 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 5,04 \text{ ton}$$

$$\text{Nisan ayı kömür sarfiyatı} = (32,71 \cdot 11 \cdot 30) / (6980 \cdot 0,85) \approx 1,82 \text{ ton}$$

$$\text{Ekim ayı kömür sarfıyatı} = (18,02 \cdot 12 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 1,13 \text{ ton}$$

$$\text{Kasım ayı kömür sarfıyatı} = (61,79 \cdot 13,5 \cdot 30) / (6980 \cdot 0,85) \approx 4,22 \text{ ton}$$

$$\text{Aralık ayı kömür sarfıyatı} = (96,98 \cdot 14,5 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 7,35 \text{ ton}$$

$$\text{Yıllık toplam kömür sarfıyatı} = 15,36 + 7,03 + 5,04 + 1,82 + 1,13 + 4,22 + 7,35 \approx 41,95 \text{ ton}$$

$$\text{Yıllık kömür maliyeti} = (41,95 \text{ ton}) \cdot (6500 \text{ TL/ton}) \approx 272 675,00 \text{ TL}$$

Yukarıda yapılan hesaplamalar Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin tümü için hesaplama aracında yapılmıştır. Ankara için yıllık kömür maliyeti hesaplama aracında 272 622,11 TL olarak çıkmaktadır. Bunun nedeni yıllık toplam kömür sarfıyatının hesaplama aracında yuvarlamalar yapılmadan hesaplanmasıdır. Bu nedenle iller için tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için hesaplama aracı ile ortaya çıkan değerler Çizelge 7.4'te verilmiştir. Bundan sonraki karşılaştırmalarda bu çizelgedeki veriler kullanılacaktır.

Çizelge 7.4. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık kömür sarfiyatları ile yıllık kömür maliyetleri

	Ankara	Antalya	Mersin	Muğla
Ocak kömür sarfıyatı (ton)	15,36	7,02	7,00	9,94
Şubat kömür sarfıyatı (ton)	7,03	2,53	2,39	4,72
Mart kömür sarfıyatı (ton)	5,04	1,46	1,02	3,50
Nisan kömür sarfıyatı (ton)	1,82	0,00	0,00	1,24
Ekim kömür sarfıyatı (ton)	1,13	0,00	0,00	0,00
Kasım kömür sarfıyatı (ton)	4,22	0,22	0,00	2,49
Aralık kömür sarfıyatı (ton)	7,35	2,42	2,21	4,74
Yıllık kömür sarfıyatı (ton)	41,94	13,65	12,61	26,62
Yıllık kömür maliyeti (TL)	272 622,11	88 749,71	81 988,68	173 057,50

7.2.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için kömür tüketim hesabı

Ankara için Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ısıtmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Bu kapsamda Çizelge 5.16'daki sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için aylara göre belirlenen ısı kaybı değerleri, Eş. 7.2 ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak Ankara için kömür sarfiyatı aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı kömür sarfiyatı} = (126,90 \cdot 15 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 9,95 \text{ ton}$$

$$\text{Şubat ayı kömür sarfiyatı} = (67,48 \cdot 14 \cdot 29) / (6980 \cdot 0,85) \approx 4,62 \text{ ton}$$

$$\text{Mart ayı kömür sarfiyatı} = (48,84 \cdot 13 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 3,32 \text{ ton}$$

$$\text{Nisan ayı kömür sarfiyatı} = (21,13 \cdot 11 \cdot 30) / (6980 \cdot 0,85) \approx 1,18 \text{ ton}$$

$$\text{Ekim ayı kömür sarfiyatı} = (11,12 \cdot 12 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 0,70 \text{ ton}$$

$$\text{Kasım ayı kömür sarfiyatı} = (40,60 \cdot 13,5 \cdot 30) / (6980 \cdot 0,85) \approx 2,77 \text{ ton}$$

$$\text{Aralık ayı kömür sarfiyatı} = (63,70 \cdot 14,5 \cdot 31) / (6980 \cdot 0,85) \approx 4,83 \text{ ton}$$

$$\text{Yıllık toplam kömür sarfiyatı} = 9,95 + 4,62 + 3,32 + 1,18 + 0,70 + 2,77 + 4,83 \approx 27,37 \text{ ton}$$

$$\text{Yıllık kömür maliyeti} = (27,37 \text{ ton}) \cdot (6500 \text{ TL/ton}) \approx 177\,905,00 \text{ TL}$$

Yukarıda yapılan hesaplamalar Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin tümü için hesaplama aracında yapılmıştır. Ankara için yıllık kömür maliyeti hesaplama aracında 177 781,62 TL olarak çıkmaktadır. Bunun nedeni yıllık toplam kömür sarfiyatının hesaplama aracında yuvarlamalar yapılmadan hesaplanmasıdır. Bu nedenle iller için sert polikarbonat çift cidarlı sera örtü malzemesi için hesaplama aracı ile ortaya çıkan değerler Çizelge 7.5'te verilmiştir. Bundan sonraki karşılaştırmalarda bu çizelgedeki veriler kullanılacaktır.

Çizelge 7.5. Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık kömür sarfiyatları ile yıllık kömür maliyetleri

	Ankara	Antalya	Mersin	Muğla
Ocak kömür sarfiyatı (ton)	9,95	4,68	4,66	6,51
Şubat kömür sarfiyatı (ton)	4,62	1,70	1,59	3,11
Mart kömür sarfiyatı (ton)	3,32	0,98	0,66	2,30
Nisan kömür sarfiyatı (ton)	1,18	0,00	0,00	0,78
Ekim kömür sarfiyatı (ton)	0,70	0,00	0,00	0,00
Kasım kömür sarfiyatı (ton)	2,77	0,14	0,00	1,61
Aralık kömür sarfiyatı (ton)	4,83	1,62	1,47	3,12
Yıllık kömür sarfiyatı (ton)	27,35	9,12	8,38	17,42
Yıllık kömür maliyeti (TL)	177 781,62	59 302,93	54 469,86	113 254,50

7.3. Isıtmanın Elektrik Enerjisi ile Karşılanması Durumunda Ekonomik Analiz

Isıtma ihtiyacının elektrik enerjisi ile karşılanması için sera örtü malzemesine göre ısı pompası seçimi yapılmıştır (bkz. Bölüm 6.2). Elektrik birim fiyatı 3,67 TL/kWh alınmıştır. Buna göre her bir il için aylık elektrik sarfiyatı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\text{Aylık elektrik sarfiyatı} = \frac{\text{Isı kaybı değeri}}{COP_{IP}} \cdot \text{Günlük çalışma süresi} \cdot \text{Gün sayısı} \quad (7.3)$$

7.3.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için elektrik tüketim hesabı

Hava kaynaklı ısı pompalarının COP_{IP} 'si hava sıcaklığına göre değişmektedir. Bu nedenle hava kaynaklı ısı pompaları için illerin ısıtma yapılacak aylardaki ortalama sıcaklıklarına göre COP_{IP} 'leri belirlenmelidir. Buna göre çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için belirlenen 170 kW toprak kaynaklı ısı pompası COP_{IP} 'si, Çizelge 5.9'da

verilen aylık ortalama sıcaklık değerlerine göre Antalya ve Mersin illeri için belirlenen 80 kW hava kaynaklı ısı pompasının COP_{IP} 'leri ile Muğla için maliyet analizleri sonucunda karar verilecek olan 120 kW hava kaynaklı, 100 kW su kaynaklı ve 100 kW toprak kaynaklı ısı pompalarının COP_{IP} 'leri Çizelge 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.6. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesine göre iller için belirlenen ısı pompalarının aylara göre COP_{IP} değerleri

İl	Ocak COP_{IP}	Şubat COP_{IP}	Mart COP_{IP}	Nisan COP_{IP}	Ekim COP_{IP}	Kasım COP_{IP}	Aralık COP_{IP}
Ankara	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66
Antalya	3,56	4,35	4,60	-	-	4,90	4,45
Mersin	3,56	4,40	4,70	-	-		4,49
Muğla (HKIP)	3,04	3,87	4,11	4,59	-	4,36	3,96
Muğla (SKIP)	4,80	4,80	4,80	4,80	-	4,80	4,80
Muğla (TKIP)	4,65	4,65	4,65	4,65	-	4,65	4,65

Çizelge 5.10'daki çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için verilen aylık ısı kaybı değerleri, Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri, Eş. 7.3 ve Çizelge 7.6'daki COP_{IP} değerleri kullanılarak Ankara için elektrik sarfıyatı aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik sarfıyatı} = (136,42 / 4,66) \cdot 15 \cdot 31 \approx 13\,612,73 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik sarfıyatı} = (72,34 / 4,66) \cdot 14 \cdot 29 \approx 6\,302,58 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik sarfıyatı} = (52,34 / 4,66) \cdot 13 \cdot 31 \approx 4\,526,40 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik sarfıyatı} = (22,72 / 4,66) \cdot 11 \cdot 30 \approx 1\,608,93 \text{ kWh}$$

$$\text{Ekim ayı elektrik sarfıyatı} = (12,07 / 4,66) \cdot 12 \cdot 31 \approx 963,53 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik sarfıyatı} = (43,52 / 4,66) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 3\,782,32 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik sarfıyatı} = (68,29 / 4,66) \cdot 14,5 \cdot 31 \approx 6\,587,20 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik sarfıyatı} = 13\,612,73 + 6\,302,58 + 4\,526,40 + 1\,608,93 + 963,53 + 3\,782,32 + 6\,587,20 \approx 37\,383,69 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik maliyeti} = (37\,383,69 \text{ kWh}) \cdot (3,67 \text{ TL/kWh}) \approx 137\,198,14 \text{ TL}$$

Yukarıda yapılan hesaplamalar Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin tümü için hesaplama aracıyla yapılmıştır. Ankara için yıllık elektrik maliyeti hesaplama aracıyla 137 198,11 TL olarak çıkmaktadır. Bunun nedeni yıllık elektrik sarfiyatının hesaplama aracıyla yuvarlamalar yapılmadan hesaplanmasıdır. Bu nedenle iller için hesaplama aracı ile ortaya çıkan değerler Çizelge 7.7’de verilmiştir. Bundan sonraki karşılaştırmalarda bu çizelgedeki veriler kullanılacaktır.

Çizelge 7.7. Çift kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık elektrik maliyetleri (TL)

İl	Ocak elektrik tutarı	Şubat elektrik tutarı	Mart elektrik tutarı	Nisan elektrik tutarı	Ekim elektrik tutarı	Kasım elektrik tutarı	Aralık elektrik tutarı	Yıllık elektrik tutarı
Ankara	49 958,70	23 130,48	16 611,88	5 904,76	3 536,15	13 881,11	24 175,03	137 198,11
Antalya	30 607,33	9 087,16	4 962,35	0,00	0,00	652,17	8 482,90	53 791,91
Mersin	30 450,73	8 424,90	3 298,12	0,00	0,00	0,00	7 616,26	49 790,01
Muğla (HKIP)	50 036,35	18 737,87	13 055,18	3 983,27	0,00	8 659,01	18 361,21	112 832,88
Muğla (SKIP)	31 689,69	15 107,41	11 178,50	3 809,00	0,00	7 865,27	15 148,00	84 797,86
Muğla (TKIP)	32 711,93	15 594,74	11 539,09	3 931,87	0,00	8 118,99	15 636,65	87 533,27

7.3.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için elektrik tüketim hesabı

Hava kaynaklı ısı pompalarının COP_{IP} ’si hava sıcaklığına göre değişmektedir. Bu nedenle hava kaynaklı ısı pompaları için illerin ısıtma yapılacak aylardaki ortalama sıcaklıklarına göre COP_{IP} ’leri belirlenmelidir. Buna göre tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için belirlenen 2 adet 100 kW toprak kaynaklı ısı pompası COP_{IP} ’si, Çizelge 5.9’da verilen aylık ortalama sıcaklık değerlerine göre Antalya ve Mersin illeri için belirlenen 100 kW hava kaynaklı ısı pompasının COP_{IP} ’leri ile Muğla için maliyet analizleri sonucunda karar verilecek olan birer adet 100 kW ile 80 kW hava kaynaklı ısı pompalarının ve 170 kW su kaynaklı ısı pompasının COP_{IP} ’leri Çizelge 7.8’da verilmiştir.

Çizelge 7.8. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesine göre iller için belirlenen ısı pompalarının aylara göre COP_{IP} değerleri

İl	Ocak COP _{IP}	Şubat COP _{IP}	Mart COP _{IP}	Nisan COP _{IP}	Ekim COP _{IP}	Kasım COP _{IP}	Aralık COP _{IP}
Ankara	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
Antalya	3,31	4,08	4,33	-	-	4,63	4,18
Mersin	3,31	4,13	4,43	-	-	-	4,22
Muğla (100 kW-HKIP)	2,80	3,60	3,85	4,32	-	4,09	3,69
Muğla (80 kW-HKIP)	3,04	3,87	4,11	4,59	-	4,36	3,96
Muğla (SKIP)	4,80	4,80	4,80	4,80	-	4,80	4,80

Çizelge 5.13'teki tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtüsü için verilen aylık ısı kaybı değerleri, Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri, Eş. 7.3 ve Çizelge 7.8'deki COP_{IP} değerleri kullanılarak Ankara için elektrik sarfıyatı aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik sarfıyatı} = (195,92 / 4,65) \cdot 15 \cdot 31 \approx 19\,592,00 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik sarfıyatı} = (102,73 / 4,65) \cdot 14 \cdot 29 \approx 8\,969,54 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik sarfıyatı} = (74,23 / 4,65) \cdot 13 \cdot 31 \approx 6\,433,27 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik sarfıyatı} = (32,71 / 4,65) \cdot 11 \cdot 30 \approx 2\,321,35 \text{ kWh}$$

$$\text{Ekim ayı elektrik sarfıyatı} = (18,02 / 4,65) \cdot 12 \cdot 31 \approx 1\,441,60 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik sarfıyatı} = (61,79 / 4,65) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 5\,381,71 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik sarfıyatı} = (96,98 / 4,65) \cdot 14,5 \cdot 31 \approx 9\,374,73 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik sarfıyatı} = 19\,592,00 + 8\,969,54 + 6\,433,27 + 2\,321,35 + 1\,441,60 + 5\,381,71 + 9\,374,73 \approx 53\,514,20 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik maliyeti} = (53\,514,20 \text{ kWh}) \cdot (3,67 \text{ TL/kWh}) \approx 196\,397,11 \text{ TL}$$

Yukarıda yapılan hesaplamalar Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin tümü için hesaplama aracında yapılmıştır. Ankara için yıllık elektrik maliyeti hesaplama aracında 196

397,15 TL olarak çıkmaktadır. Bunun nedeni yıllık elektrik sarfiyatının hesaplama aracında yuvarlamalar yapılmadan hesaplanmasıdır. Bu nedenle iller için hesaplama aracı ile ortaya çıkan değerler Çizelge 7.9’da verilmiştir. Bundan sonraki karşılaştırmalarda bu çizelgedeki veriler kullanılacaktır.

Çizelge 7.9. Tek kat cam sızdırmaz contalı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık elektrik maliyetleri (TL)

İl	Ocak elektrik tutarı	Şubat elektrik tutarı	Mart elektrik tutarı	Nisan elektrik tutarı	Ekim elektrik tutarı	Kasım elektrik tutarı	Aralık elektrik tutarı	Yıllık elektrik tutarı
Ankara	71 902,64	32 918,23	23 610,09	8 519,37	5 290,67	19 750,87	34 405,27	196 397,15
Antalya	46 209,87	13 506,96	7 349,59	0,00	0,00	1 030,49	12 593,63	80 690,55
Mersin	46 041,45	12 600,75	4 998,30	0,00	0,00	0,00	11 391,02	75 031,52
Muğla (100)	77 289,65	28 540,53	19 821,10	6 225,24	0,00	13 246,32	27 962,14	173 084,98
Muğla (80)	71 187,84	26 549,33	18 567,21	5 859,05	0,00	12 426,02	26 055,63	160 645,08
Muğla (SKIP)	45 085,63	21 405,40	15 898,17	5 602,71	0,00	11 286,97	21 495,89	120 774,78

7.3.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için elektrik tüketim hesabı

Çift kat sızdırmaz contalı örtü malzemesi için seçilen ısı pompalarının aynıları sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için de seçilmiştir. Bu nedenle Çizelge 7.6’da çift kat sızdırmaz contalı örtü malzemesi için verilen COP_{IP} değerleri aynı şekilde sert polikarbonat sızdırmaz contalı örtü malzemesi için de geçerlidir.

Bu durumda Çizelge 5.16’daki sert polikarbonat çift cidarlı sera örtüsü için verilen aylık ısı kaybı değerleri, Çizelge 7.2’deki günlük çalışma süreleri, Eş. 7.3 ve Çizelge 7.6’daki COP_{IP} değerleri kullanılarak Ankara için elektrik sarfiyatı aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik sarfiyatı} = (126,90 / 4,66) \cdot 15 \cdot 31 \approx 12\,662,77 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik sarfiyatı} = (67,48 / 4,66) \cdot 14 \cdot 29 \approx 5\,879,16 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik sarfiyatı} = (48,84 / 4,66) \cdot 13 \cdot 31 \approx 4\,223,72 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik sarfiyatı} = (21,13 / 4,66) \cdot 11 \cdot 30 \approx 1\,496,33 \text{ kWh}$$

$$\text{Ekim ayı elektrik sarfiyatı} = (11,12 / 4,66) \cdot 12 \cdot 31 \approx 887,69 \text{ kWh}$$

Kasım ayı elektrik sarfıyatı = $(40,60 / 4,66) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 3\,528,54$ kWh

Aralık ayı elektrik sarfıyatı = $(63,70 / 4,66) \cdot 14,5 \cdot 31 \approx 6\,144,45$ kWh

Yıllık toplam elektrik sarfıyatı = $12\,662,77 + 5\,879,16 + 4\,223,72 + 1\,496,33 + 887,69 + 3\,528,54 + 6\,144,45 \approx 34\,822,66$ kWh

Yıllık elektrik maliyeti = $(34\,822,66 \text{ kWh}) \cdot (3,67 \text{ TL/kWh}) \approx 127\,799,16$ TL

Yukarıda yapılan hesaplamalar Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinin tümü için hesaplama aracında yapılmıştır. Ankara için yıllık elektrik maliyeti hesaplama aracında 127 799,16 TL olarak çıkmaktadır. İller için hesaplama aracı ile ortaya çıkan değerler Çizelge 7.7’de verilmiştir. Bundan sonraki karşılaştırmalarda bu çizelgedeki veriler kullanılacaktır.

Çizelge 7.10. Sert polikarbonat çift cidarlı sera örtü malzemesi için illerin aylık ve yıllık elektrik maliyetleri (TL)

İl	Ocak elektrik tutarı	Şubat elektrik tutarı	Mart elektrik tutarı	Nisan elektrik tutarı	Ekim elektrik tutarı	Kasım elektrik tutarı	Aralık elektrik tutarı	Yıllık elektrik tutarı
Ankara	46 472,36	21 576,51	15 501,04	5 491,53	3 257,83	12 949,74	22 550,14	127 799,16
Antalya	28 629,77	8 514,64	4 650,72	0,00	0,00	600,61	7 946,00	50 341,75
Mersin	28 473,18	7 882,83	3 071,18	0,00	0,00	0,00	7 123,17	46 550,37
Muğla (HKIP)	46 651,69	17 486,70	12 172,84	3 682,59	0,00	8 055,61	17 130,43	105 179,85
Muğla (SKIP)	29 546,07	14 098,65	10 422,99	3 521,48	0,00	7 317,18	14 132,60	79 038,97
Muğla (TKIP)	30 499,17	14 553,44	10 759,22	3 635,08	0,00	7 553,22	14 588,49	81 588,61

7.4. Fotovoltaik Destekli Isı Pompası Kullanılması Durumunda Ekonomik Analiz

Bu çalışma kapsamında seçilen ısı pompalarının elektrik ihtiyacını karşılamak için fotovoltaik destekli sistem alternatifleri de ele alınmıştır. Bu kapsamda her biri 550 Watt güce ve 2 m² alana sahip paneller seçilmiştir. Panel fiyatı kurulum maliyetleri dâhil 450 \$/kWp ($450 \times 32,74 \approx 14\,700,00$ TL/kWp) alınmıştır. Ayrıca, güneş enerjisi sistemi sayesinde üretilip şebekeye aktarılan elektrik enerjisiyle, şebekeden çekilecek enerji birbirinden düşülerek şebekeye satış işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Tarımsal faaliyetler için EPDK tarafından belirlenen 1,982802 TL/kWh satış bedelinden ve 0,369322 TL dağıtım bedeli alınmaktadır. Bu durumda $1,982802 - 0,369322 \approx 1,61$ TL/kWh gelir elde edilecektir.

7.4.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için fotovoltaik sistem hesabı

Ankara için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Ankara için seçilen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.11’de verilmiştir. Buna göre Ankara için en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 29,27 kW olmaktadır. 29,27 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.11. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için belirlenen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	136,42	4,66	29,27	-	-	-
Şubat	72,34	4,66	15,52	-	-	-
Mart	52,34	4,66	11,23	-	-	-
Nisan	22,72	4,66	4,88	-	-	-
Mayıs	-	-	-	66,83	4,00	16,71
Haziran	-	-	-	70,23	4,00	17,56
Temmuz	-	-	-	70,31	4,00	17,58
Ağustos	-	-	-	63,52	4,00	15,88
Eylül	-	-	-	52,30	4,00	13,08
Ekim	12,07	4,66	2,59	-	-	-
Kasım	43,52	4,66	9,34	-	-	-
Aralık	68,29	4,66	14,65	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 64 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 64 = 35\,200,00 \text{ Wp} = 35,2 \text{ kWp}$$

kWp’den kWe’ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 35,2 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 29,92 \text{ kWe}$$

Bu durumda Ankara için seçilen toprak kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 35,2 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 517\,440,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 64 \cdot 2 \text{ m}^2 = 128 \text{ m}^2$$

128 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 64 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Ankara için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 238 \text{ W/m}^2 \cdot 128 \text{ m}^2 = 30\,464,00 \text{ Wp} = 30,464 \text{ kWp} \approx 25,90 \text{ kWe}$$

$$\text{Şubat ayı hesabı} = 348 \text{ W/m}^2 \cdot 128 \text{ m}^2 = 44\,544,00 \text{ Wp} = 44,544 \text{ kWp} \approx 37,86 \text{ kWe}$$

Ankara için Ocak ayından itibaren Kasım ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Kasım ayına kadar paneller ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Kasım ayı hesabı} = 277 \text{ W/m}^2 \cdot 128 \text{ m}^2 = 35\,456,00 \text{ Wp} = 35,456 \text{ kWp} \approx 30,14 \text{ kWe}$$

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 207 \text{ W/m}^2 \cdot 128 \text{ m}^2 = 26\,496,00 \text{ Wp} = 26,496 \text{ kWp} \approx 22,52 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.11'de yer alan değerler ile karşılaştırıldığında sadece Ocak ayındaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanamamaktadır. Bu nedenle $29,27 - 25,90 = 3,37 \text{ kW}$ elektrik şebekeden sağlanacaktır. Bunun sisteme maliyeti ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Ocak ayı elektrik sarfıyatı} = 3,37 \cdot 15 \cdot 31 \approx 1\,567,05 \text{ kWh}$$

$$\text{Ocak ayı elektrik maliyeti} = (1\,567,05 \text{ kWh}) \cdot (3,67 \text{ TL/kWh}) \approx 5\,751,07 \text{ TL}$$

Ocak ayı hariç diğer tüm aylarda şebekeye satış işlemi yapılabilmektedir. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Ankara’da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.11’deki Ocak ayı hariç ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2’deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (72,34 / 4,66) \cdot 14 \cdot 29 \approx 6\,302,58 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (52,34 / 4,66) \cdot 13 \cdot 31 \approx 4\,526,40 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik tüketimi} = (22,72 / 4,66) \cdot 11 \cdot 30 \approx 1\,608,93 \text{ kWh}$$

$$\text{Ekim ayı elektrik tüketimi} = (12,07 / 4,66) \cdot 12 \cdot 31 \approx 963,53 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (43,52 / 4,66) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 3\,782,32 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (68,29 / 4,66) \cdot 14,5 \cdot 31 \approx 6\,587,20 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 6\,302,58 + 4\,526,40 + 1\,608,93 + 963,53 + 3\,782,32 + 6\,587,20 \approx 23\,770,96 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (23\,770,96 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 38\,271,25 \text{ TL}$$

Antalya için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Antalya için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.12’de verilmiştir. Buna göre Antalya için en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 19,22 kW olmaktadır. 19,22 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.12. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	68,41	3,56	19,22	-	-	-
Şubat	28,57	4,35	6,57	-	-	-
Mart	16,72	4,60	3,63	-	-	-
Nisan	-	-	-	62,02	5,02	12,35
Mayıs	-	-	-	72,05	5,55	12,98
Haziran	-	-	-	75,05	6,18	12,14
Temmuz	-	-	-	75,37	6,63	11,37
Ağustos	-	-	-	69,60	6,62	10,51
Eylül	-	-	-	58,46	6,18	9,46
Ekim	-	-	-	44,56	5,55	8,03
Kasım	2,15	4,90	0,44	-	-	-
Aralık	23,70	4,45	5,33	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 42 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 42 = 23\ 100,00 \text{ Wp} = 23,1 \text{ kWp}$$

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 23,1 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 19,64 \text{ kWe}$$

Bu durumda Antalya için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 23,1 \text{ kWp} \cdot 14\ 700,00 \text{ TL/kWp} = 339\ 570,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 42 \cdot 2 \text{ m}^2 = 84 \text{ m}^2$$

84 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 42 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Antalya için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 304 \text{ W/m}^2 \cdot 84 \text{ m}^2 = 25\,536,00 \text{ Wp} = 25,536 \text{ kWp} \approx 21,71 \text{ kWe}$$

Antalya için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 275 \text{ W/m}^2 \cdot 84 \text{ m}^2 = 23\,100,00 \text{ Wp} = 23,1 \text{ kWp} \approx 19,64 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.12'de yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Antalya'da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.12'deki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (68,41 / 3,56) \cdot 14 \cdot 31 \approx 8\,339,87 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (28,57 / 4,35) \cdot 13 \cdot 29 \approx 2\,476,07 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (16,72 / 4,60) \cdot 12 \cdot 31 \approx 1\,352,14 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (2,15 / 4,90) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 177,70 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (23,70 / 4,45) \cdot 14 \cdot 31 \approx 2\,311,42 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 8\,339,87 + 2\,476,07 + 1\,352,14 + 177,70 + 2\,311,42 \approx 14\,657,20 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (14\,657,20 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 23\,598,09 \text{ TL}$$

Mersin için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Mersin için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.13'te verilmiştir. Buna göre Mersin için en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 19,12 kW olmaktadır. 19,12 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.13. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	68,06	3,56	19,12	-	-	-
Şubat	25,80	4,40	5,86	-	-	-
Mart	10,90	4,70	2,32	-	-	-
Nisan	-	-	-	58,93	5,16	11,42
Mayıs	-	-	-	70,63	5,64	12,52
Haziran	-	-	-	74,66	6,14	12,16
Temmuz	-	-	-	74,89	6,53	11,47
Ağustos	-	-	-	68,34	6,62	10,32
Eylül	-	-	-	57,28	6,27	9,14
Ekim	-	-	-	43,61	5,67	7,69
Kasım	-	-	-	27,81	5,00	5,56
Aralık	21,47	4,49	4,78	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 41 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 41 = 22\,550,00 \text{ Wp} = 22,55 \text{ kWp}$$

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 22,55 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 19,17 \text{ kWe}$$

Bu durumda Mersin için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 22,55 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 331\,485,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 41 \cdot 2 \text{ m}^2 = 82 \text{ m}^2$$

82 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 41 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Mersin için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 300 \text{ W/m}^2 \cdot 82 \text{ m}^2 = 24\,600,00 \text{ Wp} = 24,6 \text{ kWp} \approx 20,91 \text{ kWe}$$

Mersin için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 272 \text{ W/m}^2 \cdot 82 \text{ m}^2 = 22\,304,00 \text{ Wp} = 22,304 \text{ kWp} \approx 18,96 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.13'te yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Mersin'de ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.13'teki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (68,06 / 3,56) \cdot 14 \cdot 31 \approx 8\,297,20 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (25,80 / 4,40) \cdot 13,5 \cdot 29 \approx 2\,295,61 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (10,90 / 4,70) \cdot 12,5 \cdot 31 \approx 898,67 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (21,47 / 4,49) \cdot 14 \cdot 31 \approx 2\,075,27 \text{ kWh}$$

Yıllık toplam elektrik tüketimi = 8 297,20 + 2 295,61 + 898,67 + 2 075,27 $\approx$ 13 566,75 kWh

Yıllık elektrik geliri = (13 566,75 kWh) $\cdot$ (1,61 TL/kWh) $\approx$ 21 842,47 TL

Muğla için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Muğla için üç farklı ısı pompası seçilmiş olup, maliyet analizleri sonucunda hangi ısı pompasının seçileceğine karar verilecektir.

Bu kapsamda ilk olarak hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.14'te verilmiştir. Buna göre Muğla için hava kaynaklı ısı pompasının en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 31,41 kW olmaktadır. 31,41 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.14. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	95,50	3,04	31,41	-	-	-
Şubat	50,47	3,87	13,04	-	-	-
Mart	37,73	4,11	9,18	-	-	-
Nisan	14,44	4,59	3,15	-	-	-
Mayıs	-	-	-	70,31	5,19	13,55
Haziran	-	-	-	74,26	5,85	12,69
Temmuz	-	-	-	74,81	6,34	11,80
Ağustos	-	-	-	68,10	6,32	10,78
Eylül	-	-	-	56,80	5,73	9,91
Ekim	-	-	-	43,45	4,99	8,71
Kasım	25,40	4,36	5,83	-	-	-
Aralık	45,65	3,96	11,53	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 68 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

Toplam panel gücü = 550 Watt $\cdot$ 68 = 37 400,00 Wp = 37,4 kWp

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 37,4 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 31,79 \text{ kWe}$$

Bu durumda Muğla için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 37,4 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 549\,780,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 68 \cdot 2 \text{ m}^2 = 136 \text{ m}^2$$

136 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 68 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Muğla için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 300 \text{ W/m}^2 \cdot 136 \text{ m}^2 = 40\,800,00 \text{ Wp} = 40,8 \text{ kWp} \approx 34,68 \text{ kWe}$$

Muğla için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda hava kaynaklı ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller hava kaynaklı ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde hava kaynaklı ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 274 \text{ W/m}^2 \cdot 136 \text{ m}^2 = 37\,264,00 \text{ Wp} = 37,264 \text{ kWp} \approx 31,67 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.14'te yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Muğla'da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.14'teki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (95,50 / 3,04) \cdot 14 \cdot 31 \approx 13\,633,88 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (50,47 / 3,87) \cdot 13,5 \cdot 29 \approx 5\,105,69 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (37,73 / 4,11) \cdot 12,5 \cdot 31 \approx 3\,557,27 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik tüketimi} = (14,44 / 4,59) \cdot 11,5 \cdot 30 \approx 1\,085,36 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (25,40 / 4,36) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 2\,359,40 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (45,65 / 3,96) \cdot 14 \cdot 31 \approx 5\,003,06 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 13\,633,88 + 5\,105,69 + 3\,557,27 + 1\,085,36 + 2\,359,40 + 5\,003,06 \approx 30\,744,66 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (30\,744,66 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 49\,498,90 \text{ TL}$$

Muğla için ikinci olarak su kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.15'te verilmiştir. Buna göre Muğla için su kaynaklı ısı pompasının en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 19,90 kW olmaktadır. 19,90 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.15. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen su kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	95,50	4,80	19,90	-	-	-
Şubat	50,47	4,80	10,51	-	-	-
Mart	37,73	4,80	7,86	-	-	-
Nisan	14,44	4,80	3,01	-	-	-
Mayıs	-	-	-	70,31	3,80	18,50
Haziran	-	-	-	74,26	3,80	19,54
Temmuz	-	-	-	74,81	3,80	19,69
Ağustos	-	-	-	68,10	3,80	17,92
Eylül	-	-	-	56,80	3,80	14,95
Ekim	-	-	-	43,45	3,80	11,43
Kasım	25,40	4,80	5,29	-	-	-
Aralık	45,65	4,80	9,51	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 43 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 43 = 23\ 650,00 \text{ Wp} = 23,65 \text{ kWp}$$

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 23,65 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 20,10 \text{ kWe}$$

Bu durumda Muğla için seçilen su kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 23,65 \text{ kWp} \cdot 14\ 700,00 \text{ TL/kWp} = 347\ 655,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 43 \cdot 2 \text{ m}^2 = 86 \text{ m}^2$$

86 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 43 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Muğla için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 300 \text{ W/m}^2 \cdot 86 \text{ m}^2 = 25\,800,00 \text{ Wp} = 25,8 \text{ kWp} \approx 21,93 \text{ kWe}$$

Muğla için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda su kaynaklı ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller su kaynaklı ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde su kaynaklı ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 274 \text{ W/m}^2 \cdot 86 \text{ m}^2 = 23\,564,00 \text{ Wp} = 23,564 \text{ kWp} \approx 20,03 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.15'te yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Muğla'da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.15'teki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (95,50 / 4,80) \cdot 14 \cdot 31 \approx 8\,634,79 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (50,47 / 4,80) \cdot 13,5 \cdot 29 \approx 4\,116,46 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (37,73 / 4,80) \cdot 12,5 \cdot 31 \approx 3\,045,91 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik tüketimi} = (14,44 / 4,80) \cdot 11,5 \cdot 30 \approx 1\,037,88 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (25,40 / 4,80) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 2\,143,13 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (45,65 / 4,80) \cdot 14 \cdot 31 \approx 4\,127,52 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 8\,634,79 + 4\,116,46 + 3\,045,91 + 1\,037,88 + 2\,143,13 + 4\,127,52 \approx 23\,105,69 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (23\,105,69 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 37\,200,16 \text{ TL}$$

Muğla için üçüncü olarak toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.16’da verilmiştir. Buna göre Muğla için toprak kaynaklı ısı pompasının en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 20,54 kW olmaktadır. 20,54 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.16. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	95,50	4,65	20,54	-	-	-
Şubat	50,47	4,65	10,85	-	-	-
Mart	37,73	4,65	8,11	-	-	-
Nisan	14,44	4,65	3,11	-	-	-
Mayıs	-	-	-	70,31	4,20	16,74
Haziran	-	-	-	74,26	4,20	17,68
Temmuz	-	-	-	74,81	4,20	17,81
Ağustos	-	-	-	68,10	4,20	16,21
Eylül	-	-	-	56,80	4,20	13,52
Ekim	-	-	-	43,45	4,20	10,35
Kasım	25,40	4,65	5,46	-	-	-
Aralık	45,65	4,65	9,82	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 44 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 44 = 24\,200,00 \text{ Wp} = 24,2 \text{ kWp}$$

kWp’den kWe’ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 24,2 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 20,57 \text{ kWe}$$

Bu durumda Muğla için seçilen toprak kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 24,2 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 355\,740,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 44 \cdot 2 \text{ m}^2 = 88 \text{ m}^2$$

88 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 44 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Muğla için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 300 \text{ W/m}^2 \cdot 88 \text{ m}^2 = 26\,400,00 \text{ Wp} = 26,4 \text{ kWp} \approx 22,44 \text{ kWe}$$

Muğla için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda toprak kaynaklı ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller toprak kaynaklı ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde toprak kaynaklı ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 274 \text{ W/m}^2 \cdot 88 \text{ m}^2 = 24\,112,00 \text{ Wp} = 24,112 \text{ kWp} \approx 20,50 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.16'da yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Muğla'da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.16'daki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (95,50 / 4,65) \cdot 14 \cdot 31 \approx 8\,913,33 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (50,47 / 4,65) \cdot 13,5 \cdot 29 \approx 4\,249,25 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (37,73 / 4,65) \cdot 12,5 \cdot 31 \approx 3\,144,17 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik tüketimi} = (14,44 / 4,65) \cdot 11,5 \cdot 30 \approx 1\,071,35 \text{ kWh}$$

Kasım ayı elektrik tüketimi = $(25,40 / 4,65) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 2\,212,26$ kWh

Aralık ayı elektrik tüketimi = $(45,65 / 4,65) \cdot 14 \cdot 31 \approx 4\,260,67$ kWh

Yıllık toplam elektrik tüketimi = $8\,913,33 + 4\,249,25 + 3\,144,17 + 1\,071,35 + 2\,212,26 + 4\,260,67 \approx 23\,851,03$ kWh

Yıllık elektrik geliri = $(23\,851,03 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 38\,400,16$ TL

7.4.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için fotovoltaik sistem hesabı

Ankara için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Ankara için seçilen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.17’de verilmiştir. Buna göre Ankara için en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 42,13 kW olmaktadır. 42,13 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.17. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için belirlenen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	195,92	4,65	42,13	-	-	-
Şubat	102,73	4,65	22,09	-	-	-
Mart	74,23	4,65	15,96	-	-	-
Nisan	32,71	4,65	7,03	-	-	-
Mayıs	-	-	-	74,45	4,20	17,73
Haziran	-	-	-	78,23	4,20	18,63
Temmuz	-	-	-	78,32	4,20	18,65
Ağustos	-	-	-	70,75	4,20	16,85
Eylül	-	-	-	58,26	4,20	13,87
Ekim	18,02	4,65	3,88	-	-	-
Kasım	61,79	4,65	13,29	-	-	-
Aralık	96,98	4,65	20,86	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 91 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 91 = 50\,050,00 \text{ Wp} = 50,05 \text{ kWp}$$

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 50,05 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 42,54 \text{ kWe}$$

Bu durumda Ankara için seçilen toprak kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaiik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 50,05 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 735\,735,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 91 \cdot 2 \text{ m}^2 = 182 \text{ m}^2$$

182 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 91 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Ankara için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 238 \text{ W/m}^2 \cdot 182 \text{ m}^2 = 43\,316,00 \text{ Wp} = 43,316 \text{ kWp} \approx 36,82 \text{ kWe}$$

$$\text{Şubat ayı hesabı} = 348 \text{ W/m}^2 \cdot 182 \text{ m}^2 = 63\,336,00 \text{ Wp} = 63,336 \text{ kWp} \approx 53,84 \text{ kWe}$$

Ankara için Ocak ayından itibaren Kasım ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Kasım ayına kadar paneller ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Kasım ayı hesabı} = 277 \text{ W/m}^2 \cdot 182 \text{ m}^2 = 50\,414,00 \text{ Wp} = 50,414 \text{ kWp} \approx 42,85 \text{ kWe}$$

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 207 \text{ W/m}^2 \cdot 182 \text{ m}^2 = 37\,674,00 \text{ Wp} = 37,674 \text{ kWp} \approx 32,02 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.17’de yer alan değerler ile karşılaştırıldığında sadece Ocak ayındaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanamamaktadır. Bu nedenle $42,13 - 36,82 = 5,31 \text{ kW}$ elektrik şebekeden sağlanacaktır. Bunun sisteme maliyeti ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Ocak ayı elektrik sarfıyatı} = 5,31 \cdot 15 \cdot 31 \approx 2\,469,15 \text{ kWh}$$

$$\text{Ocak ayı elektrik maliyeti} = (2\,469,15 \text{ kWh}) \cdot (3,67 \text{ TL/kWh}) \approx 9\,061,78 \text{ TL}$$

Ocak ayı hariç diğer tüm aylarda şebekeye satış işlemi yapılabilmektedir. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Ankara’da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.17’deki Ocak ayı hariç ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2’deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (102,73 / 4,65) \cdot 14 \cdot 29 \approx 8\,969,54 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (74,23 / 4,65) \cdot 13 \cdot 31 \approx 6\,433,27 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik tüketimi} = (32,71 / 4,65) \cdot 11 \cdot 30 \approx 2\,321,35 \text{ kWh}$$

$$\text{Ekim ayı elektrik tüketimi} = (18,02 / 4,65) \cdot 12 \cdot 31 \approx 1\,441,60 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (61,79 / 4,65) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 5\,381,71 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (96,98 / 4,65) \cdot 14,5 \cdot 31 \approx 9\,374,73 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 8\,969,54 + 6\,433,27 + 2\,321,35 + 1\,441,60 + 5\,381,71 + 9\,374,73 \approx 33\,922,20 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (33\,922,20 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 54\,614,74 \text{ TL}$$

Antalya için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Antalya için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.18’de verilmiştir. Buna göre Antalya için en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 29,01kW olmaktadır. 29,01 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.18. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	96,03	3,31	29,01	-	-	-
Şubat	39,83	4,08	9,76	-	-	-
Mart	23,31	4,33	5,38	-	-	-
Nisan	-	-	-	69,08	4,75	14,54
Mayıs	-	-	-	80,26	5,27	15,23
Haziran	-	-	-	83,60	5,85	14,29
Temmuz	-	-	-	83,95	6,22	13,50
Ağustos	-	-	-	77,53	6,21	12,48
Eylül	-	-	-	65,12	5,85	11,13
Ekim	-	-	-	49,63	5,27	9,42
Kasım	3,21	4,63	0,44	-	-	-
Aralık	33,05	4,18	5,33	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 63 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 63 = 34\ 650,00 \text{ Wp} = 34,65 \text{ kWp}$$

kWp’den kWe’ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 34,65 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 29,45 \text{ kWe}$$

Bu durumda Antalya için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 34,65 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 509\,355,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 63 \cdot 2 \text{ m}^2 = 126 \text{ m}^2$$

126 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 63 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Antalya için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 304 \text{ W/m}^2 \cdot 126 \text{ m}^2 = 38\,304,00 \text{ Wp} = 38,304 \text{ kWp} \approx 32,56 \text{ kWe}$$

Antalya için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 275 \text{ W/m}^2 \cdot 126 \text{ m}^2 = 34\,650,00 \text{ Wp} = 34,65 \text{ kWp} \approx 29,45 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.18'de yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Antalya'da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.18'deki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (96,03 / 3,31) \cdot 14 \cdot 31 \approx 12\,591,24 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (39,83 / 4,08) \cdot 13 \cdot 29 \approx 3\,680,37 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (23,31 / 4,33) \cdot 12 \cdot 31 \approx 2\,002,61 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (3,21 / 4,63) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 280,79 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (33,05 / 4,18) \cdot 14 \cdot 31 \approx 3\,431,51 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 12\,591,24 + 3\,680,37 + 2\,002,61 + 280,79 + 3\,431,51 \approx 21\,986,52 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (21\,986,52 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 35\,398,30 \text{ TL}$$

Mersin için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Mersin için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.19’da verilmiştir. Buna göre Mersin için en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 28,91 kW olmaktadır. 28,91 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.19. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	95,68	3,31	28,91	-	-	-
Şubat	36,22	4,13	8,77	-	-	-
Mart	15,57	4,43	3,51	-	-	-
Nisan	-	-	-	65,65	4,89	13,43
Mayıs	-	-	-	78,67	5,36	14,68
Haziran	-	-	-	83,16	5,82	14,29
Temmuz	-	-	-	83,42	6,12	13,63
Ağustos	-	-	-	76,12	6,21	12,26
Eylül	-	-	-	63,80	5,92	10,78
Ekim	-	-	-	48,58	5,39	9,01
Kasım	-	-	-	30,98	4,73	6,55
Aralık	30,18	4,22	4,78	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 62 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 62 = 34\,100,00 \text{ Wp} = 34,10 \text{ kWp}$$

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 34,10 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 28,99 \text{ kWe}$$

Bu durumda Mersin için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 34,10 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 501\,270,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 62 \cdot 2 \text{ m}^2 = 124 \text{ m}^2$$

124 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 62 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Mersin için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 300 \text{ W/m}^2 \cdot 124 \text{ m}^2 = 37\,200,00 \text{ Wp} = 37,2 \text{ kWp} \approx 31,62 \text{ kWe}$$

Mersin için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 272 \text{ W/m}^2 \cdot 124 \text{ m}^2 = 33\,728,00 \text{ Wp} = 33,728 \text{ kWp} \approx 28,67 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.19'da yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Mersin'de ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.19'daki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (95,68 / 3,31) \cdot 14 \cdot 31 \approx 12\,545,35 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (36,22 / 4,13) \cdot 13,5 \cdot 29 \approx 3\,433,45 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (15,57 / 4,43) \cdot 12,5 \cdot 31 \approx 1\,361,94 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (30,18 / 4,22) \cdot 14 \cdot 31 \approx 3\,103,82 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 12\,545,35 + 3\,433,45 + 1\,361,94 + 3\,103,82 \approx 20\,444,56 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (20\,444,56 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 32\,915,74 \text{ TL}$$

Muğla için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Muğla için iki farklı ısı pompası seçilmiş olup, maliyet analizleri sonucunda hangi ısı pompasının seçileceğine karar verilecektir.

Bu kapsamda ilk olarak hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.20’de verilmiştir. Buna göre Muğla için hava kaynaklı ısı pompasının en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 48,53 kW olmaktadır. 48,53 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.20. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	135,87	2,80	48,53	-	-	-
Şubat	71,51	3,60	19,86	-	-	-
Mart	53,66	3,85	13,94	-	-	-
Nisan	21,24	4,32	4,92	-	-	-
Mayıs	-	-	-	78,32	4,92	15,92
Haziran	-	-	-	82,72	5,55	14,90
Temmuz	-	-	-	83,34	5,99	13,91
Ağustos	-	-	-	75,86	5,97	12,71
Eylül	-	-	-	63,27	5,44	11,63
Ekim	-	-	-	48,40	4,72	10,25
Kasım	36,45	4,09	8,91	-	-	-
Aralık	64,78	3,69	17,56	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 104 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 104 = 57\,200,00 \text{ Wp} = 57,2 \text{ kWp}$$

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 57,2 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 48,62 \text{ kWe}$$

Bu durumda Muğla için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 57,2 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 840\,840,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 104 \cdot 2 \text{ m}^2 = 208 \text{ m}^2$$

208 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 104 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Muğla için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 300 \text{ W/m}^2 \cdot 208 \text{ m}^2 = 62\,400,00 \text{ Wp} = 62,4 \text{ kWp} \approx 53,04 \text{ kWe}$$

Muğla için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda hava kaynaklı ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller hava kaynaklı ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde hava kaynaklı ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 274 \text{ W/m}^2 \cdot 208 \text{ m}^2 = 56\,992,00 \text{ Wp} = 56,992 \text{ kWp} \approx 48,44 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.20'de yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Muğla'da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.20'deki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (135,87 / 2,80) \cdot 14 \cdot 31 \approx 21\,059,85 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (71,51 / 3,60) \cdot 13,5 \cdot 29 \approx 7\,776,71 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (53,66 / 3,85) \cdot 12,5 \cdot 31 \approx 5\,400,84 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik tüketimi} = (21,24 / 4,32) \cdot 11,5 \cdot 30 \approx 1\,696,25 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (36,45 / 4,09) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 3\,609,35 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (64,78 / 3,69) \cdot 14 \cdot 31 \approx 7\,619,11 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 21\,059,85 + 7\,776,71 + 5\,400,84 + 1\,696,25 + 3\,609,35 + 7\,619,11 \approx 47\,162,11 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (47\,162,11 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 75\,930,99 \text{ TL}$$

Muğla için ikinci olarak su kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.21’de verilmiştir. Buna göre Muğla için su kaynaklı ısı pompasının en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 28,31 kW olmaktadır. 28,31 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.21. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen su kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	135,87	4,80	28,31	-	-	-
Şubat	71,51	4,80	14,90	-	-	-
Mart	53,66	4,80	11,18	-	-	-
Nisan	21,24	4,80	4,43	-	-	-
Mayıs	-	-	-	78,32	3,80	20,61
Haziran	-	-	-	82,72	3,80	21,77
Temmuz	-	-	-	83,34	3,80	21,93
Ağustos	-	-	-	75,86	3,80	19,96
Eylül	-	-	-	63,27	3,80	16,65
Ekim	-	-	-	48,40	3,80	12,74
Kasım	36,45	4,80	7,59	-	-	-
Aralık	64,78	4,80	13,50	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 61 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 61 = 33\,550,00 \text{ Wp} = 33,55 \text{ kWp}$$

kWp’den kWe’ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 33,55 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 28,52 \text{ kWe}$$

Bu durumda Muğla için seçilen su kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 33,55 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 493\,185,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 61 \cdot 2 \text{ m}^2 = 122 \text{ m}^2$$

122 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 61 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Muğla için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 300 \text{ W/m}^2 \cdot 122 \text{ m}^2 = 36\,600,00 \text{ Wp} = 36,6 \text{ kWp} \approx 31,11 \text{ kWe}$$

Muğla için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda su kaynaklı ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller su kaynaklı ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde su kaynaklı ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 274 \text{ W/m}^2 \cdot 122 \text{ m}^2 = 33\,428,00 \text{ Wp} = 33,428 \text{ kWp} \approx 28,41 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.21'de yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Muğla'da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.21'deki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (135,87 / 4,80) \cdot 14 \cdot 31 \approx 12\,284,91 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (71,51 / 4,80) \cdot 13,5 \cdot 29 \approx 5\,832,53 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (53,66 / 4,80) \cdot 12,5 \cdot 31 \approx 4\,331,93 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik tüketimi} = (21,24 / 4,80) \cdot 11,5 \cdot 30 \approx 1\,526,63 \text{ kWh}$$

Kasım ayı elektrik tüketimi = $(36,45 / 4,80) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 3\,075,47$ kWh

Aralık ayı elektrik tüketimi = $(64,78 / 4,80) \cdot 14 \cdot 31 \approx 5\,857,19$ kWh

Yıllık toplam elektrik tüketimi = $12\,284,91 + 5\,832,53 + 4\,331,93 + 1\,526,63 + 3\,075,47 + 5\,857,19 \approx 32\,908,66$ kWh

Yıllık elektrik geliri = $(32\,908,66 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 52\,982,94$ TL

7.4.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için fotovoltaik sistem hesabı

Ankara için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Ankara için seçilen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.22’de verilmiştir. Buna göre Ankara için en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 27,23 kW olmaktadır. 27,23 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.22. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Ankara için belirlenen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	126,90	4,66	27,23	-	-	-
Şubat	67,48	4,66	14,48	-	-	-
Mart	48,84	4,66	10,48	-	-	-
Nisan	21,13	4,66	4,53	-	-	-
Mayıs	-	-	-	66,83	4,00	16,71
Haziran	-	-	-	70,23	4,00	17,56
Temmuz	-	-	-	70,31	4,00	17,58
Ağustos	-	-	-	63,52	4,00	15,88
Eylül	-	-	-	52,30	4,00	13,08
Ekim	11,12	4,66	2,39	-	-	-
Kasım	40,60	4,66	8,71	-	-	-
Aralık	63,70	4,66	13,67	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 59 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 59 = 32\,450,00 \text{ Wp} = 32,45 \text{ kWp}$$

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 32,45 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 27,58 \text{ kWe}$$

Bu durumda Ankara için seçilen toprak kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaiik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 32,45 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 477\,015,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 59 \cdot 2 \text{ m}^2 = 118 \text{ m}^2$$

118 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 59 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Ankara için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 238 \text{ W/m}^2 \cdot 118 \text{ m}^2 = 28\,084,00 \text{ Wp} = 28,084 \text{ kWp} \approx 23,87 \text{ kWe}$$

$$\text{Şubat ayı hesabı} = 348 \text{ W/m}^2 \cdot 118 \text{ m}^2 = 41\,064,00 \text{ Wp} = 41,064 \text{ kWp} \approx 34,90 \text{ kWe}$$

Ankara için Ocak ayından itibaren Kasım ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Kasım ayına kadar paneller ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Kasım ayı hesabı} = 277 \text{ W/m}^2 \cdot 118 \text{ m}^2 = 32\,686,00 \text{ Wp} = 32,686 \text{ kWp} \approx 27,78 \text{ kWe}$$

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 207 \text{ W/m}^2 \cdot 118 \text{ m}^2 = 24\,426,00 \text{ Wp} = 24,426 \text{ kWp} \approx 20,76 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.22’de yer alan değerler ile karşılaştırıldığında sadece Ocak ayındaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanamamaktadır. Bu nedenle $27,23 - 23,87 = 3,36 \text{ kW}$ elektrik şebekeden sağlanacaktır. Bunun sisteme maliyeti ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Ocak ayı elektrik sarfıyatı} = 3,36 \cdot 15 \cdot 31 \approx 1\,562,40 \text{ kWh}$$

$$\text{Ocak ayı elektrik maliyeti} = (1\,562,40 \text{ kWh}) \cdot (3,67 \text{ TL/kWh}) \approx 5\,734,01 \text{ TL}$$

Ocak ayı hariç diğer tüm aylarda şebekeye satış işlemi yapılabilmektedir. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Ankara’da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.22’deki Ocak ayı hariç ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2’deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (67,48 / 4,66) \cdot 14 \cdot 29 \approx 5\,879,16 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (48,84 / 4,66) \cdot 13 \cdot 31 \approx 4\,223,72 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik tüketimi} = (21,13 / 4,66) \cdot 11 \cdot 30 \approx 1\,496,33 \text{ kWh}$$

$$\text{Ekim ayı elektrik tüketimi} = (11,12 / 4,66) \cdot 12 \cdot 31 \approx 887,69 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (40,60 / 4,66) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 3\,528,54 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (63,70 / 4,66) \cdot 14,5 \cdot 31 \approx 6\,144,45 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 5\,879,16 + 4\,223,72 + 1\,496,33 + 887,69 + 3\,528,54 + 6\,144,45 \approx 22\,159,89 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (22\,159,89 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 35\,677,42 \text{ TL}$$

Antalya için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Antalya için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.23'te verilmiştir. Buna göre Antalya için en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 17,97 kW olmaktadır. 17,97 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.23. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Antalya için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	63,99	3,56	17,97	-	-	-
Şubat	26,77	4,35	6,15	-	-	-
Mart	15,67	4,60	3,41	-	-	-
Nisan	-	-	-	62,02	5,02	12,35
Mayıs	-	-	-	72,05	5,55	12,98
Haziran	-	-	-	75,05	6,18	12,14
Temmuz	-	-	-	75,37	6,63	11,37
Ağustos	-	-	-	69,60	6,62	10,51
Eylül	-	-	-	58,46	6,18	9,46
Ekim	-	-	-	44,56	5,55	8,03
Kasım	1,98	4,90	0,41	-	-	-
Aralık	22,20	4,45	4,99	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 39 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 39 = 21\,450,00 \text{ Wp} = 21,45 \text{ kWp}$$

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 21,45 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 18,23 \text{ kWe}$$

Bu durumda Antalya için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 21,45 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 315\,315,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 39 \cdot 2 \text{ m}^2 = 78 \text{ m}^2$$

78 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 39 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Antalya için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 304 \text{ W/m}^2 \cdot 78 \text{ m}^2 = 23\,712,00 \text{ Wp} = 23,712 \text{ kWp} \approx 20,16 \text{ kWe}$$

Antalya için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 275 \text{ W/m}^2 \cdot 78 \text{ m}^2 = 21\,450,00 \text{ Wp} = 21,45 \text{ kWp} \approx 18,23 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.23'te yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Antalya'da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.23'teki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (63,99 / 3,56) \cdot 14 \cdot 31 \approx 7\,801,03 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (26,77 / 4,35) \cdot 13 \cdot 29 \approx 2\,320,07 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (15,67 / 4,60) \cdot 12 \cdot 31 \approx 1\,267,23 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (1,98 / 4,90) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 163,65 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (22,20 / 4,45) \cdot 14 \cdot 31 \approx 2\,165,12 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 7\,801,03 + 2\,320,07 + 1\,267,23 + 163,65 + 2\,165,12 \approx 13\,717,10 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (13\,717,10 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 22\,084,53 \text{ TL}$$

Mersin için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Mersin için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.24'te verilmiştir. Buna göre Mersin için en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 17,88 kW olmaktadır. 17,88 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.24. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Mersin için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	63,64	3,56	17,88	-	-	-
Şubat	24,14	4,40	5,49	-	-	-
Mart	10,15	4,70	2,16	-	-	-
Nisan	-	-	-	58,93	5,16	11,42
Mayıs	-	-	-	70,63	5,64	12,52
Haziran	-	-	-	74,66	6,14	12,16
Temmuz	-	-	-	74,89	6,53	11,47
Ağustos	-	-	-	68,34	6,62	10,32
Eylül	-	-	-	57,28	6,27	9,14
Ekim	-	-	-	43,61	5,67	7,69
Kasım	-	-	-	27,81	5,00	5,56
Aralık	20,08	4,49	4,47	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 39 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 39 = 21\,450,00 \text{ Wp} = 21,45 \text{ kWp}$$

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 21,45 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 18,23 \text{ kWe}$$

Bu durumda Mersin için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 21,45 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 315\,315,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 39 \cdot 2 \text{ m}^2 = 78 \text{ m}^2$$

78 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 39 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Mersin için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 300 \text{ W/m}^2 \cdot 78 \text{ m}^2 = 23\,400,00 \text{ Wp} = 23,4 \text{ kWp} \approx 19,89 \text{ kWe}$$

Mersin için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 272 \text{ W/m}^2 \cdot 78 \text{ m}^2 = 21\,216,00 \text{ Wp} = 21,216 \text{ kWp} \approx 18,03 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.24'te yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Mersin'de ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.24'teki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (63,64 / 3,56) \cdot 14 \cdot 31 \approx 7\,758,36 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (24,14 / 4,40) \cdot 13,5 \cdot 29 \approx 2\,147,91 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (10,15 / 4,70) \cdot 12,5 \cdot 31 \approx 836,84 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (20,08 / 4,49) \cdot 14 \cdot 31 \approx 1\,940,92 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 7\,758,36 + 2\,147,91 + 836,84 + 1\,940,92 \approx 12\,684,03 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (12\,684,03 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 20\,421,29 \text{ TL}$$

Muğla için fotovoltaik destekli ısı pompası hesapları

Muğla için üç farklı ısı pompası seçilmiş olup, maliyet analizleri sonucunda hangi ısı pompasının seçileceğine karar verilecektir.

Bu kapsamda ilk olarak hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.25'te verilmiştir. Buna göre Muğla için hava kaynaklı ısı pompasının en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 29,29 kW olmaktadır. 29,29 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.25. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen hava kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	89,04	3,04	29,29	-	-	-
Şubat	47,10	3,87	12,17	-	-	-
Mart	35,18	4,11	8,56	-	-	-
Nisan	13,35	4,59	2,91	-	-	-
Mayıs	-	-	-	70,31	5,19	13,55
Haziran	-	-	-	74,26	5,85	12,69
Temmuz	-	-	-	74,81	6,34	11,80
Ağustos	-	-	-	68,10	6,32	10,78
Eylül	-	-	-	56,80	5,73	9,91
Ekim	-	-	-	43,45	4,99	8,71
Kasım	23,63	4,36	5,42	-	-	-
Aralık	42,59	3,96	10,76	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 63 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 63 = 34\,650,00 \text{ Wp} = 34,65 \text{ kWp}$$

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 34,65 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 29,45 \text{ kWe}$$

Bu durumda Muğla için seçilen hava kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 34,65 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 509\,355,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 63 \cdot 2 \text{ m}^2 = 126 \text{ m}^2$$

126 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 63 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Muğla için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 300 \text{ W/m}^2 \cdot 126 \text{ m}^2 = 37\,800,00 \text{ Wp} = 37,8 \text{ kWp} \approx 32,13 \text{ kWe}$$

Muğla için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda hava kaynaklı ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller hava kaynaklı ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde hava kaynaklı ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 274 \text{ W/m}^2 \cdot 126 \text{ m}^2 = 34\,524,00 \text{ Wp} = 34,524 \text{ kWp} \approx 29,35 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.25'te yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Muğla'da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.25'teki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (89,04 / 3,04) \cdot 14 \cdot 31 \approx 12\,711,63 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (47,10 / 3,87) \cdot 13,5 \cdot 29 \approx 4\,764,77 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (35,18 / 4,11) \cdot 12,5 \cdot 31 \approx 3\,316,85 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik tüketimi} = (13,35 / 4,59) \cdot 11,5 \cdot 30 \approx 1\,003,43 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (23,63 / 4,36) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 2\,194,99 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (42,59 / 3,96) \cdot 14 \cdot 31 \approx 4\,667,69 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 12\,711,63 + 4\,764,77 + 3\,316,85 + 1\,003,43 + 2\,194,99 + 4\,667,69 \approx 28\,659,36 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (28\,659,36 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 46\,141,57 \text{ TL}$$

Muğla için ikinci olarak su kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.26’da verilmiştir. Buna göre Muğla için su kaynaklı ısı pompasının en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 18,55 kW olmaktadır. 18,55 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.26. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen su kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	89,04	4,80	18,55	-	-	-
Şubat	47,10	4,80	9,81	-	-	-
Mart	35,18	4,80	7,33	-	-	-
Nisan	13,35	4,80	2,78	-	-	-
Mayıs	-	-	-	70,31	3,80	18,50
Haziran	-	-	-	74,26	3,80	19,54
Temmuz	-	-	-	74,81	3,80	19,69
Ağustos	-	-	-	68,10	3,80	17,92
Eylül	-	-	-	56,80	3,80	14,95
Ekim	-	-	-	43,45	3,80	11,43
Kasım	23,63	4,80	4,93	-	-	-
Aralık	42,59	4,80	8,87	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 40 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 40 = 22\,000,00 \text{ Wp} = 22,00 \text{ kWp}$$

kWp’den kWe’ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 22,00 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 18,7 \text{ kWe}$$

Bu durumda Muğla için seçilen su kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 22,00 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 323\,400,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 40 \cdot 2 \text{ m}^2 = 80 \text{ m}^2$$

80 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 40 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Muğla için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 300 \text{ W/m}^2 \cdot 80 \text{ m}^2 = 24\,000,00 \text{ Wp} = 24,00 \text{ kWp} \approx 20,40 \text{ kWe}$$

Muğla için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda su kaynaklı ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller su kaynaklı ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde su kaynaklı ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 274 \text{ W/m}^2 \cdot 80 \text{ m}^2 = 21\,920,00 \text{ Wp} = 21,92 \text{ kWp} \approx 18,63 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.26'da yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Muğla'da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.26'daki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (89,04 / 4,80) \cdot 14 \cdot 31 \approx 8\,050,70 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (47,10 / 4,80) \cdot 13,5 \cdot 29 \approx 3\,841,59 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (35,18 / 4,80) \cdot 12,5 \cdot 31 \approx 2\,840,05 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik tüketimi} = (13,35 / 4,80) \cdot 11,5 \cdot 30 \approx 959,53 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (23,63 / 4,80) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 1\,993,78 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (42,59 / 4,80) \cdot 14 \cdot 31 \approx 3\,850,85 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 8\,050,70 + 3\,841,59 + 2\,840,05 + 959,53 + 1\,993,78 + 3\,850,85 \approx 21\,536,50 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (21\,536,50 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 34\,673,77 \text{ TL}$$

Muğla için üçüncü olarak toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre belirlenen elektrik tüketimleri Çizelge 7.27’de verilmiştir. Buna göre Muğla için toprak kaynaklı ısı pompasının en fazla elektrik tüketimi Ocak ayında 19,15 kW olmaktadır. 19,15 kW elektrik tüketimini karşılayacak sayıda panel seçimi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 7.27. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Muğla için belirlenen toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketimi

	Isı kaybı (kW)	COP _{IP}	Isıtma elektrik gücü (kW)	Isı kazancı (kW)	COP _{SM}	Soğutma elektrik gücü (kW)
Ocak	89,04	4,65	19,15	-	-	-
Şubat	47,10	4,65	10,13	-	-	-
Mart	35,18	4,65	7,57	-	-	-
Nisan	13,35	4,65	2,87	-	-	-
Mayıs	-	-	-	70,31	4,20	16,74
Haziran	-	-	-	74,26	4,20	17,68
Temmuz	-	-	-	74,81	4,20	17,81
Ağustos	-	-	-	68,10	4,20	16,21
Eylül	-	-	-	56,80	4,20	13,52
Ekim	-	-	-	43,45	4,20	10,35
Kasım	23,63	4,65	5,08	-	-	-
Aralık	42,59	4,65	9,16	-	-	-

550 Watt gücündeki panellerden 41 adet panel seçilirse aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Toplam panel gücü} = 550 \text{ Watt} \cdot 41 = 22\,550,00 \text{ Wp} = 22,55 \text{ kWp}$$

kWp'den kWe'ye dönüşümde sistemde %15 kayıp olduğu varsayılırsa, bu durumda toplam elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam elektrik gücü} = 22,55 \text{ kWp} \cdot 0,85 = 19,17 \text{ kWe}$$

Bu durumda Muğla için seçilen toprak kaynaklı ısı pompasının çalışmasına yetecek fotovoltaik sistem seçilmiş olur.

$$\text{Fotovoltaik sistem fiyatı} = 22,55 \text{ kWp} \cdot 14\,700,00 \text{ TL/kWp} = 331\,485,00 \text{ TL}$$

$$\text{Panellerin toplam alanı} = 41 \cdot 2 \text{ m}^2 = 82 \text{ m}^2$$

82 m² alana sahip paneller 500 m²'lik çatı alanına aralıklı olarak yerleştirilebileceğinden, herhangi bir ek alana ihtiyaç yoktur.

Seçilen 41 panelin her ay elektrik ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını tespit etmek için Çizelge 5.6'da Muğla için verilen güneş radyasyonu değerleri ile panellerin toplam alanı çarpılmalıdır.

$$\text{Ocak ayı hesabı} = 300 \text{ W/m}^2 \cdot 82 \text{ m}^2 = 24\,600,00 \text{ Wp} = 24,6 \text{ kWp} \approx 20,91 \text{ kWe}$$

Muğla için Ocak ayından itibaren Aralık ayına kadar güneş radyasyonu değerleri yükselmektedir. Buna karşılık bu ayların arasındaki aylarda toprak kaynaklı ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik gücü Ocak ayına göre daha azdır. Bu nedenle Aralık ayına kadar paneller toprak kaynaklı ısı pompasının tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır. Dolayısıyla soğutma gereken ayların tümünde toprak kaynaklı ısı pompasının elektrik ihtiyacının tümü paneller tarafından karşılanabilmektedir.

$$\text{Aralık ayı hesabı} = 274 \text{ W/m}^2 \cdot 82 \text{ m}^2 = 22\,468,00 \text{ Wp} = 22,468 \text{ kWp} \approx 19,10 \text{ kWe}$$

Aylara göre yapılan hesaplamalar, Çizelge 7.27'de yer alan değerler ile karşılaştırıldığında tüm aylardaki elektrik tüketiminin tamamı paneller tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda şebekeye satılacak elektriğin hesabı, Muğla'da ısıtma yapılacak aylar için Çizelge 7.27'deki ısı kaybı değerleri ile COP_{IP} verileri ve Çizelge 7.2'deki günlük çalışma süreleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Ocak ayı elektrik tüketimi} = (89,04 / 4,65) \cdot 14 \cdot 31 \approx 8\,310,40 \text{ kWh}$$

$$\text{Şubat ayı elektrik tüketimi} = (47,10 / 4,65) \cdot 13,5 \cdot 29 \approx 3\,965,52 \text{ kWh}$$

$$\text{Mart ayı elektrik tüketimi} = (35,18 / 4,65) \cdot 12,5 \cdot 31 \approx 2\,931,67 \text{ kWh}$$

$$\text{Nisan ayı elektrik tüketimi} = (13,35 / 4,65) \cdot 11,5 \cdot 30 \approx 990,48 \text{ kWh}$$

$$\text{Kasım ayı elektrik tüketimi} = (23,63 / 4,65) \cdot 13,5 \cdot 30 \approx 2\,058,10 \text{ kWh}$$

$$\text{Aralık ayı elektrik tüketimi} = (42,59 / 4,65) \cdot 14 \cdot 31 \approx 3\,975,07 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık toplam elektrik tüketimi} = 8\,310,40 + 3\,965,52 + 2\,931,67 + 990,48 + 2\,058,10 + 3\,975,07 \approx 22\,231,24 \text{ kWh}$$

$$\text{Yıllık elektrik geliri} = (22\,231,24 \text{ kWh}) \cdot (1,61 \text{ TL/kWh}) \approx 35\,792,30 \text{ TL}$$

7.5. Amortisman Süresi Hesabı

Her bir il için amortisman süresini hesaplamak için 3 farklı durum bulunmaktadır. Buna göre birinci durumda kazan fiyatı ve yıllık kömür maliyeti, ikinci durumda ısı pompası fiyatı ve yıllık elektrik maliyeti, üçüncü ve son durumda ise fotovoltaik sistem maliyeti, ısı pompası maliyeti ve varsa fotovoltaik sistemin karşılayamadığı elektrik maliyeti yer almaktadır. Ayrıca, üçüncü durumda şebekeye verilen elektrik enerjisinden dolayı fotovoltaik sistemden elde edilen gelir bulunmaktadır. Yapılan analizlerde fotovoltaik destekli sistemlerin karşılayamadığı sistemler tüm örtü malzemeleri için Ankara’da seçilen toprak kaynaklı ısı pompalarının Ocak ayındaki elektrik maliyetleridir. Bu nedenle Ankara’da amortisman süreleri yapılırken bu elektrik maliyetleri de hesaplamalara dahil edilmiştir.

7.5.1. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için amortisman hesabı

Ankara için amortisman süresi hesaplama

$$\text{Ankara için birinci durumda kazan fiyatı} = 110\,006,40 \text{ TL}$$

Ankara için yıllık kömür maliyeti = 190 856,02 TL

Ankara için seçilen ısı pompası fiyatı = 1 253 070,00 TL

Ankara için yıllık elektrik maliyeti = 137 198,11 TL (Fotovoltaik hariç)

Ankara için fotovoltaik sistem maliyeti = 517 440,00 TL

Ankara için yıllık elektrik maliyeti = 5 751,07 TL (Fotovoltaik destekli sistemde)

Ankara için yıllık elektrik geliri = 38 271,25 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 190 856,52 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 137 198,11 TL'ye, üçüncü durumda da fotovoltaik destekli sistemde her yıl elektrik maliyeti 5 751,07 TL'ye ve her yıl elektrik geliri 38 271,25 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri yıllara göre Çizelge 7.28'de verilmiştir. Çizelge 7.28'e göre, 12. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 4 191 336,29 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 4 186 953,33 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 12. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 12 yıl olmuştur.

Çizelge 7.28. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	190 856,52	1 253 070,00	137 198,11
2. Yıl		209 942,17		150 917,92
3. Yıl		230 936,38		166 009,71
4. Yıl		254 030,02		182 610,69
5. Yıl		279 433,02		200 871,75
6. Yıl		307 376,33		220 958,93
7. Yıl		338 113,96		243 054,82
8. Yıl		371 925,36		267 360,30
9. Yıl		409 117,89		294 096,33
10. Yıl		450 029,68		323 505,97
11. Yıl		495 032,65		355 856,56
12. Yıl		544 535,91		391 442,22
Toplam	110 006,40	4 081 329,89	1 253 070,00	2 933 883,33
Toplam	4 191 336,29		4 186 953,33	

Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.29’da verilmiştir. Çizelge 7.29’a göre, 6. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 1 582 580,84 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 1 519 596,97 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 6. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 6 yıl olmuştur.

Çizelge 7.29. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum			
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	Elektrik gideri	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	190 856,52	1 253 070,00	517 440,00	5 751,07	38 271,25
2. Yıl		209 942,17			6 326,18	42 098,38
3. Yıl		230 936,38			6 958,79	46 308,21
4. Yıl		254 030,02			7 654,67	50 939,03
5. Yıl		279 433,02			8 420,14	56 032,94
6. Yıl		307 376,33			9 262,16	61 636,23
Toplam	110 006,40	1 472 574,44	1 253 070,00	517 440,00	44 373,01	295 286,04
Toplam	1 582 580,84		1 519 596,97			

Antalya için amortisman süresi hesaplama

Antalya için birinci durumda kazan fiyatı = 110 006,40 TL

Antalya için yıllık kömür maliyeti = 63 364,56 TL

Antalya için seçilen ısı pompası fiyatı = 345 384,00 TL

Antalya için yıllık elektrik maliyeti = 53 791,91 TL

Antalya için fotovoltaik sistem maliyeti = 339 570,00 TL

Antalya için yıllık elektrik geliri = 23 598,09 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 63 364,56 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 53 791,91 TL'ye, üçüncü durumda da her yıl elektrik geliri 23 598,09 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri yıllara göre Çizelge 7.30'da verilmiştir. Çizelge 7.30'a göre, 14. yılda kömür yakıtlı kazan

tüm maliyetleri ile birlikte 1 882 628,89 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 1 850 211,81 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 14. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 14 yıl olmuştur.

Çizelge 7.30. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	63 364,56	345 384,00	53 791,91
2. Yıl		69 701,02		59 171,10
3. Yıl		76 671,12		65 088,21
4. Yıl		84 338,23		71 597,03
5. Yıl		92 772,05		78 756,74
6. Yıl		102 049,26		86 632,41
7. Yıl		112 254,18		95 295,65
8. Yıl		123 479,60		104 825,22
9. Yıl		135 827,56		115 307,74
10. Yıl		149 410,32		126 838,51
11. Yıl		164 351,35		139 522,36
12. Yıl		180 786,48		153 474,60
13. Yıl		198 865,13		168 822,06
14. Yıl		218 751,64		185 704,27
Toplam	110 006,40	1 772 622,49	345 384,00	1 504 827,81
Toplam	1 882 628,89		1 850 211,81	

Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.31’de verilmiştir. Çizelge 7.31’e göre, 6. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 598 902,63 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 502 880,34 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 6. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 6 yıl olmuştur.

Çizelge 7.31. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum		
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	63 364,56	345 384,00	339 570,00	23 598,09
2. Yıl		69 701,02			25 957,90
3. Yıl		76 671,12			28 553,69
4. Yıl		84 338,23			31 409,06
5. Yıl		92 772,05			34 549,96
6. Yıl		102 049,26			38 004,96
Toplam	110 006,40	488 896,23	345 384,00	339 570,00	182 073,66
Toplam	598 902,63		502 880,34		

Mersin için amortisman süresi hesaplama

Mersin için birinci durumda kazan fiyatı = 110 006,40 TL

Mersin için yıllık kömür maliyeti = 58 262,78 TL

Mersin için seçilen ısı pompası fiyatı = 345 384,00 TL

Mersin için yıllık elektrik maliyeti = 49 790,01 TL

Mersin için fotovoltaik sistem maliyeti = 331 485,00 TL

Mersin için yıllık elektrik geliri = 21 842,47 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 58 262,78 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 49 790,01 TL'ye, üçüncü durumda da her yıl elektrik geliri 21 842,47 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri yıllara göre Çizelge 7.32'de verilmiştir. Çizelge 7.32'ye göre, 14. yılda kömür yakıtlı kazan

tüm maliyetleri ile birlikte 1 739 906,61 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 1 738 258,68 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 14. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 14 yıl olmuştur.

Çizelge 7.32. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	58 262,78	345 384,00	49 790,01
2. Yıl		64 089,05		54 769,01
3. Yıl		70 497,96		60 245,91
4. Yıl		77 547,76		66 270,50
5. Yıl		85 302,53		72 897,55
6. Yıl		93 832,78		80 187,31
7. Yıl		103 216,06		88 206,04
8. Yıl		113 537,67		97 026,64
9. Yıl		124 891,44		106 729,31
10. Yıl		137 380,58		117 402,24
11. Yıl		151 118,64		129 142,46
12. Yıl		166 230,50		142 056,71
13. Yıl		182 853,55		156 262,38
14. Yıl		201 138,91		171 888,62
Toplam	110 006,40	1 629 900,21	345 384,00	1 392 874,68
Toplam	1 739 906,61		1 738 258,68	

Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.33'te verilmiştir. Çizelge 7.33'e göre, 6. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 559 539,26 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 508 341,02 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 6. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 6 yıl olmuştur.

Çizelge 7.33. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum		
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	58 262,78	345 384,00	331 485,00	21 842,47
2. Yıl		64 089,05			24 026,72
3. Yıl		70 497,96			26 429,39
4. Yıl		77 547,76			29 072,33
5. Yıl		85 302,53			31 979,56
6. Yıl		93 832,78			35 177,52
Toplam	110 006,40	449 532,86	345 384,00	331 485,00	168 527,98
Toplam	559 539,26		508 341,02		

Muğla için amortisman süresi hesaplama

Muğla için birinci durumda kazan fiyatı = 110 006,40 TL

Muğla için yıllık kömür maliyeti = 121 506,37 TL

Muğla için seçilen hava kaynaklı ısı pompası fiyatı = 518 076,00 TL

Muğla için seçilen su kaynaklı ısı pompası fiyatı = 624 780,00 TL

Muğla için seçilen toprak kaynaklı ısı pompası fiyatı = 668 304,00 TL

Muğla için hava kaynaklı ısı pompası yıllık elektrik maliyeti = 112 832,88 TL

Muğla için su kaynaklı ısı pompası yıllık elektrik maliyeti = 84 797,86 TL

Muğla için toprak kaynaklı ısı pompası yıllık elektrik maliyeti = 87 533,27 TL

Muğla için hava kaynaklı ısı pompası fotovoltaik sistem maliyeti = 549 780,00 TL

Muğla için su kaynaklı ısı pompası fotovoltaik sistem maliyeti = 347 655,00 TL

Muğla için toprak kaynaklı ısı pompası fotovoltaik sistem maliyeti = 355 740,00 TL

Muğla için hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompaları arasında seçim yapılacağı belirtilmişti. Hava kaynaklı ısı pompasının maliyeti ilk aşamada su kaynaklı ısı pompasından 106 704,00 TL ve toprak kaynaklı ısı pompasından 150 228,00 TL daha az gözükmektedir. Ancak, hava kaynaklı ısı pompası için kullanılacak fotovoltaik sistem maliyeti su kaynaklı ısı pompasında kullanılacak fotovoltaik sistem maliyetinden 202 125,00 TL ve toprak kaynaklı ısı pompasında kullanılacak olan fotovoltaik sistemin maliyetinden 194 040,00 TL daha fazla olmaktadır. Ayrıca, hava kaynaklı ısı pompasının yıllık elektrik maliyeti su kaynaklı ısı pompasının yıllık elektrik maliyetinden 28 035,02 TL ve toprak kaynaklı ısı pompasının yıllık elektrik maliyetinden 25 299,61 TL daha fazladır. Bu nedenle her ne kadar hava kaynaklı ısı pompası ilk aşamada daha uygun gibi görünse de, diğer faktörler devreye girdiğinde üç ısı pompası arasında su kaynaklı ısı pompasının daha avantajlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla su kaynaklı ısı pompasının daha kısa sürede kendini amorti edeceği ortadadır. Bu nedenlerle Muğla için 100 kW su kaynaklı ısı pompası seçilmesine karar verilmiştir.

Muğla için seçilen su kaynaklı ısı pompasının yıllık elektrik geliri = 37 200,16 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 121 506,37 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 84 797,86 TL'ye, üçüncü durumda da her yıl elektrik geliri 37 200,16 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri yıllara göre Çizelge 7.34'te verilmiştir. Çizelge 7.34'e göre, 10. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 2 046 505,08 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 1 976 239,47 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 10. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 10 yıl olmuştur.

Çizelge 7.34. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	121 506,37	624 780,00	84 797,86
2. Yıl		133 657,01		93 277,64
3. Yıl		147 022,71		102 605,41
4. Yıl		161 724,98		112 865,95
5. Yıl		177 897,48		124 152,54
6. Yıl		195 687,23		136 567,80
7. Yıl		215 255,95		150 224,58
8. Yıl		236 781,55		165 247,04
9. Yıl		260 459,70		181 771,74
10. Yıl		286 505,68		199 948,91
Toplam	110 006,40	1 936 498,68	624 780,00	1 351 459,47
Toplam	2 046 505,08		1 976 239,47	

Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.35'te verilmiştir. Çizelge 7.35'e göre, 5. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 851 814,97 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 745 324,30 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 5. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 5 yıl olmuştur.

Çizelge 7.35. Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum		
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	121 506,37	624 780,00	347 655,00	37 200,16
2. Yıl		133 657,01			40 920,18
3. Yıl		147 022,71			45 012,19
4. Yıl		161 724,98			49 513,41
5. Yıl		177 897,48			54 464,75
Toplam	110 006,40	741 808,57	624 780,00	347 655,00	227 110,70
Toplam	851 814,97		745 324,30		

7.5.2. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesi için amortisman hesabı

Ankara için amortisman süresi hesaplama

Ankara için birinci durumda kazan fiyatı = 110 006,40 TL

Ankara için yıllık kömür maliyeti = 272 622,11 TL

Ankara için seçilen ısı pompası fiyatı = 1 336 608,00 TL

Ankara için yıllık elektrik maliyeti = 196 397,15 TL (Fotovoltaik hariç)

Ankara için fotovoltaik sistem maliyeti = 735 735,00 TL

Ankara için yıllık elektrik maliyeti = 9 061,78 TL (Fotovoltaik destekli sistemde)

Ankara için yıllık elektrik geliri = 54 614,74 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 272 622,11 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 196 397,15 TL'ye, üçüncü durumda da fotovoltaik destekli sistemde her yıl elektrik maliyeti 9 061,78 TL'ye ve her yıl elektrik geliri 54 614,74 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri yıllara göre Çizelge 7.36'da verilmiştir. Çizelge 7.36'ya göre, 11. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 5 162 012,19 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 4 976 076,31 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 11. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 11 yıl olmuştur.

Çizelge 7.36. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	272 622,11	1 336 608,00	196 397,15
2. Yıl		299 884,32		216 036,86
3. Yıl		329 872,75		237 640,55
4. Yıl		362 860,02		261 404,60
5. Yıl		399 146,03		287 545,06
6. Yıl		439 060,63		316 299,57
7. Yıl		482 966,69		347 929,52
8. Yıl		531 263,36		382 722,48
9. Yıl		584 389,70		420 994,72
10. Yıl		642 828,67		463 094,20
11. Yıl		707 111,53		509 403,62
Toplam	110 006,40	5 052 005,79	1 336 608,00	3 639 468,31
Toplam	5 162 012,19		4 976 076,31	

Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.37’de verilmiştir. Çizelge 7.37’ye göre, 6. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 2 213 452,25 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 1 720 874,13 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 6. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 6 yıl olmuştur.

Çizelge 7.37. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum			
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	Elektrik gideri	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	272 622,11	1 336 608,00	735 735,00	9 061,78	54 614,74
2. Yıl		299 884,32			9 967,96	60 076,21
3. Yıl		329 872,75			10 964,75	66 083,84
4. Yıl		362 860,02			12 061,23	72 692,22
5. Yıl		399 146,03			13 267,35	79 961,44
6. Yıl		439 060,63			14 594,09	87 957,58
Toplam	110 006,40	2 103 445,85	1 336 608,00	735 735,00	69 917,16	421 386,03
Toplam	2 213 452,25		1 720 874,13			

Antalya için amortisman süresi hesaplama

Antalya için birinci durumda kazan fiyatı = 110 006,40 TL

Antalya için yıllık kömür maliyeti = 88 749,71 TL

Antalya için seçilen ısı pompası fiyatı = 431 730,00 TL

Antalya için yıllık elektrik maliyeti = 80 690,55 TL

Antalya için fotovoltaik sistem maliyeti = 509 355,00 TL

Antalya için yıllık elektrik geliri = 35 398,30 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 88 749,71 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 80 690,55 TL'ye, üçüncü durumda da her yıl elektrik geliri 35 398,30 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri yıllara göre Çizelge 7.38'de verilmiştir. Çizelge 7.38'e göre, 17. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 3 708 336,82 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 3 703 304,19 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 17. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 17 yıl olmuştur.

Çizelge 7.38. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	88 749,71	431 730,00	80 690,55
2. Yıl		97 624,68		88 759,60
3. Yıl		107 387,14		97 635,56
4. Yıl		118 125,86		107 399,12
5. Yıl		129 938,44		118 139,03
6. Yıl		142 932,29		129 952,93
7. Yıl		157 225,52		142 948,22
8. Yıl		172 948,07		157 243,05
9. Yıl		190 242,87		172 967,35
10. Yıl		209 267,16		190 264,09
11. Yıl		230 193,88		209 290,49
12. Yıl		253 213,27		230 219,54
13. Yıl		278 534,59		253 241,50
14. Yıl		306 388,05		278 565,65
15. Yıl		337 026,86		306 422,21
16. Yıl		370 729,54		337 064,43
17. Yıl		407 802,50		370 770,88
Toplam	110 006,40	3 598 330,42	431 730,00	3 271 574,19
Toplam	3 708 336,82		3 703 304,19	

Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.39’da verilmiştir. Çizelge 7.39’a göre, 6. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 794 764,51 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 667 965,52 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 6. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 6 yıl olmuştur.

Çizelge 7.39. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum		
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	88 749,71	431 730,00	509 355,00	35 398,30
2. Yıl		97 624,68			38 938,13
3. Yıl		107 387,14			42 831,94
4. Yıl		118 125,86			47 115,14
5. Yıl		129 938,44			51 826,65
6. Yıl		142 932,29			57 009,32
Toplam	110 006,40	684 758,11	431 730,00	509 355,00	273 119,48
Toplam	794 764,51		667 965,52		

Mersin için amortisman süresi hesaplama

Mersin için birinci durumda kazan fiyatı = 110 006,40 TL

Mersin için yıllık kömür maliyeti = 81 988,68 TL

Mersin için seçilen ısı pompası fiyatı = 431 730,00 TL

Mersin için yıllık elektrik maliyeti = 75 031,52 TL

Mersin için fotovoltaik sistem maliyeti = 501 270,00 TL

Mersin için yıllık elektrik geliri = 32 915,74 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 81 988,68 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 75 031,52 TL'ye, üçüncü durumda da her yıl elektrik geliri 32 915,74 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri yıllara göre Çizelge 7.40'ta verilmiştir. Çizelge 7.40'a göre, 19. yılda kömür yakıtlı kazan

tüm maliyetleri ile birlikte 4 304 472,73 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 4 270 274,08 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 19. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 19 yıl olmuştur.

Çizelge 7.40. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	81 988,68	431 730,00	75 031,52
2. Yıl		90 187,55		82 534,67
3. Yıl		99 206,30		90 788,13
4. Yıl		109 126,93		99 866,95
5. Yıl		120 039,63		109 853,64
6. Yıl		132 043,59		120 839,01
7. Yıl		145 247,95		132 922,91
8. Yıl		159 772,74		146 215,20
9. Yıl		175 750,02		160 836,72
10. Yıl		193 325,02		176 920,39
11. Yıl		212 657,52		194 612,43
12. Yıl		233 923,27		214 073,67
13. Yıl		257 315,60		235 481,04
14. Yıl		283 047,16		259 029,14
15. Yıl		311 351,88		284 932,05
16. Yıl		342 487,07		313 425,26
17. Yıl		376 735,77		344 767,79
18. Yıl		414 409,35		379 244,56
19. Yıl		455 850,29		417 169,02
Toplam	110 006,40	4 194 466,33	431 730,00	3 838 544,08
Toplam	4 304 472,73		4 270 274,08	

Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.41’de verilmiştir. Çizelge 7.41’e göre, 6. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 742 599,08 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 679 034,99 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 6. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 6 yıl olmuştur.

Çizelge 7.41. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum		
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	81 988,68	431 730,00	501 270,00	32 915,74
2. Yıl		90 187,55			36 207,31
3. Yıl		99 206,30			39 828,05
4. Yıl		109 126,93			43 810,85
5. Yıl		120 039,63			48 191,93
6. Yıl		132 043,59			53 011,13
Toplam	110 006,40	632 592,68	431 730,00	501 270,00	253 965,01
Toplam	742 599,08		679 034,99		

Muğla için amortisman süresi hesaplama

Muğla için birinci durumda kazan fiyatı = 110 006,40 TL

Muğla için yıllık kömür maliyeti = 173 057,50 TL

Muğla için seçilen hava kaynaklı ısı pompası fiyatı = 777 114,00 TL

Muğla için seçilen su kaynaklı ısı pompası fiyatı = 1 062 126,00 TL

Muğla için hava kaynaklı ısı pompası yıllık elektrik maliyeti = 173 084,98 TL

Muğla için su kaynaklı ısı pompası yıllık elektrik maliyeti = 120 774,78 TL

Muğla için hava kaynaklı ısı pompası fotovoltaik sistem maliyeti = 840 840,00 TL

Muğla için su kaynaklı ısı pompası fotovoltaik sistem maliyeti = 493 185,00 TL

Muğla için hava ve su kaynaklı ısı pompaları arasında seçim yapılacağı belirtilmişti. Hava kaynaklı ısı pompasının maliyeti ilk aşamada su kaynaklı ısı pompasından 285 012,00 TL daha az görünmektedir. Ancak, hava kaynaklı ısı pompası için kullanılacak fotovoltaik sistem maliyeti su kaynaklı ısı pompasında kullanılacak fotovoltaik sistem maliyetinden 347 655,00 TL daha fazla olmaktadır. Ayrıca, hava kaynaklı ısı pompasının yıllık elektrik maliyeti su kaynaklı ısı pompasının yıllık elektrik maliyetinden 52 310,20 daha fazladır. Bu

nedenle her ne kadar hava kaynaklı ısı pompası ilk aşamada daha uygun gibi görünse de, diğer faktörler devreye girdiğinde iki ısı pompası arasında su kaynaklı ısı pompasının daha avantajlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla su kaynaklı ısı pompasının daha kısa sürede kendini amorti edeceği ortadır. Bu nedenlerle Muğla için 170 kW su kaynaklı ısı pompası seçilmesine karar verilmiştir.

Muğla için seçilen su kaynaklı ısı pompasının yıllık elektrik geliri = 52 982,94 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaiik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 173 057,50 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 120 774,78 TL'ye, üçüncü durumda da her yıl elektrik geliri 52 982,94 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri yıllara göre Çizelge 7.42'de verilmiştir. Çizelge 7.42'ye göre, 11. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 3 316 963,92 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 3 300 223,62 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 11. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 11 yıl olmuştur.

Çizelge 7.42. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	173 057,50	1 062 126,00	120 774,78
2. Yıl		190 363,25		132 852,26
3. Yıl		209 399,58		146 137,48
4. Yıl		230 339,54		160 751,23
5. Yıl		253 373,49		176 826,36
6. Yıl		278 710,84		194 508,99
7. Yıl		306 581,93		213 959,89
8. Yıl		337 240,12		235 355,88
9. Yıl		370 964,13		258 891,47
10. Yıl		408 060,54		284 780,61
11. Yıl		448 866,60		313 258,67
Toplam	110 006,40	3 206 957,52	1 062 126,00	2 238 097,62
Toplam	3 316 963,92		3 300 223,62	

Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.43'te verilmiştir. Çizelge 7.43'e göre, 6. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 1 445 250,61 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 1 146 515,30 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 6. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 6 yıl olmuştur.

Çizelge 7.43. Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum		
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	173 057,50	1 062 126,00	493 185,00	52 982,94
2. Yıl		190 363,25			58 281,23
3. Yıl		209 399,58			64 109,36
4. Yıl		230 339,54			70 520,29
5. Yıl		253 373,49			77 572,32
6. Yıl		278 710,84			85 329,55
Toplam	110 006,40	1 335 244,21	1 062 126,00	493 185,00	408 795,70
Toplam	1 445 250,61		1 146 515,30		

7.5.3. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi için amortisman hesabı

Ankara için amortisman süresi hesaplama

Ankara için birinci durumda kazan fiyatı = 110 006,40 TL

Ankara için yıllık kömür maliyeti = 177 781,62 TL

Ankara için seçilen ısı pompası fiyatı = 1 253 070,00 TL

Ankara için yıllık elektrik maliyeti = 127 799,16 TL (Fotovoltaik hariç)

Ankara için fotovoltaik sistem maliyeti = 477 015,00 TL

Ankara için yıllık elektrik maliyeti = 5 734,01 TL (Fotovoltaik destekli sistemde)

Ankara için yıllık elektrik geliri = 35 677,42 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 177 781,62 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 127 799,16 TL'ye, üçüncü durumda da fotovoltaik destekli sistemde her yıl elektrik maliyeti 5 734,01 TL'ye ve her yıl elektrik geliri 35 677,42 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri yıllara göre Çizelge 7.44'te verilmiştir. Çizelge 7.44'e göre, 13. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 4 469 693,82 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 4 387 051,96 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 13. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 13 yıl olmuştur.

Çizelge 7.44. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	177 781,62	1 253 070,00	127 799,16
2. Yıl		195 559,78		140 579,07
3. Yıl		215 115,76		154 636,98
4. Yıl		236 627,33		170 100,68
5. Yıl		260 290,07		187 110,75
6. Yıl		286 319,07		205 821,82
7. Yıl		314 950,98		226 404,00
8. Yıl		346 446,08		249 044,40
9. Yıl		381 090,69		273 948,84
10. Yıl		419 199,75		301 343,73
11. Yıl		461 119,73		331 478,10
12. Yıl		507 231,70		364 625,91
13. Yıl		557 954,87		401 088,50
Toplam	110 006,40	4 359 687,42	1 253 070,00	3 133 981,96
Toplam	4 469 693,82		4 387 051,96	

Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.45'te verilmiştir. Çizelge 7.45'e göre, 7. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 1 796 651,00 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 1 446 006,75 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 7. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 7 yıl olmuştur.

Çizelge 7.45. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Ankara için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum			
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	Elektrik gideri	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	177 781,62	1 253 070,00	477 015,00	5 734,01	35 677,42
2. Yıl		195 559,78			6 307,41	39 245,16
3. Yıl		215 115,76			6 938,15	43 169,68
4. Yıl		236 627,33			7 631,97	47 486,65
5. Yıl		260 290,07			8 395,16	52 235,31
6. Yıl		286 319,07			9 234,68	57 458,84
7. Yıl		314 950,98			10 158,15	63 204,73
Toplam	110 006,40	1 686 644,60	1 253 070,00	477 015,00	54 399,53	338 477,78
Toplam	1 796 651,00		1 446 006,75			

Antalya için amortisman süresi hesaplama

Antalya için birinci durumda kazan fiyatı = 110 006,40 TL

Antalya için yıllık kömür maliyeti = 59 302,93 TL

Antalya için seçilen ısı pompası fiyatı = 345 384,00 TL

Antalya için yıllık elektrik maliyeti = 50 341,75 TL

Antalya için fotovoltaik sistem maliyeti = 315 315,00 TL

Antalya için yıllık elektrik geliri = 22 084,53 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 59 302,93 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 50 341,75 TL'ye, üçüncü durumda da her yıl elektrik geliri 22 084,53 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri

yıllara göre Çizelge 7.46’da verilmiştir. Çizelge 7.46’ya göre, 14. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 1 769 004,89 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 1 753 693,56 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 14. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 14 yıl olmuştur.

Çizelge 7.46. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	59 302,93	345 384,00	50 341,75
2. Yıl		65 233,22		55 375,92
3. Yıl		71 756,55		60 913,51
4. Yıl		78 932,20		67 004,87
5. Yıl		86 825,42		73 705,35
6. Yıl		95 507,96		81 075,89
7. Yıl		105 058,76		89 183,48
8. Yıl		115 564,63		98 101,82
9. Yıl		127 121,10		107 912,01
10. Yıl		139 833,21		118 703,21
11. Yıl		153 816,53		130 573,53
12. Yıl		169 198,18		143 630,88
13. Yıl		186 118,00		157 993,97
14. Yıl		204 729,80		173 793,37
Toplam	110 006,40	1 658 998,49	345 384,00	1 408 309,56
Toplam	1 769 004,89		1 753 693,56	

Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.47’de verilmiştir. Çizelge 7.47’ye göre, 6. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 567 564,68 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 490 303,38 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 6. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 6 yıl olmuştur.

Çizelge 7.47. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Antalya için kömür kazanı ile fotovoltaiik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum		
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	59 302,93	345 384,00	315 315,00	22 084,53
2. Yıl		65 233,22			24 292,98
3. Yıl		71 756,55			26 722,28
4. Yıl		78 932,20			29 394,51
5. Yıl		86 825,42			32 333,96
6. Yıl		95 507,96			35 567,36
Toplam	110 006,40	457 558,28	345 384,00	315 315,00	170 395,62
Toplam	567 564,68		490 303,38		

Mersin için amortisman süresi hesaplama

Mersin için birinci durumda kazan fiyatı = 110 006,40 TL

Mersin için yıllık kömür maliyeti = 54 469,86 TL

Mersin için seçilen ısı pompası fiyatı = 345 384,00 TL

Mersin için yıllık elektrik maliyeti = 46 550,37 TL

Mersin için fotovoltaiik sistem maliyeti = 315 315,00 TL

Mersin için yıllık elektrik geliri = 20 421,29 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaiik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 54 469,86 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 46 550,37 TL'ye, üçüncü durumda da her yıl elektrik geliri 20 421,29 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri yıllara göre Çizelge 7.48'de verilmiştir. Çizelge 7.48'e göre, 15. yılda kömür yakıtlı kazan

tüm maliyetleri ile birlikte 1 840 649,13 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 1 824 404,67 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 15. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 15 yıl olmuştur.

Çizelge 7.48. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	54 469,86	345 384,00	46 550,37
2. Yıl		59 916,85		51 205,40
3. Yıl		65 908,53		56 325,94
4. Yıl		72 499,39		61 958,54
5. Yıl		79 749,33		68 154,39
6. Yıl		87 724,26		74 969,83
7. Yıl		96 496,69		82 466,81
8. Yıl		106 146,35		90 713,50
9. Yıl		116 760,99		99 784,85
10. Yıl		128 437,09		109 763,33
11. Yıl		141 280,80		120 739,66
12. Yıl		155 408,88		132 813,63
13. Yıl		170 949,76		146 094,99
14. Yıl		188 044,74		160 704,49
15. Yıl		206 849,21		176 774,94
Toplam	110 006,40	1 730 642,73	345 384,00	1 479 020,67
Toplam	1 840 649,13		1 824 404,67	

Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.49’da verilmiştir. Çizelge 7.49’a göre, 6. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 530 274,62 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 503 136,29 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 6. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 6 yıl olmuştur.

Çizelge 7.49. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Mersin için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum		
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	54 469,86	345 384,00	315 315,00	20 421,29
2. Yıl		59 916,85			22 463,42
3. Yıl		65 908,53			24 709,76
4. Yıl		72 499,39			27 180,74
5. Yıl		79 749,33			29 898,81
6. Yıl		87 724,26			32 888,69
Toplam	110 006,40	420 268,22	345 384,00	315 315,00	157 562,71
Toplam	530 274,62		503 136,29		

Muğla için amortisman süresi hesaplama

Muğla için birinci durumda kazan fiyatı = 110 006,40 TL

Muğla için yıllık kömür maliyeti = 113 254,50 TL

Muğla için seçilen hava kaynaklı ısı pompası fiyatı = 518 076,00 TL

Muğla için seçilen su kaynaklı ısı pompası fiyatı = 624 780,00 TL

Muğla için seçilen toprak kaynaklı ısı pompası fiyatı = 668 304,00 TL

Muğla için hava kaynaklı ısı pompası yıllık elektrik maliyeti = 105 179,85 TL

Muğla için su kaynaklı ısı pompası yıllık elektrik maliyeti = 79 038,97 TL

Muğla için toprak kaynaklı ısı pompası yıllık elektrik maliyeti = 81 588,61 TL

Muğla için hava kaynaklı ısı pompası fotovoltaik sistem maliyeti = 509 355,00 TL

Muğla için su kaynaklı ısı pompası fotovoltaik sistem maliyeti = 323 400,00 TL

Muğla için toprak kaynaklı ısı pompası fotovoltaik sistem maliyeti = 331 485,00 TL

Muğla için hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompaları arasında seçim yapılacağı belirtilmişti. Hava kaynaklı ısı pompasının maliyeti ilk aşamada su kaynaklı ısı pompasından 106 704,00 TL ve toprak kaynaklı ısı pompasından 150 228,00 TL daha az gözükmektedir. Ancak, hava kaynaklı ısı pompası için kullanılacak fotovoltaik sistem maliyeti su kaynaklı ısı pompasında kullanılacak fotovoltaik sistem maliyetinden 185 955,00 TL ve toprak kaynaklı ısı pompasında kullanılacak olan fotovoltaik sistemin maliyetinden 177 870,00 TL daha fazla olmaktadır. Ayrıca, hava kaynaklı ısı pompasının yıllık elektrik maliyeti su kaynaklı ısı pompasının yıllık elektrik maliyetinden 26 140,88 TL ve toprak kaynaklı ısı pompasının yıllık elektrik maliyetinden 23 591,24 TL daha fazladır. Bu nedenle her ne kadar hava kaynaklı ısı pompası ilk aşamada daha uygun gibi görünse de, diğer faktörler devreye girdiğinde üç ısı pompası arasında su kaynaklı ısı pompasının daha avantajlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla su kaynaklı ısı pompasının daha kısa sürede kendini amorti edeceği ortadadır. Bu nedenlerle Muğla için 100 kW su kaynaklı ısı pompası seçilmesine karar verilmiştir.

Muğla için seçilen su kaynaklı ısı pompasının yıllık elektrik geliri = 34 673,77 TL

Bu durumda kazan fiyatı, ısı pompası fiyatı ve fotovoltaik sistem maliyeti ilk kurulum maliyetleri olarak sabit fiyatlardır. Bu nedenle yıllık kömür maliyeti, elektrik maliyeti ve yıllık elektrik gelirlerinde Eş 7.1'deki gibi net bugünkü değer hesabı yapılması gerekir. Bu kapsamda hesaplama aracı kullanılarak kömür fiyatlarında, elektrik fiyatlarında ve elektrik gelirlerinde %10 oranında artış yapılarak net bugünkü değer hesabı yapılmıştır. Buna göre her yıl birinci durumdaki kömür maliyeti 113 254,50 TL'ye, ikinci durumda şebekeye bağlı sistemde her yıl elektrik maliyeti 79 038,97 TL'ye, üçüncü durumda da her yıl elektrik geliri 34 673,77 TL'ye denk gelecek şekilde hesaplama aracında hesaplama yapılmıştır. Bu durumda kömür maliyetleri ile şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri yıllara göre Çizelge 7.50'de verilmiştir. Çizelge 7.50'ye göre, 10. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 1 914 991,40 TL, ısı pompalı sistem ise tüm maliyetleri ile birlikte 1 884 457,63 TL olmaktadır. Dolayısıyla şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin maliyetleri, 10. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda şebekeye bağlı ısı pompası sisteminin amorti süresi 10 yıl olmuştur.

Çizelge 7.50. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile şebekeye bağlı ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		2. Durum	
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	Elektrik maliyeti
1. Yıl	110 006,40	113 254,50	624 780,00	79 038,97
2. Yıl		124 579,95		86 942,87
3. Yıl		137 037,94		95 637,15
4. Yıl		150 741,74		105 200,87
5. Yıl		165 815,91		115 720,96
6. Yıl		182 397,50		127 293,05
7. Yıl		200 637,25		140 022,36
8. Yıl		220 700,97		154 024,59
9. Yıl		242 771,07		169 427,05
10. Yıl		267 048,18		186 369,76
Toplam	110 006,40	1 804 985,00	624 780,00	1 259 677,63
Toplam	1 914 991,40		1 884 457,63	

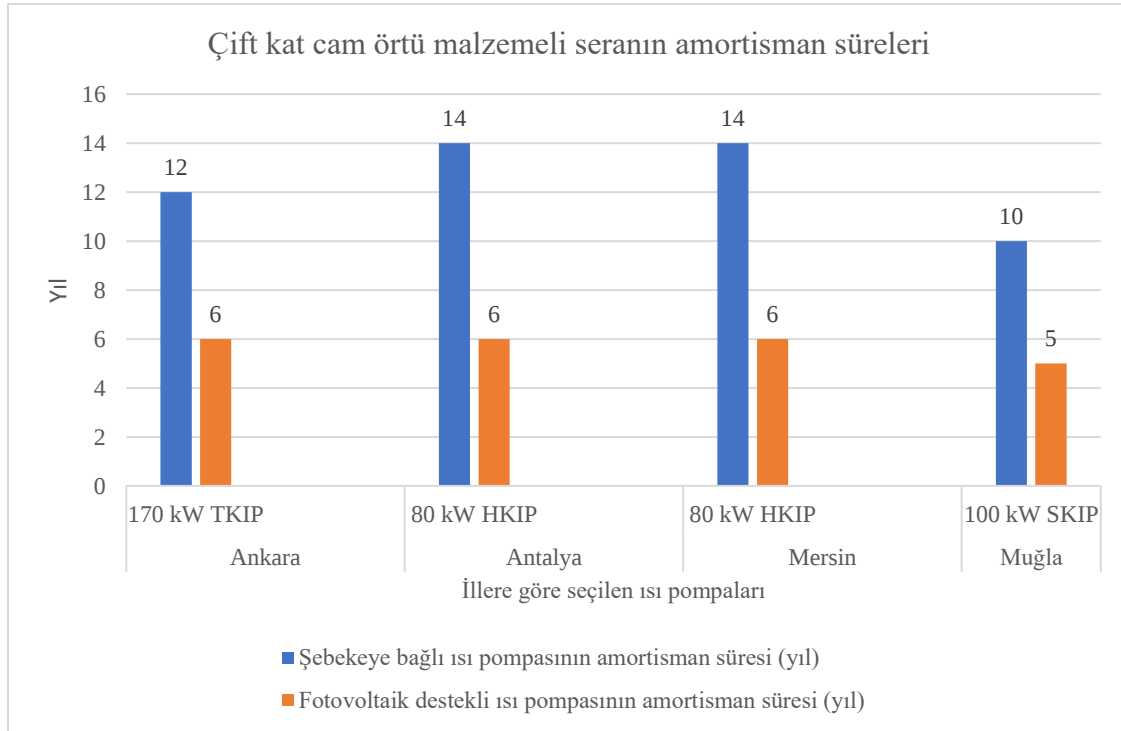
Kömür maliyetleri, fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin elektrik maliyetleri ve elektrik gelirleri yıllara göre Çizelge 7.51’de verilmiştir. Çizelge 7.51’e göre, 5. yılda kömür yakıtlı kazan tüm maliyetleri ile birlikte 801 436,43 TL, ısı pompalı sistemin ise tüm maliyetlerinden elektrik gelirlerini çıkardığımız zaman 736 493,17 TL olmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin maliyetleri, 5. yılda kömür yakıtlı kazanın maliyetlerinden daha az olmaya başlamıştır. Bu durumda fotovoltaik destekli ısı pompası sisteminin amorti süresi 5 yıl olmuştur.

Çizelge 7.51. Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Muğla için kömür kazanı ile fotovoltaik destekli ısı pompasının amortisman hesabı (TL)

Yıllar	1. Durum		3. Durum		
	Kazan fiyatı	Kömür maliyeti	Isı pompası fiyatı	GES fiyatı	GES geliri
1. Yıl	110 006,40	113 254,50	624 780,00	323 400,00	34 673,77
2. Yıl		124 579,95			38 141,15
3. Yıl		137 037,94			41 955,26
4. Yıl		150 741,74			46 150,79
5. Yıl		165 815,91			50 765,87
Toplam	110 006,40	691 430,03	624 780,00	323 400,00	211 686,83
Toplam	801 436,43		736 493,17		

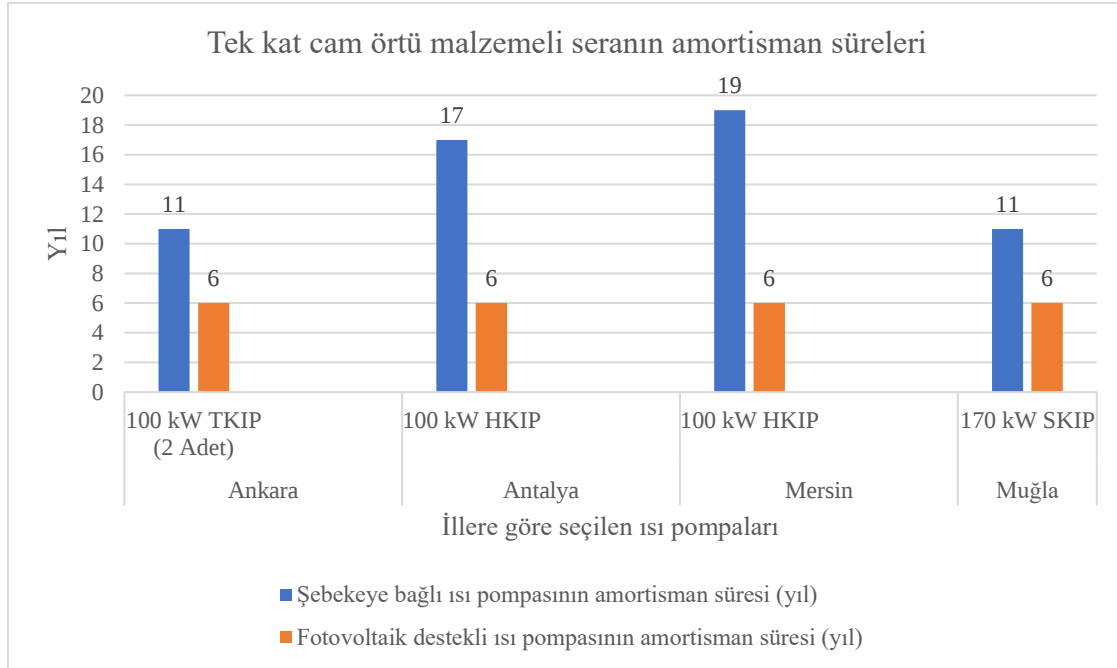
Çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illeri için seçilen ısı pompaları ile bu ısı pompalarının kömür yakıtlı kazana göre amortisman

süreleri Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Şekil 7.1 incelendiğinde; çift kat sızdırmaz contalı örtü malzemesi kullanılan seralarda fotovoltaik destekli ısı pompalarının kullanımı ve güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin şebekeye aktarılmasıyla elde edilen gelir sayesinde; şebekeye bağlı çalışan ısı pompalarına göre Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinde amortisman süreleri sırasıyla 6, 8, 8 ve 5 yıl kısalmıştır.



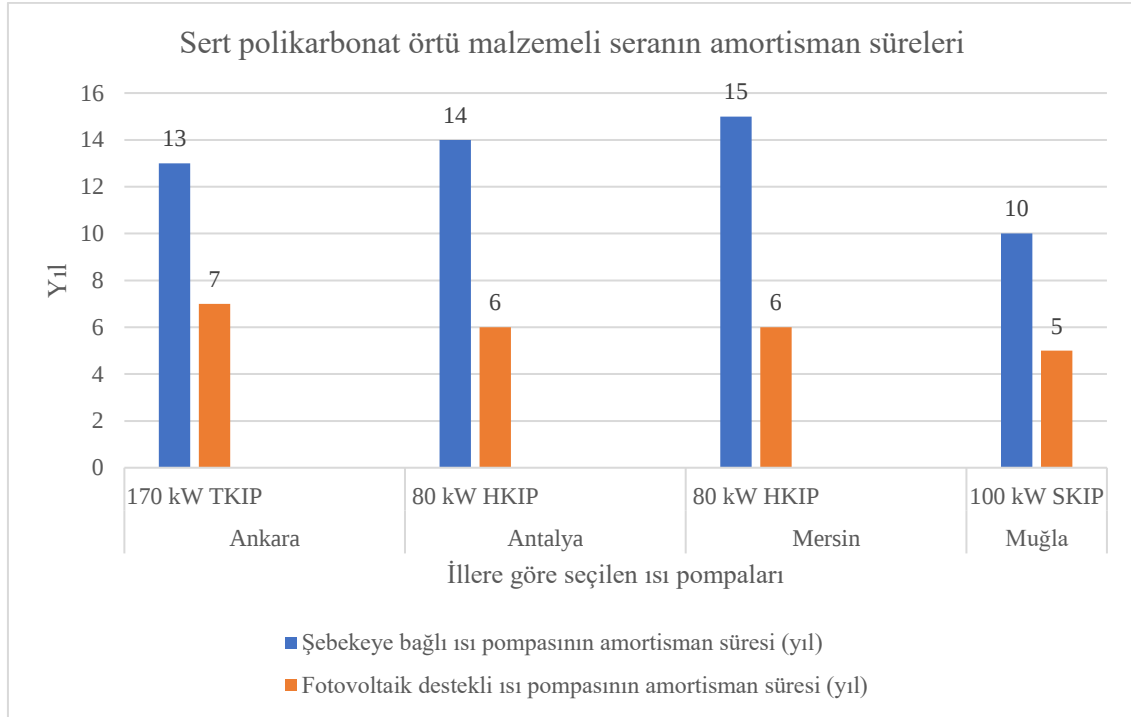
Şekil 7.1. Çift kat cam örtü malzemesine göre seçilen ısı pompaları ve amortisman süreleri

Tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemesine göre Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illeri için seçilen ısı pompaları ile bu ısı pompalarının kömür yakıtlı kazana göre amortisman süreleri Şekil 7.2’de gösterilmiştir. Şekil 7.2 incelendiğinde; tek kat sızdırmaz contalı örtü malzemesi kullanılan seralarda fotovoltaik destekli ısı pompalarının kullanımı ve güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin şebekeye aktarılmasıyla elde edilen gelir sayesinde; şebekeye bağlı çalışan ısı pompalarına göre Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinde amortisman süreleri sırasıyla 5, 11, 13 ve 5 yıl kısalmıştır.



Şekil 7.2. Tek kat cam örtü malzemesine göre seçilen ısı pompaları ve amortisman süreleri

Sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesine göre Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illeri için seçilen ısı pompaları ile bu ısı pompalarının kömür yakıtlı kazana göre amortisman süreleri Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Şekil 7.3 incelendiğinde; sert polikarbonat çift cidarlı örtü malzemesi kullanılan seralarda fotovoltaik destekli ısı pompalarının kullanımı ve güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin şebekeye aktarılmasıyla elde edilen gelir sayesinde; şebekeye bağlı çalışan ısı pompalarına göre Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinde amortisman süreleri sırasıyla 6, 8, 9 ve 5 yıl kısalmıştır.



Şekil 7.3. Sert polikarbonat örtü malzemesine göre seçilen ısı pompaları ve amortisman süreleri

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, sera iklimlendirme sistemlerinde güneş enerjisi destekli hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının teknik ve ekonomik etkileri incelenmiştir. Isı pompalarının temel işleyiş prensipleri ve faydaları da detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Seracılıkta kullanılan bazı örtü malzemeleri ve domates ürününün nem ve sıcaklık değerlerine göre farklı iklim koşullarında kurulan aynı özellikteki sera için ısı kaybı ve ısı kazancı hesapları yapılmıştır. ANSI ASAE EP 406.4 standardı esas alınarak seraların ısıtılmasında ve soğutulmasında gerekli olan yükler belirlenmiştir. Bu yüklerin hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompaları ile karşılanması amacıyla hesaplamalar yapılmış ve maliyetleri incelenmiştir.

Isı pompalarının elektrik ihtiyacını karşılamak için fotovoltaiik sistem oluşturulmuş ve bu sistemlerin de maliyetleri incelenmiştir. Hesaplamalar Ankara ile Türkiye’de cam seraların en yoğun olduğu iller olan Antalya, Mersin ve Muğla illeri için yapılmıştır.

Sistem performansına ilişkin bulguların değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında seralarda kullanılan hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompaları teknik olarak detaylı olarak incelenmiştir. Her üç sistemin de enerji verimliliğini artırmada, çevresel etkileri azaltmada ve bitkilerin yetiştirme koşullarını optimize etmede önemli katkılar sağladığı görülmüştür.

Hava kaynaklı ısı pompaları, dış hava sıcaklıklarından etkilenmelerine rağmen, yüksek COP_{IP} ve COP_{SM} değerlerine sahip olabilmektedir. Bu tür pompalar özellikle daha ılıman iklimlerde daha iyi çalışmaktadır. Sert iklimlerin yaşandığı yerlerde verimliliğin düştüğü görülmektedir.

Su kaynaklı ısı pompaları, genellikle yüksek ve sabit COP_{IP} ve COP_{SM} değerlerine sahiptir. Özellikle yer altı suyu kaynaklı ısı pompalarında yer altı suyunun sıcaklığı yıl boyunca hemen hemen sabit olduğu için, su kaynaklı ısı pompaları yüksek verimlilikte çalışmakta ve enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Toprak kaynaklı ısı pompaları, yer altı toprak sıcaklığının yıl boyunca daha sabit olması nedeniyle hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha yüksek ve sabit bir COP_{IP} ve COP_{SM} sunmaktadır. Bu durumda daha fazla enerji verimliliğine ve daha fazla enerji tasarrufuna neden olmaktadır.

Hava kaynaklı ısı pompalarının kurulumları daha kolaydır ve daha düşük maliyetlidir. Su kaynaklı ısı pompalarında su kaynaklarına yakınlık ve suyun miktarı kurulum maliyetlerini etkileyebilir. Su kaynaklı ısı pompalarının kurulum maliyetleri hava kaynaklı ısı pompalarından daha fazladır. Toprak kaynaklı ısı pompalarının kurulum maliyetleri daha yüksektir. Ancak, uzun vadede düşük işletme maliyetleri ve yüksek enerji verimliliği sayesinde bu maliyetler amorti edilmektedir.

Ekonomik bulguların değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinde uygun ısı pompaları seçilerek maliyet analizleri yapılmıştır.

Fotovoltaik destekli ısı pompalarının amortisman sürelerini, şebekeye bağlı olarak çalışan ısı pompalarına göre Ankara, Antalya, Mersin ve Muğla illerinde sırasıyla çift kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemeli serada 6, 8, 8 ve 5 yıl, tek kat cam sızdırmaz contalı örtü malzemeli serada 5,11, 13 ve 5 yıl, sert polikarbonat çift cidarlı serada ise 6, 8, 9 ve 5 yıl daha da kısalttığını göstermiştir.

Amortisman süreleri hesaplanırken kömür yakıtlı kazanla karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu nedenle amortisman hesabında illerde ısıtma yapılacak aylar dikkate alınmıştır. Kömür yakıtlı kazanla çalışan seralarda soğutma yapılan aylarda ürün yetiştirilememektedir. Ancak, ısı pompaları ile çalışan sistemlerde hem ısıtma hem de soğutma yapılabilirdiğinden yılın her ayında seralarda üretim yapılabilir ve bu ürünler satılabilir. Dolayısıyla, ısı pompaları ile çalışan seralarda soğutma yapılan aylarda kömür yakıtlı kazanla çalışan seralara göre ürün satışından elde edilen ek bir gelir bulunmaktadır. Seralarda ürün üretim miktarları ve satışı ile ilgili hesaplamalar bu çalışma kapsamında bulunmamaktadır. Ayrıca, tüm illerdeki seralar için yapılan hesaplamalarda fotovoltaik destekli ısı pompaları sayesinde soğutma ihtiyaçlarının tamamı güneş panelleri ile karşılanabilmektedir ve bu sayede soğutma yapılacak aylarda üretilen elektrik enerjisi

şebekeye aktarılarak ek bir gelir daha elde edilebilmektedir. Bu kapsamda şebekeye bağlı çalışan ısı pompalarında soğutma yapılacak aylarda üretilecek ürünlerin satışından elde edilecek gelir sayesinde amortisman süreleri daha kısalmaktadır. Fotovoltaik destekli ısı pompalarında ise soğutma yapılacak aylarda ürün satışından ve şebekeye aktarılan elektrik enerjisinden sağlanacak ek gelirler bulunmaktadır. Bu sayede bu çalışma kapsamında bulunan fotovoltaik destekli ısı pompalarının amortisman süreleri daha da kısalmaktadır.

Muğla ilinde yapılan karşılaştırmalar ısı pompalarının maliyetlerine bakılarak ısı pompası seçiminin tek başına yeterli olmayacağını, başka faktörlerin de dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuştur.

Maliyet analizleri sonucunda hesaplanan fotovoltaik destekli ısı pompalarının amortisman sürelerinin, literatür araştırmalarında fotovoltaik destekli ısı pompaları için bulunan amortisman süreleri ile birebir uyumlu olduğu görülmüştür.

Öneriler

Hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle ısı pompası seçimi yaparken seranın bulunduğu iklim, ekonomik faktörler ve uzun vadede beklenen hedefler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Gelecekte bu sistemlerin daha da geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması seracılık sektörüne önemli katkılar sunacaktır. Bakanlıkların teşvik ve destekleri ile ısı pompalarının geliştirilmesi ve uygulanması, enerji verimliliğinin artması ve olumsuz çevresel etkilerin azalmasına neden olacaktır.



KAYNAKLAR

- Ahamed, M. S., Guo, H. ve Tanino, K. (2019). Energy saving techniques for reducing the heating cost of conventional greenhouses. *Biosystems Engineering*, 178, 9-33.
- Aprianti, T., Tan, E., Dju, C., Sprivulis, B., Ryan, G., Srinivasan, K. ve Chua, H. T. (2021). Performance comparison of ground source heat pump (GSHP) against air source heat pump (ASHP) for domestic applications: A case study in Perth, Australia. *Teknomekanik*, 4(2), 55-63.
- Aye, L., Fuller, R. ve Canal, A. (2010). Evaluation of a heat pump system for greenhouse heating. *International Journal of Thermal Sciences*, 49(1), 202-208.
- Bae, S. ve Nam, Y. (2022). Economic and environmental analysis of ground source heat pump system according to operation methods. *Geothermics*, 101, 102373.
- Benli, H. (2011). Energetic performance analysis of a ground-source heat pump system with latent heat storage for a greenhouse heating. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 581-589.
- Benli, H. (2013). A performance comparison between a horizontal source and a vertical source heat pump systems for a greenhouse heating in the mild climate Elazığ, Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 50 (1), 197-206.
- Blum, P., Campillo, G., Münch, W. ve Kölbl, T. (2010). CO₂ savings of ground source heat pump systems – A regional analysis. *Renewable Energy*, 35(1), 122-127.
- Boughanmi, H., Lazaar, M. ve Guizani, A. (2018). A performance of a heat pump system connected a new conic helicoidal geothermal heat exchanger for a greenhouse heating in the north of Tunisia. *Solar Energy*, 171, 343-353.
- Canakci, M., Emekli, N. Y., Bilgin, S. ve Caglayan, N. (2013). Heating requirement and its costs in greenhouse structures: A case study for Mediterranean region of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 483-490.
- Cengel, Y. ve Boles, M. A. (2006). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. New York: McGraw Hill, 610.
- Chahidi, L. O., Fossa, M., Priarone, A. ve Mechaqrane, A. (2021). Energy saving strategies in sustainable greenhouse cultivation in the mediterranean climate – A case study. *Applied Energy*, 282, 116156.
- Chai, L., Ma, C. ve Ni, J. Q. (2012). Performance evaluation of ground source heat pump system for greenhouse heating in northern China. *Biosystems Engineering*, 111 (1), 107-117.
- Curtis, R., Lund, J., Sanner, B., Rybach, L. ve Hellström, G. (2005). *Ground source heat pumps–geothermal energy for anyone, anywhere: current worldwide activity*. In Proceedings World Geothermal Congress, 24, 175.
- Çengel, Y. ve Boles, M. A. (1996). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik* (5. basım). İstanbul: McGraw Hill, 610.

- D'Arpa, S., Colangelo, G., Starace, G., Petrosillo, I., Bruno, D. E., Uricchio, V. ve Zurlini, G. (2016). Heating requirements in greenhouse farming in southern Italy: Evaluation of ground-source heat pump utilization compared to traditional heating systems. *Energy Efficiency*, 9, 1065-1085.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). *Türkiye'nin Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı*. Ankara: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Esen, M. ve Yüksel, T. (2013). Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse. *Energy and Buildings*, 65, 340-351.
- Esmaili, H. ve Roshandel, R. (2020). Optimal design for solar greenhouses based on climate conditions. *Renewable Energy*, 145, 1255-1265.
- Greening, B. ve Azapagic, A. (2012). Domestic heat pumps: Life cycle environmental impacts and potential implications for the UK. *Energy*, 39(1), 205-217.
- Hanova, J. ve Dowlatabadi, H. (2007). Strategic GHG reduction through the use of ground source heat pump technology. *Environmental Research Letters*, 2(4), 044001.
- Harjunowibowo, D., Omer, S. A. ve Riffat, S. B. (2021). Experimental investigation of a ground-source heat pump system for greenhouse heating-cooling. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 16(4), 1529-1541.
- Hassanien, R., Hassanien, E., Li, M. ve Tang, Y. (2018). The evacuated tube solar collector assisted heat pump for heating greenhouses. *Energy and Buildings*, 169, 305-318.
- İnternet: Tutiempo Network, S. (2024, Haziran 15). Web: <https://en.tutiempo.net/solar-radiation> adresinden alındı
- Kaptaner, H. (2008). Seracılık Sektör Raporu. *Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı*, 28p., Van.
- Kendirli, B. (2010). *Seraların Tasarım Dersi*.
Web: <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=53199> Son Erişim Tarihi: 05. 29., 2024
- Lazzarin, R. (2020). Heat pumps and solar energy: A review with some insights in the future. *International Journal of Refrigeration*, 116, 146-160.
- Li, H., Nagano, K., Lai, Y., Shibata, K. ve Fujii, H. (2013). Evaluating the performance of a large borehole ground source heat pump for greenhouses in northern Japan. *Energy*, 63, 387-399.
- Liu, Z., Wang, W., Chen, Y., Wang, L., Guo, Z., Yang, X. ve Yan, J. (2023). Solar harvest: Enhancing carbon sequestration and energy efficiency in solar greenhouses with PVT and GSHP systems. *Renewable Energy*, 211, 112-125.
- Lu, Q., Narsilio, G. A., Aditya, G. R. ve Johnston, I. W. (2017). Economic analysis of vertical ground source heat pump systems in Melbourne. *Energy*, 125, 107-117.
- Luo, J., Rohn, J., Bayer, M., Priess, A., Wilkmann, L. ve Xiang, W. (2015). Heating and cooling performance analysis of a ground source heat pump system in Southern Germany. *Geothermics*, 53, 57-66.

- Luo, J., Xue, W. ve Shao, H. (2020). Thermo-economic comparison of coal-fired boiler-based and groundwater-heat-pump based heating and cooling solution – A case study on a greenhouse in Hubei, China. *Energy and Buildings*, 223, 110214.
- Mattinen, M. K., Nissinen, A., Hyysalo, S. ve Juntunen, J. K. (2015). Energy use and greenhouse gas emissions of air-source heat pump and innovative ground-source air heat pump in a cold climate. *Journal of Industrial Ecology*, 19(1), 61-70.
- Mobtaker, H. G., Ajabshirchi, Y., Ranjbar, S. F. ve Matloobi, M. (2016). Solar energy conservation in greenhouse: Thermal analysis and experimental validation. *Renewable Energy*, 96, 509-519.
- Nemš, A., Nemš, M. ve Świder, K. (2018). Analysis of the possibilities of using a heat pump for greenhouse heating in Polish climatic conditions—A case study. *Sustainability*, 10(10), 3483.
- Niederhäuser, E. L., Huguelet, N., Rouge, M., Guiol, P. ve Orlando, D. (2015). Novel approach for heating/cooling systems for buildings based on photovoltaic-heat pump: Concept and evaluation. *Energy Procedia*, 70, 480-485.
- Ozgener, O. ve Hepbasli, A. (2005). Exergoeconomic analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system. *Applied Thermal Engineering*, 25, 1459-1471.
- Ozyurt, O. ve Ekin, D. A. (2011). Experimental study of vertical ground-source heat pump performance evaluation for cold climate in Turkey. *Applied Energy*, 88(4), 1257-1265.
- Pakari, A. ve Ghani, S. (2019). Evaluation of a novel greenhouse design for reduced cooling loads during the hot season in subtropical regions. *Solar Energy*, 181, 234-242.
- Pospíšil, J., Špiláček, M. ve Kudela, L. (2018). Potential of predictive control for improvement of seasonal coefficient of performance of air source heat pump in Central European climate zone. *Energy*, 154, 415-423.
- Qian, H. ve Wang, Y. (2014). Modeling the interactions between the performance of ground source heat pumps and soil temperature variations. *Energy for Sustainable Development*, 23, 115-121.
- Safa, A. A., Fung, A. S. ve Kumar, R. (2015). Comparative thermal performances of a ground source heat pump and a variable capacity air source heat pump systems for sustainable houses. *Applied Thermal Engineering*, 81, 279-287.
- Self, S. J., Reddy, B. V. ve Rosen, M. A. (2013). Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options. *Applied Energy*, 101, 341-348.
- Semple, L., Cariveau, R. ve Ting, D. S.-K. (2017). A techno-economic analysis of seasonal thermal energy storage for greenhouse applications. *Energy and Buildings*, 154, 175-187.
- Seo, Y. ve Seo, U. J. (2021). Ground source heat pump (GSHP) systems for horticulture greenhouses adjacent to highway interchanges: A case study in South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110194.

- Sun, X., Dai, Y., Novakovic, V., Wu, J. ve Wang, R. (2015). Performance comparison of direct expansion solar-assisted heat pump and conventional air source heat pump for domestic hot water. *Energy Procedia*, 70, 394-401.
- Tomczuk, K. ve Obstawski, P. (2024). Analysis of the cooperation of a compressor heat pump with a PV system. *Sustainability*, 16(9), 3797.
- Tong, Y., Kozai, T., Nishioka, N. ve Ohyama, K. (2010). Greenhouse heating using heat pumps with a high coefficient of performance (COP). *Biosystems Engineering*, 106(4), 405-411.
- Van Beveren, P. J., Bontsema, J., Van Straten, G. ve Van Henten, E. J. (2015). Optimal control of greenhouse climate using minimal energy and grower defined bounds. *Applied Energy*, 159, 509-519.
- Violante, A. C., Donato, F., Guidi, G. ve Proposito, M. (2022). Comparative life cycle assessment of the ground source heat pump vs air source heat pump. *Renewable Energy*, 188, 1029-1037.
- Wang, C., Gong, G., Su, H. ve Yu, C. W. (2015). Efficacy of integrated photovoltaics-air source heat pump systems for application in Central-south China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1190-1197.
- Wei, W., Ni, L., Zhou, C., Yao, Y., Xu, L. ve Yang, Y. (2020). Performance analysis of a quasi-two stage compression air source heat pump in severe cold region with a new control strategy. *Applied Thermal Engineering*, 174, 115317.
- Yang, X., Sun, D., Li, J., Yu, C., Deng, Y. ve Yu, B. (2022). Demonstration study on ground source heat pump heating system with solar thermal energy storage for greenhouse heating. *Journal of Energy Storage*, 54, 105298.
- Yildirim, N. ve Bilir, L. (2017). Evaluation of a hybrid system for a nearly zero energy greenhouse. *Energy Conversion and Management*, 148, 1278-1290.
- Zhang, M., Yan, T., Wang, W., Jia, X., Wang, J. ve Klemeš, J. J. (2022). Energy-saving design and control strategy towards modern sustainable greenhouse: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 164, 112602.
- Zhou, C., Ni, L., Li, J., Lin, Z., Wang, J., Fu, X. ve Yao, Y. (2019). Air-source heat pump heating system with a new temperature and hydraulic-balance control strategy: A field experiment in a teaching building. *Renewable Energy*, 141, 148-161.
- Zhu, N., Wang, J. ve Liu, L. (2015). Performance evaluation before and after solar seasonal storage coupled with ground source heat pump. *Energy Conversion and Management*, 103, 924-933.



Gazili olmak ayrıcalıktır