

DERECE-SAAT METODU YAKLAŞIMIYLA SERA ISITMASINDA

TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI UYGULAMASI

İLKER İNAN

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz – 2014

DERECE-SAAT METODU YAKLAŞIMIYLA SERA ISITMASINDA
TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI UYGULAMASI

İLKER İNAN

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Abdullah AKBULUT

Temmuz – 2014

KABUL VE ONAY SAYFASI

İLKER İNAN'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı DERECE-SAAT METODU YAKLAŞIMIYLA SERA ISITMASINDA TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI UYGULAMASI başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

01 / 07 / 2014

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdullah AKBULUT (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Oğuz ARSLAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdullah KEÇECİLER

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../2014 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DERECE-SAAT METODU YAKLAŞIMIYLA SERA ISITMASINDA TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI UYGULAMASI

İlker İnan

Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2014

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Abdullah AKBULUT

ÖZET

Bu çalışmada seraların ısıtma ihtiyacını karşılayabilmek için toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri incelenmiştir. Kütahya’da kurulması öngörülen sera için senelik enerji ihtiyacı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan son 15 yıllık dış hava sıcaklıkları verileri ile Derece-Saat Metoduna göre hesaplanmıştır. Bu yaklaşımın, TS 825 Isı Yalıtım Kurallarına göre belirlenen Derece-Gün sıcaklık değerlerine nazaran daha hassas sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Derece-Saat Yöntemi ile herhangi bir sıcaklığın sene boyunca kaç saat görüldüğü bilgisine ulaşılabilmektedir. Bu sayede uzun zaman dilimleri için binaların ısıtma ve soğutma ihtiyacı tahminleri yapılabilmektedir.

İşletme türü olarak bivalent sistem seçildiğinde ilk kurulum maliyetinde %40 oranında ve sera örtü malzemesi olarak cam yerine polietilen kullanıldığında, ısı yükünde yaklaşık %35 oranında azalma olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra, çeşitli örtü malzemelerinin avantajları ve dezavantajları ele alınmış ve sera ürünleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Diğer ısıtma sistemleriyle karşılaştırıldığında TKIP’nın daha ekonomik olduğu görülmüştür. Son olarak, Türkiye’nin herhangi bir bölgesinde kurulması düşünülen seraların senelik ısıtma enerjisi hakkında bilgi verebilmek amacıyla hesaplamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bivalent, Derece-Gün, Derece-Saat, Sera, Seralarda Isıtma, TKIP, Toprak Kaynaklı Isı Pompası, Monovalent.

GROUND-SOURCE HEAT PUMP APPLICATION FOR GREENHOUSE HEATING WITH APPROACH OF DEGREE-HOURS METHOD

İlker İnan

Mechanical Engineering, M.S. Thesis, 2014

Thesis Supervisor : Dr. Assistant Prof. Abdullah AKBULUT

SUMMARY

In this study, GSHP systems have been investigated for supplying heat requirements of a greenhouse which will be established in Kütahya, according to annual outside temperature data of Turkish State Meteorological Service during the last 15 years in terms of Degree-Hours Method. It has been found out that Degree-Hours Method has more precise results compared to approach of Degree-Days in “TS 825 Thermal Insulation Rules In Buildings”. Degree-Hours Method gives information about the hours of temperatures for long-term periods. Thus, it is possible to estimate the annual energy requirements of structures for both heating and cooling seasons.

As a result, bivalent heating operation type has decreased the start-up expenses 40% compared to monovalent system and the polyethylene cover material provides approximately 35% heat loss saving in comparison of single-glazing. In addition to this, advantages and disadvantages of various cover materials for greenhouses have been taken into account and the effects of such materials on farm yields have been investigated. The results have shown that GSHP is more affordable rather than the other heating systems. Finally, annual heat loss of greenhouses have been calculated for some cities of Turkey that enables to estimate energy requirements during the year.

Keywords : Bivalent, Degree-Days, Degree-Hours, Greenhouse, Ground-Source Heat Pump, GSHP, Heating of Greenhouses, Monovalent.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yardımcı olan baőta danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Abdullah AKBULUT'a, İspanya'da hazırlamıő olduğum aynı tez konulu çalıőmamda rehberliğini esirgemeyen Prof. Dr. Carlos J. Renedo Estébanez ile Prof. Dr. Alfredo Ortiz'e ve desteklerini her zaman yanımda hissettiğim arkadaşlarıma teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	2
2.1. Uluslararası Çalışmalar.....	3
2.2. Türkiye’deki Çalışmalar	9
2.3. Derece-Saat Metodu Çalışmaları	12
3. ISI POMPALARI	13
3.1. Isı Pompalarının Sınıflandırılması.....	13
3.1.1. Kullanılan ısı kaynağına göre ısı pompaları.....	13
3.1.2. Termodinamik çevirim tipine göre ısı pompaları	15
3.1.3. Isı kaynağı tipine göre ısı pompaları.....	20
3.1.4. Isı dağıtımına göre ısı pompaları	22
3.1.5. İşletme türüne göre ısı pompaları	23
3.2. Isı Pompası Elemanları.....	24
3.2.1. Kompresörler.....	24
3.2.2. Buharlaştırıcılar	26
3.2.3. Yoğuşturucular.....	26
3.2.4. Genişleme valfleri.....	27
3.3. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları	28
3.4. Toprak Isı Değiştiricileri	30
3.5. Soğutucu Akışkanlar.....	34
4. SERALAR.....	37

İÇİNDEKİLER(devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1. Seraların Sınıflandırılması	38
4.1.1. Büyüklüğüne göre sera tipleri	38
4.1.2. Çatı ve kuruluş şekillerine göre seralar	38
4.1.3. Sıcaklıklarına göre seralar	40
4.1.4. İskelet malzemesine göre seralar	40
4.1.5. Örtü malzemesine göre seralar	41
4.2. Sera Tasarımdaki Etkili Faktörler	43
4.2.1. Sıcaklık	44
4.2.2. Yön	44
4.2.3. Işık	46
4.2.4. Nem	47
4.2.5. Toprak	48
4.3. Seralarda Isıtma	48
5. MATERYAL VE YÖNTEM	51
5.1. Sera Bilgisi	51
5.2. Seranın Özgül Isı Kaybı	52
5.2.1. İletim yoluyla olan ısı kaybı	52
5.2.2. Hava kaçakları ile oluşan ısı kaybı	52
5.3. Isı Kaybına Etki Eden Diğer Faktörler	54
5.3.1. Rüzgar faktörü	54
5.3.2. İnşaat faktörü	55
5.3.3. Sistem tanımlama faktörü	55
5.4. Derece-Gün Yöntemine Göre Sera İçin Yıllık Isı Kaybı Hesabı	56
5.4.1. Bölgeler için aylık sıcaklık değerleri	56
5.4.2. İllere göre derece-gün bölgeleri	57
5.5. Güneş Enerjisi Kazançları	61
5.6. BİN Derece-Saat Metodu	65
5.6.1. Kütahya için derece-saat değerleri	65
5.6.2. Sera için derece-saat yöntemine göre senelik ısı kaybı	67
5.6.3. Farklı parametler için ısı kaybı hesaplamaları	68
5.7. Isı Pompası Tasarımı	70
5.8. Derece-Gün ve Isıtma Derece-Saat Verilerinin Karşılaştırılması	79
5.9. Isı Pompasının Diğer Isıtma Sistemleri İle Karşılaştırılması	80

İÇİNDEKİLER(devam)

	<u>Sayfa</u>
5.10. Diğer İller İçin Sera Fizibilitesi.....	82
6. SONUÇ	84
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	86
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompasına ait çevirim şeması.	15
3.2. İdeal ve gerçek buhar sıkıştırırmalı ısı pompasına ait T-S ve P-h diyagramları.....	16
3.3. Hava kaynaklı ısı pompası.	21
3.4. Hava-Su kaynaklı ısı pompası.	21
3.5. Su-Su kaynaklı ısı pompası.....	22
3.6. Yatay ve dikey boru sistemlerinin birlikte uygulanması.	29
3.7. Kapalı ve açık çevirim.	31
3.8. Isı taşıyıcı akışkanın akış şekline göre toprak ısı değiştiricileri.	32
3.9. Seri ve paralel akışlı yatay toprak ısı değiştiricileri.	33
3.10. Seri ve paralel akışlı dikey toprak ısı değiştiricileri.	34
4.1. Tek çatılı sera görünümü.	39
4.2. İki çatılı sera görünümü.	39
4.3. Doğu-batı yönünde çeşitli sera görünüşleri.	46
5.1. Sera görünümü.	51
5.2. İllere göre derece-gün bölgeleri.	59
5.3. R-134a soğutucu akışkan basınç-entalpi diyagramı.	71
5.4. Aylara göre 100 cm derinlikte ki toprak sıcaklığı (MGM).	73
5.5. Toprak altı eşanjörü yerleşim planı.	74
5.6. Bivalent sistem için ısı pompası seçimi.	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Isı pompalarında kullanılan ısı kaynakları ve sıcaklık aralıkları.....	14
3.2. Toprak özelliklerinin tipik karakteristik özellikleri	30
3.3. Pratikte kullanılan boru çaplarının boru uzunluğuna bağlı değişimi	33
4.1. Tipik sera ürünleri için sıcaklık gereksinimleri (°C).....	49
5.1. Çeşitli örtü malzemeleri için hava değişim sayıları	53
5.2. Rüzgar faktörü	54
5.3. Kütahya meteorolojik verileri.	54
5.4. İnşaat faktörü	55
5.5. Sistem tanımlama faktörü	56
5.6. Farklı derece gün-bölgeleri için aylık ortalama dış sıcaklık değerleri	56
5.7. İller Tablosu	60
5.8. Kütahya için senelik derece-gün değerleri.....	61
5.9. Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü	62
5.10. Güneş enerjisi geçirme faktörü	62
5.11. Aylık güneş ışıma şiddeti değerleri	63
5.12. Aylara göre ısı kaybı ve güneş enerjisi kazanım değerleri.....	64
5.13. Kütahya için derece – saat değerleri.....	66
5.14. Kütahya için yıllık IDS değerleri	67
5.15. Sera için derece-saat yöntemine göre senelik ısı kaybı	68
5.16. Farklı sera iç sıcaklıkları için senelik ısı kaybı	68
5.17. Farklı parametreler için derece-gün ve derece-saat değerlerinin karşılaştırılması.	69
5.18. Sera inşaatı malzeme termal dirençleri.....	69
5.19. Sera için tasarım ısı yükleri	70
5.20. Isı pompası ekipmanlarının fiyatlandırılması	75
5.21. Isıtma derece-gün ve ısıtma derece-saat değerleri.....	79
5.22. Sera için senelik ve aylık fatura değerleri.....	80
5.23. Çok soğuk günler katılmadan derece-saat ve derece-gün değerleri	80
5.24. Farklı ısıtma sistemlerinin aylık ve yıllık fatura değerleri.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.25. Bazı iller için sera fizibiletesi.....	83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
\dot{m}_s	Isı pompası çevirimdeki soğutucu akışkan debisi (kg/s)
\dot{Q}_b	Gerçek ısı pompasında buharlaştırıcının çektiği ısı (W)
\dot{Q}_y	Gerçek ısı pompasında yoğuşturucudan atılan ısı (W)
$\phi_{s,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları (W/m^2)
C_p	Havanın özgül ısı sığası ($J/kg K$)
h_1	Buharlaştırıcı çıkışındaki soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)
h_{2s}	Kompresör çıkışındaki soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)
h_3	Yoğuşturucu çıkışındaki soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)
h_4	Buharlaştırıcı girişindeki soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)
H_t	İletim yolu ile meydana gelen ısı kaybı (W/K)
H_v	Hava kaçakları meydana gelen ısı kaybı (W/K)
η_{EM}	Kayış kasnak verimi (%)
η_K	Kompresör iç verimi (%)
η_{KK}	Kompresör elektrik motor verimi (%)
η_{MK}	Kompresör mekanik verimi (%)
R_2	İzoleli zemin termal direnci ($m^2\text{°C}/W$)
S_1	Kompresör girişindeki özgül entropi ($kJ/kg \text{°K}$)
S_{2s}	Kompresör çıkışındaki özgül entropi ($kJ/kg \text{°K}$)
T_b	Denge noktası sıcaklığı (°C)
T_d	Dış ortam sıcaklığı (°C)
W_k	Gerçek kompresör işi (kW)
W_{ki}	İdeal ısı pompası kompresör işi (kW)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler

L	Isı değiştiricisi uzunluğu (m)
R	Örtü malzemesi termal direnci ($m^2\text{°C}/W$)
ρ	Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

Kısaltmalar

Açıklama

F_m	Örtü malzemesi için düzeltme faktörü
ITK_C	Carnot ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı
ITK_i	İdeal ısı pompası çevriminin ısıtma tesir katsayısı
ACR	Hava değişim oranı
f_c	İnşaat faktörü
f_s	Sistem faktörü
f_w	Rüzgar faktörü
IDS	Isıtma Derece Saat
ITK	Isı Tesir Katsayısı
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PE	Polietilen
R-134a	Freon-134a, soğutucu akışkan
R-22	Freon-22, soğutucu akışkan
SDS	Soğutma Derece Saat
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası

1. GİRİŞ

Ülkelerin güç göstergesiyle paralel olan ve uğruna savaşların çıktığı, toprakların işgal edildiği enerji kavramı, önemini her geçen gün daha da arttırmaktadır. Çeşitli üretim yöntemleriyle elde edilebilen enerjinin günümüzdeki en büyük sorunu verimli kullanılabilmesidir. Rezervleri bakımından düşünüldüğünde gelecek için iyi neticeler haber vermeyen fosil yakıtlar hızla tüketilmekte, meydana getirdiği çevre problemleri ise devletleri ciddi bir şekilde önlemler almaya sevk etmektedir. Fosil yakıtlarının hızlı bir şekilde tüketilmesi ve buna ters orantılı olarak enerji gereksiniminin artması karşısında gelişmiş ülkeler hedeflerini yenilenebilir enerji kaynaklarına çevirmişlerdir. Rüzgar, güneş, jeotermal gibi devamlı suretle elde edilmeye müsait olan bu enerji türleri insanoğlu tarafından alternatif olarak düşünülmekte ve özellikle Avrupa ülkeleri tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Çevre dostu olarak görülen ve son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan ısı pompası sistemleri de başka bir çözüm yöntemi olarak enerji gereksinimine ışık tutmaktadır. Teorikte ısı enerjisini düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından alıp, yardımcı ekipmanlar vasıtası ile yüksek sıcaklıktaki mahale sevk eden sistemler olan ısı pompaları kaynak olarak toprak, su veya havayı kullanmaktadır.

Bu çalışmada seralarda ısıtma amacıyla kullanılması öngörülen toprak kaynaklı ısı pompası sistemi analizi yapılmıştır. Seraların birincil derecede gereksinimi olan optimum sera iç sıcaklığı, yetiştirilmesi istenen ürünün verimi açısından büyük önem teşkil etmektedir. Bu ihtiyacın giderilmesi için sene içindeki dış sıcaklık değerlerinin iyi analiz edilmesi ve buna göre hesaplamalar yapmak gerekmektedir. Derece-Saat metoduyla bu sıcaklık değerlerinin sene içinde kaç saat görüldüğü bilgisinden yararlanarak bulunun sonuçlar, Derece-Gün yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Böylece yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı tahmini yapılmış ve diğer ısıtma sistemleri ile kıyaslanarak ekonomik açıdan incelenmiştir. Ayrıca diğer ısıtma bölgeleri içinde benzer yöntem kullanılarak Türkiye'nin herhangi bir ilinde kurulabilecek seralar için yaklaşımlar geliştirilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Temelleri 1824 senesinde Nicolas Leonard Sâdi Carnot tarafından belirlenen ısı pompaları gerçekte soğutma çevirimi esasına göre çalışmaktadır. Daha sonra bu çalışma 1852 yılında Lord Kelvin'in "Soğutma sistemleri kullanarak ısıtma yapılması" fikrine ve incelemelerine ışık tutmuştur (Al-Rabghi vd., 1993).

2. Dünya Savaşı'na kadar ısı pompaları üzerinde pek çok araştırma yapılmasına rağmen, bu çalışmalara savaşın sebep olduğu sıkıntılardan dolayı ara verilmiştir (Reay ve Macmichael, 1979).

İlk ısı pompası, 1930 yılında İskoç Haldane tarafından yapılmış ve daha sonra bu ısı pompasını evinde kullanmaya başlamıştır. Haldane, bu sistemde kaynak olarak havayı kullanmıştır (Seyrek, 2010).

Isı pompası endüstrisinin 1950'lerde sahip olduğu potansiyel, doğalgaz ve petrole dayanan enerjinin ucuzlaması sebebiyle 1960'lı yıllarda azalmıştır. Isı pompalarının tekrar değer kazanması 1973'teki enerji krizinden sonra olmuş ve bu tarihten sonra birçok çalışma yapılmıştır (Wikipedia, 2013).

Lord Kelvin endüstri çağının başlamasından önce, kaynak olarak toprağı kullanan ısı makinasını yapmak için uğraşmıştır. Fakat bu makine hiçbir zaman gerçekleşmemiştir. Kelvin'den 75 yıl sonra Haldane, Schttland bölgesinde bulunan evini ısıtmak için bu prensibe göre çalışan makineyi geliştirmiştir (Ekinci, 2007).

Toprak kaynaklı ısı pompasının faydaları ilk olarak 1912 yılındaki İsviçre patenti ile tanıtılmıştır. Sistemin en eski uygulamalarından biri ise, 1930'dan beri işletilen ve Connecticut da bulunan Amerikan Ulusal Deprem Araştırmaları binasıdır (Pratsch, 1990: Ekinci'den (2007).

İlk ısı pompalarından birisi de 1938 yılında Zürih'te uygulanmıştır. Bu ünite de ısı kaynağı olarak nehir suyu, soğutucu akışkan olarak R12 ve bir rotorlu kompresör kullanılmıştır. Zürih Belediye binasının ısıtılmasını sağlayan bu ısı pompası 175 kW ısıtma gücündeydi ve toprağı gömülen metal serpantinler içinde salamura dolaştırılmıştır.

Serpantinde meydana gelen korozyon sorunlarından dolayı hava kaynaklı ısı pompaları kullanımı gündeme gelmiştir. Ancak daha sonraları, plastik borular kullanılarak korozyon sorunları giderilmiş ve TKIP sistemleri üzerine araştırmalar hızlanmıştır (Couvillion, 1985).

2.1. Uluslararası Çalışmalar

1950'li yıllarda Amerika ve İngiltere'de ısı pompası teknolojisine olan ilgi artmaya başladı. Baker, 1951 senesinde kış ayları boyunca ortalama ısı tesir katsayısı 3'ün üzerine çıkan toprak kaynaklı ısı pompası geliştirmiştir. İngiltere'de, Summer kendi evinde aynı sistemi 2,8 ısı tesir katsayısıyla başarılı bir şekilde tatbik etmiştir. Günümüzde de aynı performansa sahip ısı pompaları kullanılmaktadır. Bazı ısı pompası uygulamalarında ise, kilerden ısı çekilerek sıcak su temini gerçekleştirilmiştir. Böylece kilerdeki yiyeceklerin bozulması önlenmiş ve evin sıcak su ihtiyacı sağlanmıştır. Oxford'da üretilen ısı pompasında ise, ısı kaynağı olarak düşük sıcaklıktaki lağım suyu kullanılmıştır. Bu ısı pompasının kompresörü 31 kW gücündeydi ve ortalama ısı tesir katsayısı 4 civarında hesaplanmıştır (Ekinci, 2007).

1973 senesinde yaşanan petrol kriziyle İsviçre'de hızla yayılmaya başlayan ısı pompası sistemi için birkaç yıl sonra Oklohoma State Üniversitesi'nde araştırma programı başlatılmıştır (Hughes vd, 1985).

(MacCracken, 1985), toprak altında seri bağlı ısı pompası devresi kurup, elde ettiği neticeleri hava kaynaklı ısı pompaları ile karşılaştırmıştır.

1985 senesinde Amerika'da 14.000 TKIP bulunduğu tahmin edilmiştir. 1988 yılına gelindiğinde İsveç'te 134.000 TKIP olduğu bildirilmiştir (Sulatsky vd., 1991). 1990 yılında Amerika'da konut ve ticari uygulamalarda aynı sistemin 100.000 adet olduğu tespit edilmiştir (Boissavy, 1997). 1997 yılı sonunda ev, okul ve ticari yapı uygulamalarında bu rakam 300.000'den fazladır (Orkustofnun, 1998).

Isı pompaları için kapalı çevrimli toprak ısı değiştiricisinin boyutlandırılması üzerine bir çalışma yapmış olan (Partin, 1985), belirli bir toprak kaynağı için toplam iletkenliğinin ölçülmesi hakkında yeni bir yöntem belirlemiştir.

(Cattan ve Baxter, 1985), kuzey iklim koşullarında toprak kaynaklı ısı pompalarının ekonomik açıdan analizini yapmışlardır. Pittsburgh da bulunan 160 m²'lik bir ev için, yatay ısı değiştiricili su kaynaklı ısı pompasının üretimini üstlenmişler ve bu cihazın 7 yıllık kullanım maliyetini hesaplamışlardır.

(Fleming, 1987), Çin'in Shanghai bölgesinde bulunan ve yüzey alanı 3600 m² olan ticari bir ofis binası için jeotermal kaynaklı ısı pompası sistemi üzerinde çalışmıştır.

(Eskilson, 1987), "Sondaj Kuyularından Isı Çekilmesi Analizi" başlıklı kitabında TKIP üzerinde yaptığı çalışmaları özetlemiştir. Derin sondajlarda iletimle ısı çekilmesinin analitik

modellenmesi yapılmış ve boyutlandırma kurallarını vermiştir. Isıl duyarlılık testlerini gerçekleştirmiştir.

(Kavanaugh, 1989), güney iklimlerde toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının tasarımına yönelik esasları vermiştir. Bu sistemlerin nasıl daha verimli ve güvenilir olabileceği açıklanmıştır. Ayrıca, ısı pompası sistemlerini geleneksel ısıtma sistemleriyle kıyaslamış ve üstün yönlerini belirtmiştir.

(Kavanaugh, 1989), nehir suyunun kaynak olarak kullanıldığı su kaynaklı ısı pompaları üzerinde çalışmıştır. Yaptığı çalışmada ısı pompasının seçimi, pompalama sistemleri, boru hattı yerleşimi ve nehir karakteristikleri ile ilgili analizler yapmıştır.

(Martin, 1990), yatay ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin tasarlanmasında etkin olan parametrelerin değişimini incelemek üzere teorik ve deneysel çalışmalar yapmıştır. Konutlarda ısı pompasının performansını ve enerji sarfiyatını tayin etmek için bilgisayar yazılımı geliştirmiştir.

(Mei ve Baxter, 1990), kurmuş oldukları deney düzeneği ile doğrudan genişlemeli toprak ısı değiştiricisi uygulamasında karşılaşılan problemleri belirlemişlerdir.

(Safemazandarani vd, 1990), TKIP sistemi simülasyonu için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. TID'nin tasarımında etkin parametreler belirlemek amacıyla deneyler yapmışlardır.

(Sulatisky ve Van der Kamp, 1991), Kanada'da Saskatchewan konutları için beş adet TKIP'nin performansları üzerine 8 sene çalışmışlardır.

(Sorour vd., 1991), toprak içerisinde donmayı önlemek amacıyla kullanılan antifrizin etkilerini analitik olarak incelemiştir. İki boyutlu sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır ve farklı sıcaklık profilleri elde edilmiştir.

(Kavanaugh, 1992), Alabama'daki 150 m²'lik bir konut için kurulan ısı pompasının soğutma ve ısıtma performanslarını değerlendirmiştir.

(Meloy, 1992), endirekt kuyu soğutmasını kullanan bir sistemi kuyu kaynaklı ısı pompası sistemine dönüştürülmesi üzerine çalışmıştır. Dönüşüm sırasında karşılaşılan sorunları araştırmış ve %22 civarında enerji tasarrufu olduğunu gözlemlemiştir.

(Rafferty, 1992), yer altı suyu sıcaklığı 22 °C ve 13 °C olan iki farklı su kaynaklı ısı pompası sisteminden elde edilen verileri karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçları işletme giderleri açısından yorumlamıştır. Ayrıca, yer altı suyunun özelliklerini incelemiştir.

(Hatten, 1992), Amerika'da Oregon eyaletindeki The Common Wealth Binasına su kaynaklı ısı pompası entegresini yapmıştır. Elde edilen deneysel sonuçları incelenmiş ve işletme giderleri belirlenmiştir.

(Jacovides ve Mihalakakou, 1995), soğutma ve ısıtma için yeraltına döşenmiş ısı değiştiricilerindeki ısı ve kütle transferini tanımlayarak, elde edilen verilerden bir algoritma geliştirmişlerdir.

(Kangas, 1996), dikey tipli toprak kaynaklı ısı pompaları için toprağın termo-hidrolik analizini yapmıştır ve bunun için 3 boyutlu THETA isimindeki bilgisayar simülasyon modelini kullanmıştır. Toprak sıcaklığının sistem performansı üzerinde ciddi etkileri olduğunu söylemiştir.

TKIP'nin bağlantı elemanları ve boru hatlarındaki basınç kaybı ile ilgili diyagramları veren (Kavanaugh, 1998), boru hattı tasarımını incelemiştir.

(Petir ve Meyer, 1998), Johannesburg'da toprak ve hava kaynaklı ısı pompalarını karşılaştırmıştır. TKIP'nin yatırım maliyetleri ve optimum sondaj uzunluğu hesaplanmıştır. Aylık ısıtma-soğutma kapasiteleri ve performans değerleri hesaplanarak, toprak kaynaklı sistemin hava kaynaklıdan daha ekonomik olduğu bulunmuştur.

(Leong vd., 1998), kum, alüvyon ve killi toprak üzerinde beş değişik doyma derecesi için simülasyon geliştirmişlerdir. TKIP performansının büyük ölçüde toprağın nem içeriğine ve toprak türüne bağlı olduğunu söylemişlerdir. Nemli toprağın kuruya oranla daha verimli olduğunu, toprağın nem doygunluğu %25'in üzerine çıktığında TKIP'nin performansının büyük oranda iyileştiği, doygunluğun %50'nin üzerine çıkması durumunda ise TKIP'nin performansının etkilenmediği sonucuna varılmıştır.

(Phetteplace ve Sullivan, 1998), toprak ısı değiştiricisi ve soğutma kulesinin birlikte kullanıldığı hibrit ısı pompasının performansını incelemişlerdir. İkisi ısıtma ve ikisi soğutma sezonu olmak üzere, 22 aylık bir süre boyunca performans ölçümleri yapılmıştır.

(Den Braven, 1998), ABD'deki TKIP sistemlerinin ısı değiştiricilerinde kullanılan antifrizlerin araştırmasını tablo şeklinde göstermişlerdir. ABD'deki eyaletlerin hemen hemen

yarısında, TKIP sistemleri için antifriz malzemelerini içeren herhangi bir kural veya öneri olmadığı belirtilmiştir.

(Spilker, 1998), düşey ısı değiştiricisinde kullanılan farklı dolgu malzemelerinin davranışlarını ısı iletkenlik testi yaparak açıklamıştır. Delik çapının, boru tipinin, dolgu malzemesinin ve toprağın ısı özelliklerinin ısı değiştiricisinin tasarımında önemli etkisi olduğu vurgulanmıştır.

(Kavanaugh, 1990), bilinen TKIP sistemleri için bağlantı elemanları ve boru hatlarındaki basınç kaybı ile ilgili diyagramları vererek, boru hattı tasarımını gerçekleştirmiştir.

(Salah El- Din, 1999), Arabistan'da toprak sıcaklığının derinliğe bağlı olarak periyodik değişimini inceleyerek iki yöntem geliştirmiştir. Bunlar; Sinüs dalgası ve Fourier serisi yaklaşımıdır. Bu çalışmada, toprağın yutuculuğu ve havanın özgül nemi arttığında toprak içerisindeki ısı akısı değerinin ve toprak sıcaklığının arttığını, buharlaşma oranı ve rüzgar hızı arttığında ise toprak içerisindeki ısı akısı değerinin ve toprak sıcaklığının azaldığını tespit etmiştir.

(Piechowski, 1999), yatay tip toprak ısı değiştiricisi dizaynının daha doğru ve hesaplamalarının daha kolay olması için simülasyon geliştirmiştir. Bu çalışma, toprak sıcaklığının yüksek olduğu ve nem hareketinin fazla olduğu yerlerde daha kolay çözüme ulaşmayı hedeflemiştir.

(Tarnawski vd., 2000), yüksek sıcaklıklardaki toprağın ısı iletkenliğinin tahmini için iki metod geliştirmiştir. Bunlar Vries ve Gori modelleridir.

(Bernier, 2001), düşey ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompasının yıllık performansını analiz etmiştir. Klasik silindirik ısı kaynağı çözümü geliştirilerek yük bileşimi bulunmaya çalışılmıştır. Daha sonra uygun toprak ısı transfer denklemleri çözülmüş ve ısı pompası performansı kısa süreli simülasyonlarla hesaplanmıştır.

(Pahud ve Matthey, 2001), farklı dolgu malzemelerini düşey tip U-borulu ısı değiştiricilerinde kullanarak dolgu malzemelerinin ısı performanslarını kıyaslamışlardır.

(Yavuztürk, 2001), Lincoln'da inşa edilen bir ilkokulda kullanılan ısı pompası sistemi için sıcaklık modeli geliştirmiştir. Kurulan sistemin enerji tüketimi, akışkan giriş sıcaklığına bağlı olarak hesaplanmıştır.

(Kavanaugh ve McInerny, 2001), 6700 m² alana sahip olan bir okul için farklı toprak ısı değiştiricisi modellerini incelemiştir.

(Parent, 2001), TKIP projesi için uygulanabilir bir yöntem kullanarak simülasyon modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu model, toprak kaynaklı ısı pompasının sistem simülatörü ve yapı yükünden oluşmuştur. Isı pompası sisteminin performansı ve toprak ısı eşanjörü şeklinin tahmini için, yapının yıllık enerji ihtiyacı hesaplanmıştır.

(Sodha, 2001), yer altı yapılarında rastgele zaman aralıklarında meydana gelen dinamik ısı transferi için simülasyon geliştirmiştir. Deneysel veriler ile yazılım sonuçlarını karşılaştırmıştır. Daha sonra yer altındaki bölgeler için değişik boyutlarda, değişik malzemeler ile yeni yazılımlar oluşturmuştur.

(De Swardt ve Meyer, 2002), Belediye şehir şebeke suyu sirkülasyonuna bağlı toprak kaynaklı ısı pompası sistemini, hava kaynaklı ile deneysel olarak karşılaştırmıştır. Sonuç olarak toprak kaynaklı ısıtma sisteminin daha verimli olduğunu gözlemlemişlerdir.

(Zeng vd., 2002), jeotermal ısı değiştiricilerinde sondaj kuyuları için sonlu çizgisel kaynak modeli oluşturmuşlardır.

(Sutton, 2002), katmanlaşmış jeolojik rejimlerde kurulmuş olan düşey borulu ısı değiştiricileri için bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritmayı “Çok Katmanlı Sondaj Deliği Alan Tasarımı” algoritması (MLBDA) olarak adlandırılmıştır.

(Sanner vd., 2003), Avrupa’daki TKIP ve yer altı ısı enerji depolama sistemlerinin güncelliğini tartışmışlardır. Avrupa ülkeleri üzerinde, ısı pompası sistemlerinin ticari pazarı ile alakalı araştırma yapmışlardır.

(Lund, 2003), “U-boru Tipli Isı Değiştiricisi Kullanımı” başlıklı çalışmasında, ABD’nin kuzey batısındaki Oregon’da kurulu olan 500 adet TKIP sisteminin bulunduğunu söylemiştir. Yeni Zelanda ve Türkiye’de ise az sayıda tekli jeotermal kuyuların evlerin, okulların, binaların ısı ihtiyaçlarını gidermek için kurulduğunu belirtmiştir.

(Sanner vd., 2003), Almanya’nın merkezi bölgelerindeki büyük jeotermal ısı pompası alanları üzerinde yoğunlaşmışlardır. Bu çalışmada, ticari yapılar için TKIP sistemlerinin daha önceki gelişmeleri özetlenmiş, birçok detay vurgulanmıştır.

(Lam ve Chan, 2003), otel uygulamaları için su-su ve hava-su ısı pompalarının enerji performanslarını incelemişlerdir. Hong Kong’da iki otel üzerinde araştırma yapmışlardır. Genellikle ısı tesir katsayıları 1,5-2,4 arasında hesaplanmıştır.

(Doherty vd., 2004), Nottingham Üniversitesi’nde ekonomik ev (Eco House) diye tarif ettikleri bir yere kurulan TKIP sistemini test etmişlerdir. Farklı tipte toprak ısı değiştiricileri

denenerek karşılaştırma yapılmıştır. Bunlar, slinky (spiral), düşey ve yatay toprak altı eşanjörleridir.

(Roth vd., 2004), Latin Amerika’da kurulan bir TKIP sistemindeki sondaj derinliğini ve etrafındaki toprağın ısı iletkenliğini hesaplamışlardır. Bu projede Şili ve Arjantin’den gelen bir çalışma grubu ile işbirliği yapılarak çeşitli bölgelerdeki sondaj derinliğinin toprak ısı iletkenliği çalışmaları detaylandırılmıştır.

(Kyriakis vd., 2005), toprak ısı değiştiricisinin maksimum ısı yükü üzerinde yoğunlaşmışlardır. Toprağın ısı yükünün, toprağın ilk sıcaklığına ve uygulama süresine bağlı olduğu savunulmuştur.

(Trillat-Berdal vd., 2005), güneş kolektörleri ile birleştirilmiş bir TKIP sisteminin deneysel çalışmasını sunmuşlardır. 180 m²’lik özel bir konutun ısıtılması için kurulan TKIP sisteminin güneş kolektörü ile desteklendiğinde ortaya çıkan sonuçları değerlendirmişlerdir.

(Nagano vd., 2006), TKIP sistemlerinin performans tahmini ve tasarımı için yeni gelişmeleri irdelemiştir. Çalışmalar için Sappora’da bir evin bahçesinde ısı duyarlılık testi yapılmıştır.

(Lim vd., 2007), toprak ısı değiştiricisi tasarımında toprağın ısı özelliklerinin bilinmesinin çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, sondaj derinliği etrafındaki toprağın ısı iletkenliği yerinde incelenmiştir.

(Signorelli vd., 2007), sondaj derinliğinde ısı duyarlılık testi yaparak nümerik sonuçlar elde etmiştir. U-borusu ısı değiştiricisinin tasarımında anahtar parametrenin ısı iletkenlik olduğu vurgulanmıştır. Üç boyutlu sonlu eleman nümerik modeli kurularak test sırasındaki heterojen alt yüzey şartları ve yer altı su hareketlerinin etkileri incelenmiştir.

(Phetteplace, 2007), “Jeotermal Isı Pompaları” başlıklı çalışmasında TKIP sistemlerinin başlıca yaygın tiplerini ve düşey U-tip ısı değiştiricilerinin tasarım konularını anlatmıştır.

(Michopoulos vd., 2007), Kuzey Yunanistan’da bir TKIP sisteminin üç yıllık işletme sonuçlarını hesaplamışlardır. Sonuç olarak bu sistemin maliyet açısından diğer geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine nazaran daha ucuz olduğu bulunmuştur.

(Nam vd., 2008), TKIP sisteminde ısı değişim oranlarını tahmin edebilmek için nümerik bir model geliştirmişlerdir. Ayrıca bu çalışmada toprak karakteristiğinin tahmini üzerine farklı yaklaşımlar göstermişlerdir.

(Bi vd., 2009), Binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılabilen ısı pompası sisteminin ekserji analizi üzerinde çalışmışlardır. Isıtma amacıyla kullanılan TKIP sisteminde ekserji kaybının, soğutma amacıyla kullanılanlardan daha çok olduğunu söylemişlerdir.

(Blum, 2010), Almanya'nın güney batısındaki bölgelerde TKIP sisteminin kullanılmasıyla atmosferde ki CO₂ gazının ne oranda azalabileceği üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Almanya'da ısı pompası kullanımının son yıllarda arttığını vurgulamışlardır.

Termal tepki analizinde çok katmanlı toprak yapısının etkisini inceleyen Lee, toprak kaynaklı ısı pompası için bir simülasyon geliştirmiş ve düşey tipli ısı değiştiricilerinin bu testteki davranışlarını incelemiştir (Lee, 2011).

(Bayer vd., 2012), “TKIP Sistemlerinin Sağladığı Sera Gazı Emisyon Tasarrufu” çalışmasında, kurulu olan ısı pompası sistemlerinin bir milyonun üzerinde olduğunu belirtmişlerdir. Bu sayede, İsviçre’de ve İskandinav ülkelerinde sera gazı emisyonunun %1 oranında azaldığını söylemişlerdir.

(Sivasakthivel ve Murugesan, 2014), Hindistan'nın 10 bölgesinde yaptıkları çalışmada, TKIP sistemlerinin CO₂ emisyonununu hangi oranda azalttığını hesaplamışlardır. Ayrıca Hindistan'da toprak kaynaklı ısıtma sistemlerinin kullanımının artması durumunda sağlayacağı ekonomik tasarrufu finanse etmişlerdir.

2.2. Türkiye’deki Çalışmalar

(Hepbaşı, 1985), “Isı Pompası Sistemleri ve Konut Isıtılması” başlıklı yüksek lisans tezinde, ısı kaynağı olarak topraktan yararlanarak konut ısıtılması üzerine çalışmıştır. Tek konut için yerden ısıtma metodunu kullanmıştır. Bu çalışmada hem düşey hem de yatay toprak ısı değiştiricisi tasarımı yapılmıştır.

(Yılmaz ve Aydın, 1985), hava-hava, hava-su, su-hava ve su-su ısı pompalarının teorik modellerini yapmıştır. Sistemin ana elemanları olan evaporatör, kondenser, kompresör ve genişleme valfi ayrı ayrı ele alınarak boyutları hesaplanmıştır.

(Ataman, 1985), İstanbul’un Göztepe semtinde inşa edilmekte olan bir konutun ısıtılması için TKIP sistemi tasarlamıştır. Konutun ısı kaybı Derece-Gün Metoduna göre hesaplanarak yıllık enerji ihtiyacı tespit edilmiştir. Sistem için toprak ısı değiştiricisi boyutlandırılması yapılmıştır.

(Çomaklı vd., 1991), R-12, R-22 ve R-12/R114 soğutucu akışkan çiftlerinin değişik ağırlık oranlarında karıştırılması ile elde edilen nonazeotropik karışımların, buhar sıkıştırma ısı pompasının performansı üzerindeki etkilerini incelemek üzere bir çalışma yapmışlardır. Sonuçta, soğutucu karışımlarının saf soğutucu akışkanlara göre daha yüksek performans sağladıkları görülmüştür.

(Ayhan vd., 1992), güneş enerjisi destekli ısı pompasının ekserji analizi için deney sistemi kurmuşlardır. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yapılan deneylerden elde edilen bilgiler doğrultusunda ısı pompası sisteminin ekserji verimi hesaplanarak farklı sistemlerle karşılaştırması yapılmıştır.

(Savaş, 1996), “Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Konut Isıtılması” başlıklı çalışmada, tek katlı bir bina için yerden döşemeli sistem uygulamıştır. Yatay ve düşey ısı değiştiricisi modellerinin tasarımını yapmış ve bunları karşılaştırmıştır.

(Acar, 1998), buhar sıkıştırma çevirim için bilgisayar yazılımı geliştirmiş ve soğuk oda ile çevre arasında çalışan bu çevrimin işletme karakteristiklerini incelemiştir.

(Babür ve Oskay, 2000), Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nde toprak kaynaklı ısı pompası tasarımı ve üretimini yaparak deneysel sonuçlar elde etmişlerdir.

(Diz, 2001), “Minimum Enerjili Bina Tasarımı” başlıklı çalışmada, sabit yüzey sıcaklığını esas alarak topraktaki ısı transferini incelemiş ve optimum boru çapı, akış hızı ve gömme derinliğini tespit etmiştir. TKIP hem soğutma, hem de ısıtma amaçlı olarak dizayn edilmiştir. Sistemin yatırım ve işletme maliyetleri incelenmiştir. Diğer ısıtma sistemleri ile işletme giderleri ve enerji tüketimi açısından kıyaslama yapmıştır.

(Kıncay ve Demir, 2002), İstanbul Hadımköy’de bir villanın ısı kaybı ve ısı kazancı değerlerini hesaplayarak dikey tip TKIP sistemi ile hem ısıtma hem de soğutma için boyutlandırma yapmışlardır.

(Dikici ve Akbulut, 2002), Elazığ ilinde konut ısıtmasında güneş destekli toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. 2002 Aralık ile 2003 Mart ayları arasında sistemin performans katsayıları hesaplanmış ve enerji analizleri yapılmıştır.

(Hepbaşı vd., 2003), İzmir’de 50 m sondajla açılmış toprak kuyusuna gömülü U şeklindeki bir ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompasının ısıtma performans katsayısını incelemiştir. Ayrıca, sistemin performansını ve kurulum maliyetini etkileyen parametreleri belirlemiştir.

(İnallı ve Esen, 2004), su-antifriz karışımının TKIP sisteminin performansı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nde test odasını ısıtma amacıyla yatay tip TKIP sistemi kurulmuştur. Odanın ısıtma yükü 2,55 kW olarak hesaplanmıştır. Daha sonra aynı sistem üzerinde soğutma için deneyler yapılmıştır. Soğutma modunda söz konusu TKIP sisteminin mevsimlik soğutma performans katsayısı incelenmiştir.

(Özgener vd., 2007), Ege Üniversitesinin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde kurulan düşük U-borulu TKIP sisteminin ekserji ve ekonomik analizini yapmışlardır. Sistemdeki tersinmezlikler bulunmuştur.

(Esen vd., 2007), tarafından Elazığ'da yatay toprak ısı değiştiricili bir ısı pompası sistemi kurulmuş ve test odasında deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca sistemin sayısal analizi de yapılmıştır.

(Aktaş,2008), R-134a soğutucu akışkanlı ısı pompası sisteminin süt pastörizasyonunda kullanımının deneysel olarak incelemiştir. Isı pompası sistemi çift cidarlı kazan sistemi ve plakalı pastörizer sistemlerinde enerji sarfiyatı analizleri ile kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar birbiriyle mukayese edilmiştir.

(Babacan, 2008), Muğla Üniversitesi Köteklî Yerleşkesi'nde toprak kaynaklı ısı pompası kullanılabilirliğini çalışmıştır. Sistemin ilk yatırım maliyetinin minimize edilmesi ve toprak ısısından maksimum seviyede faydalanmak amacıyla 50 m derinlikte U-boru döşemesi kullanılmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi mevcut sistemler ile mukayese edilmiştir.

(Siyahhan, 2009), Güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin performans incelemesini yapmıştır. Bunun için Türkiye'nin güneş ışınları bakımından daha zengin olan güney bölgelerinden Antalya ili ele alınmıştır. Yıl boyunca güneş enerjisinin kullanılabilirliği analiz edilmiş ve sistemin, binaların ısıtılmasındaki uygulanabilirlik alanları belirlenmiştir.

(Seyrek, 2010), "Mahal Isıtmasında TKIP Sisteminin Kullanımı" adlı yüksek lisans çalışmasında Ankara'da bulunan bir villa için Derece-Saat metodu yaklaşımıyla TKIP dizaynı yapmıştır.

(Tunçel, 2011), Bolu ve çevresinde TKIP sisteminin sayısal incelenmesi üzerinde çalışma yapmıştır. TKIP parametrelerini hesaplamak için literatürde bulunan denklemler yardımıyla genel eşitlikler elde edilmiştir.

(Çolak, 2012), Erzurum ilinde dikey ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performansını deneysel olarak incelemiştir. Deneyler, 2009-2010 yılı ısıtma

sezonunda (Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında) yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda ısı pompası sistemin performans katsayıları sırasıyla yaklaşık 2,6 ve 2,2 olarak hesaplanmıştır.

(Coşman, 2013), “Fore kazıklara entegre edilen ısı pompası uygulaması” adlı çalışmada, kazık devresinden enerji alımı ile ilgili hesap yöntemi geliştirmiştir.

2.3. Derece-Saat Metodu Çalışmaları

(Bulut vd., 2003), Bin metodu ile binalarda ısıtma enerjisi ve yakıt miktarının hesaplanması üzerinde çalışmıştır. Bin metodunda kullanılmak üzere Gaziantep ili için gerekli veriler 19 yıllık saatlik ölçüm değerleri kullanılarak tespit edilmiştir.

(Bulut vd., 2007), Akdeniz bölgesinin sekiz il merkezi (Adana, Antakya, Antalya, Burdur, Isparta, Kahramanmaraş, Kilis ve Mersin) için en az 15 yıllık saatlik dış hava sıcaklıkları kullanılarak değişik denge noktaları sıcaklıklarında ısıtma ve soğutma Derece-Saat değerleri belirlemiştir.

(Dumlu, 2012), “Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Ekonomik Analizi” konulu yüksek lisans tez çalışmasında Erzurum ili için yıllık Isıtma Derece-Saat verilerini kullanmıştır.

3. ISI POMPALARI

Isı pompası, ısı makinesinin tersi bir çevrime göre çalışan, iş yapılması ile ısıyı soğuk kaynaktan sıcak kaynağa ulaştıran bir makinedir. Isı pompası ve soğutma makineleri aynı termodinamik çevrime göre çalışırlar. Soğutma makinesiyle bir mahallin soğutulması, ısı pompası ile ise bir mahallin ısıtılması amaçlanır (Yamankaradeniz, 2008).

Isı geçişinin her zaman sıcaklığın azaldığı yönde olduğu bilinen bir gerçektir. Başka bir deyişle, ısı geçişi yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama olur. Bu doğal bir olgudur ve kendiliğinden gerçekleşir. Bunun tersi kendiliğinden gerçekleşmez. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi ancak soğutma makinelerinin kullanımıyla mümkündür.

Genel olarak ısı pompaları, ortamın sıcaklığını arttırmak için ilave bir enerji kullanan ekipmanlar olarak da tanımlanabilir. Isı pompalarının çalışma prensibi, ısı taşıyan akışkanı sıkıştırıp genleştirmek suretiyle açığa çıkan enerjisini, ortamın sıcaklığını arttırmak için kullanılmasına dayanır (Viessmann 2009).

3.1. Isı Pompalarının Sınıflandırılması

Isı pompaları 5 ana başlık altında sınıflandırılabilir:

- Kullanılan ısı kaynağına göre
- Termodinamik çevrim veya proses tipine göre
- Isı kaynağı tipine göre
- Isı dağıtım sistemine göre
- İşletme türüne göre (Dursun, 2006).

3.1.1. Kullanılan ısı kaynağına göre ısı pompaları

Isı pompasının enerji çektiği ortamlara ısı kaynakları denir. Bu kaynakları maddeler halinde aşağıdaki gibidir;

- Hava
- Su (deniz, göl, nehir, dere, yeraltı suyu-jeotermal enerji)
- Toprak
- Güneş Enerjisi
- Atık ısılar ve diğer ısı kaynakları (artık sıvılar, gazlar)

Kullanılan ısı kaynakları arasında hava, kolay elde edilebildiğinden en çok tercih edilen ısı kaynağıdır. En yaygın örnekleri split klimalardır (Yamankaradeniz, 2008).

Su, elde edilebildiği ortamlarda ısı kaynağı olarak kullanılabilir ve havaya göre bazı avantajları vardır. Bu tip ısı pompaları ısı kaynağı olarak kuyular açılmak suretiyle çekilen yeraltı suyunu kullanmaktadırlar (Yamankaradeniz, 2008).

Toprak kaynaklı ısı pompaları, ısı kaynağı olarak toprağı kullanırlar. Toprağı yatay veya dikey olarak yerleştirilen ısı değıştiricileri vasıtasıyla toprağın ısısından yararlanılmaktadır (Bardak, 2011).

Güneş de sonsuz ısı enerjisiyle çok önemli bir kaynaktır. Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompalarında güneş enerjisinden doğrudan veya dolaylı olarak yararlanılmaktadır. Güneş kolektörü destekli ısı pompası uygulamaları da Avrupa'da ve Kuzey Amerika'da geniş kullanım alanı bulmaktadırlar (Yamankaradeniz, 2008).

Atık su/sıvı kaynaklı ısı pompaları ise atık suları, arıtılmış veya arıtılmamış kanalizasyon sularını, endüstriyel proseslerin soğutma sularını veya endüstriyel sıvı atıkları ısı kaynağı olarak kullanırlar. Tekstil ve kimya endüstrisi gibi çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılan endüstriyel ısı pompaları bunlara örnek olarak verilebilir (Bardak, 2011).

Çizelge 3.1. Isı pompalarında kullanılan ısı kaynakları ve sıcaklık aralıkları (Yamankaradeniz, 2011).

ISI KAYNAĞI	SICAKLIK ARALIĞI (°C)
Dış hava	(-10) – (15)
Atık hava	15–25
Yer altı suyu	4–10
Göl	0–10
Nehir	0–10
Deniz	3–8
Kayaçlar	0–5
Toprak	0–10
Atık su veya sıvılar	>10

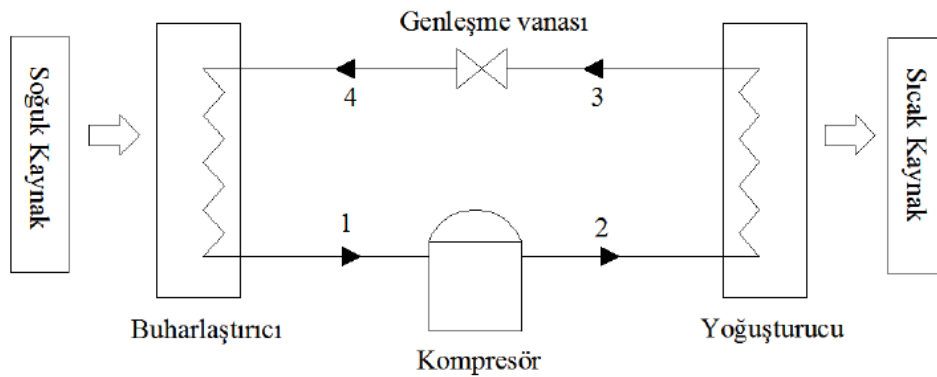
3.1.2. Termodinamik çevirim tipine göre ısı pompaları

Isının, düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından yüksek sıcaklıktaki kaynağa aktarılması çeşitli şekillerde gerçekleştirilir. Termodinamik çevirim ve proses tiplerine göre ısı pompaları aşağıdaki gibidir:

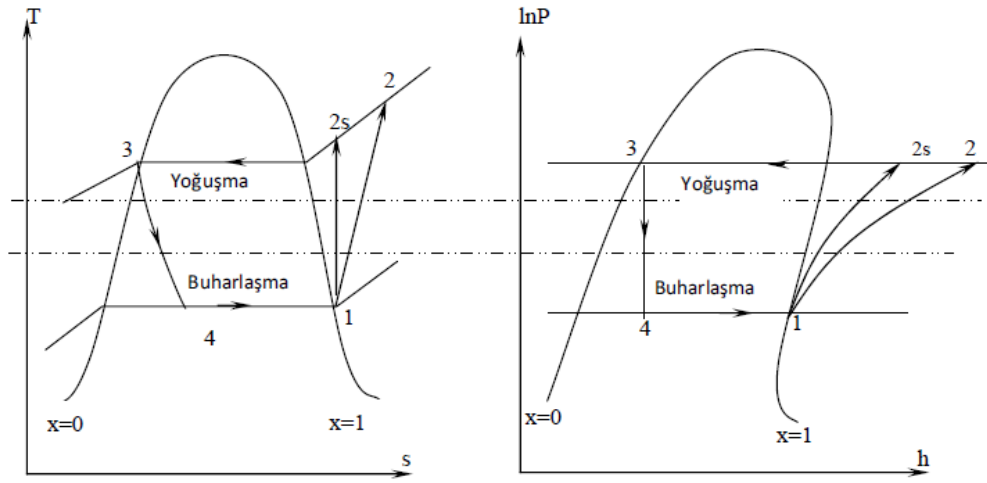
- Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası
- Absorbsiyonlu ısı pompası
- Gaz çevrimli ısı pompası
- Jet buhar püskürtmeli ısı pompası
- Stirling çevrimli ısı pompası
- Adsorbsiyonlu ısı pompası
- Resorbsiyonlu ısı pompası
- Rankine/buhar sıkıştırırmalı ısı pompası
- Termoelektrik ısı pompası

Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası

Uygulamada genellikle buhar sıkıştırırmalı ısı pompası kullanılmaktadır. Soğutucu akışkan yoğuşturucuda yoğuşarak dışarı ısı atar. Yoğuşturucudan tamamen yoğuşmuş olarak ayrılan soğutucu akışkan daha düşük basınçta çalışan buharlaştırıcıya girmeden önce genişleme vanasından geçirilerek basıncı düşürülür. Basıncı düşürülen akışkan buharlaştırıcıya gelir ve burada gerekli soğutma yükünü ortamdan çekerek buharlaşır ve tekrar kompresöre dönerek çevrimini tamamlar (Koç, 2002).



Şekil 3.1. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompasına ait çevirim şeması (Yamankaradeniz, 2008).



Şekil 3.2. İdeal ve gerçek buhar sıkıştırımlı ısı pompasına ait T-S ve P-h diyagramları (Yamankaradeniz, 2008).

Şekil 3.2' de gösterilen ideal buhar sıkıştırımlı ısı pompasının çevirim aşamaları şöyledir:

- 1-2s** Kompresörde tersinir adyabatik (izentropik) sıkıştırma
- 2s-3** Yoğuşturucuda tersinir sabit basınçta ısı terk etme
- 3-4** Kısılma vanasında sabit entalpide genişleme
- 4-1** Buharlaştırıcıda tersinir sabit basınçta ısı çekilmesi

Gerçek çevrim aşamaları ise:

- 1-2** Kompresörde adyabatik sıkıştırma
- 2-3** Yoğuşturucuda tersinir sabit basınçta ısı terk etme
- 3-4** Kısılma vanasında sabit entalpide genişleme
- 4-1** Buharlaştırıcıda tersinir sabit basınçta ısı çekilmesi

(1 – 2 hal değişimi).

Buharlaştırıcıdan çıkan doymuş buhar kompresörde izentropik olarak daha yüksek bir basınç ve sıcaklığa sıkıştırılarak kızgın buhar haline getirilir.

(2 –3 hal değişimi).

Daha sonra yoğuşturucuya giren kızgın buhar, ısısını dışarıya vererek sabit basınçta yoğuşur.

(3 – 4 hal değişimi).

Doymuş sıvı haldeki yüksek basınçlı akışkanın basıncı ve sıcaklığı genişleme vanasında buharlaştırıcı şartlarına getirilir.

(4 – 1 hal değişimi).

Buharlaştırıcıya giren akışkanın sıcaklığı ısı kaynağının sıcaklığından düşük olduğundan, ısı kaynağından akışkana sabit basınçta ısı geçişi olur ve akışkan buharlaşır. Buradan sonra çevrim yeniden başlar ve bu şekilde devam eder.

Buhar sıkıştırmalı ısı pompası çevrim hesapları

İdeal buhar sıkıştırmalı ısı pompası çevrim hesapları aynı soğutma çevrim hesapları gibi yapılır. Bir ısı pompası sisteminde, sistemi oluşturan her bir eleman açık sistem olarak (SASA) incelenmektedir.

İdeal ısı pompası çevriminde, S_1 kompresör girişindeki özgül entropi, S_{2s} ise kompresör çıkışındaki özgül entropi olmak üzere, termodinamiğin ikinci kanununa göre,

$$S_1 = S_{2s} \quad (3.1.)$$

yazılabilir.

İdeal ısı pompası kompresör işi W_{ki} , gerçek kompresör işi W_k olmak üzere, kompresör iç verimi;

$$\eta_{ik} = \frac{\text{İdeal Kompresör işi}}{\text{Gerçek kompresör işi}} = \frac{W_{ki}}{W_k} = \frac{\dot{m}_s (h_{2s} - h_1)}{\dot{m}_s (h_2 - h_1)} \quad (3.2.)$$

ile elde edilir.

Gerçek ısı pompası çevriminde, kompresör çıkışında h_2 özgül entalpisi ise;

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{ik}} \quad (3.3.)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; h_1 , kompresör girişindeki özgül entalpi, h_{2s} tersinir adyabatik sıkıştırma sonucunda kompresör çıkışındaki özgül entalpidir.

Gerçek ısı pompasında, yoğuşturucudan atılan ısı ise;

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_s(h_2 - h_3) \quad (3.4.)$$

ile bulunur. Burada \dot{m}_s (kg/s) sistemde dolaşan soğutucu akışkan debisidir.

Gerçek ısı pompasında, buharlaştırıcının çektiği ısı da;

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_s(h_1 - h_4) \quad (3.5.)$$

ile hesaplanır.

Kısılma vanası:

$$h_4 = h_3 \quad (3.6.)$$

şeklinde yazılabilir.

Gerçek ısı pompasında, kompresöre verilen iş:

$$\dot{W}_k = \dot{m}_s(h_2 - h_1) / \eta_{mk} \quad (3.7.)$$

şeklinde bulunur. Burada η_{mk} , mekanik verimdir.

Isıtma tesir katsayısı (ITK)

Birim iş başına yapılan ısıtma miktarı olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak amaç, ortama ısı vermek ve ödediğimiz bedel de kompresöre verilen enerji olduğuna göre, ısı pompası için ısıtma tesir katsayısı (ITK);

$$ITK = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_y}{W_k} \quad (3.8.)$$

İdeal ısı pompasında, Q_y yoğuşturucudan atılan ısı, W_{ki} kompresöre verilen iş olmak üzere ideal ısı pompası çevriminin ısıtma tesir katsayısı;

$$ITK_i = \frac{\dot{Q}_{yi}}{\dot{W}_{ki}} = \frac{h_{2s} - h_3}{h_{2s} - h_1} \quad (3.9.)$$

olarak yazılabilir.

Gerçek ısı pompası çevriminin ısıtma tesir katsayısı ise;

$$ITK = \frac{\dot{Q}_y}{\dot{W}_k} = \frac{h_2 - h_3}{(h_2 - h_1) / \eta_{mk}} \quad (3.10.)$$

şeklinde ifade edilir. Burada η_{mk} kompresörün mekanik verimidir.

Gerçek ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı ITK ile ideal ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı ITK_i arasında

$$ITK = \left(ITK_i + \frac{1}{\eta_{ik}} - 1 \right) \eta_{ik} \cdot \eta_{mk} \quad (3.11.)$$

eşitliği yazılabilir.

Buhar sıkıştırımlı ısı pompasının, yoğuşma sıcaklığı T_y ve buharlaşma sıcaklığı T_b 'yi kaynak olarak alan, Carnot ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı ise;

$$ITK_C = \frac{T_y}{T_y - T_b} \quad (3.12.)$$

şeklinde yazılabilir (Yamankaradeniz, 2007).

Absorbsiyonlu ısı pompaları

Absorbsiyonlu ısı pompalarında iki ayrı maddeden meydana gelen bir akışkan çifti kullanılır. Absorbsiyonlu ısı pompalarında dört ana eleman bulunur. Bunlar jeneratör, yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve absorberdir. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıda buharlaşır ve ortamdan ısı çekerek ortamın soğumasını sağlar. Absorbent akışkansa jeneratör ve absorber arasında dolaşarak çevrimin bu bölümünde soğutucu akışkanı taşır (Genceli, 2002).

Termoelektrik ısı pompaları

Temel ilkesi iki ayrı iletkenin birleşim noktalarının, elektrik akımı yönüne göre sıcak veya soğuk olmasına dayanan bu tip sistemler, hareketli parçasının dolayısıyla ses ve bakım sorunlarının olmaması, ayrıca sıfır yerçekiminde veya yerçekiminin birkaç katında herhangi bir düzlemde kolaylıkla çalışabilmelerinden dolayı, daha çok uzay programlarında tercih edilen sistemlerdir (Bardak, 2011).

Jet buhar püskürtmeli ısı pompaları

Bu sistemler küçük soğutma yükleri için kullanılacak alternatif sistemlerdir. Bu sistemlerde soğutucu akışkan sıvı fazda yüksek basınçta jeneratöre gelir ve burada ısı alarak buharlaşır. Jeneratöre dışarıdan verilecek bu ısıyı güneş enerjisi veya jeotermal enerjiden sağlanabilir. Soğutma devresinden gelen soğutucu akışkan buharının vakum etkisiyle emilebilmesi için jeneratörden gelen buhar lülede genişletilir. Soğutma devresinden ve jeneratörden gelen buhar karışır. Bu karışım difüzörden geçirilip basıncı artırılarak yoğuşturucuya gönderilir. Burada yoğuşan karışımın bir kısmı genişleme valfinden geçirilerek

buharlaştırıcıya diğer kısmı ise basıncı arttırılıp jeneratöre gönderilir. Buharlaştırıcıya gelen akışkan ortamdan ısı alıp buharlaşır ve tekrar difüzöre gider (Koç, 2002).

Stirling çevrimli ısı pompaları

Çevrime ısı, yüksek sıcaklıktaki bir kaynaktan sağlanır. Isının bir kısmı işe dönüştürülür ve bir kısmı da soğuk kaynak sıcaklığında sistemden atılır. Soğutma çevrimi olarak Stirling makinelerinde, sistem soğuk kaynaktan ısı alır ve daha yüksek sıcaklıktaki sıcak kaynağa ısı verir. Yani, soğutma çevriminde makineye dışarıdan iş verilir (Bardak, 2011).

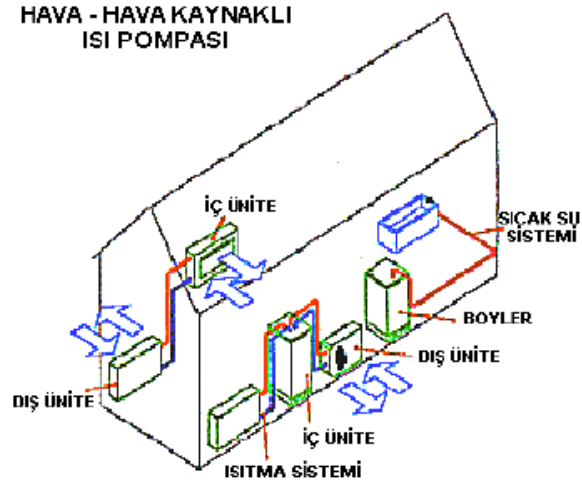
3.1.3. Isı kaynağı tipine göre ısı pompaları

Isı pompaları ısı kaynağına bağlı olarak; hava-hava, hava-su, su-hava, su-su olarak sınıflandırılabilir. Birinci eleman daima buharlaştırıcı, ikinci eleman ise kondenser bölgesine aittir. Bu sınıflandırmaya ek olarak ısı pompaları direkt veya dolaylı sisteme sahip olabilirler. Dolaylı sistemde, ısı dış havadan, sudan alınarak bir aracı akışkana aktarılır ve sonra buharlaştırıcıya gönderilir. Direkt sistemde ısı, direkt olarak ısı kaynağından soğutucu akışkana aktarılır ve soğutucu akışkandan da iklimlendirilecek ortama aktarılır (Akbıyık, 1999).

Hava – hava ısı pompası

Hava-hava ısı pompası, dış havayı ısı kaynağı veya egzost yapılan yer olarak kullanırken kondenserdan ısının atılması için de dış hava kullanılır. Bu tip bir ünitenin kapalı bir çevrim oluşturması, basitleştirici bir avantajdır. Ayrıca, kullanılmış suyu atma sorunu, su temini, sulu sistemlerde oluşan tortulanmalar gibi sorunlar da yoktur. Dış hava sıcaklığı, iklimlendirilecek ortam sıcaklığından biraz değişince bile yine yüksek bir performans katsayısında çalışması mümkün olur. Fakat hava içinde çalışan ısı değiştiricileri, su içinde çalışanlara oranla, havanın ısı transfer katsayısının düşük olması nedeniyle, daha büyük olacaktır. Bu nedenle bu tip bir sistem oldukça büyük yer kaplayacaktır (Yamankaradeniz, 2011).

Bu tip üniteler ılıman iklimlere göredir. Çünkü düşük dış ortam hava sıcaklığı performans katsayısını düşürür. Böylece en gerekli zamanda alınabilecek ısı miktarı azalır. Hava sıcaklığı 0°C'nin altına düştüğü zaman, dış hava serpantinlerinde buzlanma sorunu karşımıza çıkar (Akbıyık, 1999).



Şekil 3.3. Hava kaynaklı ısı pompası (Yamankaradeniz, 2007).

Su-hava ısı pompası

Su - hava ısı pompası, suyu ısı kaynağı, havayı iklimlendirilecek ortama ısıyı iletmek için kullanır. Isı kaynağı olarak su, genelde sabit sıcaklığa sahip bir kuyu, göl, doğa veya diğer kaynaklardan elde edilebilir (Akbiyık, 1999).

Bu tipteki sistemler dış hava sıcaklığına bağlı olmadan sabit performans katsayısı ile çalışırlar. Bu yüzden bu sistemler fazla sıcaklık değişimleri olan iklimlerde kullanılırlar. Bu da dış havayı ısı kaynağı olarak kullanan sistemlerden daha avantajlı olmasını sağlar. Bu sistem sadece bir adet hava ısı değiştiricisi gerektirdiğinden küçük boyuttadır. Dezavantajı ise, yeterli besleme suyu elde etmek ve atık su sorunudur (Bardak, 2011).



Şekil 3.4. Hava-Su kaynaklı ısı pompası (Yamankaradeniz, 2007).

3.1.5. İşletme türüne göre ısı pompaları

Isı pompaları işletme türlerine göre üçe ayrılır:

- Monovalent (tekli),
- Monoenerjik (tek enerjili)
- Bivalent (ikili)

Monovalent (Tekli) İşletim Türü

Monovalent işletmede, ısı pompası mahalin ısıtma yükünü tek başına karşılayan ısı üreticisi olarak kullanılır. Kurulacak ısıtma sistemi ısı pompasının ulaşabileceği maksimum gidiş suyu sıcaklığına göre tasarlanmalıdır. Monovalent sistemler için tipik uygulamalar müstakil evler, apartmanlar ve ofislerdir.

Monoenerjik (Tek Enerjili) İşletim Türü

Isı pompasının yanında aynı enerji tipi (elektrik akımı) ile çalışan ilave bir ısı üreticisinin bulunduğu sistemlere monoenerjik (tek enerjili) işletim denir. Burada tesisat gidişinde elektrikli bir ısıtma suyu eşanjörü veya boylerde elektrikli ısıtıcı seti kullanılabilir. Enerji verimliliği ve yatırım için monoenerjik işletim türü iyi bir kombinasyondur. Yerden ısıtma sisteminin kullanıldığı, çoğunlukla müstakil ya da iki ailenin yaşadığı benzer kullanım karakteristiklerinin olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir.

Bivalent (İkili) İşletim Türü

Bivalent işletim bir ısı pompasının, farklı bir enerji kaynağı kullanan (katı, sıvı veya gaz) başka bir ısıtma sistemi ile birlikte kullanıldığı işletim türüdür. Bivalent işletim paralel veya alternatifli olarak çalıştırılabilir.

- Alternatifli işletimde, belirli bir değerin üzerindeki dış hava sıcaklıklarında ısı pompası tüm ısıtmayı karşılar. Daha düşük sıcaklıklarda ısı pompası kapasitesi yetmeyecektir. Bu durumda sistem ikinci ısı kaynağına yönelecek ve sistemin ihtiyaç duyduğu ısının tamamı bu kaynaktan sağlanacak, ısı pompası devre dışı bırakılacaktır.

- Paralel işletmede ise, belirli bir değerin üzerindeki dış hava sıcaklıklarında ısı pompası yine tüm ısıtmayı karşılar. Daha düşük sıcaklıklarda ise sistem ikinci ısı kaynağını da devreye alacak ve böylece sistemin ihtiyaç duyduğu ısı enerjisi ısı pompası ve ikinci ısı kaynağıyla birlikte sağlanacaktır (Viessmann, 2009).

3.2. Isı Pompası Elemanları

Isı pompaları dört ana elemandan meydana gelir. Bunlar:

- Kompresör
- Buharlaştırıcı
- Yoğuşturucu
- Genişleme valfleri

3.2.1. Kompresörler

Kompresörün sistemdeki görevi buharlaştırıcıdaki ısı ile yüklü soğutucu akışkanı buradan uzaklaştırmak ve böylece arkadan gelen ısı yükü olmayan akışkana yer temin ederek akışın sürekliliğini sağlamaktır. Ayrıca buhar halindeki akışkanın basıncını kondensördeki yoğuşma sıcaklığının karşıtı olan seviyeye çıkarmaktadır.

İdeal bir kompresörde şu genel ve kontrol karakteristikleri aranır:

- Sürekli bir kapasite kontrolü ve geniş bir yük değişimi
- İlk kalkışta dönme momentinin mümkün olduğu kadar az olması
- Verimlerin kısmi yüklerde de düşmemesi
- Değişik çalışma şartlarında emniyet ve güvenilirliği muhafaza etmesi
- Titreşim ve gürültü seviyelerinin kısmi ve tam yüklerde ve değişik şartlarda belirli seviyenin üstüne çıkmaması
- Ömrünün uzun olması ve arızasız çalışması
- Daha az bir güç harcayarak birim soğutma değerini sağlayabilmesi
- Maliyetin mümkün olduğunca düşük olması

Kompresörler genellikle, rotorlu, pistonlu, turbo ve vidalı olmak üzere dört tipte imal edilirler (Niğdelioğlu, 2006).

Pistonlu Kompresörler

Soğutma ve ısı pompası uygulamalarında en yaygın ve en geniş kullanımı olanlardır. Pistonlu kompresörlerin çeşitli avantaj ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:

Avantajları:

- Pistonlu kompresörler her çeşit motorla tahrik olabilirler.
- Devir sayısı kayış - kasnak ve benzeri sistemlerle değiştirilebilir.

- Motor üzerinden kısa devre olarak devrede kilitlenme olmaz.
- Tahrik motoru arıza yapınca hemen değiştirilerek çalışma aksatılmaz.
- İmalat kaliteleri çok iyidir

Dezavantajları:

- Hermetik kompresörlere göre daha pahalıdırlar.
- Soğutma devresinde, motorun ısı kayıpları geri pompaları için önemli bir faktördür.
- Sıvı darbelerine karşı diğer kompresörlere göre daha az dayanıklıdır.
- Soğutucu akışkan kaçaqları meydana gelir ve bu çok önemli bir mahzurdur.

Rotorlu (Rotatif Kompresörler)

Pistonlu kompresörlerde olduğu gibi sıkıştırma makineleridir. Fakat gidip gelme hareketi yerine dönen bir pistonu vardır. Sık görülen imalat şekilleri; dönel pistonlu, wurm pistonlu ve revoling pistonlu kompresörlerdir. Sessiz çalışmalarına ve az yer işgal etmelerine rağmen, imalattaki hassas işçilik ve yağlama zorluğu ile yüksek basınçlardaki kaçaqlar dezavantajlardır.

Turbo Kompresörler

Çalışma prensibi yüksek basınçlı radyal fanların aynısıdır. Pistonlu ve rölatif kompresörlerden farkı, pozitif sıkıştırma yerine santrifüj kuvvetlerden yararlanarak sıkıştırma yapmasıdır.

Avantajları:

- Titreşim yoktur.
- Gaz akışı süreklidir.
- Devreye yağ kaçağı olmaz.
- %20 ile %99 arasında güç ayarı yapılabilir.
- İmalat kaliteleri iyidir.
- Komplike değildir.

Dezavantajları:

- Sıkıştırma oranı düşüktür.
- Çok yüksek güçler için uygun değildir.
- Motor tarafından açığa çıkarılan ısının geri kazanılması mümkün değildir.

Hermetik (Vidalı) Kompresörler

Küçük soğutma tesisleri, klima tesisleri ile soğutma vagon ve kasalarında tercih edilir. Soğutucu akışkan olarak Freon serisi soğutucu akışkanlar kullanılır.

Hermetik kompresörleri, tam hermetik ve yarı hermetik kompresörler olmak üzere iki gruba ayırabiliriz (Seyrek, 2010).

3.2.2. Buharlaştırıcılar

Soğutucu akışkanın buharlaşarak, soğutulmak istenen ortamdan ısı çekilmesini sağlayan elemanlardır. Soğutucu akışkanın beslenmesine, çalışma şartlarına, soğutulmak istenen sıvı veya havanın sirkülasyon yöntemine, soğutucu akışkanın kontrol tipine ve uygulamaya göre pratikte çok değişik konstrüksiyonlarda ve boyutlarda buharlaştırıcı tipi bulunmaktadır.

Genellikle buharlaştırıcılar ısıl iletkenliği yüksek olan demir, çelik, pirinç, bakır veya alüminyum gibi malzemelerden imal edilirler. Zamanla yüzeylerde birikebilen kirliliğin oluşturduğu ısıl direncin büyük olması nedeniyle, malzemenin ısı iletim katsayısı düşebilmektedir. Dış yüzeylerde hava soğutulması halinde birikebilen toz ve buz, su soğutulması halinde ise tortu; soğutucu akışkanın aktığı iç yüzeylerde ise yağ filmi veya tortu birikmesi önemli ısıl dirençler meydana getirir. Örnek olarak buharlaştırıcı yüzey üzerinde biriken 10 mm kalınlığındaki buz tabakası, ısı geçişini temiz yüzeye göre yarı yarıya azaltır. Sıvıların soğutulmasında kullanılan evaporatörleri ise dört grupta toplanabilir (Niğdelioğlu, 2006).

- Borulu evaporatörler
- Boru demetli evaporatörler
- Levhalı evaporatörler
- İç içe borulu evaporatörler

3.2.3. Yoğuşturucular

Yoğuşturucular, kompresörden çıkan kızgın soğutucu akışkan buharının soğutularak yoğuşturulduğu elemanlardır. Burada soğuk akışkan olarak atmosferik hava veya su kullanılabilirdi için, yoğuşturucuları hava soğutmalı ve su soğutmalı olarak iki grupta incelemek mümkündür.

Hava soğutmalı yoğuşturucular, genellikle kanatlı borulu imal edilirler. Boruların içerisinden soğutucu akışkan, dışından da hava geçer. Bu tip yoğuşturucular daha çok küçük soğutma yüklerinde ve yeterli soğutma suyunun bulunmadığı durumlarda tercih edilir. Çünkü

hava tarafındaki ısı taşınım katsayısı küçük olduğundan, büyük soğutma yüklerinde çok geniş yüzeyler gerekir. Bakımları ve kullanışları basit olmakla beraber, hava sıcaklığının gün ve mevsim boyunca değişmesi nedeniyle otomatik kontrolü güçleşir (Sulatisky, 1991).

Ev tipi gibi küçük buzdolaplarında, hava hareketi doğal olarak sağlanır. Bu dolaşımın rahat olabilmesi için yoğuşturucu ile duvar arasında 10-30 cm kadar bir açıklık bırakılmalıdır. Soğutma yükü arttıkça zorlanmış dolaşıma gerek duyulur. Kompresör motorunun miline bir vantilatör takılarak hava hareketi sağlanabilir. Bu yeterli olmazsa volan üzerine ilave üfleme kanatları takılarak 1500 W civarında soğutma güçlerine çıkılabilir (Bardak, 2011).

Su soğutmalı yoğuşturucularda ise, elde soğutma suyu varsa ve elektrik enerjisi pahalı ise, yoğuşturucunun su ile soğutulması yoluna gidilir. Tüm soğutma suyunun dışarıya atılması hem ekonomik olmaz, hem de suyu atabilecek uygun kanalizasyon bulunmayabilir. Bu gibi durumlarda, soğutma suyu bir soğutma kulesinde soğutularak tekrar kullanılır. (Kavanaugh, 1992).

3.2.4. Genişleme valfleri

Genişleme valfleri aslında birer basınç düşürücü olarak bilinir. Birçok genişleme valfi tipi var isede, pratikte, otomatik ve termostatik olmak üzere iki tipi yaygındır. Ev tipi buzdolabı ve derin dondurucu gibi küçük soğutma kapasitelerinde genişleme valfi yerine kılcal (kapiler) boru kullanılır. Bu boruların iç çapları, soğutma yüküne bağlı olarak 0,8-1,3 mm arasında değişir, boyutları ise buharlaştırıcı basıncına göre ayarlanır (Bardak, 2011).

Isı pompalarında, alçak basınçtan yüksek basınca geçmek kompresörde, yüksek basınçtan alçak basınca düşmek ise genişleme valfinde gerçekleşir. Genişleme valfi basıncı düşürmenin yanında, evaporatöre verilmesi gereken soğutucu miktarının ayarlanmasından da sorumlu olduğundan, dozlama ünitesi olarak bilinir.

En çok bilinen genişleme valf tipleri şunlardır:

- El ile çalışan genişleme valfi
- Alçak basınçlı şamandıralı valf
- Yüksek basınçlı şamandıralı valf
- Otomatik genişleme valfi
- Termostatik genişleme valfi

El ile çalışan genişleme valfi:

Pratik olarak sabit yüklü büyük sistemlerde tercihen kullanılırlar. Ancak yük değişimleri halinde valfin pozisyonunu düzenleyecek bir operatör gereklidir.

Alçak basınçlı şamandıralı valf:

Valfin alçak basınç tarafına bir şamandıra monte edilmiştir ve evaporatörde soğutucu akışkan seviyesini ayarlamak için kullanılır. Kontrolü sağlar ve basitliği sebebi ile pratik olarak hata yapmaz. Her türlü soğutucu akışkan için kullanılırlar.

Yüksek basınçlı şamandıralı valf:

Bu valfte şamandıra sistemin yüksek basınç tarafına monte edilmiştir ve yüksek basınçlı sıvı ile ayarlanır. Bu valfler soğutucu akışkan miktarının önemli rol oynadığı sistemlerde kullanılır.

Otomatik genişleme valfi:

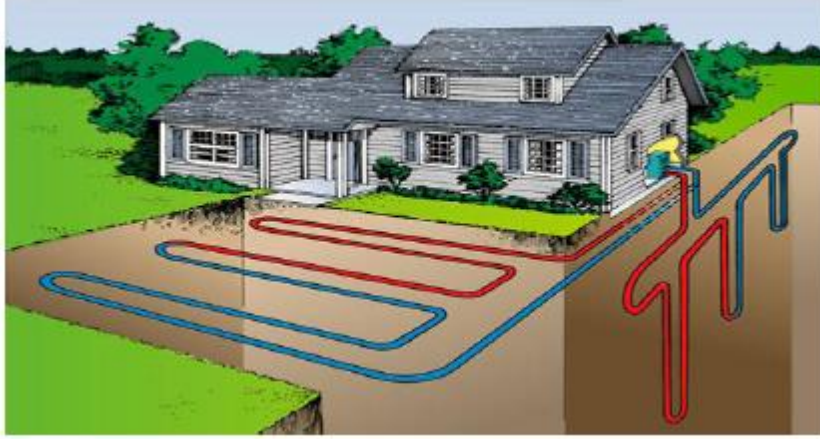
Görevi evaporatör içindeki basıncı kullanarak evaporatör içinde sabit basıncı sağlamaktır. Evaporatör içindeki basınç yükselir ise valf kapanır, azalır ise açılır. Bu valfler ani yük değişimi olan sistemler için uygundur.

Termostatik genişleme valfi:

En çok kullanılan genişleme valf tipidir. Buharlaşma işleminin başlangıcı ve bitişi arasında ayarlanabilen sıcaklık farkını kontrol eder (Seyrek, 2010).

3.3. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları

Toprak kaynaklı ısı pompası toprağı ısı kaynağı veya ısı çukuru olarak kullanan bir ısı pompası sistemidir. Topraktan ısı çekebilme işlemi toprak ısı değiştiricileri vasıtası ile olmaktadır. Yatay ve dikey yerleşim olmak üzere temelde iki tip uygulaması vardır.



Şekil 3.6. Yatay ve dikey boru sistemlerinin birlikte uygulanması (Seyrek, 2010).

Güneşin kararsız yapısı nedeniyle doğrudan depolanması ve kullanılması pahalı ve güçtür. Büyük bir kütleyle sahip olan jeokütle, yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin hemen hemen yarısını yutarak bünyesinde barındırır. Dolayısıyla yeryüzü, güneş enerjisini depolayarak soğutma sezonunda dış havadan daha düşük sıcaklıklara, ısıtma sezonunda ise dış havadan daha yüksek sıcaklıklara sahip bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkar. Güneş ışınlarının yeryüzüne çarpmasıyla jeokütlede depolanan ısı enerjisini yaşam alanlarına aktarmak amacıyla, toprak kaynaklı ısı pompaları tasarlanmıştır. Toprak kaynaklı sistemlerde, ısı taşıyan akışkan ile toprak bir ısı değiştiricisi kullanılarak birleştirilmiştir. Yalnız, doğrudan genişmeli sistemlerde ısı taşıyan akışkan toprak ile doğrudan temas etmektedir.

Toprağın altına gömülen borulardan oluşan sisteme toprak ısı değiştiricisi denir. Bu borular yardımıyla, toprağın ısı, ısı taşıyıcı akışkana veya çevrimin atık ısı, ısı taşıyıcı akışkandan toprağa aktarılır. Toprak ısı değiştiricileri, toprak altına yatay veya dikey olarak yerleştirilebilirler. Yatay ısı değiştiriciler genellikle 1-3 m, dikey ısı değiştiricileri ise 20-100 m derinliğe yerleştirilirler. Isı kaynağı olarak toprağın kullanılması hava ve su kaynaklı sistemlere göre daha pahalıdır.

Toprağın bileşimi, yoğunluğu, içerdiği nem miktarı ve gömme derinliği toprak ısı değiştiricisinin seçimini ve boyutlandırılmasını etkiler. Toprak özelliklerinin zamana bağlı olarak değişmesi ve ayrıca ısı pompası sisteminin çalışması sırasında boruların etrafında belirli bir bölgede ısı alışverişinden dolayı toprak özelliklerinin değişmesi, tasarım aşamasında ilgili hesaplamaların yapılmasını güçleştirir. Isı pompası ısıtma sezonunda kullanıldığında, toprak ısı değiştiricisine yakın bölgelerde toprağın ısı suya aktarıldığından toprak sıcaklığı düşer. Dolayısıyla bu bölgede nem miktarı ve toprak özellikleri değişir. Isı taşıyıcı akışkanın

buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı da aynı sebepten ötürü düşer. Bu nedenle ısı pompası kapasitesi ve ısıtma tesir katsayısı da doğrudan etkilenir. Soğuk bölgelerde, ısıtma yapıldığı süre içerisinde toprağa yeteri kadar ısı girişi olmazsa, kış aylarında topraktan sürekli çekilen ısı nedeniyle, toprağın donma tehlikesi mevcuttur.

Isı kaynağı olarak toprak, havaya göre daha uygun sıcaklıklara sahiptir ve sıcaklık değişimi daha azdır. Ayrıca, salamura-soğutucu akışkan ısı değiştiricilerinin hava soğutucu akışkan ısı değiştiricilerine göre daha düşük sıcaklık farkında çalışması toprak kaynaklı sistemlerin bir diğer avantajlı yanısıdır. Toprak kaynaklı ısı pompası toprak ısı değiştiricisinin uygun derinliğe gömülmesi belirli miktarda hafriyat veya delme gideri gerektirerek ilk yatırım maliyetinin artmasına sebep olur. Bunun yanı sıra kullanılması halinde yatay toprak ısı değiştiricisinin belirli bir bahçe alanı gerektirmesi toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin kullanımını kısıtlayan bir diğer etkendir (Seyrek, 2010).

Toprak kalitesi ve özellikleri

Toprak kaynaklı ısı pompaları için temel kaynak olan toprağın ısıl davranışını kontrol eden üç faktör vardır. Bunlar; toprağın yoğunluğu, içerdiği nem miktarı ve toprağı oluşturan taneciklerin materyal özellikleridir. Yüksek yoğunluğu ile kuartz, tercih edilen bir malzemedir ve nem tutucu özelliği vardır. Kil ile bağlantılı olarak bulunmasından dolayı, killi topraklar tercih edilen topraklar arasındadır. Toprakta bulunan bazı materyallerin ısıl karakteristikleri Çizelge 3.2.'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Toprak özelliklerinin tipik karakteristik özellikleri (Seyrek, 2010).

Malzeme	Isıl İletkenlik (W/m °C)
Kuartz	9.2
Granit	4.0-3.6
Kireçli taş	2.2
Kum taşı	1.7
Mika	0.59
Islak	0.25
Kuru	0.14
Su	0.60

3.4. Toprak Isı Değiştiricileri

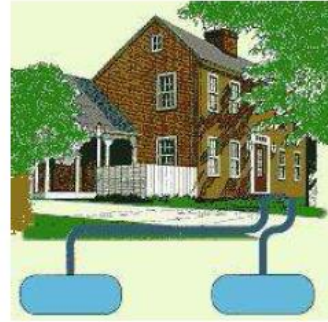
Toprak ısı değiştiricileri, gömülerek ya da daldırılarak jeokütle ile teması sağlayan boru düzenleridir. Toprak ısı değiştiricileri içerilerinde dolaştırdıkları akışkanın akış şekline göre kapalı ve açık çevrim olmak üzere ikiye ayrılır. Kapalı çevrim esasına göre çalışan toprak ısı

değiştiricilerinde, ısı taşıyıcı akışkanın yenilenmesine gerek yoktur. Dolayısıyla bu sistemlerde kullanılan ısı taşıyıcı akışkan miktarı değişmez. Açık çevirim esasına göre çalışan toprak ısı değiştiricilerinde ise ısı pompası çevriminde kullanılan akışkan ısı kaynağına atılarak çevrime yine ısı kaynağından sağlanan fakat kaynak özelliklerini bünyesinde barındıran yeni akışkanla devam edilir (Tokgöz, 2006).

Toprak kaynaklı ısı değiştiricilerinde toprağa gömülen veya suya daldırılan borular polietilen malzemeden yapılmaktadır. Genellikle içlerinden su ve antifriz karışımı veya yer altı suyunun kendisi dolaştırılmaktadır. Yalnızca doğrudan genişmeli sistemlerde su ve antifriz karışımı yerine ısı pompasının soğutucu akışkanı dolaştırılır. Bu durumda salamurayı dolaştırmak için ilave pompa ve ısı değiştiricisi ihtiyacı ortadan kalkar. Bu sistemlerde bakırdan yapılmış boru düzenleri kullanılır ve ara ısı değiştirici olmadığı için daha verimlidir (Demir, 2005).



(a) Kapalı çevrim



(b) Açık çevrim

Şekil 3.7. Kapalı ve açık çevirim (Tokgöz, 2006).

Toprak ısı değiştiricileri, içerisinde ki ısı taşıyıcı akışkanın akış şekline göre seri veya paralel olarak tasarlanabilirler. Sistemin seri veya paralel olarak seçilmesi, sistem etkinliğini, pompalama ihtiyacını ve maliyetini etkiler.

Seri sistemin avantajları arasında;

- Tek bir akış yolu bulunmasından dolayı tek tip ve boyutta boru kullanılabilmesi,
- Sistemden hava almanın paralel sistemden daha kolay olması,
- Boru çapının daha büyük olması nedeniyle birim boydaki borunun ısıl etkinliğinin daha iyi olması sayılabilir.

Seri sistemin dezavantajları ise;

- Boru çaplarının daha büyük olması nedeniyle sistem içerisinde daha fazla ısı taşıyıcı akışkan dolaştırılması ve dolayısıyla daha fazla antifriz gerektirmesi,
- Boru ve işçilik maliyetinin daha fazla olması,
- Akışkan basınç kaybının boru çapına ve boyuna bağlı olması nedeniyle pompalama giderlerinin artması ve bundan dolayı toprak ısı değiştiricisinin boru boyunun sınırlı olmasıdır (Diz, 2001).



Şekil 3.8. Isı taşıyıcı akışkanın akış şekline göre toprak ısı değiştiricileri (Tokgöz, 2006).

Paralel sistemin avantajları arasında;

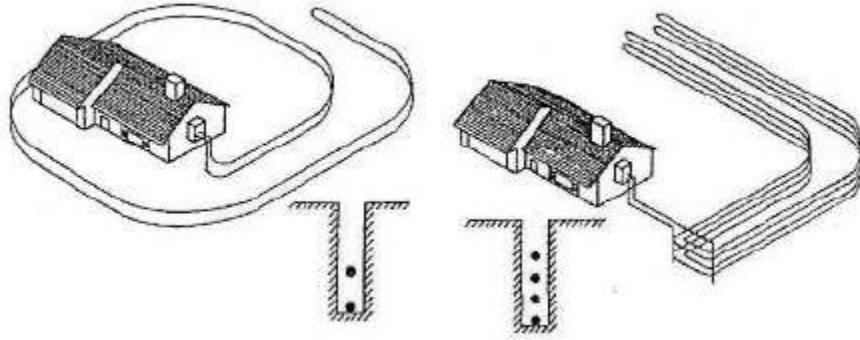
- Kullanılan boru çapının daha küçük olması nedeniyle boru maliyetinin daha az olması,
- Dolaştırılan ısı taşıyıcı akışkan miktarının ve gerekli antifriz miktarının az olması,
- Basınç kayıplarının daha az olması ve buna bağlı olarak pompalama giderlerinin ve dolayısıyla işletme maliyetinin daha az olması sayılabilir.

Paralel sistemin dezavantajları ise;

- Sistemin havasının alınmasının zor olması
- Dengeli bir akış ve sistem boyu elde edilebilmesi için boru güzergahında ki akış dengesinin sağlanması gerekliliğidir (Tokgöz, 2006).

Kullanılan toprak ısı değiştiricileri ısı pompası sisteminin ısı tesir katsayısını, işletme giderlerini ekonomik açıdan etkilemektedir. En verimli toprak ısı değiştiricisi türünün seçiminde coğrafi özelliklerin, arsa alanının ve sistem ekonomikliğinin göz önünde bulundurulması gerekir (Demir, 2005).

Yatay sistemler tek bir hendek veya birbirine yakın hendekler içerisinde bir veya daha fazla borunun yerleştirilmesiyle oluşur. Toplam hendek uzunluğunu kısaltmak amacıyla tek bir hendek içerisinde birkaç boru yerleştirilebilir. Hendeklerin genişliği 0,6 – 0,9 m mertebesindedir. Borular yüzey şartlarından en az etkilenmeleri amacıyla, genelde 1,2 – 3,0 m derinlikte döşenirler.



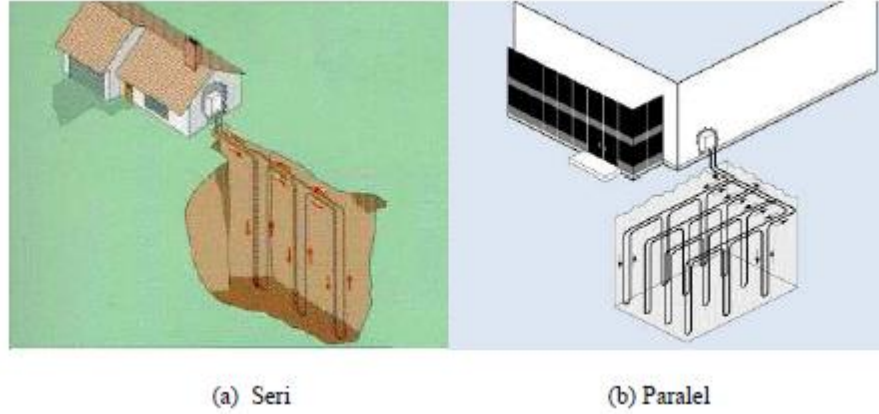
Şekil 3.9. Seri ve paralel akışlı yatay toprak ısı değiştiricileri (Tokgöz, 2006).

Borular döşendikten sonra toprak ve boru arasındaki ısı geçişini iyileştirmek amacıyla hendekten çıkarılan toprağın, yerine tekrar yerleştirirken, yoğunluğunu artırmak için sıkıştırılması gerekir. Toprak ısı değiştiricilerinin seri yerleştirilmesi, basınç düşmesi ve ekonomik değerler incelenerek ele alınmalıdır. Çizelge 3.3.'de boru çaplarına göre pratikte uygulanan uzunluk sınırları verilmiştir (Ataman, 1985).

Çizelge 3.3. Pratikte kullanılan boru çaplarının boru uzunluğuna bağlı değişimi (Ataman, 1985).

Boru Çapı (inç)	Boru Boyu (m)
3/4	≤150
1	≤230
1 1/4	≤900
1 1/2	≤1200
2	≤2500

Dikey toprak ısı değiştiricileri ise genellikle arsa alanının kısıtlı olduğu durumlarda kullanılır. Kuyuların derinlikleri genellikle 20 – 100 m arasındadır. Borular dikey kuyunun içerisinde geçirilir. Toprak ve sıcaklık şartlarına göre birim soğutma yükünü sağlayan tipik boru boyu 20–50 m arasında değişir (Demir, 2005).



Şekil 3.10. Seri ve paralel akışlı dikey toprak ısı değiştiricileri (Energy.org, 2005).

3.5. Soğutucu Akışkanlar

Soğutucu akışkanlar, soğutma, iklimlendirme ve ısı pompaları sistemlerinin en önemli çalışma elemanlarıdır. Çoğunlukla bu akışkanlar, buharlaşma ve yoğuşma faz değişimleri yardımıyla, bir ortamdan (örnek olarak soğutma yapılan bir salon) çektikleri ısıyı, diğer bir ortama (örnek olarak diş çevreye) atarlar (Genceli, 2002).

Isı pompalarında kullanılan ısı taşıyıcı akışkanlar çok çeşitlidir. Bunların başlıcaları, etil klorür, kükürt dioksit, metil klorür, amonyak, karbondioksit, hidrokarburlü gazlar(bütan, izobütan, propan, etan, v.b) freon grubu gazlardır. Bunlardan en çok F11, F12, F22, F113 kullanılır (Coşgun, 1993).

Isı taşıyıcı akışkanlarda aşağıdaki özellikler aranmaktadır:

- Az bir enerji (güç) sarfı ile daha çok verim elde edilebilmelidir.
- Akışkanın buharlaşma gizli ısı yüksek olmalıdır.
- Kritik sıcaklık ve basınç yüksek olmalıdır.
- Atmosfer basıncında düşük sıcaklıklarda buharlaşabilmelidir.
- Yoğuşma basıncı ve buna bağlı olarak sıcaklığı yüksek olmalıdır.
- Sıkıştırma oranı düşük olmalıdır.
- Emniyetli ve güvenilir olmalıdır.
- Yağlama yağları ve soğutma devresindeki elemanlar ile zararlı sonuç verebilecek reaksiyonlara girmemelidir.
- Su ve hava ile kimyasal reaksiyona girip sisteme zararlı gaz oluşturmamalıdır.

- Çalışma şartlarındaki basınç ve sıcaklıkların en uç sınırlarında dolu ayrışıp çözülmemeli, bütün özelliklerini muhafaza etmelidir.
- Sistemin herhangi bir yerinden sızıntı yapması halinde kolayca anlaşılabilir.
- Elektriksel özellikleri uygun olmalıdır.
- Yanıcı ve patlayıcı olmamalıdır.
- Zehirli ve kötü kokulu olmamalıdır. Ucuz olmalıdır (Yamankaradeniz, 2011).

R717 (NH₃; Amonyak):

Hacimsel özgül soğutma yükü en fazla olan soğutucu akışkan olup özellikle büyük tesislerde kullanılır. Küçük tesislerde ise, sistemde dolaşması gereken soğutucu akışkan miktarının az olması sebebiyle sistem ayar ve kontrol imkanı azaldığından pek kullanılmaz. Bakır, çinko, galvaniz kaplı malzeme üzerine korozyon etkisi vardır. Amonyaklı tesislerde sadece çelik ve dökme demir kullanılır. Atmosferik basınçta -33°C'de buharlaşır, genellikle bundan düşük buharlarda kullanılmaz. Amonyakın su ile birleşme kabiliyeti çok yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda hava ile beraber iken yanabilir. Hava içerisinde % 16-25 oranında zehirli olur. Solunum organlarına ve cilde yanık etkisi yapabilir. Kompresör çıkış sıcaklıkları yüksektir. Bu yüzden kompresördeki yağlama yağını karbonize edebilir. Özellikle cidarlara ve sübaplara tesir edebilir. Amonyaklı sistemlerde kompresör soğutulmalıdır (Coşgun, 1993).

FREON cinsi soğutucu akışkanlar (Halokarbon):

Doğal olarak elde edilen (NH₃, SO₂) soğutucu akışkanların istenilen tüm özellikleri temin edememesi sentetik bir soğutucu akışkan grubunun doğmasına yol açmamıştır. Bunlar, emniyet ve güvenilirlik yönünden iyi olan, ayrıca iyi bir ısı özelliğe sahip olan florakarbon (florlaştırılmış hidrokarbonlardır), halokarbon (haloje edilmiş hidrakarbonlar) ailesindedir. Metan (CH₄) veya Etan (C₂H₆) içerisindeki hidrojen atomlarından bir veya birkaçının yerine sentez yoluyla klor, flor veya brom (halojen atomları) yerleştirmek suretiyle elde edilmektedir. Zehirli ve yanıcı değildir (Coşgun, 1993).

R12 (CCl₂F₂): Küçük ve orta güçteki soğutma tesislerinde yaygın olarak kullanılır. Normal şartlarda buharlaşma sıcaklığı -30 °C civarındadır. Bundan düşük sıcaklıklar için kullanılmaz. Suda güç erir. Sisteme hava girdiğinde hava içindeki su buharı kısılma valfi çıkışında tıkanmalara yol açar. Sistemde mutlaka kurutucu kullanılır. Yağ ile de kolayca karışabilir, dolayısıyla sistemde yağ ayırıcı zorunluluğu yoktur (Yamankaradeniz, 2007).

R13: Düşük sıcaklıklarda kullanım için elverişlidir. Bir atmosfer basınçta buharlaşma sıcaklığı – 82 °C civarındadır. Ancak sıcaklığın artması ile basınç çok yükselir. Bu yüzden de genellikle kaskat sistemlerde düşük basınç kısmında kullanılır. Yağ ile karışmaz. Kaçaklar halojen lamba ile tespit edilebilir (Yamankaradeniz, 2007).

R22 (CHClF₂): Cam berraklığında, renksiz ve etere benzer bir kokusu vardır. Diğer freon serisi akışkanlarda olduğu gibi emniyetle kullanılabilir zehirsiz, yanmayan ve patlamayan bir akışkandır. Saf halde yağ ile karışık olduğu zaman malzemeye tesir eder. Hacimsel özgül soğutma yükü büyüklük olarak amonyaktan sonra gelir. Bu yüzden de orta ve büyük tesislerde düşük sıcaklık seviyeleri için kullanılır. Isı pompası sistemlerinde tercih edilir. Yağda erimez, yağ ayırıcı kullanılmak zorunludur (Yamankaradeniz, 2007).

R502: Kütleli olarak %48,8 R22 ve %51,2 R115'in karışımıdır. Düşük sıcaklık ve yüksek sıkıştırma oranı uygulamalarında R22'nin yerini almak üzere geliştirilmiştir. R502'nin özellikle, düşük sıcaklıklarda soğutma etkisi büyüktür. (-40 °C) ve (-20 °C) arasında soğutma elde edilmesi durumunda R502'nin kompresör çıkış sıcaklığı R22'ye göre daha düşüktür. Yanıcı ve zehirli değildirler (Yamankaradeniz, 2007).

R134a: Ozon tabakasına etkisi sıfırdır ve diğer özellikleri dikkate alındığında en uygun soğutucu akışkanlardan biridir. Fiziksel özellikleri R12'ye yakındır. Saf bir soğutucu akışkandır. Ev tipi ve araç soğutucuları için uygundur. Düşük buharlaştırıcı sıcaklıklarında çift kademeli sıkıştırma gerektirir. R134a mineral yağlarla uyumlu olmadığından poliester bazlı yağlarla kullanılması önerilmektedir (Yamankaradeniz, 2007).

4. SERALAR

Seralar iklimle ilgili çevre koşullarına tümüyle veya kısmen bağlı kalmadan, gerektiğinde sıcaklık, ışık ve nem gibi tesirler altında tutularak, tüm sene boyunca çeşitli kültür bitkileriyle ve bunların tohum, fide ve fidanlarını üretmek, korumak, sergilemek amacıyla cam, plastik gibi ışık geçirebilen malzeme ile kaplanmak suretiyle değişik şekillerde inşa edilen üretim yapılarıdır (Yüksel, 2010).

Örtü altı yetiştiriciliği ticari olarak II. Dünya Savaşı'ndan sonra gelişme göstermiştir. Seracılık, plastiğin 1960'lı yıllarda tarımda kullanılmaya başlanması ile ılıman (Akdeniz) ikliminin hüküm sürdüğü bölgelere kaymış, 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizinden sonra ısıtma giderlerinin yükselmesi ile birlikte örtü altı yetiştiriciliği Akdeniz havzasında daha da hızlı yayılmıştır. Son yıllarda Asya ülkelerinde de örtü altı tarımının yaygınlaştığı görülmektedir. (Jiang ve Yu, 2004).

Dünya'da ki toplam sera alanının %15'ini cam seralar, %85'ini ise plastik seralar oluşturmaktadır. AB ülkelerinde, serada yetiştiricilik yapan önemli ülkeler İspanya, İtalya, Almanya, İngiltere, Fransa ve Hollanda'dır. Hollanda sahip olduğu sera teknolojisi ile İspanya ve İtalya ise sera alanları ile önemli ülkelerdir (Genç, 2008).

Türkiye'de örtü altı yetiştiriciliği 1940'lı yıllarda Antalya'da kurulan seralar ile başlamıştır. Seracılığın gelişimi 1940–1960 yılları arasında çok yavaş olmuş ve özellikle Antalya ve İzmir civarında yayılma göstermiştir. Bu yıllardan sonra plastiğin örtü materyali olarak kullanılmaya başlanması ile gerek sera, gerekse alçak tünel alanlarında hızlı bir artış görülmüştür. Sera alanlarında en hızlı artış 1975–1985 yılları arasında gerçekleşmiştir. Bundan sonraki yıllarda artış devam etmekle birlikte daha yavaş olmuştur. Özellikle 1990 yılına kadar hızlı artış gösteren alçak tünel alanları ise, tünel altında yetiştirilen türlerin bir yıl önceki fiyatlarındaki değişimlere bağlı olarak, dalgalanmalar göstermiştir (Genç, 2008).

Sera iklimlendirilmesi yapay olarak sağlandığından enerji harcamaları oldukça fazladır. Seralarda en önemli enerji ihtiyacı kış aylarında ısıtma uygulamalarında gerçekleşmektedir. Enerji kaynaklarının kısıtlı oluşu ve fiyatlarının giderek artması, günümüzde sera ısıtma giderlerini arttırmaktadır. Bunun sonucunda da yetiştirilen ürün fiyatları artmaktadır. Son yıllarda araştırmacılar, seralarda ısıtma ve enerji harcamalarını azaltmak amacıyla, yeni ve yenilebilir enerji kaynaklarının (ısı pompası, güneş, rüzgâr, biyogaz v.b) kullanılması ve ısı kayıplarını azaltıcı sistemlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapmaktadır (Yağcıoğlu, 1999).

Seralar oldukça pahalı bitkisel üretim yapıları olduklarından dikkatli ve günün modern teknolojisi ile projelendirilmelidir. Ancak modern teknolojinin yanlış uygulanması veya tam uygulanmaması nedeniyle birçok sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Taşıyıcı konstrüksiyon, havalandırma, ısıtma, soğutma, gölgeleme, sulama bunlardan bazılarıdır. (Tekinel ve Baytorun, 1990).

Ülkemiz seralarına örtü malzemesi itibariyle bakıldığında; % 77'nin plastik örtülü (PE veya sert plastik), geriye kalan % 23'inin ise camla kaplı olduğu görülmektedir. Sera alanlarının % 95'inde sebze, % 4'ünde süs bitkileri ve % 1'inde ise meyve türleri yetiştirilmektedir (Genç, 2008).

4.1. Seraların Sınıflandırılması

4.1.1. Büyüklüğüne göre sera tipleri

Seranın büyüklüğü taban alanının genişliği ve uzunluğu ile tanımlanır. Bu iki boyutun çarpımı, taban alanını verir. Büyüklük verilirken uzunluk ve genişliğin birbirine uyumlu olması gerekir. Dar ve kısa olan seralarda, dar ve kısa boyutlara paralel bitki sıraları kullanılır. Burada yetiştirilen bitkiler, kritik çevre koşullarının olumsuz etkilerinden zarar görür. Aynı büyüklükte taban alanına sahip, fazla sayıda kısa seralar yerine, uygun boyutlara sahip bir sera planlanması yapılırsa bitki yetiştirilmesi için ekolojik koşullar daha kolay sağlanmış olur. İlk yapı maliyeti ve yıllık ısıtma giderlerinden de tasarruf sağlanmış olur (MEGEP, 2007).

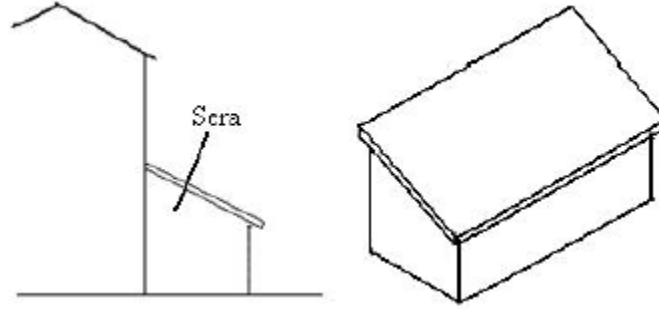
4.1.2. Çatı ve kuruluş şekillerine göre seralar

Çatı ve kuruluş şekillerine göre seraları aşağıdaki gruplar altında toplamak mümkündür. Bunlar;

- Çatısız seralar,
- Tek çatılı seralar,
- İki çatılı seralar,
- M çatılı seralar,
- Blok seralar

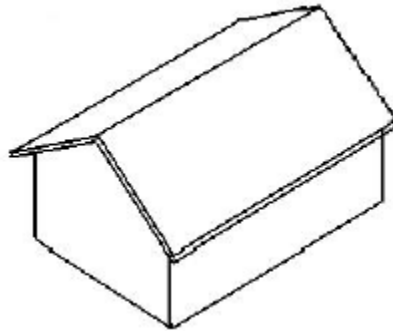
olarak sıralanabilir.

Çatısız tip seralar, aşırı meyilli arazi türlerinde oluşturulan şekillerde iki duvar arasında kurulan ve çatısı olmayan sera türüdür.



Şekil 4.1. Tek çatılı sera görünümü (Yüksel, 2011).

Şekil 4.1.' de görüldüğü gibi genelde bir binanın veya bir duvarın güneye bakan tarafına dayalı şekilde kurulan tek meyilli ve dolayısıyla tek yüzeyli sera tipleri tek çatılı seralar olarak adlandırılır. Bunun yanı sıra bir kenarı bir yere dayanmadan kurulan tek çatılı sera tipleri de mevcuttur. Bu çatı tipi meyilli yerler için de söz konusu olabilmektedir. Çatı eğimi güneye baktığından güneş ışınlarından ve sıcaklığından yüksek oranda faydalanılır. Amatör seralardır, ucuza tesis edilebilirler (Şahin, 2008).



Şekil 4.2. İki çatılı sera görünümü (Yüksel, 2011).

İki çatılı seralarda, Şekil 4.2' de görüldüğü gibi sera çatısının iki yüzü birbirine eşit ise "ikizkenar çatılı seralar" şeklinde adlandırılır. Çatının biri uzun diğeri kısa ise "iki çatı kenarı eşit olmayan seralar" söz konusudur. Meyilli arazilerde de bu tip sera kuruluşlarına sıkça başvurulur. İki çatılı seralar daha iyi ışık alırlar. M çatılı seralarda ise yan yana gelen blok seralar söz konusudur. Bunlar ikizkenar veya iki kenarı eşit olmayan çatılı seraların yan yana gelmesinden oluşmaktadır (Şahin, 2008).

Birbirlerine ekli olacak şekilde kurulan sera tiplerine blok seralar denilmektedir. Bitişik halde kuruldukları için tesis giderleri daha azdır. Aynı tür bitki yetiştirme söz konusu ise aralarında ara duvar gerekmez. Fakat her blok için ayrı bir türün yetiştirilmesi öngörülüyor ise

her türe uygun farklı ekolojik koşullar oluşturmak için blokların arasına perdeler yerleştirilerek birbirinden ayırmak gerekir (Yüksel, 2011).

4.1.3. Sıcaklıklarına göre seralar

Sera içi sıcaklığına göre seraları; sıcak, ılık ve soğuk olarak gruplara ayırmak mümkündür. Sıcak seraların ortalama iç sıcaklığı 20-24 °C arasında bulunur Sıcaklık 18 °C'nin altına düşmez. Bu seralarda sıcaktan hoşlanan bitkiler yetiştirilir. Ilık seralar için sıcaklık değerleri 10-20 °C arasındadır. Soğuk seralarda herhangi bir ısıtma yapılmaz ve genellikle sera sıcaklığı 0-10 °C arasındadır. Bu nedenle bu tip seralar ancak iklimi uygun olan ılıman bölgelerde yetiştirme amacıyla kullanılabilir (Şahin, 2008).

4.1.4. İskelet malzemesine göre seralar

Seralar, kurulum şekilleri itibari ile bir temel üzerine kurulan iskelet ve onun üzerine çeşitli şekillerde monte edilen örtüden ibarettir. Seralar; ahşap, demir, beton, alüminyum malzemeden inşa edilebilirler. Kullanılan iskelet malzemelerinin bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Bu özellikler ana hatları ile şu şekilde sıralanabilir;

- İskelet elemanları sağlam, ucuz ve hafif olmalıdır. Aynı zamanda kolay kurulabilmelidir.
- Ahşap malzeme hafif ve dayanıklı olması, kolay işlenmesi, çivilenmesi ve vidalanması gibi iyi özelliklere sahiptir. Ayrıca hem çekmeye, hem de basınca dayanıklı olması gibi üstünlükleri vardır. Ama ağaç malzeme kısa zamanda deforme olur. Ahşaptan inşa edilen sera iskeletleri çabuk çürür, bu sebeple ömürlerini uzatmak için sık sık boyamak gerekir. Sıcak yörelerde kurulan seralarda ahşap iskelet malzemesi olarak kamış da kullanılabilir.
- Seralar daha dayanıklı ve uzun ömürlü olmaları için demir malzemelerden yapılabilirler. I profil, T profil, L profil, kutu profil, boru profil ve çelik levha şeklinde olabilirler. Birçok üstünlüğe sahip olmaları yanında, paslanmaları en önemli sakıncalarıdır. Antipas boya ile boyanmaları sonucunda paslanmanın önüne geçilerek uzun ömürlü olmalarına yardımcı olunur. Son yıllarda galvanize edilmiş veya galvaniz borularından oluşan sera iskeletleri de kullanılarak bu sakınca ortadan kaldırılmaktadır.
- Sera inşasında az miktarda da olsa beton iskeletler kullanılabilir. Ancak beton malzeme genellikle temel ve duvarların inşasında tercih edilmektedir.

- Seranın ışık ihtiyacını engellemek için alüminyum veya hafif metal iskeletler kullanılmaktadır. Bu malzemeler hafif, sağlam ve uzun ömürlüdürler
- Sera iskeleti sadece ahşap veya sadece demir olabildiği gibi çeşitli malzemelerden kombine olarak da yapılabilir.
- Hava geçirgenliği yani ısı kaybı az olmalıdır (Şahin, 2008).

4.1.5. Örtü malzemesine göre seralar

Seralar yağmur, kar ve rüzgâr gibi dış etkenlerden koruyarak sera içinden ısı kaybını azaltan ve ışığı imkanlar dahilinde sera içine fazla geçiren saydam bir malzemeyle tüm yüzeyleri kaplanır. İskelet üzerine örtülen bu örtü materyallerinin bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Bunlar:

- Güneş ışınlarını rahatlıkla geçirebilecek nitelikte olmalı, yansıtma, emme ve iletme gibi olaylarla ışık kaybına neden olmamalıdır,
- Işık geçirgenliğini zamanla kaybetmeyen özelliğe sahip olmalı,
- Sıcaklığı tutmalı,
- Hafif ve ucuz olmalı,
- Montajı kolaylıkla yapılabilmesi,
- Dayanıklı ve uzun ömürlü olmalı,
- Herhangi bir nedenle bozulma ortaya çıktığında kolay değiştirilebilmelidir,
- Yıkılarak kolaylıkla temizlenebilir olmalıdır (Yüksel, 2011).

Seralarda örtü materyali olarak;

- Cam,
- Yumuşak plastik,
- Sert plastik,
- Fiber malzemeler kullanılabilir.

Cam örtü

Işık geçirgenliği en fazla olan malzeme camdır. Işık geçirgenliği tipine bağlı olarak %71-92 arasındadır. Düz cam için % 91, mat cam için % 87 olduğunu olarak tespit edilmiştir (Emekli vd., 2006). Ancak kurulacak iskelet ahşap ise cam örtü kullanmak uygun değildir. Cam örtü, kırılğan olduğu ve esnemeleri karşılayamadığı için iskeletin metal olması gerekir. Camın genleşme durumunu göz ardı etmemek gerekir. Cam örtü malzemesi aşağıda belirtilen avantajlara sahiptir;

- Uzun süre kullanılabilirler,
- Işık geçirgenliği yüksektir,
- Kolay temizlenir ve bakım masrafı yoktur,
- Cam seralarda verim, plastik örtülü seralara göre daha yüksektir,
- Mor ötesi (ultraviyole) ışınlarından etkilenmez,
- Kolay kirlenmedikleri için ışık geçirgenlikleri azalmaz,
- Camlarda buğulanma ve nemlenme olmadığından, bitkilerin üzerine su damlaları gelerek bitkilerin hastalanması önlenir.

Seralarda ısı yalıtımı arttırmak için plastik ve cam örtüler birlikte kullanılabilir. Bu şekilde ısı yalıtımı ile sera içinde %40'a varan enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Ancak çift malzeme kullanma ile seraya giren ışık miktarı tek cama göre %10, ikinci kat olarak plastik kullanılmasında yoğunlaşma suyu ile birlikte bu oran %20 değerinde azalmaktadır. Cam örtü malzemesi pahalıdır ve işçiliği zordur. Maliyeti düşürmek için bir yüzü düz öteki yüzü dalgalı olan mat cam yani buzlu cam kullanılabilir. Parlak camdan yarı yarıya ucuzdur. Düz yüzü dışa dalgalı yüzü içe getirilir. Güneş ışınları rahatça sera içine girer, pürüzlü yüz ışınları yansıtarak seradan çıkmasını engeller (Şahin, 2008).

Plastik örtü

Ahşap iskeletli seralarda plastik örtü daha uygundur. Plastik örtü metal iskelete doğrudan gerildiği takdirde rüzgâr nedeniyle daha çabuk yırtılır. Bunun önüne geçmek için metal yüzey plastikle kaplanabileceği gibi iskelete temas yerleri ahşapla veya sert plastikle takviye edilerek de plastik örtü geçirilebilir. Plastik örtü pürüzsüz yüzeyli iskelet üzerine önce gerginleştirilip bindirilerek ve ince ahşap çıtalarla çivilenerek tutturulur. Çivileme yerine bazı sert plastik, alüminyum veya çelikten yapılan kısaç ya da mandal kullanılarak yapılabilir.

Plastik örtü malzemelerin bazı avantajları şöyledir:

- Plastikler vurma ve çarpmalara karşı duyarlı değildir,
- Paslanmazlar,
- Cam örtüye göre ucuzdurlar,
- İşletme özelliği iyidir,
- Kolay temizlenir ve saklanabilirler,
- Kimyasal maddelere, özellikle asitlere karşı dayanıklıdır,
- Güneş ışığını iyi geçirirler,
- Renklendirme özellikleri iyidir,

- Biyolojik zararlardan etkilenmezler,
- İstenen şekilde ve kolaylıkla iskeleti kapatması, şekil vermesi mümkündür ve kolaylıkla montajları yapılabilir,
- Hafiftirler,
- Çift kat kullanıldığından daha da iyi koruyucu olurlar,
- Tesis giderleri ucuzdur.

Plastik örtülerin yukarıda sayılan avantajlı yanlarına rağmen, sakıncalı yanlarını da aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Ömürleri kısadır. Genellikle plastikler fiziksel ve mekanik etkilere karşı dayanıksızdırlar. Plastik örtü materyalinin, bitkilerde renk oluşumu ve büyümeyi engelleyen, onların cüce kalmalarına neden olan ultraviyole (kısa dalga) ışınları geçirme niteliği, cama kıyasla çok daha fazladır. Bu sakınca son yıllarda plastiğin bileşimine, ultraviyole ışınların etkisini azaltan bazı katkı maddeleri ilavesi ile giderilmeye çalışılmıştır.
- Plastiklerde ışık geçirgenliği son yıllarda geliştirilerek cam gibi hatta daha yüksek ışık geçirgenliği sağlanabilmiştir. Camda ışık geçirgenliği % 89-92 olmasına karşılık son yıllarda üretilen plastiklerin geçirgenliği % 85 ile 89'dur. Bu değer % 92-95'e kadar çıkarılabilmektedir. Ancak plastik zamanla kirlenme ve yıpranma nedeni ile ışık geçirgenliğinde büyük düşmelere sebep olur ve bu geçirgenlik % 62-65'e kadar inebilir. Plastikler yıkandıklarında cam gibi temizlenemezler. Tozlar plastik üzerine elektriksel yük ile bağlanır. Kirlilik tam olarak temizlenemez.
- Yüksek sıcaklıkta plastiğin şeklinde değişiklik olur ve soğukta da büzülme yapar. Son zamanlarda bazı ilave maddelerle bu kusur da bir ölçüde azaltılabilmektedir.
- Plastik örtülü seralar yeterince havalandırılmazlar ise bunlarda hava boşlukları yok denecek kadar az olduğundan cam seraya kıyasla çok fazla nem tutarlar.

Plastik örtülü seralar gittikçe yaygınlaşmaktadır. En çok kullanılan plastikler PE (polietilen) ve PVC (polivinilklorit)'dir. Plastikler dış etkilerden çabuk yıpranır ve yırtılır. Ömürleri 6 ay ile 1-2 yıl arasında değişir (MEGEP, 2007).

4.2. Sera Tasarımındaki Etkili Faktörler

Seralarda verimin daha yüksek, ürün niteliğinin daha iyi ve aynı zamanda ürünün olgunlaşma süresinin daha kısa olması için ekonomik koşullar dikkate alınarak çevre

etmenlerini uygun hale getirilmesi gerekir. Seranın planlamasında etkin olan çevre koşulları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Sıcaklık,
- Yön,
- Işık,
- Nem,
- Toprak.,

4.2.1. Sıcaklık

Bitki gelişmesi ve büyümesinde en önemli faktörlerden biri sıcaklıktır. Seralarda genellikle mevsim dışında yetiştiricilik yapıldığı için, sıcaklığın bitki isteklerine uygun olarak ayarlanması çok önemlidir. Sera yetiştiriciliğinde dış havanın soğuması nedeni ile sera içi sıcaklığın düşmesi bitki gelişiminde olumsuz etki yapmaktadır. Sera içi sıcaklığı serada yetiştirilecek bitki çeşidine göre değişmektedir. Genel olarak sebzelerin yetiştirme periyodundaki sıcaklık değerleri 9°C ile 25°C arasında değişmektedir. Bitkilerin normal gelişmelerini tamamlayabilmeleri için özellikle kış aylarında, seraların uygun sıcaklık değerlerine kadar ısıtılması gerekir (Ertekin ve Yıldız, 1994).

Domates, sert ve tropikal iklim olmak üzere geniş bir iklim kuşağında yetişir. Tohumlar 10 °C ve üstünde çimlenir. Optimum büyüme için en uygun sıcaklık isteği 20–27 °C arasındadır. Meyve bağlaması 30 °C üstünde ve 10 °C altında çok zayıf olur. Genellikle gelişme süresi 100–140 gün arasındadır. Salatalık yetiştiriciliği, normal dönemde açık alana doğrudan tohum ekimi ile ve erken üretim için fideleme yöntemiyle üretimi yapılır. Çimlenme 16–35 °C arasında, meyve gelişimi için optimum sıcaklık 20–30 °C'dir (Tülücü, 2003).

Seralar güneş radyasyonunun etkisi altındadır. Seralara gelen güneş enerjisinin % 25-35'ni örtü yüzeyi ve % 10'nu yapı malzemesi tarafından tutulduğu, geriye kalan % 55-65'lik ısı enerjisinin seraya girdiği, seraya giren bu enerjinin %20'nin yansımaya kaybolduğu; böylece, güneşten kazanılan toplam ısı enerjisinin serada faydalı hale dönüşen kısmının yaklaşık % 45-50 olduğu saptanmıştır (Ertekin ve Yıldız 1994).

4.2.2. Yön

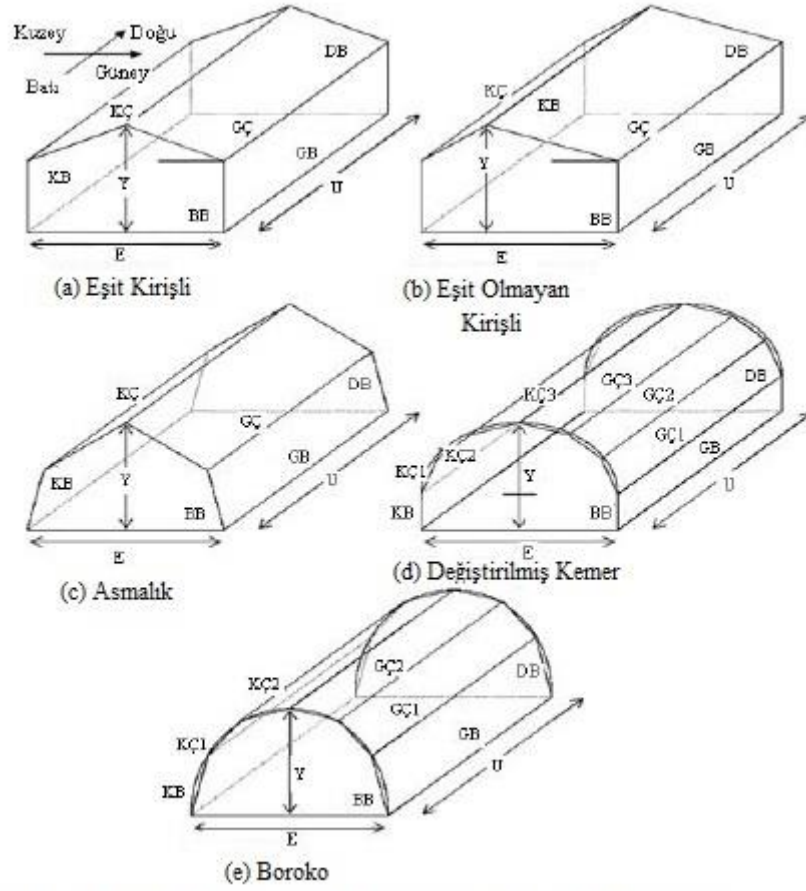
Sera içindeki bitki yönleri ve beraberinde sera yönü de bitkilerin gelişmesinde etkili olmaktadır. Bitkilerin sera içerisinde dengeli büyüme ve gelişmeleri için seraların ve sera içindeki bitki sıralarının yönlendirilmesi gerekir. Bitki sıralarının birbirlerine gölge

yapmamaları ve dengeli bir şekilde ışıktan yararlanmaları için kuzey-güney doğrultusunda, seranın da doğu-batı yönünde yerleştirilmesi gerekir (MEGEP, 2007).

Işıklanmanın daha iyi olması için aşağıdaki yollara başvurulabilir;

- Seralar, özellikle kışın en iyi şekilde ısınmaları için doğu-batı doğrultusunda yerleştirilmelidir.
- Blok halinde kurulan seralar ise kuzey güney doğrultusunda yönlendirilmelidir.
- Seralar birbirini gölgelememelidir.
- Seralar kurulurken kesit yüzeyi mümkün olduğunca ince olan kiriş ve kolon gibi yapı elemanlarından inşa edilmelidir.
- Işığın yeterli olmadığı yerlerde daha iyi bitki gelişimi için yapay ışıklandırmalıdır.

Özellikle kış ayları dışındaki aylarda ve öğle saatlerinde yükselen sera içi sıcaklıklarının düşürülmesinin sorun olduğu bölgelerde seralar kuzey-güney yönünde kurulabilir. Seranın kuruluşu hangi yönde olursa olsun bitki sıralarının kuzey-güney yönünde olması gereklidir.



D: Doğu, B: Batı, G: Güney, K: Kuzey, Ç: Çatı, U: Uzunluk, E: Genişlik,

Şekil 4.3. Doğu-batı yönünde çeşitli sera görünümleri (Sethi, 2009; Yüksel, 2011).

Sethi'ye (2009) göre Şekil 4.3.'de görülen doğu-batı yönlü ve eşit kirişli çatı şekline sahip seralar, kışın daha fazla, yazın ise daha az güneş ışımasını almaktadır. Eşit kiriş mesafeli ve baraka tipi seraların tarım için daha uygun olduğunu ifade etmiştir (Yüksel, 2011).

4.2.3. Işık

Işık, seracılıkta en önemli öğelerden biridir ve yeşil bitkilerin gelişimi için temel faktördür. Fotosentez için bitkiler ışığa ihtiyaç duymaktadır. Bitkiler, ancak ışık sayesinde havadaki karbondioksit ile bünyelerindeki suyu birleştirerek karbonhidratların oluşumunu sağlar. Fotosentez sırasındaki ışık, bitki hücresinde bulunan klorofilin enerji düzeyini yükseltir. Yeterli düzeyde gelen ışık enerjisi, klorofildeki depolanan enerjiyi ve dolayısıyla da fotosentezi artırarak bitki büyümesini hızlandırır. Ancak bitkiye ulaşan ışık ile bitki büyümesi arasında doğrusal bir ilişki yoktur.

Bitkilerin gelişimi için gerekli olan ışık enerjisi bazen yapay aydınlatma temini ile olur. Bitkilerin gelişmesinde ışık rengi, yoğunluğu, günlük ışıklanma periyodu ve gelişme süresince toplam ışıklanma süresi önemlidir. Gündüzleri seraların ışık kaynağı güneştir ve güneşten gelen ışınların dalga boyları ve ışık renkleri farklı farklıdır. Görülebilir ışık ışınlarını ve görevleri şu şekilde sıralanabilir:

- Mavi ışık bitkilerin fazla boylanarak gelişmesini sağlar.
- Kırmızı ışık tohumların çimlenmesini ve gelişmesini hızlandırır. Ayrıca çiçeklenme kırmızı ışıkla hızlanır.
- Yeşil ışık, bitki büyümesini olumsuz olarak etkiler.
- Güneş ışığıyla gelen ışınların yaklaşık % 50 kızılötesi ışınlardır. Bu ışınlar, ısı oluştururlar (Yüksel, 2011).

4.2.4. Nem

Sera içi nem oranı, bitki gelişmesinde önemli bir role sahiptir. Sera toprağının, bitkilerin ihtiyaçlarına göre sulanması gerekir. Bitkilerin sulamayla sera içindeki havanın nem oranı artmaktadır. Yapılan havalandırma sonucunda ise sera içindeki havanın nem oranı da düşmektedir. Dolayısıyla nem miktarı, çeşitli yöntemlerle tekrar normal düzeyine yükseltilmelidir.

Seradaki havanın nem oranının en uygun sınırları, yetiştirilen bitki türüne, seranın sıcaklığına, ışıklandırma yoğunluğuna ve özümleme hızına bağlı olarak değişir. Oransal nemin çok düşük olması bitki büyümesi ve gelişmesini olumsuz etkilemektedir. Çok yüksek nem oranı da sera örtüsünün iç yüzeyinde yoğunlaşmaktadır. Yoğunlaşan nemin bitkiler üzerine damlaması bitkilerin hastalanmasına da neden olur. Genellikle % 90 civarındaki nem miktarı hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ayrıca yüksek hava nemi, bitkiler için zararlı mikroorganizmaların gelişmesi için uygun ortam oluşturur ve mantar hastalıklarının çıkmasına neden olur (Yüksel, 2011).

(Günhan, 1998), sera iklimi ile ilgili yapmış olduğu derlemede, %60-90 arasında bağıl nem oranlarının bitki gelişmesi üzerine çok az etkisi olduğunu belirtmiştir.

(Benli, 2006), bazı bitkiler için nem sınırlarını şu şekilde belirtmiştir. Domates %60-70, patlıcan %60-70, biber %70-75 ve salatalık %70-80'dir.

4.2.5. Toprak

Seralar, yoğun tarım yapılan yerler olduğu için toprağın kaliteli olmasına dikkat edilmelidir. Sera toprakları için kumlu, humuslu, besin maddelerince zengin, su tutma yetenekleri iyi, öte yandan drenaj, taşlılık, sığ olma sorunu olmayan topraklar tercih edilmelidir.

Sera yapılacak toprak gevşek olmalıdır. Ancak saksı bitkisi yetiştirilecek ise toprak, nem teşkil etmez. Sera kurulacak yerde, drenajın iyi olmasına özen gösterilmelidir. Taban suyu seviyesi en az 1 m derinlikte olmalıdır. Taban suyu yüksek yerler; toprağın soğuk kalmasına, havasızlığa ve bitkilerin köklerinin hastalanmasına neden olabilmektedir (MEGEP, 2007).

4.3. Seralarda Isıtma

Sera ısı kayıplarının temelini; yan duvarlar ve çatıdan iletim ve taşınım ile gerçekleşen ısı kayıpları ve havalandırma sonucu oluşan kayıplar teşkil etmektedir. Duvar ve çatılardan gerçekleşen ısı kayıplarının bulunabilmesi için sera konstrüksiyonunun dikkatlice ele alınması gereklidir. Önceleri tahta çerçeveler ve camdan yapılan seralar günümüzde çelik veya alüminyum karkas üzerine cam, naylon, fiberglas (ya da benzeri rijit plastikler) veya bunların kombinasyonu şeklinde örtü malzemesi kullanılarak imal edilmektedirler (İken vd., 2004).

Sera tasarımında, ısı kayıplarının hesaplanabilmesi için öncelikle tasarım parametreleri dikkatli seçilmelidir. Bu parametrelerin başlıcalarını;

- Sera örtü malzemesi,
- Yetiştirilmesi planlanan sera ürünü,
- İklim koşulları

şeklinde sıralamak mümkündür. Sera örtü malzemesinin seçimi; direk olarak ısı transfer katsayısı ve güneş ısınımı geçirgenliğini belirlediğinden oldukça önemlidir (Arslan, 2008).

Sera yüksekliğinin rahat çalışma ortamı sağlanması açısından 1.80 m'den az olmaması gereklidir. Sebze yetiştiriciliğinde sera yan duvar yükseklikleri 1.80-3.00 m arasında seçilmelidir (Yüksel, 1989). Sera çatısı yüksekliği, çatı eğim açısı ve çatı genişliğini belirleyen değerlerle ilişkilidir. Eğim açısı büyüdükçe ve sera çatı makası genişledikçe seranın mahya yüksekliği artar. Uygulamada çatı eğim açısının değerinin soğuk bölgelerde 30-35°, serin yörelerde 26-29°, ılık yörelerde ise 23-25° olması önerilir (Alkan, 1977).

Sera tasarımında, ısıtma yapılması durumunda ele alınması gereken diğer önemli bir parametre de seranın iç ortam sıcaklığıdır ve direkt olarak yetiştirilmesi planlanan tarım

ürünüyle ilgilidir. Tipik sera ürünlerinin yetiştirilebilmesi için gerekli sıcaklık değerleri Çizelge 4.1.'de verilmektedir (İken vd., 2004).

Çizelge 4.1. Tipik sera ürünleri için sıcaklık gereksinimleri (°C) (Arslan, 2008).

Ürün	Gündüz (°C)	Gece (°C)
Biber	18-30	15-18
Domates	21-24	16-18
Salatalık	24-25	21
Marul	24	18
Gül	15-16	16
Zambak	15	17
Karanfil	24	10

Cam örtü malzemesi, ışık geçirgenliği ve dayanıklılık açısından diğerlerine göre daha üstündür. Plastik örtülü seraların maliyeti düşük olmasına karşın, dış etkenlerden çabuk etkilenir ve yıpranır. Özellikle sıcak iklime sahip ülkelerde plastik seralar tercih edilmektedir. Sert ve tabakalar şeklinde olan suni elyaf örtü malzemeleri özellikle yurtdışında kullanımı yaygınlaşmıştır. Plexicam (polimetilmetakrit) levhalar tek ve çift katlı olarak satılmaktadır. Cama göre dayanımı daha iyidir. Isı yalıtımı açısından üstünlük taşımaktadır. Dolu yağışlarının sık olduğu yerlerde dayanıklı olduğu için tercih edilebilecek bir malzemedir (Yağcıoğlu, 1999).

Seraların ısıtılması amacı ile aşağıda belirtilen enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır

- Toprak, su veya hava kaynaklı ısı pompaları
- Kazanlı sistemler ve sobalar
- Endüstri tesislerinden atık ısı olarak alınan düşük sıcaklıklı enerjiler
- Güneş enerjisinin doğrudan ısıtmada kullanılması
- Biyokütle, odun, saman ve biyogaz kullanımı

Seralardan meydana gelen ısı kayıplarının büyük bir bölümü geceleri oluşmaktadır. Isıtma sistemlerinin planlanması için kullanılan maksimum ısıtma yükünün hesaplanmasında, gece sera içi sıcaklığı olarak en az 15°C alınmaktadır. Seradan ısı kaybının diğer bir şekli de havalandırma ve seranın değişik yerlerindeki yarık ve boşluklar ile kapı-pencerelerden olmaktadır (Genç, 2008; Anonymous 1992).

Sera örtü malzemelerinden cam ve plastiğin ısı geçirgenlikleri de oldukça yüksektir. Bu örtülerin farklı şekillerde kullanımı ile seranın ısı kaybı önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bu farklı kullanım şekillerini şöyle sıralayabiliriz (Yüksel 1989).

- Çeşitli sera örtü malzemelerinin çift olarak kullanılması,
- Örtü malzemesi olarak akril camların kullanılması,
- Sera içinde alçak ve yüksek tünellerin kurulmasıdır.

Isının sera içinde dengeli olarak dağılması, ısıtma için aranan önemli kriterlerdendir. Sera ısıtma sisteminin aranan bazı özellikler aşağıdaki gibidir;

- Sistem, dış hava sıcaklığına bağlı olmadan sera içi sıcaklığını istenilen sınırlar içinde tutabilmeli,
- Isı sera içinde dengeli olarak dağılmalı,
- Sık arızalanmamalı,
- Gerek duyulduğunda hemen devreye girebilmeli,
- Verimli çalıştırılabilmeli,
- Maliyet ve yakıt masrafları az olmalıdır (Yüksel, 2011).

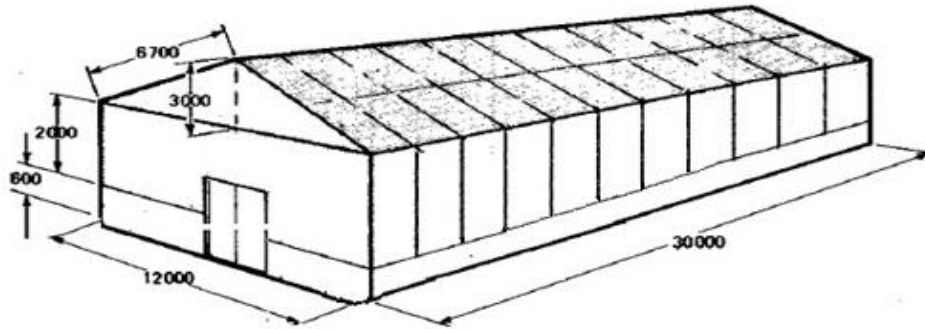
5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1.Sera Bilgisi

Bu bölümde Kütahya’da kurulması öngörülen seranın anlık ve yıllık ısı kaybı hesabı yapılmıştır. Sera malzemesi olarak cam ve tek-çift katlı polietilen örtü malzemeleri kullanılarak farklı ısı kayıpları elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı tarafından belirlenen “Derece-Gün” ve “BİN Derece-Saat” yöntemlerine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca kurulum parametrelerinin maliyete olan etkileri incelenmiştir.

Türkiye’nin farklı Isıtma Derece-Gün bölgesinde bulunan bazı illerde kurulabilecek seralar için de aynı yaklaşım ile hesaplamalar yapılmıştır.

Model olarak seçilen sera ebatları (12 × 30 × 2,6) m’dir (Şekil 5.1.). Örtü malzemesi olarak çift katlı polietilen kullanılmıştır. Ayrıca cam ve tek katlı polietilen malzemeleri için de hesaplamalar yapılmıştır. Sera metal çerçeve üzerine oturtulmuş olup, zeminden 300 mm aşağıda ve sera duvarlarından 600 mm yukarıdadır.



Şekil 5.1. Sera görünümü.

Seranın anlık ve yıllık ısı kaybı hesabı yapılabilmesi için özgül ısı kaybı bulunmalıdır. Özgül ısı kaybı, serada meydana gelen iletimle ve hava kaçakları ile oluşacak ısı kayıplarının toplam değerine eşittir.

Sera Alan Hesabı

$$A_1 = \text{Yan duvarlar} + \text{Çatı üçgen alanı} + \text{Çatı alanı} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{Yan Duvarlar} = (30 + 30 + 12 + 12) \times 2 = 168 \text{ m}^2$$

$$\text{Çatı Üçgen Alanı} = (12 \times 3 \times 0,5) \times 2 = 36 \text{ m}^2$$

$$\text{Çatı Alanı} = (6,70 \times 30) \times 2 = 402 \text{ m}^2$$

$$A_1 = 168 + 402 + 36 = 606 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \text{İzoleli zemin alanı (m}^2\text{)}$$

$$A_2 = (30 + 30 + 12 + 12) \times 0,9 = 75,6 \text{ m}^2$$

5.2. Seranın Özgül Isı Kaybı

H = Seranın özgül ısı kaybı

H_t = İletim yolu ile meydana gelen ısı kaybı

H_v = Hava kaçakları meydana gelen ısı kaybı

$$H = H_T + H_v$$

5.2.1. İletim yoluyla olan ısı kaybı

H_t = Seranın iletim yoluyla olan ısı kaybı

$$R_1 = \text{Çift katlı polietilen için termal direnç} = \text{m}^2\text{C}/\text{W} \quad (\text{Çizelge 5.18.})$$

$$R_1 = 0,28$$

$$R_2 = \text{İzoleli zemin termal direnç} = \text{m}^2\text{C}/\text{W} \quad (\text{Çizelge 5.18.})$$

$$R_2 = 1,88$$

$$H_t = \frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} \quad (5.1.)$$

$$H_t = \frac{606}{0,28} + \frac{75,6}{1,88} \quad H_t = 2204,5 \text{ W/K}$$

5.2.2. Hava kaçakları ile oluşan ısı kaybı

Havalandırma sonucu gerçekleşen ısı kayıpları, seradaki sıcak havanın, dış ortamdaki soğuk havayla saatte kaç defa değiştiği temeline dayanır. Hava değişim sayısı ise, rüzgar hızı, sera konstrüksiyonu ve iç-dış ortam sıcaklıkları arasındaki farkın bir fonksiyonudur.

Çizelge 5.1. Çeşitli örtü malzemeleri için hava değişim sayıları (İlken vd., 2004).

Örtü malzemesi	Hava değişimi/saat
Tek kat cam	2.5-3.5
Çift kat cam	1.0-1.5
Fiberglas (Rijit plastik)	2.0-3.0
Tek kat naylon	0.5-1.0
Çift kat naylon	0.0-0.5
Tek kat naylon-Alçak fiberglas kenarlar	1.0-1.5
Çift kat naylon-Alçak fiberglas kenarlar	0.5-1.0
Tek kat naylon-Yüksek fiberglas kenarlar	1.5-2.0
Çift kat naylon-Yüksek fiberglas kenarlar	1.0-1.5
Çift katlı polietilen	1.0-1.5

$$\text{Hava ısıtma faktörü} = \left[\frac{\rho \times C_p}{3600} \right] = \left[\frac{1,2 \times 1005}{3600} \right] = 0,33 \quad (5.2.)$$

Burada, C_p = Havanın özgül ısı sığası ($J/kg K$)

ρ = Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

Serada mekanik havalandırma olmadığı için hava ısıtma faktörü 0,33 alınır.

H_v = Havalandırma ile olan kayıplar

$$H_v = \frac{ACR \times V \times \rho \times C_p}{3600} = W/K$$

(5.3.)

ACR = Hava değişim oranı sera için 1,2 alınmıştır (Çizelge 5.1.)

V = Sera hacmi 1476 m^3

$$H_v = \frac{1,2 \times 1476 \times 1,2 \times 1005}{3600} = 539,35 \text{ W/K}$$

Dolayısıyla seranın özgül ısı kaybı ;

$$H = H_T + H_v$$

$$H = 2204,5 + 539,35 = 2743,85 \text{ W/K}$$

5.3. Isı Kaybına Etki Eden Diğer Faktörler

Seralar için ısı kaybı hesabı yapılırken rüzgar, inşaat ve sistem tanımlama faktörleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

5.3.1. Rüzgar faktörü

Fw: Rüzgar veya maruz kalma faktörüdür. Temel olarak kabul edilen rüzgar hızı 25 km/h' dir. Bu oran rüzgarın hızının her 10 km/h artmasıyla %5 oranında artmaktadır. En soğuk günler için ise bu oran 25 km/h alınır.

Çizelge 5.2. Rüzgar faktörü (Canada Plan Service, 2010).

Rüzgar hızı (km/h)	f _w
25'den az	1,00
30	1,03
40	1,08
50	1,13
60	1,18
70	1,22

Çizelge 5.3. Kütahya meteorolojik verileri (MGM, 2014).

Aylar	Rüzgar hızı (km/h)	Toprak Sıcaklığı (°C)
Ocak	4.3	3.4
Şubat	5.2	4.3
Mart	4.6	8.2
Nisan	4.1	14.3
Mayıs	3.5	20.5
Haziran	3.5	25.2
Temmuz	3.8	27.9
Ağustos	3.6	27.4
Eylül	3.7	23.2
Ekim	4.7	16.5
Kasım	4.2	9.5
Aralık	4.3	4.8

5.3.2. İnşaat faktörü

fc—İnşaat faktörü seranın yapım malzemesi ile ilgilidir. Sera tipine göre ısı kaybı değişmektedir. Çatı yapımı, eğimi, sızıntılar ve seranın üzerinde oturtulduğu malzeme gibi etkenler göz önünde tutulması gereken özelliklerdir.

Çizelge 5.4. İnşaat faktörü (Canada Plan Service, 2010; Benli, 2006).

Sera tipi	fc
Tümü metal, sıkı cam veya bindirmeli	1,08
Gevşek camlı	1,15 – 1,50
Ağaç çerçeve, sıkı konstrüksiyon, çelik oluklu	1,05

Ağaç parmaklıklı, havalandırılmalı vb.	fc
İyi, sıkı, sızdırmazlı	1,00
Orta seviyeli	1,10
Gevşek oturtmalı	1,20 - 1,30

Fibercam contalı	0,95
Sızdırmaz contalı	1,05 – 1,10

Polietilen örtü	
Tek veya çift katlı	0,90 – 0,95
Çift katlı akrilik veya polikarbon	0,90

5.3.3. Sistem tanımlama faktörü

fs- Sistem faktörüdür. Isıtma sistemi özelliklerini kapsar. Sera içi sıcaklığı yetiştirilen ürüne göre farklılık göstermektedir. Taşınım ile olan ısı kaybı genellikle çatıya yakın kısımda ve yan duvarlarda meydana gelmektedir. Oluşacak hava türbülansları kurulacak sistemi olumsuz etkilemektedir.

Çizelge 5.5. Sistem tanımlama faktörü (Canada Plan Service, 2010; Benli, 2006).

Sistem tanımlama faktörü	fs
Çatıya yakın ısıtıcılardan ısı temini	1,15
Borulu sistemle ısıtma	1,03
Su borulu sirkülasyon	1,08
Zemine yakın taşınımlı ısıtma	1,13
Soğuk günler için cam seralarda 20 °C	1,18

5.4. Derece-Gün Yöntemine Göre Sera İçin Yıllık Isı Kaybı Hesabı

Türk Standartları 825 Isı Yalıtım Kuralları, yapılarda senelik ısı kaybı hesaplamalarında Derece-Gün yöntemini esas almaktadır. Türkiye dört ısıtma Derece-Gün bölgesine ayrılmıştır ve senenin her ayı için ortalama bir dış sıcaklığı belirlemiştir.

5.4.1. Bölgeler için aylık sıcaklık değerleri

TS 825 “Isı Yalıtımı Kuralları” Standartlarına göre için ülkemiz 4 Derece-Gün bölgesine sahiptir. Örneğin sıcak iklim bölgesinde bulunan Antalya 1. Derece-Gün bölgesinde iken, ılık iklim koşullarında olan İstanbul 2. iklim koşullarına sahiptir. Ankara 3. Derece-Gün bölgesinde iken, çok soğuk olan Erzurum 4. derece gün bölgesinde yer almaktadır. Projenin yapıldığı arsanın bulunduğu il ve ilçe bilgileri, hesaplamalarda kullanılacak olan aylık dış sıcaklık değerleriyle ve sınır şartların tespit edilmesi açısından önemlidir (İzoder, 2007).

Çizelge 5.6. Farklı derece gün-bölgeleri için aylık ortalama dış sıcaklık değerleri (İzoder, 2007).

	1. BÖLGE (°C)	2. BÖLGE (°C)	3. BÖLGE (°C)	4. BÖLGE (°C)
OCAK	8,4	2,9	-0,3	-5,4
ŞUBAT	9,0	4,4	0,1	-4,7
MART	11,6	7,3	4,1	0,3
NİSAN	15,8	12,8	10,1	7,9
MAYIS	21,2	18,0	14,4	12,8
HAZİRAN	26,3	22,5	18,5	17,3
TEMMUZ	28,7	24,9	21,7	21,4
AĞUSTOS	27,6	24,3	21,2	21,1
EYLÜL	23,5	19,9	17,2	16,5
EKİM	18,5	14,1	11,6	10,3
KASIM	13,0	8,5	5,6	3,1
ARALIK	9,3	3,8	1,3	-2,8

Meteorolojik verilerin incelenmesi aşamasında, bazı ilçelerin bağlı oldukları illerden çok farklı iklim özelliklerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Örneğin Adana 1. Derece-Gün bölgesinde bulunurken, Adana'ya bağlı Pozantı ilçesi 3. Derece-Gün bölgesinde yer almaktadır. Bu sebepten dolayı projenin gerçekleştirileceği ilin yanı sıra ilçenin de bilinmesi gerekmektedir (İzoder, 2007).

5.4.2. İllere göre derece-gün bölgeleri

1.BÖLGE İÇİN DERECE-GÜN İLLERİ

ADANA	AYDIN	MERSİN	OSMANİYE
ANTALYA	HATAY	İZMİR	

İli 2. bölgede olup da kendisi 1. bölgede olan belediyeler

AYVALIK (Balıkesir)	DALAMAN (Muğla)	FETHİYE (Muğla)	MARMARİS (Muğla)
BODRUM (Muğla)	DATÇA (Muğla)	KÖYCEĞİZ (Muğla)	MİLAS (Muğla)
GÖKOVA (Muğla)			

2.BÖLGE İÇİN DERECE-GÜN İLLERİ

SAKARYA	KOCAELİ	K. MARAŞ	RİZE	KİLİS
ADIYAMAN	DENİZLİ	TRABZON	SAMSUN	YALOVA
AMASYA	MANİSA	ÇANAKKALE	SİİRT	MUĞLA
BALIKESİR	EDİRNE	DİYARBAKIR	SİNOP	DÜZCE
BARTIN	GAZİANTEP	ŞANLIURFA	MARDİN	
BATMAN	GİRESUN	ZONGULDAK	ŞIRNAK	
BURSA	İSTANBUL	TEKİRDAĞ	ORDU	

İli 3. Bölgede olup da kendisi 2. Bölgede olan belediyeler

HOPA (Artvin)	ARHAVİ (Artvin)
---------------	-----------------

İli 4. Bölgede olup da kendisi 2. Bölgede olan belediyeler

ABANA (Kastamonu)	BOZKURT (Kastamonu)	ÇATALZEYTİN (Kastamonu)
İNEBOLU (Kastamonu)	CİDE (Kastamonu)	DOĞANYURT (Kastamonu)

3.BÖLGE İÇİN DERECE-GÜN İLLERİ

AFYON	BURDUR	KARABÜK	MALATYA
AKSARAY	ÇANKIRI	KARAMAN	NEVŞEHİR
ANKARA	ÇORUM	KIRIKKALE	NİĞDE
ARTVİN	ELAZIĞ	KIRKLARELİ	TOKAT
BİLECİK	ESKİŞEHİR	KIRŞEHİR	TUNCELİ
BİNGÖL	İĞDIR	KONYA	UŞAK
BOLU	ISPARTA	KÜTAHYA	

İli 1. bölgede olup da kendisi 3. bölgede olan belediyeler

POZANTI	KORKUTELİ
(Adana)	(Antalya)

İli 2. bölgede olup da kendisi 3. bölgede olan belediyeler

MERZİFON	DURSUNBEY	ULUS
(Amasya)	(Balıkesir)	(Bartın)

İli 4. bölgede olup da kendisi 3. bölgede olan belediyeler

TOSYA (Kastamonu)

4. BÖLGE İÇİN DERECE-GÜN İLLERİ

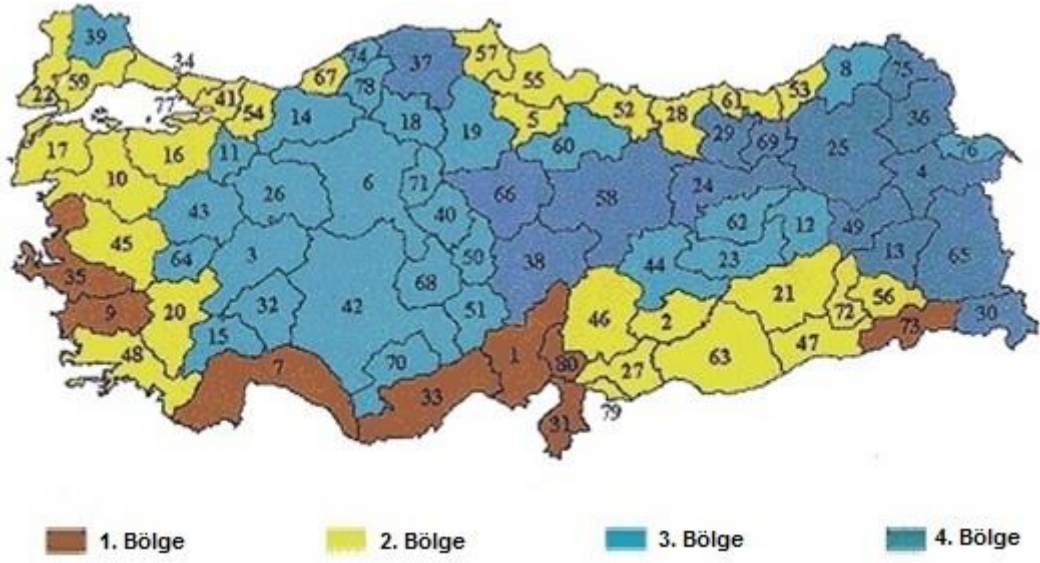
AĞRI	ERZURUM	KAYSERİ
ARDAHAN	GÜMÜŞHANE	MUŞ
BAYBURT	HAKKARİ	SİVAS
BİTLİS	KARS	VAN
ERZİNCAN	KASTAMONU	YOZGAT

İli 2. bölgede olup da kendisi 4. bölgede olan belediyeler

KELES	ELBİSTAN	MESUDİYE	ULUDAĞ
(Bursa)	(K.Maraş)	(Ordu)	(Bursa)

İli 3. Bölgede olup da kendisi 4. Bölgede olan belediyeler

KIĞI (Bingöl)	PÜLÜMÜR	SOLHAN
	(Tunceli)	(Bingöl)



Şekil 5.2. İllere göre derece-gün bölgeleri.

Çizelge 5.7. İller Tablosu (İzoder, 2007).

01- ADANA	15- BURDUR	29- GÜMÜŞHANE
02- ADIYAMAN	16- BURSA	30- HAKKARİ
03- AFYON	17- ÇANAKKALE	31- HATAY
04- AĞRI	18- ÇANKIRI	32- ISPARTA
05- AMASYA	19- ÇORUM	33- İÇEL
06- ANKARA	20- DENİZLİ	34- İSTANBUL
07- ANTALYA	21- DİYARBAKIR	35- İZMİR
08- ARTVİN	22- EDİRNE	36- KARS
09- AYDIN	23- ELAZIĞ	37- KASTAMONU
10- BALIKESİR	24- ERZİNCAN	38- KAYSERİ
11- BİLECİK	25- ERZURUM	39- KIRKLARELİ
12- BİNGÖL	26- ESKİŞEHİR	40- KIRŞEHİR
13- BİTLİS	27- GAZİANTEP	41- KOCAELİ
14- BOLU	28- GİRESUN	42- KONYA

43- KÜTAHYA	57- SİNOP	71- KIRIKKALE
44- MALATYA	58- SİVAS	72- BATMAN
45- MANİSA	59- TEKİRDAĞ	73- ŞIRNAK
46- K.MARAŞ	60- TOKAT	74- BARTIN
47- MARDİN	61- TRABZON	75- ARDAHAN
48- MUĞLA	62- TUNCELİ	76- IĞDIR
49- MUŞ	63- ŞANLIURFA	77- YALOVA
50- NEVŞEHİR	64- UŞAK	78- KARABÜK
51- NİĞDE	65- VAN	79- KİLİS
52- ORDU	66- YOZGAT	80- OSMANİYE
53- RİZE	67- ZONGULDAK	81- DÜZCE
54- SAKARYA	68- AKSARAY	
55- SAMSUN	69- BAYBURT	
56- SİİRT	70- KARAMAN	

İller tablosunda gösterildiği üzere kurulumu yapılacak seranın konumu olan Kütahya, 3. Derece-Gün Bölgesi'nde bulunmaktadır. Özgül ısı kaybı yapılan seranın yıllık enerji ihtiyacını belirlemek için, Çizelge 5.8.'de gösterilen aylara göre uygun sıcaklık değerlerine ihtiyaç vardır.

Çizelge 5.8. Kütahya için senelik derece-gün değerleri (İzoder, 2007).

AYLAR	3. BÖLGE (°C)
OCAK	-0,3
ŞUBAT	0,1
MART	4,1
NİSAN	10,1
MAYIS	14,4
HAZİRAN	18,5
TEMMUZ	21,7
AĞUSTOS	21,2
EYLÜL	17,2
EKİM	11,6
KASIM	5,6
ARALIK	1,3

5.5. Güneş Enerjisi Kazançları

Isıtılan seraya birim zamanda, doğrudan ulaşan güneş enerjisi miktarı tanımıdır. Hesap metodunda, yıllık ısıtma enerjisi toplamından, her ay için belirlenen birim alana etki eden aylık güneş enerjisi toplamları çıkarılmıştır.

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı eşitlik 5.4.' deki formülle hesaplanır.

$$\emptyset_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_{\text{ç}} \quad (5.4.)$$

Burada;

$\emptyset_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları (W/m^2)

$r_{i,ay}$: "i" yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü,

$g_{i,ay}$: "i" yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü

$I_{i,ay}$: "i" yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti (W/m^2)

$A_{\text{ç}}$: Sera çatı alanı (m^2)

Gölgelenme faktörü Çizelge 5.9.'da gösterilmiştir. Bu değer sera uygulamaları için 0,8 alınmaktadır.

Çizelge 5.9. Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü (İzoder, 2007).

	$r_{i,ay}$
Ayrık (müstakil) veya az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yönlerde	0,8
Ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmenin olduğu veya 10 kata kadar yükseklikteki binaların bulunduğu yönlerde	0,6
Bitişik nizam veya 10 kattan daha yüksek binaların bulunduğu yönlerde	0,5

Güneş enerjisi geçirme faktörü değerleri örtü malzemesi türüne göre Çizelge 5.10.'da gösterilmiştir.

$$g_{i,ay} = F_m + g_d \quad (5.5.)$$

Burada;

F_m : Örtü malzemesi için düzeltme faktörüdür ve 0,8 olarak alınmaktadır.

g_d : Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörüdür.

Çizelge 5.10. Güneş enerjisi geçirme faktörü (İzoder, 2007).

Malzeme türü	g_d
Renksiz tek cam için	0,85
Renksiz yalıtım camı birimi için	0,75
Polietilen ve diğer ışık geçiren malzemeler	0,50

Hesaplamlarda kullanılacak tüm Derece-Gün Bölgeleri için ortalama aylık güneş ışınımı şiddeti değerleri Çizelge 5.11.'de gösterilmiştir. (W/m^2)

Çizelge 5.11. Aylık güneş ışınım şiddeti değerleri (İzoder, 2007).

	$I_{güney}$ W/m^2	I_{kuzey} W/m^2	$I_{batı/doğu}$ W/m^2
OCAK	72	26	43
ŞUBAT	84	37	57
MART	87	52	77
NİSAN	90	66	90
MAYIS	92	79	114
HAZİRAN	95	83	122
TEMMUZ	93	81	118
AĞUSTOS	93	73	106
EYLÜL	89	57	81
EKİM	82	40	59
KASIM	67	27	41
ARALIK	64	22	37

Güneş enerjisi kazançlarının hesaplanması sırasında kullanılacak olan gölgelenme faktörü, seranın tek kattan oluşması sebebiyle $r_{i,ay}$ değeri 0,8 alınmıştır. (Çizelge 5.9.).

Eşitlik 5.6.'ya göre tüm sene için hesaplanan güneş kazanım ve sera için ısı kaybı değerleri Çizelge 5.12.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12. Aylara göre ısı kaybı ve güneş enerjisi kazanım değerleri.

AYLAR	ISI KAYBI			ISI KAZANCI
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	Güneş enerjisi
	$H = H_T + H_v$ W/K	ΔT (°C) $T_d - T_i$	Q (W)	ϕ_{ay} (W)
OCAK	2797,85	18,3	48698,11	9262,08
ŞUBAT		17,9	47633,67	10805,76
MART		13,9	36989,27	11191,68
NİSAN		7,9	21022,68	11577,6
MAYIS		3,6	9579,95536	11834,88
HAZİRAN		-0,5	0	12220,8
TEMMUZ		-3,7	0	11963,52
AĞUSTOS		-3,2	0	11963,52
EYLÜL		0,8	2128,879	11448,96
EKİM		6,4	17031,03	10548,48
KASIM		12,4	32997,62	8618,88
ARALIK		16,7	44440,35	8232,96
TOPLAM				260521,6 W

TS 825 Yalıtım Kuralları'na göre sera için yapılan hesaplamalara, Bölüm 5.3' de belirtilen "Isı kaybına etki eden diğer faktörler", KKO (Kazanç-Kayıp Oranı), Kazanç Kullanım Faktörü de eklenerek, yıllık ısı kaybı elde edilmiştir.

$$Q_{yil} = \left[\left((H \times \Delta T) \times (f_w \times f_c \times f_s) - \phi_{ay} \right) \right] \times t \quad (\text{kJ})$$

(5.6.)

$$Q_{yil} = [(260521,6 \times 1,13 \times 1 \times 1,15) - 129669,1] \times 86400 \times 30 \times 10^{-3} \text{ kJ}$$

$$Q_{yil} = 541.413.900 \text{ kJ}$$

1 kJ = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh olduğundan seranın yıllık enerji ihtiyacı 150.513,4 kWh'dır.

5.6. BİN Derece-Saat Metodu

Yapılarda ısıtma ve soğutma için enerji ihtiyacını tahmin etmek amacıyla kullanılan yöntemlerden biri de Derece-Saat yöntemidir. İklimlendirme sistemlerinin tasarımı, binalarda enerji analizi, ısıtma ve soğutma yükü hesaplamaları temelde iklim verilerine dayanmaktadır. Değişik enerji analizleri için farklı iklim verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. İklimlendirme sistemleri için çeşitli enerji tahmin yöntemleri geliştirilmiştir (Bulut vd., 2000).

Doğru, kolay ulaşılabilir ve güvenli iklim verileri enerji analizi ve iklimlendirme sistemlerinin analizinde sonuçların doğruluğu ve enerji verimliliği açısından son derece önemlidir. Yapılarda ve iklimlendirme sistemleri için çeşitli enerji tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin verdikleri sonuçların gerçeğe uygunlukları karmaşıklık derecelerine göre değişmektedir. Genel olarak bu yöntemler ikiye ayrılır. Bunlardan birincisi doğrulukları ve sonuçları açısından sınırlı olmasına rağmen Derece-Gün, Derece-Saat ve BİN yöntemlerini içine alan statik yöntemlerdir. İkincisi dinamik yöntemlerdir. Bu yöntemlerde binanın dinamik davranışı göz önüne alınır ve daha çok bina enerji simülasyonu olarak bilinirler Ülkemiz için Derece-Gün değerleri ile ilgili bazı çalışmalar olmasına rağmen Derece-Saat ile ilgili araştırmalar sınırlıdır (Papakostas vd., 2005).

5.6.1. Kütahya için derece-saat değerleri

Derece-Saat yöntemi ile yapıların ısıtma veya soğutma enerjisi ihtiyacı kolaylıkla tahmin edilebilir. Derece-Saat yönteminde, Derece-Gün yöntemine benzer olarak, bir binanın ısıtılması veya soğutulması için gerekli enerji, dış ortam sıcaklığı ve bir denge noktası sıcaklığı arasındaki farkla orantılıdır. Fakat, Derece-Saat yöntemi, Derece-Gün yönteminden daha hassas sonuçlar verir (Bulut vd., 2007).

Derece-Saat yönteminde öncelikle belli bir denge noktasına göre Derece-Saat değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Denge noktası sıcaklığı (T_b) bir yapıda ısıtma veya soğutmaya ihtiyaç duyulmadığı zamandaki dış ortam sıcaklığı olarak alınabilir. Isıtma işlemi sadece dış ortam sıcaklığı (T_d), denge noktası sıcaklığının (T_b) altına düştüğünde gerekli olacaktır. Soğutma işlemi ise dış ortam sıcaklığı (T_d), denge noktası sıcaklığından (T_b) yüksek olduğunda yapılmaktadır. Günlük, haftalık, aylık veya yıllık zaman periyotlarda Derece-Saat değerlerinin hesaplanması için saatlik kuru termometre sıcaklıklarına ihtiyaç duyulur. Örneğin yıllık Derece-Saat için toplam 8.760 saatlik ölçüm değerlerinin olması gerekir (Büyükalaca vd., 2000 ; Bulut vd., 2007).

Bu çalışmada Kütahya ve diğer iller için Derece-Saat değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Isıtma Derece-Saat (IDS) ve Soğutma Derece-Saat (SDS) değerleri aşağıdaki eşitliklerle tespit edilir (Bulut vd., 2002).

$$IDS = (1\text{saat}) \sum_{\text{saatler}} [T_b - T_d] \quad (5.7.)$$

$$SDS = (1\text{saat}) \sum_{\text{saatler}} [T_b - T_d]$$

Burada T_b denge noktası sıcaklığı, T_d ise saatlik dış ortam sıcaklığıdır. IDS ve SDS değerleri kullanarak, aylık veya yıllık ısıtma enerjisi Q_1 veya soğutma enerjisi Q_s gereksinimi, kWh olarak aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilir.

$$Q_1 = \frac{K_{\text{top}}}{\eta} IDS \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (5.8.)$$

$$Q_s = \frac{K_{\text{top}}}{\eta} SDS \left(\frac{1}{1000} \right)$$

Burada; K_{top} [$W/^\circ C$] seranın toplam ısı transfer katsayısı, η ısıtma sisteminin ortalama verimidir. Isıtma sistemi olarak toprak kaynaklı ısı pompası kullanılacağı için bu değer cihazın senelik ortalama Isı Tesir Katsayısı olarak düşünülebilir. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan Derece-Saat bilgileri Çizelge 5.13'de gösterilmiştir. Ortalama sıcaklık değerleri 12 dilime ayrılmış olup, sene içinde bu sıcaklıklara karşılık gelen saat değerleri yazılmıştır.

Çizelge 5.13. Kütahya için derece – saat değerleri (MGM)

Ortalama Sıcaklık $^\circ C$	Saat	Ortalama Sıcaklık $^\circ C$	Saat
-12	24	6	1088
-9	12	9	1968
-6	102	12	2138
-3	112	15	880
0	412	18	480
3	748	22	240

-12°C için Isıtma Derece-Saat değerinin bulunması için Eşitlik 5.7.'den yararlanılmıştır. Denge sıcaklığı olan T_b , 18 °C kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. -12 °C sıcaklığın Kütahya için senelik görülme miktarı 24 saat olduğuna göre;

$$IDS = 24 \times (18 - (-12)) = 720 [^{\circ}\text{C} - \text{saat}]$$

Aynı işlemler diğer sıcaklık dilimleri için tekrarlandığında bulunan sonuçlar Çizelge 5.14.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.14. Kütahya için yıllık IDS değerleri

Sıcaklık °C	Saat	IDS [°C – saat]
-12	24	720
-9	12	324
-6	102	2448
-3	112	2352
0	412	7416
3	748	11.220
6	1088	13.056
9	1968	17.712
12	2138	12.828
15	880	2640
18	480	0
22	240	-960

5.6.2. Sera için derece-saat yöntemine göre senelik ısı kaybı

IDS değerlerinin seranın senelik toplam ısı kaybına etkisini bulmak için Eşitlik 5.8.'den yararlanılmıştır. Seranın toplam ısı transfer katsayısı Bölüm 5.2.'de hesaplandığı üzere 2797,85 $\text{W}/^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur. Toprak kaynaklı ısı pompasıyla ısıtma düşünüldüğünden η değerine karşılık gelen Isıtma Tesir Katsayısı Bölüm 5.7'de hesaplanmıştır. Fakat senelik enerji ihtiyacı hesaplamasına dahil edilmemiştir. Yine, -12 °C üzerinden örnek hesaplama yapılırsa;

$$Q_1 = 2797,85 \times 720 \times \left(\frac{1}{1000}\right)$$

$$Q_1 = 2014,452 \text{ kWh}$$

2014,452 kWh değeri sene boyunca (-12) °C'de görülen ısı kayıpları toplamıdır. Aynı işlem diğer sıcaklıklar için tekrarlanıp, elde edilen senelik ısı kaybı Çizelge 5.15.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.15. Sera için derece-saat yöntemine göre senelik ısı kaybı (18 °C iç sıcaklık için).

SICAKLIK °C	IDS [°C – saat]	Q [kWh]
-12	720	2014,452
-9	324	906,5034
-6	2448	6849,137
-3	2352	6580,543
0	7416	20748,86
3	11220	31391,88
6	13056	36528,73
9	17712	49555,82
12	12828	35890,82
15	2640	7386,324
18	0	0
22	-960	-2685,94
TOPLAM	70.716	195.166

5.6.3. Farklı parametreler için ısı kaybı hesaplamaları

Çizelge 5.16. Farklı sera iç sıcaklıkları için senelik ısı kaybı (Derece-Saat).

21 °C Sera iç sıcaklığı			24 °C Sera iç sıcaklığı		
SICAKLIK °C	IDS [°C – saat]	Q [kWh]	SICAKLIK °C	IDS [°C – saat]	Q [kWh]
-12	792	2215,897	-12	864	2417,342
-9	360	1007,226	-9	396	1107,949
-6	2754	7705,279	-6	3060	8561,421
3	2688	7520,621	-3	3024	8460,698
0	8652	24207	0	9888	27665,14
3	13464	37670,25	3	15708	43948,63
6	16320	45660,91	6	19584	54793,09
9	23616	66074,03	9	29520	82592,53
12	19242	53836,23	12	25656	71781,64
15	5280	14772,65	15	7920	22158,97
18	1440	4028,904	18	2880	8057,808
22	-240	-671,484	22	480	1342,968
TOPLAM	94.608	264.699	TOPLAM	118.980	332.888

Çizelge 5.17. Farklı parametreler için derece-gün ve derece-saat değerlerinin karşılaştırılması.

SERA İÇ SICAKLIĞI	DERECE-GÜN (kWh) (Senelik)	DERECE-SAAT (kWh) (Senelik)
18 °C	243.949	197.852
21 °C	311.228	264.699
24 °C	378.507	332.888

Derece-Saat yöntemine göre senelik enerji ihtiyacı hesabı yapıldığında, Derece-Gün'e göre:

18 °C sera iç sıcaklığı için %19,

21 °C sera iç sıcaklığı için %15,

21 °C sera iç sıcaklığı için %12 oranında daha düşük sonuç verdiği anlaşılmıştır.

Kullanılan örtü malzemesi, sera iç sıcaklığı ve hesaplamalarda kullanılan dış hava sıcaklığı gibi etmenler ısı kaybı sonuçlarını ciddi anlamda değiştirmektedir. Bazı sera örtü malzemelerinin ısı direnç değerleri Çizelge 5.18.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.18. Sera inşaatı malzeme termal dirençleri (Benli, 2006 ve Canada Plan Service, 2010).

Örtü Malzemesi		Kalınlık (mm)	Isıl direnç ($\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$)
Cam	Tek cam	3	0,15
	Çift cam (6mm Hava boşluklu)	-	0,27
	Fiberglass	-	0,16
	PE (naylon)	0,15	0,14
	Çift akrilik veya polikarbonat	6-12	0,30 – 0,35
	Hava boşluklu çift katlı Polietilen	-	0,25 – 0,30
	Rijit Polyester (plastik)		0,17
İnşaat Malzemeleri	Asbestos Çimentolu	6	0,16
	Ağaç	25	0,30
	Beton	100	0,20
		150	0,23
Beton Blok		200	0,35
	İzolasyonlu Rijid polystrene	25	0,88
	Polietilen	25	1,10

Sera ısıtmasında kullanılacak sistemlerin tasarımı açısından seranın anlık ısı kaybı hesabı mühimdir. Farklı dış sıcaklık değerleri ve örtü malzemeleri için tasarım ısı yükleri Çizelge 5.19’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.19. Sera için tasarım ısı yükleri (kW).

ÖRTÜ MALZEMESİ	Tasarım Sıcaklıkları				
	T _{iç}	18 °C		24 °C	
	T _{dış}	-6 °C	-3 °C	-3 °C	-6 °C
Tek Cam		124 kW	141 kW	159 kW	177 kW
Çift Katlı Cam		74,8 kW	85,5 kW	96,2 kW	107 kW
Tek Katlı PE (naylon)		132 kW	150 kW	169 kW	188kW
Çift Katlı PE		72,6 kW	83 kW	93,4 kW	104 kW
Rijit Polyester (plastik)		111 kW	127 kW	143 kW	158

5.7. Isı Pompası Tasarımı

Kütahya’da kurulması düşünülen sera için örtü malzemesi çift katlı polietilen seçilmiştir. Isıl direnci diğer malzemelere nazaran daha büyük olması, yıllık ısı kaybı miktarını azaltmakta ve seçilecek olan toprak kaynaklı ısı pompasının kurulum maliyetini de düşürmektedir. Sera hesaplamasında iç sıcaklığın 18 °C ve tasarım dış sıcaklığının -3 °C olması durumunda gerekli olan toprak kaynaklı ısı pompası gücü 83 kW olmaktadır.

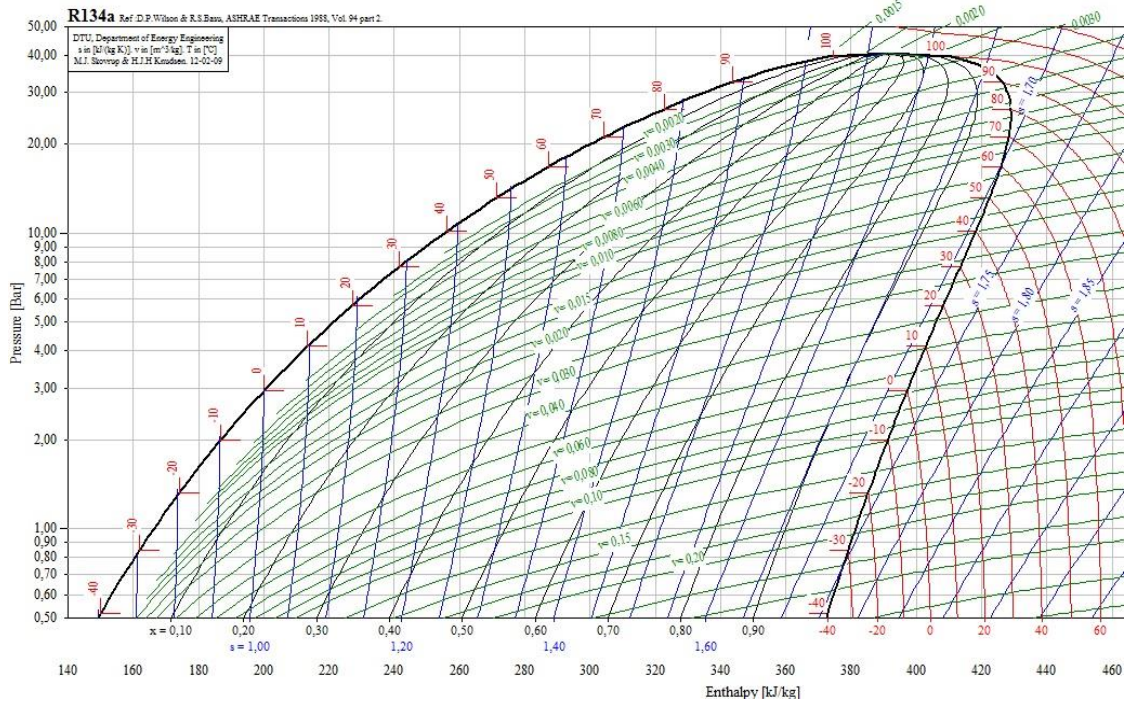
Isı pompası sisteminde buharlaştırıcı sıcaklığı 0 °C seçilmiştir. Sera iç sıcaklığının 18 - 23 °C arasında olması istenmektedir. 37 °C ’de seraya gidiş ve 23 °C ’de seradan dönüş suyu sıcaklığı temini için yoğuşturucu sıcaklığı 40 °C seçilmiştir. Sistem bu sıcaklıklar arasında çalışmaktadır. R-134a akışkanı için basınç - entalpi diyagramından okunan değerler;

$$h_1 = 400 \text{ kJ/kg} \quad \text{Buharlaştırıcı çıkışındaki soğutucu akışkan entalpisi}$$

$$h_{2s} = 428 \text{ kJ/kg} \quad \text{Kompresör çıkışındaki soğutucu akışkan entalpisi}$$

$$h_3 = 257 \text{ kJ/kg} \quad \text{Yoğuşturucu çıkışındaki soğutucu akışkan entalpisi}$$

$$h_4 = 257 \text{ kJ/kg} \quad \text{Buharlaştırıcı girişindeki soğutucu akışkan entalpisi}$$



Şekil 5.3. R-134a soğutucu akışkan basınç-entalpi diyagramı (Chiarelli, 2012).

Kompresör çıkışı gerçek entalpi değeri için kompresör iç verimi bulunmalıdır. η_k ile gösterilen verim, ısı pompası yoğuşturucu basıncı ve buharlaştırıcı basıncı ile orantılıdır.

$$\eta_k = 1 - \left(0,05 \times \frac{P_y}{P_b}\right) \quad (5.9.)$$

$$\eta_k = 1 - \left(0,05 \times \frac{10,165}{2,9280}\right) \cong 0,82$$

Bu değer üretici firma tarafından verilen katalogta 0,80 alınmıştır.

Kompresör çıkışı gerçek entalpi değeri için;

$$\eta_k = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_k} \quad (5.10.)$$

$$h_2 = 400 + \frac{(428 - 400)}{0,8} \text{ ise } h_2 = 435 \text{ kJ/kg}$$

Sera için ısıtma yükü 83 kW olarak bulunmuştur. Isı pompası çevirimdeki soğutucu akışkan debisi Eşitlik 5.11.'deki formülle bulunur.

$$Q_s = \dot{m}_s \times (h_2 - h_3) \quad (5.11.)$$

$$83 = \dot{m}_s \times (435 - 257)$$

$$\dot{m}_s = 0,466 \text{ kg/s}$$

Üretici firma tarafından alınan katalog doğrultusunda kompresörün mekanik, elektrik motor ve kayış kasnak verimi bilgileri kullanılarak, adyabatik kompresör işi Eşitlik 5.12.'deki formülle bulunur.

$$W_K = \frac{\dot{m}_s \times (h_{2s} - h_1)}{\eta_K \times \eta_{MK} \times \eta_{EM} \times \eta_{KK}} \quad (5.12.)$$

Burada;

$$\eta_K \quad : \text{Kompresör iç verimi} \quad : (0,76 - 0,82)$$

$$\eta_{MK} \quad : \text{Mekanik verim} \quad : (0,75 - 0,90)$$

$$\eta_{EM} \quad : \text{Kayış kasnak verimi} \quad : (0,95)$$

$$\eta_{KK} \quad : \text{Elektrik motor verimi} \quad : (0,95 - 0,98)$$

$$W_K = \frac{0,466 \times (428 - 400)}{0,8 \times 0,8 \times 0,95 \times 0,97}$$

$$W_K = 22,138 \text{ kW}$$

Seranın ihtiyacı olan ısı, ısı pompası yoğuşturucusundan aktarılmaktadır. Yoğuşturucuda yoğuşan akışkan sıcaklığı 40°C olarak kabul edilmiştir. Bu akışkan yoğuşma esnasında ısısını sera içinde dolaştırılan suya vermektedir. Bu şekilde sera iç sıcaklığı 18°C ile 20°C arasında tutulmaya çalışılmaktadır. Bu suyun 37°C'de seraya girip, 23°C'de seradan döndüğü kabul edilirse, 14°C'lik bir gidiş-dönüş sıcaklığı farkı olduğu görülecektir. Su debisi miktarı Eşitlik 5.13.'deki gibi hesaplanır.

$$Q_s = \dot{m}_{su} \times c_p \times \Delta T \quad (5.13.)$$

$$83 = \dot{m}_{su} \times 4,18 \times 14 \text{ ise } \dot{m}_{su} = 1,4183 \text{ kg/s} \text{ olarak bulunur.}$$

Hesaplamalar doğrultusunda ısı pompasının ısı tesir katsayısı (ITK), seranın ısı ihtiyacının kompresör işine oranı ile bulunur.

$$ITK = \frac{Q_s}{W_k} \quad (5.14.)$$

$$ITK = \frac{83}{22,138} \text{ ise;}$$

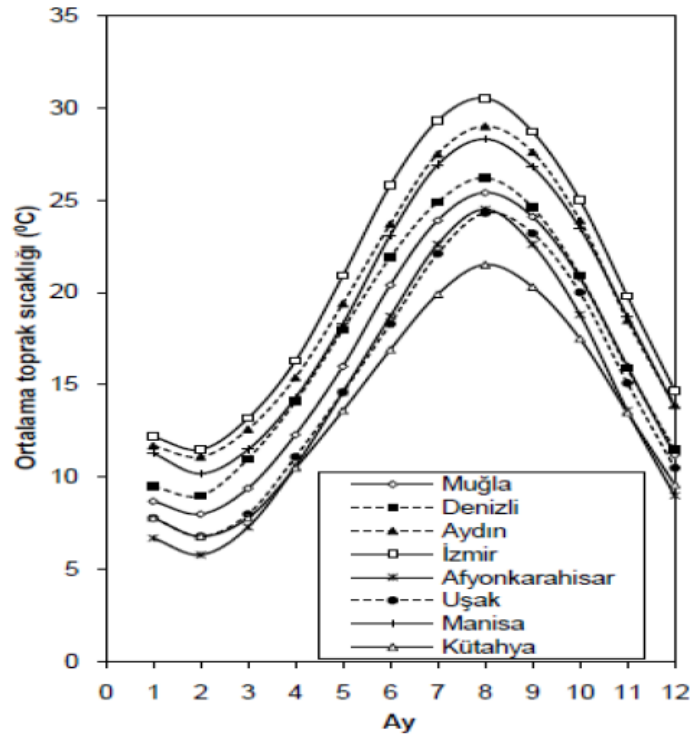
$$ITK = 3,75$$

Toprak altına dönecek ısı değiştiricisi boyu metrajı belirlenmesine ITK, boru direnci, toprak direnci, kullanım oranı, toprak sıcaklığı ve cihaza girecek su sıcaklığı gibi faktörler etki etmektedir.

$$L = \frac{572 \left(\frac{ITK-1}{ITK} \right) (R_b + (R_t \times F_t))}{(T_y - T_{min})} \quad (5.15.)$$

- Cihazın alışma şartlarına göre belirlenen ortalama ısı tesir katsayısı 3,75'dir.
- Boru direnci (R_b) katalog seçimine göre 0,117 alınmıştır. ($m^{\circ}C/W$)
- Boru malzemesi olarak polietilen kullanılmıştır. Boru apı $\varnothing 32mm$ 'dir.
- Toprak direnci (R_t) Kütahya şartlarına göre 0,69'dir. ($m^{\circ}C/W$)
- Yer ısı değiştiricisi dizilimi ise helezon olarak düşünölmüştür. Toprak altı eşanjör planı şekil 5.5'de gösterilmiştir.

şekil 5.4'te Kütahya ile birlikte bazı iller için 1 m derinlikte ki ortalama toprak sıcaklığının aylara göre oranı verilmiştir.



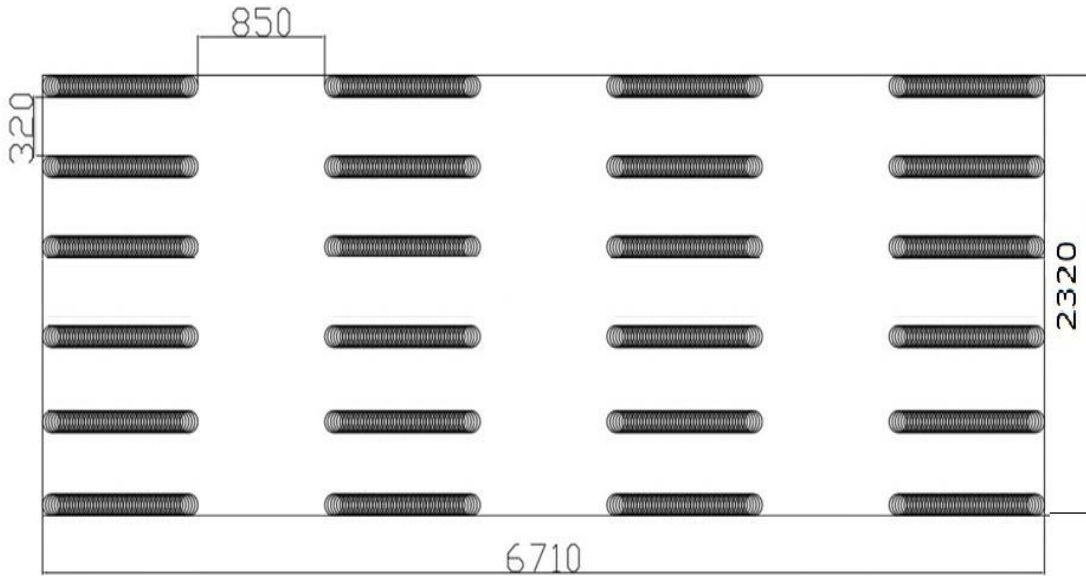
şekil 5.4. Aylara göre 100 cm derinlikte ki toprak sıcaklığı (MGM).

Belirlenen derinlikte ki yıllık ortalama toprak altı sıcaklığı 5,6 °C' dir. Toprak direnci (R_b) değeri 0,96 alınmıştır.

$$L = \frac{572 \left(\frac{3,75-1}{3,75} \right) (0,117 + (0,6 \times 0,96))}{(5,6-0)}$$

L değeri 51,9 olarak bulunur. (m/kW) Bu değer kW başına gerekli olan ısı değiştrici uzunluğunu ifade etmektedir. Polietilen örtü malzemesine sahip sera için yapılan ısı yükü hesabında 83 kW olarak bulunan anlık ısı kaybı L ile çarpıldığında gerekli boru metrajı 4152,7 m'dir.

Helezon döşemede kullanılacak ısı eşanjörleri kangal yapıdadır. Bir adet 200 m' lik boru kangalı yaklaşık 12,48 m² yer kaplamaktadır. Bulunan metraj boyu düz boru döşemesi içindir. Bu değere helezon uygulama sebebiyle, şartlara göre belli oranda arttırma eklenmelidir. Toprak altı eşanjör yerleşim planında alan seçimi (70 × 24)m düşünülmüştür. Arttırım ile birlikte gerekli boru uzunluğu 4800m olmaktadır.



Şekil 5.5. Toprak altı eşanjörü yerleşim planı.

Sistem elemanları ve fiyatlandırılması

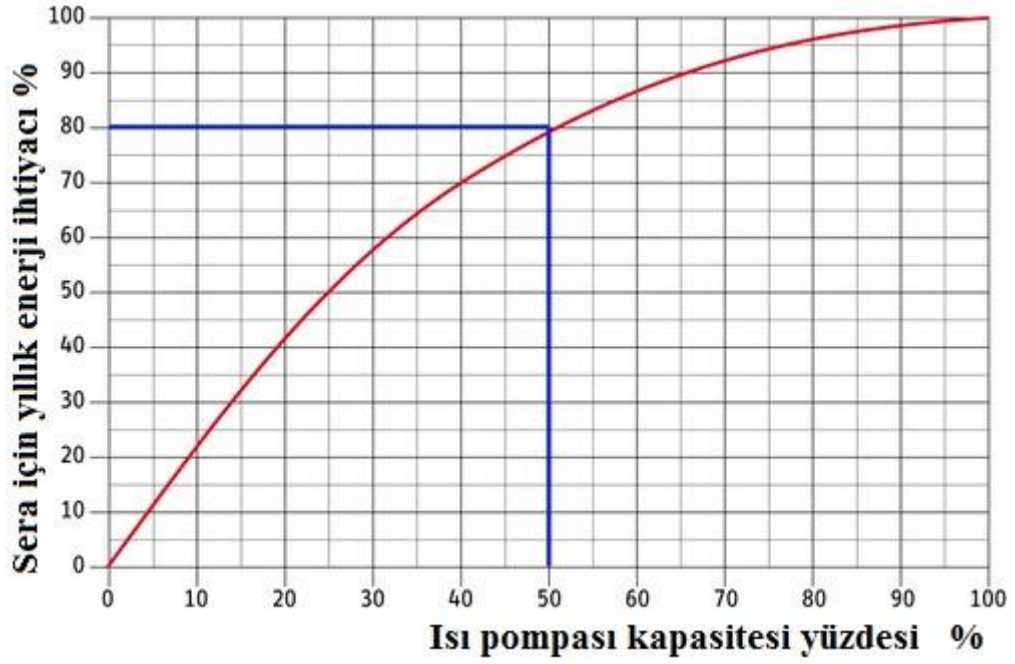
ISIMAS firmasından alınan fiyat teklifi Çizelge 5.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.20. Isı pompası ekipmanlarının fiyatlandırılması (Isımas A.Ş.).

TOPRAK KAYNAKLI ISITMA TESİSATI FİYAT TEKLİFİ (85 kW için)						
No	Yapılan işin cinsi	Marka	MİK.	Birim	Birim fiyatı USD	Tutarı USD
1	Isı Pompası					
	NKW90	Water Furnance	1		24.276	24.276
2	PE BORU VE EK MALZEME					
	PE boru 75mm (SDR17 PN10)	Pakplast	150	metre	7,33	1.099,3
	PE boru 63mm(SDR17 PN10)	Pakplast	200	metre	5,24	1.047,76
	PE boru 32mm(SDR11 PN16)	Pakplast	4800	metre	1,94	9.312
	PE EF. 32-63 Redüksiyon	NTG	26	Adet	49,42	1.284,98
	PE EF. TE 63 mm	NTG	18	Adet	90,61	1.630,94
	PE EF.dirsek 63 mm	NTG	10	Adet	44,95	449,51
	PE EF 63 mm manşon	NTG	14	Adet	19,30	270,18
	PE EF 32 mm manşon	NTG	16	Adet	11,77	188,28
	PE İnnegal 63 mm-75mm Redüksiyon	NTG	10	Grup	20,48	204,75
	PE EF TE 75 mm	NTG	6	Adet	.146,86	881,13
	PE EF dirsek 75 mm	NTG	8	Adet	90,35	722,77
	PE Ek (geçiş e.t.c)	NTG	5%	Adet	12.429,24	621,46
3	SİYAH BORU					
	1/2"	Borusan	6	Metre	2,58	15,48
	1"	Borusan	6	Metre	5,08	30,50
	1 1/2"	Borusan	6	Metre	7,51	45,06
	2"	Borusan	18	Metre	10,80	194,45
	Tesisat ek malzemeleri	Borusan	50%	Metre	285,48	142,74
4	KAUÇUK BORU İZOLASYONU					
	1/2" - 9 mm	Armaflex,Ode	8	Metre	8,30	66,37
	1" - 9 mm	Armaflex,Ode	8	Metre	8,62	68,97
	1 1/2" - 9 mm	Armaflex,Ode	8	Metre	8,94	71,50
	2" - 9 mm	Armaflex,Ode	20	Metre	9,39	187,82
	Levha izolasyon kendinden yapışkanlı (13mm)	Armaflex,Ode	3	Metre2	30,50	91,51
5	SİRKÜLASYON POMPALARI					
	Yük Tarafı	Grundfos,Std,Wilo	1	Adet	977,59	977,59
	Kaynak Tarafı	Grundfos,Std,Wilo	1	Adet	1.173,10	1.173,10
6	ISITMA HATTI OTOMASYONU ve ELEKTRİK İŞLERİ					
	Pano	Sauter	1	Adet	1.396,55	1.396,55
	Kablolama	İmalat	1	Grup	434,48	434,48

No	Yapılan işin cinsi	Marka	MİK.	Birim	Birim fiyatı USD	Tutarı USD
7	VANA					
	1/2"(küresel)	Duyar	2	Adet	13,57	27,14
	1"(küresel)	Duyar	2	Adet	29,56	59,12
	1 1/2"(küresel)	Duyar	2	Adet	74,30	148,61
	2"(kelebek)	Klinger	6	Adet	53,79	322,76
8	GENLEŞME TANKI					
	80 lt-10bar	Wilo	1	Adet	347,59	347,59
9	PİSLİK TUTUCU					
	2" pirinç dişli	Klinger	2	Adet	72,41	144,83
10	ÇEKVALF					
	2" Pirinç çalpara dişli	Klinger	2	Adet	64,83	129,66
11	TERMOMETRE	Pakkens	4	Adet	20,69	82,76
12	MANOMETRE	Pakkens	4	Adet	10,34	41,38
13	HAVA ATMA PURJÖRÜ					
	1/2"	ECA	2	Adet	18,70	37,41
14	FLOW SWITCH					
	1"	Ayvaz	2	Adet	128,28	256,55
15	METHANOL	Petrol Kimya A.Ş.	360	lt	4,00	1.438,20
16	DENGE KABI					
	90.000 kcal/h	İmalat	1	Adet	517,24	517,24
17	ÖZEL DOLGU MALZEMESİ Torba- (% 10)	ISIMAS	28,8	ton	109,49	3.153,40
TOPLAM (KDV HARIÇ)					52.930,26 USD	

Hesaplanan ısı pompası kurulum maliyeti monovalent işletim türüne göre belirlenmiştir. Yaklaşık 53.000 \$ değerinde olan yatırım maliyeti oldukça yüksektir. Akademik araştırmalar ve deneyler neticesinde bivalent işletim türünün kurulum giderleri açısından daha ekonomik olduğu belirlenmiştir. Isıtılacak mahal için hesaplanan anlık ısı yükü değerinde bir ısı pompası seçimi yerine, bu ısı pompasının yarı gücüne sahip bir sistem kurulduğunda, senelik ısıtma ihtiyacının %80-85 oranında karşılandığı tespit edilmiştir (Stiebel, 2012).



Şekil 5.6. Bivalent sistem için ısı pompası seçimi (Stiebel, 2012).

Anlık ısı kaybı 83 kW olarak belirlenen sera için yaklaşık olarak 40 kW gücünde seçilecek bir ısı pompası yıllık enerji ihtiyacını %80 oranında karşılayabilmektedir. Özellikle çok soğuk günlerde ısı pompasının serayı ısıtmada yetersiz kaldığı zamanlar için ek bir ısıtıcı ile enerji ihtiyacı giderilebilmektedir. 40kW'lık bir ısı pompası ve ilave ısıtıcılar için ikinci bir teklif ISIMAS firmasından alınmıştır.

TOPRAK KAYNAKLI ISITMA TESİSATI FİYAT TEKLİFİ						
(40 kW ısı pompası + 40kW ilave ısıtıcı için)						
No	Yapılan işin cinsi	Marka	MİK.	Birim	Birim fiyatı USD	Tutarı USD
1	Isı Pompası					
	EKW 40kW	Water Furnance	1		11.357,9	11.357,9
2	PE BORU VE EK MALZEME					
	PE boru 50mm (SDR11 PN16)	Pakplast	100	metre	7,33	733
	PE boru 32mm(SDR11 PN16)	Pakplast	1200	metre	1,94	4656
	PE.EF.32-50 Redüksiyon	NTG	13	Adet	49,42	642,49
	PE EF. TE 63 mm	NTG	9	Adet	90,61	815,47
	PE EF.dirsek 63 mm	NTG	10	Adet	44,95	449,51
	PE EF 63 mm manşon	NTG	7	Adet	19,30	135,09
	PE EF 32 mm manşon	NTG	8	Adet	11,77	94,16
	PE Ek (geçis e.t.c)	NTG	5%	Adet	12.429,24	621,46
3	SIYAH BORU					
	1/2"	Borusan	6	Metre	2,58	15,48
	1"	Borusan	6	Metre	5,08	30,50
	1 1/2"	Borusan	6	Metre	7,51	45,06
	2"	Borusan	18	Metre	10,80	194,45
	Tesisat ek malzemeleri	Borusan	50%	Metre	285,48	142,74
4	KAUCUK BORU İZOLASYONU					
	1/2" - 9 mm	Armaflex,Ode	8	Metre	8,30	66,37
	1" - 9 mm	Armaflex,Ode	8	Metre	8,62	68,97
	1 1/2" - 9 mm	Armaflex,Ode	8	Metre	8,94	71,50
	2" - 9 mm	Armaflex,Ode	20	Metre	9,39	187,82
	Levha izolasyon kendinden yapışkanlı (13mm)	Armaflex,Ode	3	Metre2	30,50	91,51
5	SİRKÜLASYON POMPALARI					
	Yük Tarafı	Grundfos,Std,Wilo	1	Adet	977,59	977,59
	Kaynak Tarafı	Grundfos,Std,Wilo	1	Adet	1.173,10	1.173,10
6	ISITMA HATTI OTOMASYONU ve ELEKTRİK İŞLERİ					
	Pano	Sauter	1	Adet	1.396,55	1.396,55
	Kablolama	İmalat	1	Grup	434,48	434,48
7	VANA					
	1/2"(küresel)	Duyar	2	Adet	13,57	27,14
	1"(küresel)	Duyar	2	Adet	29,56	59,12
	1 1/2"(küresel)	Duyar	2	Adet	74,30	148,61
	2"(kelebek)	Klinger	6	Adet	53,79	322,76
8	GENLEŞME TANKI					
	40 lt-10bar	Wilo	1	Adet	173,795	173,795
9	PİSLİK TUTUCU					
	2" pirinç dişli	Klinger	2	Adet	72,41	144,83
10	CEKVALF					
	2" Pirinç çalpara dişli	Klinger	2	Adet	64,83	129,66
11	TERMOMETRE	Pakkens	4	Adet	20,69	82,76
12	MANOMETRE	Pakkens	4	Adet	10,34	41,38
13	HAVA ATMA PURJÖRÜ					
	1/2"	ECA	2	Adet	18,70	37,41
14	FLOW SWITCH					
	1"	Ayvaz	2	Adet	128,28	256,55
15	METHANOL	Petrol Kimya A.Ş..	360	lt	4,00	1.438,20
16	DENGE KABI					
	40.000 kcal/h	İmalat	1	Adet	258,62	258,62
17	İLAVE ISITICI					
	20kW	İmalat	2	Adet	517,24	1.034,48
18	ÖZEL DOLGU MALZEMESİ	ISIMAS	14	ton	109,49	1.576,7
	Torba- (%10)					
TOPLAM (KDV HARİÇ)					29.471,06 USD	

Monovalent ve bivalent işletim türlerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen sonuçlar gösteriyor ki, sera için bivalent sistem seçildiğinde ilk kurulum maliyetinde yaklaşık 23.000\$'lık bir tasarruf sağlanmaktadır. Monovalent olarak seçilen 83 kW gücündeki ısı pompası ısıtma ihtiyacının tümünü kendisi üstlenirken, bivalent sistemde ise ısı pompasının yetersiz kaldığı çok soğuk günlerde ek ısıtıcılar devreye girmektedir.

5.8. Derece-Gün ve Isıtma Derece-Saat Verilerinin Karşılaştırılması

Sera için yapılan senelik ısı kaybı Derece-Saat yöntemine göre Bölüm 5.4'de, Derece-Saat yöntemine göre ise Bölüm 5.6'da hesaplanmıştır. Her iki ısı kaybından Bölüm 5.5'de hesaplanan senelik güneş enerjisi kazancı çıkarılarak ve KKO ile Kazanç Kullanım Faktörleri de göz önünde tutularak bulunan değerlerin karşılaştırılması Çizelge 5.21.'de gösterilmiştir. İşletim türü olarak monovalent seçilmiştir ve sonuçlar 85 kW'lık ısı pompası ile ısıtma düşünülerek hesaplanmıştır.

Çizelge 5.21. Isıtma derece-gün ve ısıtma derece-saat değerleri.

SENELİK ISI KAZANCI	SENELİK ISI KAYBI	
GÜNEŞ ENERJİSİ	DERECE-GÜN	DERECE-SAAT
93.436 kWh	243.949,4 kWh	195.166 kWh

	DERECE-GÜN	DERECE-SAAT
SENELİK NET ISI KAYBI	150.513 kWh	101.730 kWh

Senelik ortalama ısı pompası ısı tesir katsayısı 3,75 olarak alındığında Derece-Gün ve Derece-Saat yöntemleri için tahmini elektrik faturası hesaplaması sabit bir eşitlikle yapılabilir. KDV (Katma Değer Vergisi), elektrik tüketim vergisi, dağıtım bedeli, sistem kullanım bedeli, sayaç okuma bedeli, kaçak kullanım bedeli, enerji fonu, TRT payı gibi çeşitli tutarlar hesaplamaya dahil edilmezse, 1 kW elektriğin birim fiyatı 0,2482 TL yani 24 kuruştur. 2014 yılı Ocak ayı itibariyle çeşitli vergiler dahil edildiğinde 1 kWh elektrik yaklaşık 0,35 TL yani 35 kuruştur. Kompresörün senelik tükettiği enerjinin elektrik birim fiyatıyla çarpılması senelik elektrik faturasını vermektedir.

Çizelge 5.22. Sera için senelik ve aylık fatura değerleri.

	DERECE-GÜN	DERECE-SAAT
SENELİK NET ISI KAYBI	150.513 kWh	101.730 kWh
SENELİK FATURA	14.048 TL	9.495 TL
AYLIK FATURA	1.170 TL	790 TL

Derece-Saat yöntemi Derece-Saat'e göre daha hassas sonuçlar vermektedir. Isı pompası seçimi yapılırken sera ısıtma yükü için dış sıcaklık -3 °C alınmıştır. Bu değer altında görülen sıcaklıklarda ısı pompası yetersiz kalacaktır. Çok soğuk günlerde sera ısıtması için cihaz kapasitesini zorlamamak adına ek bir ısıtıcı sistemi düşünülmelidir.

(-6) °C, (-9) °C ve (-12) °C gibi sıcaklıkların görüldüğü çok soğuk günlerde ısı pompasının kapasitesini zorlaması teknik sorunlara sebep olacaktır. Isıtma Derece-Saat değerleri tekrar gözden geçirilip, çok soğuk günlerdeki ısıtmanın ilave bir cihazla sağlanması düşünüldüğünde, ısı pompası için beklenen elektrik faturası Çizelge 5.23.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.23. Çok soğuk günler katılmadan derece-saat ve derece-gün değerleri

	DERECE-GÜN	DERECE-SAAT
SENELİK NET ISI KAYBI	150.513 kWh	88.066 kWh
SENELİK FATURA	14.048 TL	8.220 TL
AYLIK FATURA	1.170 TL	685 TL

5.9. Isı Pompasının Diğer Isıtma Sistemleri İle Karşılaştırılması

Isıtma Derece - Saat metoduna göre seranın yıllık enerji ihtiyacı:

$$Q_{\text{yillik}} = 375.600.719 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{yillik}} = 89.706.405 \text{ kcal} \quad (1 \text{ kJ} = 0,24 \text{ kcal})$$

Yakıt olarak motorin kullanıldığında:

$$\text{Yıllık fiyat artışı} = \%23$$

$$\text{Motorin için alt ısıl değer} = 10.256 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Motorin için verim} = \%84$$

Motorin için birim fiyat = 4,38 TL

Motorin için yıllık maliyet = $(89.706.405 / 10.256 \times 0,84) \times 4,38$
= 32.180 TL

Motorin için aylık maliyet = 2.680 TL

Yakıt olarak LPG kullanıldığında:

Yıllık fiyat artışı = %10

LPG için alt ısı değer = 11.100 kcal/kg

LPG için verim = %92

LPG için birim fiyat = 3,18 TL/kg

LPG için yıllık maliyet = $(89.706.405 / 11.100 \times 0,92) \times 3,18$
= 23.645 TL

LPG için aylık maliyet = 1.970 TL

Yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında:

Yıllık fiyat artışı = %9

Doğal gaz için alt ısı değer = 8.250 kcal/m³

Doğal gaz için verim = %93

Doğal gaz için birim fiyat = 1,076 TL/m³

Doğal gaz için yıllık maliyet = $(89.706.405 / 8250 \times 0,93) \times 1,076$
= 12.580 TL

Doğal gaz için aylık maliyet = 1.050 TL

Toprak Kaynaklı Isı Pompası kullanıldığında:

Elektrik birim fiyatı = 0,35 TL/kWh

Elektriğin yıllık fiyat artışı = % 12

Senelik ortalama ITK = 3,75

$$\text{Sera için senelik ısı kaybı} = 104.417 \text{ kWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Isı pompası için yıllık fatura} &= (104.417 / 3,75) \times 0,35 \\ &= 9.756 \text{ TL} \end{aligned}$$

$$\text{Isı pompası için aylık fatura} = 812 \text{ TL}$$

Isıtma sistemlerinin fatura karşılaştırması ve işletme giderleri Çizelge 5.24.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.24. Farklı ısıtma sistemlerinin aylık ve yıllık fatura değerleri.

ISITMA SİSTEMİ	AYLIK	YILLIK
MOTORİN	2.680 TL	32.180 TL
LPG	1.970 TL	23.645 TL
DOĞAL GAZ	1.050 TL	12.580 TL
ISI POMPASI	812 TL	9.756 TL

	Yıllık % 11.5 Fiyat Artışı	Yıllık % 9-11 Fiyat Artışı	Yıllık %10 Fiyat Artışı	Yıllık %23 Fiyat Artışı
	TKIP	DOĞAL GAZ	LPG KAZAN	MOTORİN
1. İşletme yılı	9.800 TL	12.600 TL	23.700 TL	32.000 TL
2. İşletme yılı	10.900 TL	14.000 TL	26.400 TL	36.000 TL
Genel Toplam	20.700 TL	26.600 TL	50.000 TL	68.000 TL

Hesaplamalar neticesinde toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtma yapıldığında doğal gaza göre yaklaşık olarak %23, LPG'ye göre %58, motorine göre ise %70 daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır.

5.10. Diğer İller İçin Sera Fizibilitesi

Seranın özgül ısı kaybı bilinmesi sebebiyle Derece-Saat verileri yardımıyla bazı iller için ısı kaybı hesabı yapmak mümkün olmaktadır. Sera özellikleri için Bölüm 5.1'deki değerler kullanılmıştır. Sera ısı kaybına etki eden tüm faktörler ve güneş enerji kazançları göz önüne alınarak bulunan ısı kaybı miktarları Çizelge 5.25.'de gösterilmiştir. Yıllık ortalama 3,75 ısıtma tesir katsayısı ile çalışan toprak kaynaklı bir ısı pompası sistemi düşünüldüğünde, Derece-Saat bilgisiyle senelik ve aylık fatura değerleri tahmini yapılabilir. Isıtma Derece-Saat verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiş olup son 14 yıllık değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.25. Bazı iller için sera fizibiletisi.

İLLER	ISITMA			
	DERECE SAAT [°C – saat]	SENELİK ISI KAYBI (kWh)	SENELİK FATURA (TL)	AYLIK FATURA (TL)
ANKARA	64248	140157	13.081	1.090
BURSA	46080	74101	6.916	576
DİYARBAKIR	51408	93473	8.724	727
ESKİŞEHİR	73176	172617	16.110	1.342
GAZİANTEP	48216	81868	7.641	636
İSTANBUL	44760	69302	6.468	539
KAYSERİ	74712	178202	16.632	1.386
KONYA	68064	154031	14.376	1.198
MALATYA	59064	121309	11.322	943
MUĞLA	45096	70524	6.582	548
RİZE	43680	65376	6.101	508
SAMSUN	43824	65899	6.150	512
ŞANLIURFA	36072	37714	3.520	293
TEKİRDAĞ	48768	83874	7.828	652
TRABZON	41376	56999	5.319	443
VAN	83424	209877	19.588	1.632

6. SONUÇ

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri çevreye zarar vermemesi ve diğer ısıtma sistemlerine nazaran daha ekonomik olması sebebiyle gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada seraların ısıtma ihtiyacını karşılayabilmek için toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin uygulanabilirliği üzerinde çalışılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan son 15 yıllık dış hava sıcaklıkları verileri ile Derece-Saat Metoduna göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu yaklaşımın, TS 825 Isı Yalıtım Kurallarına göre belirlenen Derece-Gün sıcaklık değerlerine nazaran çok daha hassas sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır. Derece-Saat Yöntemi ile herhangi bir sıcaklığın sene boyunca kaç saat görüldüğü bilgisine ulaşılabilir. Bu sayede uzun zaman dilimleri için binaların ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçları tahminleri yapılabilir.

Kütahya ili 3. Derece-Gün Bölgesinde bulunmaktadır. Kurulması ön görülen çift katlı polietilen örtü malzemeli 360 m²'lik bir sera için yaklaşık olarak 83 kW'lık bir ısıtma yükü bulunmuştur. Monovalent ısıtma sistemi seçildiğinde, bu güçte bir ısı pompası tüm ısıtma yükünü tek başına üstleneceği için öncelikle kurulum maliyetini artıracaktır. Bivalent işletim türü seçimi tercih edildiğinde ise ortalama % 40 oranında maliyet tasarrufu sağlandığı tespit edilmiştir. Sera için yaklaşık olarak 40 kW gücünde seçilecek bir ısı pompasıyla yıllık enerji ihtiyacının %80' ni karşılanabilmektedir. Özellikle çok soğuk günlerde ısı pompasının serayı ısıtmada yetersiz kaldığı zamanlar için ek bir ısıtıcı ile enerji ihtiyacı giderilebilmektedir.

Yetiştirilecek ürün kalitesinden ödün vermeden seralarda en uygun ısıtma ve havalandırma şartlarını sağlamak mühendisliğin önceliklerindedir. Bu yüzden, sera örtü malzemesi özellikleri, güneş enerjisi kazanımları ve dış hava sıcaklıkları gibi etkenler çok iyi analiz edilmelidir. Isı yükü değerleri tek-çift katlı cam ve diğer örtü malzemeleri için hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra değişik tip örtü malzemelerinin serada yetiştirilecek ürünlerin verimi üzerinde farklı etkileri olduğu sonucuna varılmıştır. Camın ışık geçirgenliği tipine bağlı olarak % 71-92 arasındadır. Düz cam için % 91, mat cam için % 87 olduğunu tespit edilmiştir. Tek veya çift katlı PE ise çabuk kirlendiği için, zamanla geçirebildiği ışık miktarı cama göre % 15 oranında azalmaktadır. Böylece kış şartlarında, mesela domates yetiştiricisi için yaklaşık % 10-15 oranında ürün kaybına sebep olmaktadır. Öte yandan, PE örtü malzemesinin tesis giderleri cama nazaran daha az ve uygulanması kolaydır. Sera iskeletini kolay kaplayabilmektedir. Cam örtünün kurulum maliyeti ve işçiliğinin diğer malzemelere göre fazla olması dezavantajdır. Ayrıca şiddetli bir dolu yağışında kırılmaya meyyalıdır.

Maliyet gideri açısından çift katlı PE malzemesi cama göre % 25 oranında daha ucuzdur ve sera için yaklaşık olarak % 35-40 oranında daha az ısı kaybına sebep olmaktadır. Isıtma tipi olarak toprak kaynaklı ısı pompası seçimi ise diğer sistemlere göre daha ekonomiktir. Sene içinde ortalama 3,75 ITK ile çalışan bir toprak kaynaklı ısı pompası, doğalgazla ısıtmaya göre senelik % 20-25 oranında faturadan tasarruf sağlamaktadır. Isı tesir katsayısı daha yüksek bir cihazla yıllık enerji ihtiyacı giderleri daha da azalmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Acar, Y., (1998), Simulation of vapour compression refrigeration cycle for a house hold refrigerator. M. Sc. Thesis in mechanical Engineering, METU, Ankara, 140.

Akbıyık, E., (1999), Tekstil Endüstrisinde Atık Sularla Kayıp Olan Enerjinin Isı Pompaları Yardımıyla Geri Kazanımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aktaş, Y., (2008), R-134a soğutucu akışkanlı ısı pompası sisteminin süt pastörizasyonunda kullanımının deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Alkan, Z., (1977), Sera Planlama ve İnşa Tekniği, Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi, Denizli Ön Lisans Okulu, Denizli, s.1-198.

Anonymous, (1992), Heating, Ventilating ve Cooling Greenhouses, American Society Agricultural Engineers Standarts, 500- 505, USA.

Arslan, O., (2008), Kütahya-Simav Jeotermal Kaynaklarının Hassas Değerlendirmesi: Entegre Sistem Tasarımı ve Enerji-Ekserji Analizleri, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Ataman, H., (1985), Toprak Kaynaklı Bir Isı Pompası Tesisinin Tasarımı ve optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Ayhan, T., Çomaklı, Ö. ve Kaygusuz, K., (1992), Experimental investigation of the exergetic efficiency of solar assisted ve energy storage heat pump systems. Energy Conves. Mgmt. 33 (3). 165–173.

Babacan, Z., (2008), Muğla Üniversitesi Kötekli Yerleşkesi'nde toprak kaynaklı ısı pompası kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Bardak, G., (2011), Yer altı suyu kaynaklı ısı pompası sistemleri için ekserji analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta

Başçetinçelik, A., Öztürk, H., (1996), Seralarda Isıtma, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Temav Yayınları, Yay. No: 1, 213s, Adana.

Bayer, P., (2012), Greenhouse gas emission savings of ground-source heat pump systems in Europe, Renewable ve Sustainable Energy Reviews, C.16, Sayı 2.

Benli, H., (2006), Isı Depolamalı Cam Seralarda Sıcaklık Değişiminin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.

Bernier, M.A., (2001), Ground-coupled heat pump system simulation, ASHRAE Transactions, 107, No.1, 605-16.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Bi, Y., Chen, L., ve Wu, C., (2002), Ground heat exchanger temperature distribution analysis ve experimental verification, *Applied Thermal Engineering*, 22, 2, 183-89.
- Bi, Y., Wang, X., Liu, Y., Chen, Y., (2009), Comprehensive exergy analysis of a ground-source heat pump system for both building heating ve cooling systems, *Applied Energy*, C.86, Sayı 12.
- Blum, P., Campillo, G., Münch, W., Kölbl, T., (2010), Carbon dioxide savings of ground source heat pump systems, *Renewable Energy*, C. 35, Sayı 1, Germany.
- Boissavy,C., (1997), Ground Source Heat Pump Systems, Chapter 14, Makedonia.
- Boran, K., (1993), Isı pompasının sudan-havaya, havadan-havaya, sudan-suya deneysel olarak incelenmesi ve optimizasyonu, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 141s, Kayseri.
- Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz, T., Aktacir, M. A., (2002), GAP bölgesi için detaylı iklim verileri, Harran Üniversitesi GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı,183-191, Şanlıurfa.
- Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz, T., Aktacir, M. A., (2003), “Binalarda Enerji Tüketiminin Sıcaklık Aralığı (BİN) Yöntemi İle Belirlenmesi”, Makine Mühendisleri Odası Gaziantep Şubesi, Gaziantep.
- Bulut, H., Büyükalaca, I., Yılmaz, T., (2007), Akdeniz bölgesi için ısıtma ve soğutma derecesaat değerlerinin analizi, II. Ulusal İklimlendirme Kongresi Bildiriler Kitabı, 111-122, Antalya.
- Büyükalaca, O., , H.,Yılmaz, T., (2000), Türkiye'nin bazı illeri için derece-gün değerleri”, 12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1, 107-112, Sakarya.
- Canada Plan Service, (2010), Greenhouse Heating Requirements, M-6701.
- Catan, M. A., ve Baxter, V. D., (1985), An Optimized Ground-Coupled Heat Pump System Design for Northern Climate Applications, *ASHRAE Transactions*, Kısım 2b, C.91, sayfa:1185-1203.
- Chiarelli, A., (2012), Thermophysical Properties of Fluids, R134a.
- Coşkun, S., (1993), Kurutma işlemlerinde ısı pompası ile enerji tasarrufu sağlanmasının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa. 110 s.
- Coşman, S., (2013), Fore kazıklara entegre edilen ısı pompası uygulaması ve ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Couvillion, R. J., (1985), Fiel ve Laboratory Simulation of Earth-Coupled Heat Pump Coils, *ASHRAE Transaction*, s.91.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Çolak, D., (2012), Toprak kaynaklı ısı pompasının performans analizi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Çomaklı, Ö., Çelik, C. ve Erdoğan, S., (1999), Determination of Optimum Working Conditions in Heat Pumps Using Nonazeotropic Refrigerant Mixtures. *Energy Conversion ve Management*, 40, 193-203.

De Swardt, C. A. ve Meyer J. P., (2001), A performance comparison between an air source ve a ground-source reversible heat pump, *International Journal of Energy Research*, 25, 10, 899-910.

Demir, H., (2005), “Toprak Kaynaklı Isı Pompası ve Toprak Isı Değiştiricilerini Optimizasyonu ve Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Den Braven, K.R., (1998), Antifreeze acceptability for ground-coupled heat pumps ground loops in the United States, *ASHRAE Transactions*, 1b, No. 104, 938-43.

Diao, N., (2004), Heat transfer in ground heat exchangers with groundwater advection, *International Journal of Thermal Sciences*, 43, 12, 1203-11.

Dikici, A., Akbulut, A., (2005), Güneş ve toprak enerjisi kaynaklı ısı pompasının enerji, ekserji ve ekonomi analizi, 15. ulusal ısı bilimi ve tekniği kongresi, 7-9 Eylül 2005.

Diz, T., (2001), Minimum enerjili bina tasarımı (Toprak enerjisiyle), Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Doherty, P. S., Al-Huthaili, S., Riffat, S. B., ve Abodahab N., (2004), Ground source heat pump description ve preliminary results of the Eco House system, *Applied Thermal Engineering*, 24, 17-18, 2627-41.

Dumlu, S., (2002), Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Ekonomik Analizi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.

Dursun, B., (2006), Soğuk iklim koşullarında ısı pompalarının kullanımı. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 199s, Erzurum.

Ekinci, D., (2007), Erzurum’da Mahal Isıtma Amaçlı Kullanılan Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Emekli, Y., Büyüктаş, K., (2006), Sera Örtü Malzemelerinin Mekanik Özellikleri, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya.

Ertekin, C., Yıldız, O., (1994), Sera Isıtılmasında Gerekli Olan Enerji Miktarının Bir Bilgisayar Programı ile Hesaplanması, Tarımsal Mekanizasyon 15.Ulusal Kongresi Bildirileri, 20–22 Eylül 1994, 647–659, Antalya.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Eskilson, P., (1987), Thermal analysis of heat extraction borehole, Doctoral Thesis, Department of Mathematical Physics, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.

Genceli, O., (2002), Soğutma tesisatı, TMMOB. 295-2.

Genç, Ö., (2008), Balıkesir iklim koşullarına uygun sera modellerinin oluşturulması ve ısıtma soğutma yükünün belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Günhan, T., (1998), Seraların düşük sıcaklıktaki akışkanlarla ısıtılma teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Hatten, M.J., (1992), Groundwater heat pumping, ASHRAE Transactions, 2, No. 98, 1031-37.

Hepbaşlı, A., (1985), “Isı Pompası Sistemleri Ve Konut Isıtılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

<http://www.stiebel-eltron.co.uk>

http://wikipedia.org/wiki/Isı_pompası

<http://energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>.

Hughes,P.J., Looms,L., O’neil, R.A. ve Rizzuto, J., (1985), Results of the Residential Earth–coupled Heat Pump Demonsration in Upstate New York, ASHRAE Transactions, part 2b, Cilt 91, Sayfa:1307-1325.

İlken, Z., Özerdem, B., Gökçen, G., (2004) , Jeotermal Enerji Doğrudan Kullanımı ve Tasarım El Kitabı, Geothermal Direct-Use Engineering ve Design Guidebook (Edited by Lund, J.W., Lienau, P.J., Lunis, B.C.)’dan çeviri, MMO Yayınları, Yayın No: 2004/360, İzmir, s.334.

İnallı, M. ve Esen, H., (2004), Experimental thermal performance evaluation of a horizontal ground-source heat pump system, Applied Thermal Engineering, 24, 14-15, 2219-32.

Jacovides, C.P. ve Mihalakakou G., (1995), An underground pipe system as an energy source for cooling/heating purposes, Renewable Energy, 6, 8, 893-900.

Jiang J, Yu, H., (2004), Present Situation ve Development Perspectives of Protected Horticulture in China, International Workshop on “La Produzione in Serra Dopo L’era del Bromuro di Metile”. 1–3 Nisan, 233- 240, Catania/Italy.

Kangas, M. T., (1996), Thermohydraulic analysis of ground as a heat source for heat pumps using vertical pipes, Transactions of the ASME, Journal of Energy Resources Technology, C. 118, 300-305.

Kavanaugh, S., (1989), Design considerations for ground ve water source heat pumps in Southern Climates, ASHRAE Transactions, 1, No. 95, 1139-49.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Kavanaugh, S., (1998), Development of design tools for ground-source heat pump piping, ASHRAE Transactions, 1b, No. 104, 1932-37.
- Kavanaugh, S.P., (1992), Field test of a vertical ground coupled heat pumps in the Alabama, ASHRAE Transactions, 2, No. 98, 607-16.
- Kavanaugh, S.P., ve McInerny, S.A., (2001), Energy use of pumping options for ground-source heat pumps, ASHRAE Transactions, 107, No. 1, 589-99.
- Kıncay, O. ve Temir, G., (2002), Toprak kaynaklı ısı pompalı sistemlerin ekonomik incelenmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Mart-Nisan, s. 31-37.
- Koç, M.Ü., (2002), Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye’de Yaz ve Kış Klimasında Uygulama Alanlarının Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 148s, İstanbul.
- Kyriakis, N., Michopoulos, A. ve Pattas, K., (2005), On the maximum thermal load of ground heat exchangers, Energy ve Buildings, 38, 1, 25-29.
- Lam, J.C., ve Chan, W.W., (2003), Energy performance of air-to-water ve water-to-water heat pumps in hotel applications, Energy Conversion ve Management, 44,10, 1625-31.
- Lee, C., (2011), Effects of multiple ground layers on thermal response test analysis ve ground-source heat pump simulation, Applied Energy, C. 88, Sayı 12.
- Leong, W. H., Tarnawski, V. R. ve Aittomaki, A., (1998), Effect of soil type ve moisture content on ground heat pump performance, Int. J. Refrig., 21, 8, 595-606.
- Lim, K., Lee, S. ve Lee, C., (2007), An experimental study on the thermal performance of ground heat exchanger, Experimental Thermal ve Fluid Science, 31, 8, 985-90.
- Lund, J.W., (2003), The use of downhole heat exchangers, Geothermics, 32, 4-6, 535-43.
- Martin, S. D., (1990), A design ve economic sensitivity study of single-pipe horizontal ground source heat pump systems, ASHRAE Transactions, 1, No. 96, 634-42.
- MEGEP, (2007), Sera yapım tekniği, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Modül Kitapçığı, Ankara.
- Mei, V.C., (1990), Experimental study of direct-expansion ground coil heat exchangers, ASHRAE Transactions, 1, No. 96, 821-28.
- Meloy, B.R., (1992), Free cooling works for Cowlitz Country Hall of Justice, ASHRAE Transactions, 1, No. 98, 1023-30.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Michopoulos, A., Bozis, D., Kikidis, P., Papakostas, K. ve Kyriakis, N. A., (2007), Three-years operation experience of a ground source heat pump system in Northern Greece, *Energy ve Buildings*, 39, 3, 328-34.

Nagano, K., Katsura, T. ve Takeda, S., (2006), Development of a design ve performance prediction tool for the ground source heat pump system, *Applied Thermal Engineering*, 26, 14-15, 1578-92.

Nam, Y., Ooka, R., Hwang, S., (2008), Development of a numerical model to predict heat exchange rates for a ground-source heat pump system, *Energy ve Buildings*, C.,40, Sayı 12.

Niğdelioğlu, O., (2006), Toprak Kaynaklı Isı Pompası Dizaynı Ve Tekno-Ekonomik Performans Analizi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 119s, Kütahya.

Orkustofnun, I.F., (1998), Geothermal Direct Use Around the World, *Geothermal Bulletin*, Geothermal Resources Council, C.27, No:8, ss. 235-239.

Özgener, O., Hepbaşı, A. ve Özgener, L., (2007), A parametric study on the exergoeconomic assessment of a vertical ground-coupled (geothermal) heat pump system, *Building ve Environment*, 42, 3, 1503-09.

Öztürk, M., (2009), Farklı çevre koşullarının hava kaynaklı ısı pompasının performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Pahud, D., ve Matthey, B., (2001), Comparison of the thermal performance of double U pipe heat exchangers measured, *Energy ve Buildings*, 33, 5, 503-507.

Papadakis, G., Briassoulis, D., Mugnozsa, G. S., Vox, G., Feuilleley, P., Stoffers, J. A., (2000), Radiometric ve thermal properties of, ve testing methods for greenhouse covering materials, *J. Agric. Eng. Res.* 77, s.7-38.

Papakostas, K., Kyriakis, N., (2005) , Heating ve cooling degree-hours for Athens ve Thessaloniki, Greece, *Renewable Energy*, 30, 1873-1880.

Parent, M., (2001), A simplified tool for assessing the feasibility of ground-source heat pump projects, *ASHRAE Transactions*, 1, 120-129.

Partin,J.R., (1985), Sizing the CLosed-Loop earth Copuling for Heat Pumps, *ASHRAE Transactions*, C. 91, s.61-69.

Petit, P.J. ve Meyer, J.P., (1998), Economic potential of vertical ground-source heat pumps compared to air-source air conditioners in South Africa, *Energy J.*, 23, 2, 137-43.

Phetteplace, G. ve Sullivan, W., (1998), Performance of a hybrid ground-coupled heat pump system, *ASHRAE Transactions*, 1b, No. 104, 763-70.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Phetteplace, G., (2007), Geothermal Heat Pumps, *Journal of Energy Engineering*, 133, 1, 32-38.
- Piechowski, M., (1999), Heat ve mass transfer model of a ground heat exchanger: theoretical development, *International Journal of Energy Research*, 23, 571-88.
- Rafferty, K. D., (1992), Large tonnage groundwater heat pumps-experiences with two systems, *ASHRAE Transactions*, 1, No. 98, 587-92.
- Reay, D. ve Macmichal A., (1979), *Heat Pumps Designs ve Applications*, Pergamon Press, s.303, London.
- Rees, S.W., (2000), Ground heat transfer effects on the thermal performance of earth-contact structures, *Renewable ve Sustainable Energy Reviews*, 4, 3, 213-65.
- Roth, P., Georgiev, A., Busso, A., ve Barraza, E., (2004), First in situ determination of ground ve borehole thermal properties in Latin America, *Renewable Energy*, 29, 12, 1947-63.
- Safemazandarani, P., Edwards, J.A., Johnson, R.R., ve Mohammad-Zadeh, Y., (1990), Mathematical modeling of a direct expansion ground coupled heat pump system, *ASHRAE Transactions*, 1, No. 96, 583-89.
- Salah El-Din, M.M., (1999), On the heat flow into the ground, *Renewable Energy*, 18, 473 -90.
- Sanner, B., (2005), Thermal Response Test –Current Status ve World-Wide Application. *Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey April 24-29.*
- Sanner, B., Karytsas C., Mendrinis D., ve Rybach, L., (2003), Current status of ground source heat pumps ve underground thermal energy storage in Europe, *Geothermics*, 32, 4-6, 579-88.
- Sanner, B., Mands E. ve Sauer, M.K., (2003), Larger geothermal heat pump plants in the central region of Germany, *Geothermics*, 32, 4-6, 589-602.
- Savaş, A. F., (1996), Toprak kaynaklı ısı pompası ile konut ısıtılması, Yüksek Lisans Tezi, 100s.-117s., Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Sethi, V. P., (2009), On the selection of shape ve orientation of a greenhouse for composite climates, *International Journal of Sustainable Energy*, C. 28, ss.45-58.
- Seyrek, A., (2010), Mahal ısıtmasından toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Signorelli, S., Bassetti, S., Pahud, D. ve Kohl, T., (2007), Numerical evaluation of thermal response tests, *Geothermics*, 36, 2, 141-66.
- Sivasakthivel. T., ve Murugesan. K., (2014), A study on energy CO₂ saving potential of ground-source heat pump system in India, *Renewable ve Sustainable Energy Reviews*, C.32, s. 278-293.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Siyahhan, Z., (2009), Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası destekli ısıtma sistemlerinin termodinamik ve termoekonomik analizi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sodha, M. S., (2001), Simulation of dynamic heat transfer between ground ve underground structures, International Journal of Energy Research, 25, 15, 1391-94.

Sodha, M. S., (2001), Simulation of periodic heat transfer between ground ve underground structures, International Journal of Energy Research, 25, 8, 689-93.

Spilker, E. H., (1998), Ground coupled heat pump loop design usign thermal conductivity testing ve the effect of different backfill material on vertical bore length, ASHRAE Transactions, 1b, No. 104, 775-79.

Sulatsky, M. T., ve Vander Kamp, G., (1991), Ground-Source Heat Pumps in the Canadian Prairies, ASHRAE Transaction, C. 97, s.374-385.

Sulatsky, M. T. ve Van Der Kamp, G., (1991), Ground-source heat pumps in the Canadian Prairies, ASHRAE Transactions, 1, No. 97, 374-85.

Sutton, M. G., (2002), An algorithm for approximating the performance of vertical bore heat exchangers installed in a stratified geological regime, ASHRAE Transactions, 108, No. 2, 177-84.

Şahin, E., (2008), Sera Yapım Tekniği, Park ve Bahçeler Müdürlüğü, İstanbul.

Şendağ, M.T., (1992), Çok Amaçlı Isı Pompası İmalatı ve Uygulaması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Adana.

Tarnawski, V. R., Gori F., Wagner, ve Buchan, G. D., (2000), Modelling approaches to predicting thermal conductivity of soils at high temperatures, International Journal of Energy Research, 24, 5, 403-23.

Tekinel, O., Baytorun, A., (1990), Seracılıkta yeni teknolojiler. Türkiye 5. Seracılık Sempozyumu Bildirileri, 11–21, İzmir.

Tokgöz, B., (2006), Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması ve Sera Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Trillat-Berdal, V., Souyri, B. ve Fraisse, G., (2006), Experimental study of a ground coupled heat pump combined with thermal solar collectors, Energy ve Buildings, 38, 12, 1477- 84.

Tunçel, E., (2011), Bolu ve çevresi özelinde toprak kaynaklı ısı pompasının sayısal incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Tülüçü, K., (2003), Özel Bitkilerin Sulanması Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayınları Ders Notları. Baskı No:1, Adana.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Viessmann, (2009), Isı pompaları, Mesleki yayınlar.

Yağcıoğlu, A., (1999), Sera mekanizasyonu, E.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları Ders Notları: 59/1, Bornova/İzmir.

Yamankaradeniz N., (2007) , Tekstil sanayinde atık ısıdan enerji tasarrufunda klasik sistemlerle ısı pompası sistemlerinin karşılaştırılması, Yüksek lisans tezi U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 77s.

Yamankaradeniz, B., (2011), Isı pompası kullanılarak kurutma işlemlerinde enerji tasarrufunun incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Yamankaradeniz, R. Horuz, İ. Kaynaklı, Ö. Coşkun, S. ve Yamankaradeniz, N., (2008), Soğutma tekniği ve uygulamaları, Vipaş, BURSA, 608s.

Yavuzturk, C., (2001), Field validation of a short time step model for vertical groundloop heat exchangers, ASHRAE Transactions, 107, No. 1, 617-25.

Yılmaz, T. ve Aydın, K., (1985), Isı pompalarının teorik modellemesi. Isı Bilimi ve Tekniği 5. Ulusal Kongresi, 18-22 Eylül, Bildiri Kitabı, 1, 329–340.

Yüksel, A., (2000), Sera yapım tekniği, Hasad Yayıncılık Ltd. Sti., İstanbul.

Yüksel, A.N., (1989), Sera planlaması ve yapımı, Türkiye Zirai Donatım Kurumu Mesleki Yayınları, Yayın No:51, Ankara.

Yüksel, T., (2011), Biyogaz, güneş ve toprak enerjisi kaynaklı sera ısıtmasının araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Zeng, H.Y., Diao, N.R., ve Fang, Z.H., (2002), A finite line-source model for boreholes in ground heat exchangers, Heat Transfer, 31,7, 558–67.

ÖZGEÇMİŞ

AD SOYAD : İLKER İNAN
UYRUK : T.C
DOĞUM TARİHİ : 16.05.1986
DOĞUM YERİ : ÇORLU

DİPLOMA

COMPUTING AND SYSTEMS DEVELOPMENT (Full Scholarship) 2014-
BRADFORD COLLEGE (İNGİLTERE)

COMPUTING AND SYSTEMS DEVELOPMENT (%100 Burslu) 2013
İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ

ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM, İLETİM VE DAĞITIMI 2012-
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ AÖF ÖNLİSANS

MSc IN MECHANICAL ENGINEERING (Erasmus) 2012
CANTABRIA UNIVERSITY (İSPANYA)

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ 2010
DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ

YABANCI DİL

- İNGİLİZCE
- İSPANYOLCA
- FRANSIZCA

SERTİFİKA

- İş Sağlığı ve Güvenliği C Sınıfı Uzmanlığı 2013
- Marmara Üniversitesi Fransızca Öğretmenliği Hazırlık Sınıfı 2013
Dil Yeterliliği B1+
- Cantabria Üniversitesi İspanyolca Kursu 3. Kur 2012