

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**JEOTERMAL ISI POMPASIYLA ISITILAN BİR SERANIN TERMOEKONOMİK
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nilhan Betül YUĞAÇ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**JEOTERMAL ISI POMPASIYLA ISITILAN BİR SERANIN TERMOEKONOMİK
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nilhan Betül YUĞAÇ
(161080103)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yusuf Ali KARA
Eş Danışman: Doç. Dr. Mehmet ÖZGÜR**

TEMMUZ 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 161080103 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Nilhan Betül YUĞAÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "JEOTERMAL ISI POMPASIYLA ISITILAN BİR SERANIN TERMOEKONOMİK ANALİZİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Eş Danışman : **Doç.Dr. Mehmet ÖZGÜR**
Uludağ Üniversitesi

Savunma Tarihi : Temmuz 2019

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

İNTİHAL BEYANI

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

Öğrencinin Adı Soyadı: Nilhan Betül YUĞAÇ

İmzası:

X X X X X



Aileme

ÖNSÖZ

Çalışmanın her aşamasında bana destek olan, elinden gelen yardımları benden esirgemeyen, lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca gerek derslerinde gerekse tez aşamasında yol gösteren Sayın Hocam Prof. Dr. Yusuf Ali Kara'ya ve tez dönemi boyunca yanımda olup her konuda bize destek sağlayan Sayın Hocam Doç. Dr. Mehmet Özgür'e sonsuz teşekkürler.

Yine bu dönemde ve her dönemde yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2019

Nilhan Betül YUĞAÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Yenilenebilir Enerji	4
1.1.1 Güneş enerjisi.....	5
1.1.2 Rüzgar enerjisi.....	5
1.1.3 Hidroelektrik enerji	6
1.1.4 Jeotermal enerji	7
1.1.5 Dalga enerjisi	7
1.1.6 Biyokütle enerjisi	7
1.2 Jeotermal Enerji.....	7
1.2.1 Türkiye’de ve Dünya’da jeotermal enerji potansiyeli	10
1.2.2 Türkiye’de jeotermal enerji kullanımı	17
1.2.3 Seracılıkta jeotermal enerji	18
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	20
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	21
3. MATERYAL VE METOT	27
3.1 Materyal	27
3.1.1 Bursa’nın jeotermal kaynakları	29
3.1.1.1 Kaynarca (Kükürtlü) ve Çekirge kaplıcaları	31
3.1.1.2 Orhangazi – Keramet kaplıcası	31
3.1.1.3 İnegöl – Oylat kaplıcaları.....	32
3.1.1.4 Gemlik – Terme kaplıcası	33
3.1.1.5 M.Kemelpaşa – Dümbüldek kaplıcası	33
3.1.1.6 Orhaneli – Ilıcaksu kaplıcası	33
3.1.1.7 Orhaneli – Sadağ kaplıcası.....	33
3.1.1.8 Orhaneli – Ağaçhisar kaplıcası.....	34
3.1.1.9 İnegöl – Karacakaya jeotermal alanı	34
3.2 Metot.....	34
3.2.1 Klasik ısıtma yöntemleri.....	34
3.2.2 Jeotermal ısıtma sistemleri.....	40
3.2.3 Isı kaybı hesabı.....	41
3.2.4 Ekipman seçimi	46
3.2.4.1 Isı pompası seçimi	47

3.2.4.2 Toprak sıcaklığının belirlenmesi	49
3.2.4.3 Boru uzunluğu hesabı	50
3.2.4.4 Kanatçıklı boru seçimi	52
3.2.4.5 Plakalı eşanjör ve kuyu başı pompası seçimi	53
3.2.4.6 Sirkülasyon pompaları seçimi	54
3.2.5 BIN metot ile enerji sarfiyatı hesabı.....	55
3.2.6 Ekonomik analiz.....	59
4. SONUÇLAR.....	60
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ	66



KISALTMALAR

m	: Metre
Pa	: Pascal
mSS	: Metre su sütunu
kW	: Kilovat
ASHRAE	: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
PE	: Polietilen
İST	: İç yüzey sıcaklığını
IDT	: İç tasarım sıcaklığı
AUST	: Sıcaklık fonksiyonu
LCSA	: Ömürlük kazanım analizi
MTA	: Maden Tetkit ve Arama
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TCMB	: Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası

SEMBOLLER

a	: Hava sızdırmazlık katsayısı
A	: Alan
A_ç	: Çatı yüzey alanları toplamı
A_y	: Yan yüzey alanları toplamı
α	: Çatı eğimi
c_p	: Akışkanın özgül ısısı
°C	: Santigrat derece
ΔT	: İç ortam hava sıcaklığı ile dış ortamın sıcaklığı arasındaki fark
ΔP	: Isıtma devresi basınç kayıpları
F	: Faktör
°F	: Santigrat fahrenheit
H	: Sera yükseklik
H	: Yapı durum katsayısı
H_r	: Çatı yüksekliği
L	: Sera uzunluk
L	: Toplam boru uzunluğu
l_z	: Boru uzunluğu
l_k	: Kanatçıklı boru uzunluğu
m	: Faktör
n	: Faktör
m	: Kütleli debi
Q̇	: Dış ortama iletilen toplam ısı
Q̇_z	: Zeminden seraya verilen ısı miktarı
Q̇_k	: Kanatçıklı borudan seraya verilen ısı miktarı
R	: Özgül basınç kaybı
T_i	: İç ortam hava sıcaklığı
T_d	: Dış ortam sıcaklığı
T_f	: Yüzey sıcaklığı
T_a	: Kapalı ortam hava sıcaklığını
T_{w,m}	: Ortalama su sıcaklığı
U	: Isı iletim katsayısı
W	: Sera genişlik
W_r	: Çatı genişliği
Z	: Yerel basınç kayıpları
Z_e	: Katsayı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Türkiye örtü altı alanları (TÜİK, 2018).	2
Çizelge 1.2 : Türkiye illere göre sera alanları (TÜİK, 2018).....	3
Çizelge 1.3 : Sıcaklıklarına göre jeotermal enerji kullanım alanları (Yıldız, 2010). ..	9
Çizelge 1.4 : Dünyada kurulu jeotermal enerji potansiyeli.	10
Çizelge 1.5 : Devrede olan santraller (Enerji atlası, 2016).....	13
Çizelge 1.6 : Jeotermal enerji santralleri profili (Enerji atlası, 2016).	16
Çizelge 1.7 : Jeotermal enerji santralleri kurulu güç ve proje kapasiteleri (Enerji atlası, 2016).....	16
Çizelge 1.8 : Yapım aşamasındaki santraller (Enerji atlası, 2016).	16
Çizelge 1.9 : Üretim lisansı alan santraller (Enerji atlası, 2016).	16
Çizelge 1.10 : Ön lisans alan santraller (Enerji atlası, 2016).....	17
Çizelge 1.11 : Planlanan santraller (Enerji atlası, 2016).	17
Çizelge 1.12 : Türkiye jeotermal sera alanları.	19
Çizelge 2.1 : Yerköy ilçesi 7 dekarlık seranın gelir-gider tablosu.	25
Çizelge 3.1 : Bursa'nın jeotermal kaynakları (MTA, 2018).....	30
Çizelge 3.2 : Örnek seranın teknik özellikleri.....	42
Çizelge 3.3 : Örnek sera örtü malzemesi U değeri.....	43
Çizelge 3.4 : Örnek seranın yüzey alanları.	44
Çizelge 3.5 : Isı kaybı hesabı.	45
Çizelge 3.6 : Pencere ve kapı çerçevesinin hava sızdırma katsayısı (a) (TMMOB, 2001).....	45
Çizelge 3.7 : Isı pompası teknik verileri.	49
Çizelge 3.8 : Önerilen maksimum su sıcaklığı (°F).	51
Çizelge 3.9 : Sıcak su sınıfları (btu/h/lf).....	52
Çizelge 3.10 : Düzeltme faktörü.	53
Çizelge 3.11 : Plakalı eşanjör teknik verileri.	53
Çizelge 3.12 : Kuyu tarafı santrifüj pompa teknik verileri.	54
Çizelge 3.13 : Evaporatör devresi sirkülasyon pompası teknik verileri.	54
Çizelge 3.14 : Kondenser devresi sirkülasyon pompası teknik verileri.	55
Çizelge 3.15 : 2007-2016 Bursa ili BIN değerleri.	56
Çizelge 3.16 : Isı pompası sistemi enerji hesabı.	57
Çizelge 3.17 : Klasik ısıtma yöntemi sera ilk yatırım maliyetleri.....	60
Çizelge 3.18 : Isı pompası kullanılan sera ilk yatırım maliyetleri.	60
Çizelge 3.19 : Sera enerji maliyetleri.	61
Çizelge 3.20 : Ekonomik analiz için gerekli veriler.....	61
Çizelge 3.21 : Ödeme planı (Kalogirou, 2014).....	62
Çizelge 4.1 : Ömürlük tasarruf analizi sonuçları – I (Kalogirou, 2014).....	61
Çizelge 4.2 : Ömürlük tasarruf analiz sonuçları – II (Kalogirou, 2014)	62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Toplam işlenen tarım alanı (bin dekar) (TÜİK, 2018).....	1
Şekil 1.2 : Sera ürünlerinin Türkiye’de dağılımı (TÜİK, 2018).	3
Şekil 1.3 : Enerji kaynaklarının ömrü.....	4
Şekil 1.4 : Rüzgardan rüzgar enerjisi eldesi (Enerji portalı, 2019).	5
Şekil 1.5 : Hidroelektrik santrallerin akım şeması.	6
Şekil 1.6 : Jeotermal enerji döngüsü (Enerji portalı, 2019).	8
Şekil 1.7 : Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanları.	9
Şekil 1.8 : Türkiye jeotermal enerji haritası.....	12
Şekil 1.9 : Bölgelere göre jeotermal enerji potansiyeli.	13
Şekil 2.1 : Sera ısıtmasını jeotermal enerjiyle sağlayan sistemin analitik modeli.	21
Şekil 2.2 : PE, PE ısı perdeli, polyester sera tipleri için ısı gereksinimi.	23
Şekil 2.3 : Jeotermal enerji sera sistemleri genel akış şeması.....	24
Şekil 3.1 : Bursa’nın coğrafi konumu.....	28
Şekil 3.2 : Bursa’nın ilçeleri.	28
Şekil 3.3 : Çekirge kaplıcaları.....	31
Şekil 3.4 : Keramet kaplıcası.	32
Şekil 3.5 : Oylat kaplıcaları.	32
Şekil 3.6 : Sadağ kaplıcası – Kaya hamamı.....	34
Şekil 3.7 : Doğal gaz kazanı.	35
Şekil 3.8 : Isıtma boruları.	36
Şekil 3.9 : Konvansiyonel ısıtma.....	36
Şekil 3.10 : Zemin ısıtma boruları.....	37
Şekil 3.11 : Masa üzerinde ısıtma boruları.	37
Şekil 3.12 : Isı perdesi.	38
Şekil 3.13 : Gölgeleme perdesi.	38
Şekil 3.14 : Sulama boruları.....	39
Şekil 3.15 : Damla sulama tekniği.....	39
Şekil 3.16 : Toprak ısıtma sistemi.	41
Şekil 3.17 : Isı değiştirici ve fan ünitesi ile ısıtma.	41
Şekil 3.18 : Sera yüzey alanları gösterimi.	43
Şekil 3.19 : Sera ekipmanları.	47
Şekil 3.20 : Isı pompası çalışma düzeneği.	48
Şekil 3.21 : Zemin sistemi için ısı çıkışı.	52
Şekil 3.22 : 2007-2016 Bursa ili BIN değerleri.	56

JEOTERMAL ISI POMPASIYLA ISITILAN BİR SERANIN EKONOMİK ANALİZİ

ÖZET

Dünyadaki hızlı nüfus artışı, tarım alanlarının giderek azalması, tarımda ileri teknolojik gelişmelere ayak uydurulamaması ve ürünlerden elde edilen verimin düşmesi ülkelerin hemen hemen hepsinde gıda gereksinimlerinin istenilen düzeyde karşılanamaması sorununa yol açmıştır. Bu sorun üreticileri mevsim dışı üretim yapma yollarına itmiştir.

Seralar, doğal iklim koşullarının bitki üretimi için uygun olmadığı yerlerde ya da mevsimlerde üretim yapmak için özel olarak oluşturulan yapılardır. Seracılığın ilk örnekleri İtalya'da Romalılar döneminde sebze yetiştiriciliği olarak görülmektedir.

Günümüzde seraların çoğunda sadece kış aylarında ya da gece bitkileri dondan korumak amaçlı ısıtma yapılmaktadır. Ancak sürekli ısıtmanın yapılmaması elde edilen verimi düşürmektedir. Seraların büyük çoğunluğunda doğal gaz, petrol gibi fosil yakıtların kullanıldığı ısıtma sistemleri yaygındır. Fosil yakıtların giderek azalması, çevreye olumsuz etkileri gibi nedenler üreticileri alternatif enerji çeşitlerine yönlendirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji günümüzde seracılıkta kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Bursa ili Orhangazi ilçesi Keramet bölgesinde yer alan bir jeotermal kaynak esas alınmıştır. Kaynak sıcaklığının düşük olması ve kaynağın tarım arazisi üzerinde bulunması nedeniyle sera ısıtmasında kullanılması olanakları değerlendirilmiştir. Kaynakta yaklaşık 31 °C sıcaklık ve 53,3 L/s debide jeotermal su mevcuttur. Kaynak sıcaklığının düşük olması nedeniyle jeotermal kaynak jeotermal ısı pompasıyla (GSHP) desteklenmiştir. Bursa ili iklim koşullarında 1000 m² (1 dönüm) taban alanına sahip, polietilen (PE) plastik örtülü temsili bir çiçek serası hesaplamalarda baz alınmıştır. Isı pompasıyla desteklenen jeotermal enerjinin temsili bir sera ısıtmasında kullanılmasına ilişkin temel tasarım özellikleri incelenmiştir. Seranın bölge iklim koşullarına göre ısı gereksinimi belirlenmiş ve bu gereksinimi karşılayacak bir ısı pompası seçilmiştir. Sistemde yer alan diğer ekipmanların tasarım değişkenleri belirlenmiştir.

Meteorolojiden alınan verilere göre Bursa için dış ortam tasarım sıcaklığı -6 °C iken çiçek yetiştiriciliğinde iç tasarım sıcaklığı 15 °C kabul edilmiştir. Bu sıcaklık koşullarında PE plastik seranın ısı gereksinimi yaklaşık 236,5 kW olarak belirlenmiştir.

Yapılan hesaplamalarla birlikte klasik ısıtma sistemlerine sahip bir seranın ilk yatırım maliyetleriyle jeotermal ısı pompası sistemine sahip bir seranın ilk yatırım maliyetleri karşılaştırılarak ekonomik analiz yapılmıştır. Daha sonra her iki sistemin enerji tüketimleri BIN yöntemiyle hesaplanmış ve enerji maliyetleri belirlenmiştir. Isı pompalı sistemin yakıttan elde edilen tasarrufu dikkate alınarak sistemin ömürlük kazanım maliyeti (LCSA) hesaplanmıştır. Bu maliyet hesabına göre sistemin kendini geri ödeme süresi 18 yıl olarak bulunmuştur. Alternatif bir yaklaşımla sera ısıtma

sistemi hibrit bir sistem olarak tasarlandığında geri ödemesi süresi 10 yıla düşmektedir. Burada hibrit sistem olarak dış ortam sıcaklığı 1,5 °C'nin altına düşünceye kadar ısı pompası sistemi daha düşük sıcaklıklarda ise doğal gaz yakıtlı kazan kullanılacaktır.

Anahtar kelimeler: Sera ısıtma, Jeotermal enerji, Jeotermal ısı pompası, Jeotermal seracılık, Bursa.



ASSESSMENT OF A GEOTHERMAL HEAT PUMP ASSISTED GREENHOUSE

SUMMARY

The rapid population growth in the world, the decrease in agricultural areas, the inability to keep up with the advanced technological developments in agriculture and the decrease in the yield obtained from the products have led to the problem of not meeting the food requirements in almost all countries. This problem has led the producer to off-season production.

Greenhouses are structures that are specially created for production in places or seasons where natural climatic conditions are not suitable for plant production. The first examples of greenhouse cultivation are seen in Italy as vegetable growing in the Roman period.

Nowadays, most of the greenhouses are heated only in winter or at night to protect the plants from frost. However, the lack of continuous heating reduces the yield. In the majority of greenhouses, heating systems using fossil fuels such as natural gas and oil are common. The reasons such as the decrease in fossil fuels and the negative effects on the environment led the producers to employ alternative energy technology. Geothermal energy, which is one of the renewable energy sources, is used in greenhouse cultivation today.

In this study, a geothermal resource located in the Keramet region of Orhangazi district of Bursa was taken into consideration. Since the resource temperature is low and the resource is located on agricultural land, the possibilities for using it in greenhouse heating have been evaluated. The source contains geothermal water at a temperature of about 31 ° C and a flow rate of 53.3 L / s. Due to the low well temperature, the geothermal source was supported by a geothermal heat pump (GSHP). A representative flower greenhouse of 1000 square meters (1 deca) with a polyethylene (PE) cover under climate conditions in Bursa is based on the calculations. The basic design features of the use of geothermal energy supported by heat pump in a representative greenhouse heating are examined. The heat requirement of the greenhouse was determined according to the climatic conditions of the region and a heat pump was selected to meet this requirement. The design variables of the other equipment in the system were determined.

According to the data obtained from the meteorology, the outdoor design temperature was accepted as -6 ° C and the interior design temperature in flower cultivation as 15 ° C. Under those temperature conditions, the heat requirement of PE plastic greenhouse was determined as approximately 236,5 kW.

With the calculations, the first investment costs of a greenhouse with conventional heating methods and the first investment costs of a greenhouse with a geothermal heat pump were compared. Then, energy consumption of both systems was calculated by BIN method and energy costs were determined. Taking into

consideration the fuel savings of the heat pump system, the life cycle saving of the system (LCSA) was calculated. According to this cost calculation, the self-repayment period of the system was found to be 18 years. When the greenhouse heating system is designed as a hybrid system with an alternative approach, the payback period is reduced to 10 years. As a hybrid system, natural gas fuel boiler will be used if the heat pump system is at lower temperatures until the outdoor temperature falls below 1.5 ° C.

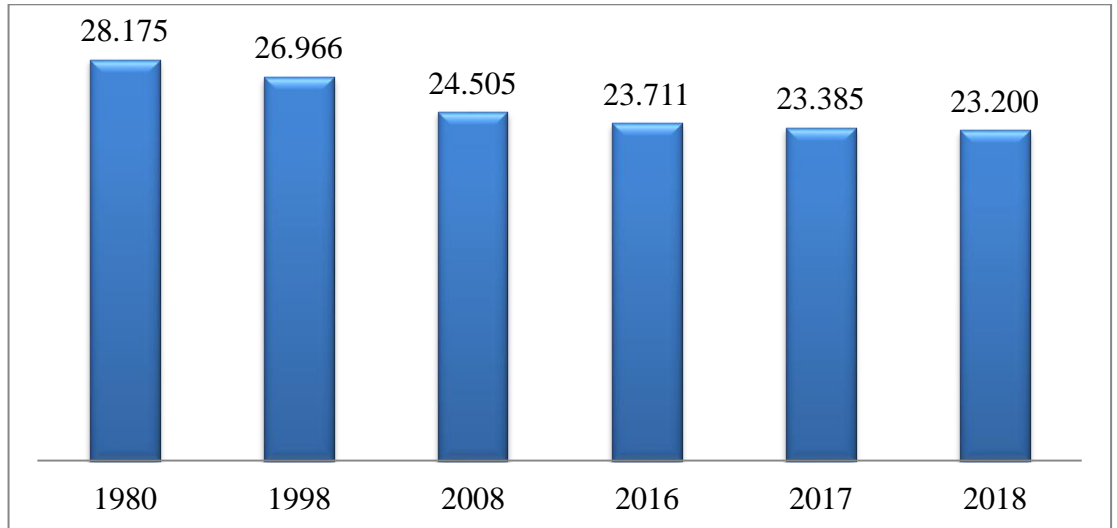
Keywords: Greenhouse heating, Geothermal energy, Geothermal heat pump, Geothermal greenhouse, Bursa.



1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte gıda maddelerine olan ihtiyaç da gün geçtikçe artarak devam etmektedir. Bu artışa paralel olarak insanlar meyve ve sebzeleri sadece mevsiminde değil mevsim dışında da tüketmeyi istemektedirler. Diğer yandan arazilerin parçalanarak küçülmesi, tarım alanlarının amaç dışı kullanımı gibi sebeplerle tarım alanları giderek azalmaktadır.

Ülkemizdeki işlenebilen tarım arazileri toplamı 1980 yılında 28.175 bin dekar iken, 2018 yılında 23.200 bin dekara (TÜİK, 2018) gerilemiş, 1980 yılında 44.731.321 olan nüfusumuz ise 2018 yılında 82.003.882'e yükselmiştir (Şekil 1.1). Başka bir ifadeyle kişi başına düşen tarım arazisi ciddi oranda azalmıştır. Bu nedenle birim alandan elde edilen ürün miktarını arttırmak ve daha kaliteli ürün elde edebilmek için çeşitli yollar aranmaktadır. Son yıllarda etkisi giderek artan küresel ısınmayı da göz önünde bulundurunca iklim değişikliklerine bağlılığı en aza indirgeyen örtü altı yetiştiriciliği yaygınlaşmıştır.



Şekil 1.1 : Toplam işlenen tarım alanı (bin dekar) (TÜİK, 2018).

Seralar ekolojik faktörlerin kontrol altında tutularak sebze, meyve ve çiçek gibi bitkilerin genellikle mevsimleri dışında üretilmesine olanak sağlayan yetiştirme

mekanlarıdır. Bu mekanlarda yapılan bitkisel üretime seracılık ya da örtü altı yetiştiriciliği adı verilmektedir.

Seralarda bitki yetiştirilmesine dair en uygun koşulların sağlanabilmesi seraların ısıtma ve soğutma sistemleri başta olmak üzere havalandırma ve nem kontrolü gibi sistemlere sahip olmasıyla mümkündür. Tam kontrole sahip otomatik seralar günümüzde daha çok serin iklim koşullarına sahip ülkelerde tercih edilmektedir. Ülkemizin de içinde bulunduğu ılıman iklim koşullarına sahip ülkelerde ise iklimsel koşullar göz önünde bulundurularak ısıtma veya soğutma gereksinimine göre seracılık yapılmaktadır.

Çizelge 1.1’de yıllara bağlı olarak ülkemizde seracılığın gelişimi verilmiştir. 2018 yılı verilerine göre, Türkiye’de toplam 772.091 dekar örtü altı tarım alanı bulunmaktadır. Örtü altı tarım alanlarının yaklaşık yarısı olan 368.527 dekarını plastik seralar diğer yarısını 325.454 dekarlık alanla yüksek tünel ve alçak tünel seralar ve 78.110 dekarlık alanla da cam seralar oluşturmaktadır. Örtü altı üretiminde Antalya %51 payla 1. sırada gelmektedir (Çizelge 1.2).

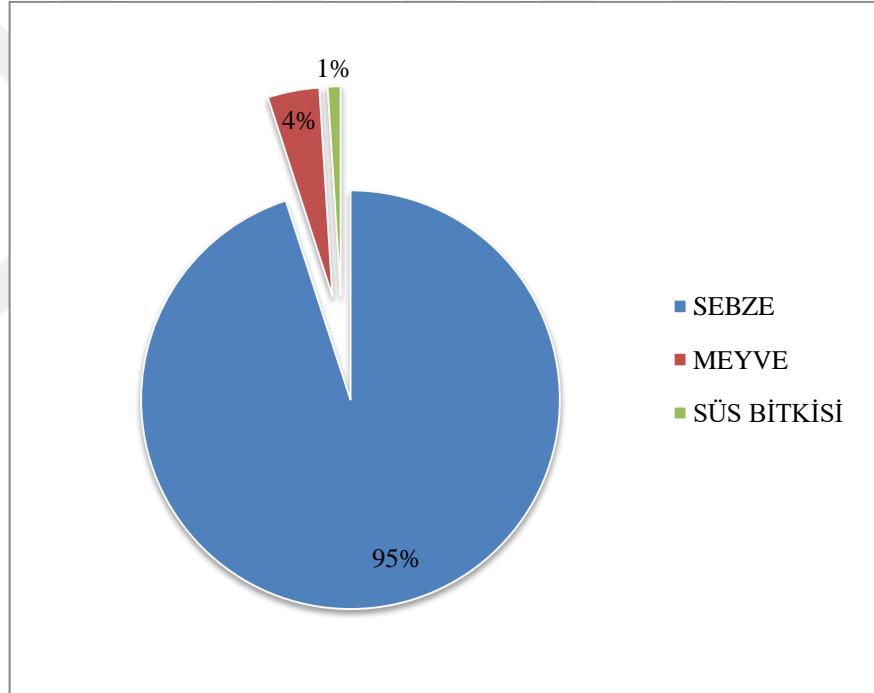
Çizelge 1.1 : Türkiye örtü altı alanları (TÜİK, 2018).

YILLAR	Cam Sera	Plastik Sera	Yüksek Tünel	Alçak Tünel	TOPLAM (dekar)
2001	60.151	149.780	50.221	171.235	431.387
2005	65.427	171.043	66.916	164.154	467.540
2010	80.772	230.543	81.521	170.969	563.805
2011	78.878	247.962	108.910	175.701	611.451
2012	80.728	278.730	95.095	163.207	617.760
2013	80.739	278.661	97.986	157.737	615.124
2014	80.976	298.651	107.095	156.720	643.442
2015	79.977	306.074	112.674	161.541	660.265
2016	80.137	328.745	112.974	169.867	691.724
2017	85.749	355.121	119.899	191.399	752.168
2018	78.110	368.527	114.232	211.222	772.091

Çizelge 1.2 : Türkiye illere göre sera alanları (TÜİK, 2018).

İL	SERA TOPLAM ALANI (DEKAR)
ANTALYA	278.063
MERSİN	190.047
ADANA	136.248
MUĞLA	38.770
AYDIN	15.411
BURSA	1.072

2018 TÜİK verilerine göre seralarda yetiştirilen ürünlerin %95'ini sebze çeşitleri, %4'ünü meyve çeşitleri ve %1'ini de kesme çiçek ve iç mekan bitkileri oluşturmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : Sera ürünlerinin Türkiye’de dağılımı (TÜİK, 2018).

Enerji maliyetlerinin çağımızda giderek artmasına bağlı olarak seraların bitkilere en uygun şekilde ısıtılması büyük masraflara sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak seraların çoğunda sadece dondan koruma amaçlı ısıtma yapılmaktadır. Kontrollü seralarda ısıtma giderleri tüm harcamalar içinde %60’lık bir paya sahiptir. Bu payın azaltılması sera işletmesinin kârını arttırırken ülke ekonomisine de büyük katkılar sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise fosil enerji kaynaklarına göre nispeten daha ucuz kaynaklardır. Bu nedenle seraların ısıtma giderlerini ve fosil

enerji kaynakları kullanımını azaltabilmek adına yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına yönelme durumu söz konusudur. (Kendirli ve Çakmak, 2010).

1.1 Yenilenebilir Enerji

Enerji insan yaşamının vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Dünyada insan yaşamının varlığından beri nüfus arttıkça nüfusa bağlı olarak enerji ihtiyacı da giderek artmaktadır. Bu nedenle günümüzde ülkelerin en önemli sorunlarından biri enerji ihtiyacı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Gelişen teknoloji ve artan enerji gereksinimi sonrasında dünyadaki bu büyük enerji açlığının kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlarla karşılanamayacağı gerçeği ortaya çıkmıştır (Şekil 1.3). Fosil yakıtların yakılması atmosfere insan sağlığını tehdit eden karbondioksit, kükürt, azot gibi zararlı emisyonlar yaymaktadır. Zararlı emisyonların atmosfere yayılması bütün ekosistemin yapısını bozup dünyanın işleyen düzenini tehdit eden bir durumdur. Ayrıca bu duruma bağlı olarak küresel ısınma ve iklimlerin değişmesi gibi küresel sorunları ortaya çıkması beklenen bir durumdur.



Şekil 1.3 : Enerji kaynaklarının ömrü.

Yenilenebilir enerji, doğada var olan süreçlerden enerji üretimi sağlayabilen, kendini yenileme süresi tükenme süresinden çok daha kısa olan enerji çeşididir. Temelde 6 çeşit yenilenebilir enerji kaynağı mevcuttur (Enerji Portalı).

1.1.1 Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, direkt güneşten sağlanan enerjidir. Güneşte bulunan hidrojen atomları bir araya gelerek helyum atomlarına dönüşür. Böyle bir dönüşüm esnasında kütle kaybı meydana gelir. Bu kayıplardan ortaya çıkan enerji güneş enerjisidir.

Dünyanın birincil enerji ihtiyacı yılda yaklaşık 107.000 TWh'tir. Güneşten sağlanabilecek olan güç ise 63 MW/m² civarındadır. Bu durumda güneşin dünyanın birincil enerji ihtiyacının yaklaşık 20 katını sağlayabilecek kadar enerji üretebildiği açıktır.

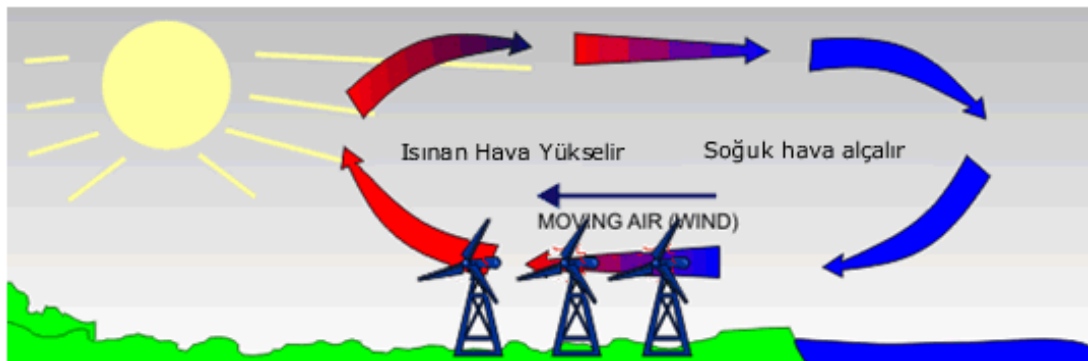
Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat, toplam güneş enerjisi ise 1.527 kWh/m².yıl olduğu Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) tarafından verilmiştir.

Kullanılmaya başlandığı ilk yıllarda güneş enerjisinin maliyeti çok yüksek olsa da günümüzde çok daha uygun maliyetlere elde edilmektedir. Ayrıca güneş enerjisi eldesi sırasında çevreye hiçbir zararı olmaz. Güneş enerjisinin günümüzde bilinen birçok kullanım alanı bulunmaktadır ve bu alanlar gün geçtikçe artmaktadır.

Şimdilerde bu enerji kaynağı başta sıcak su temini olmak üzere elektrik üretimi, binaların ısıtılması ve soğutulması, deniz suyunun arıtılması, hidrojen üretimi, buhar elde edilmesi, bitkilerin kurutulması, seracılık gibi alanlarda kullanılmaktadır.

1.1.2 Rüzgar enerjisi

Rüzgar enerjisi, dünyanın dönüşü ve güneş ışınlarının dünyaya geliş açıları arasındaki farklılıklarla oluşan basınçlara bağlı ortaya çıkan rüzgarlardan oluşan bir enerji çeşitidir (Şekil 1.4).

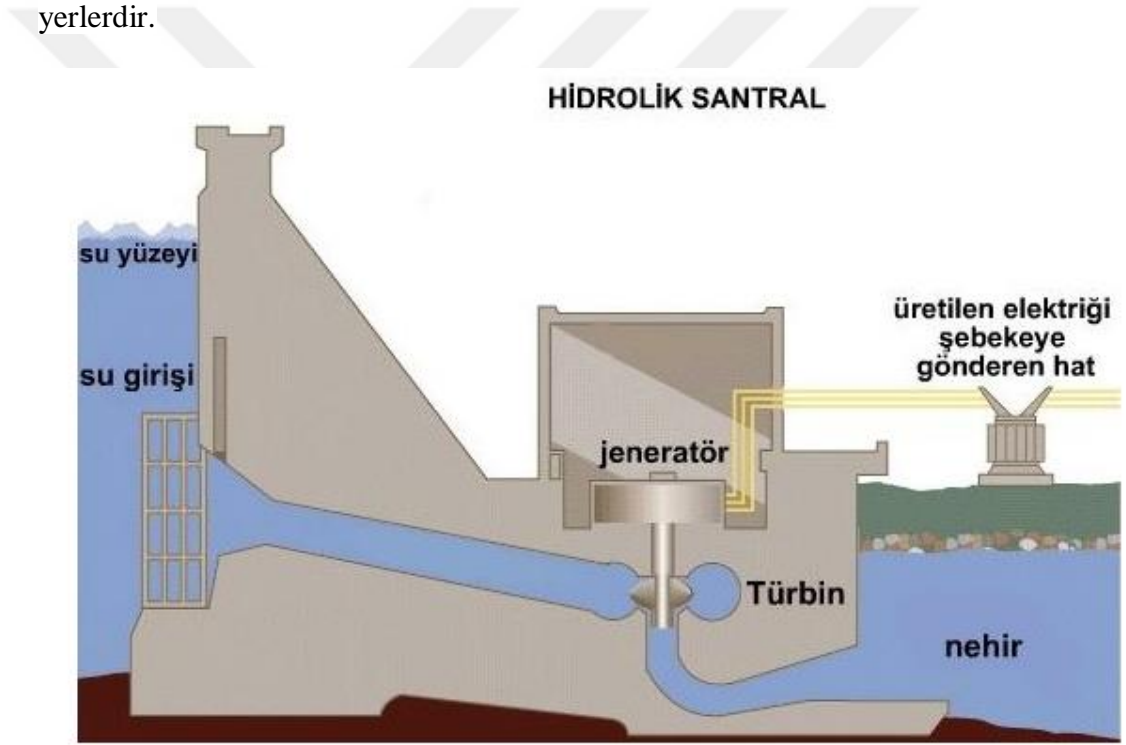


Şekil 1.4 : Rüzgardan rüzgar enerjisi eldesi (Enerji portalı, 2019).

Rüzgaraların yoğun olduğu bölgelere rüzgar türbinleri adı verilen türbinler kurulur. Bu türbinler sayesinde elde eden enerji sürdürülebilirdir. Güneş rüzgar enerjisinin temel kaynağıdır. Güneşten elde edilen enerjinin bir kısmını rüzgar enerjisine dönüştürmek mümkündür. Gelişen teknolojiyle birlikte rüzgar durumunun önceden bilinebilmesiyle rüzgar enerjisinin daha fazla ve daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır.

1.1.3 Hidroelektrik enerji

Hidroelektrik enerji, suyun akışından meydana gelen kinetik enerjinin kanallar aracılığıyla türbinlere iletilmesiyle üretilen enerjidir (Şekil 1.5). Su akış hızının fazla olduğu ve özellikle yüksek yerler hidroelektrik üretimi yapılması için oldukça uygun yerlerdir.



Şekil 1.5 : Hidroelektrik santrallerin akım şeması.

Hidroelektrik enerjisi, suyun akışı sayesinde elde edilen bir enerji türü olduğundan dünyaya hiçbir zararı yoktur. Ekstra yakıt giderinin olmaması, çevreye zararlı gazlar üretmemesi, uzun teknik ömre sahip olması ve istihdam imkanı sağlayarak kırsal kesimde ekonomik yapıyı canlandırması gibi avantajlara sahiptir.

1.1.4 Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, sıcak su veya buhar yoluyla yüzeye taşınır. Jeotermal kaynaklardaki akışkanın sıcaklığı bulunduğu bölgenin ortalama atmosferik sıcaklığına göre fazladır. Ayrıca kaynaktaki erimiş mineral oranı bölgedeki diğer kaynaklara göre yükündür.

Bu enerji kaynağı doğrudan elektrik üretiminin yanı sıra ısıtma, soğutma, mineral üretimi ve kaplıcalar sayesinde turizm sektöründe kullanılmaktadır.

1.1.5 Dalga enerjisi

Dalga enerjisi, denizlerde veya okyanuslarda meydana gelen dalgalanma hareketinden ve bu hareketlerden doğan basınçla ortaya çıkan enerjidir. Bu enerjinin dönüşümü dalga jeneratörleriyle sağlanmaktadır.

1.1.6 Biyokütle enerjisi

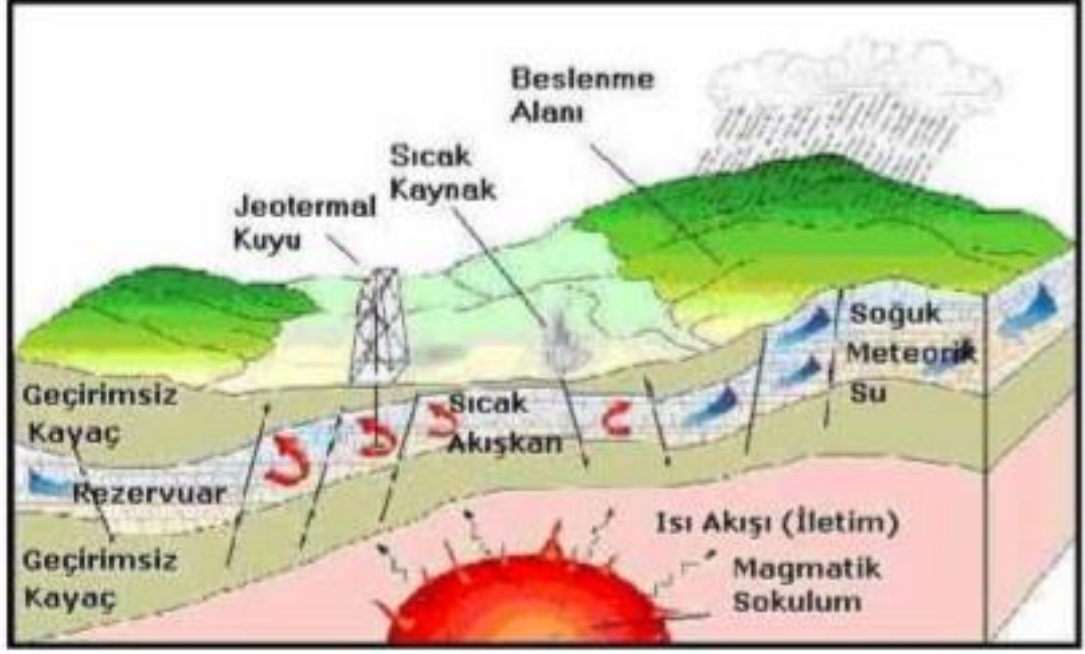
Biyokütle, doğada bulunan çeşitli yollarla biriken artıklardan elde edilen biyolojik bir materyaldir. Tarımsal bitkiler, orman atıkları, endüstriyel atıklar bunlardan bazılarıdır. Biyokütle enerjisi, doğadan elde edilen bu atıkların yakılarak ya da farklı işlemlerden geçirilerek elde edilmesiyle oluşur.

Biyokütle enerjisi doğrudan elektrik eldesi, ısı ve çoğunlukla ulaşım amaçlı tercih edilen biyoyakıt üretiminde kullanılır.

1.2 Jeotermal Enerji

Tez çalışmasının ana ögesi olması nedeniyle yukarıda kısaca bahsedilen jeotermal enerji bu bölümde daha geniş olarak ele alınacaktır. Jeotermal kaynak, yer kabuğunun derinliklerinde biriken ısının oluşturduğu, sıcaklığı bulunduğu bölgeye göre sürekli ortalamanın üzerinde olan, çevresindeki diğer sulara göre fazla miktarda erimiş mineral bulduran sıcak su ya da buhar olarak tanımlanır. Bu kaynaklardan doğrudan ya da dolaylı olarak elde edilen enerji ise jeotermal enerjidir.

Yer altına inen yağmur, kar, deniz ve diğer kaynak suları magma tabakasına yakın yerlerde ısınır ve tekrar yeryüzüne çıkar. Bu döngüye göre jeotermal enerji yenilenebilirdir (Şekil 1.6). Diğer bir deyişle jeotermal enerjinin tükenmesi mümkün değildir.



Şekil 1.6 : Jeotermal enerji döngüsü (Enerji portalı, 2019).

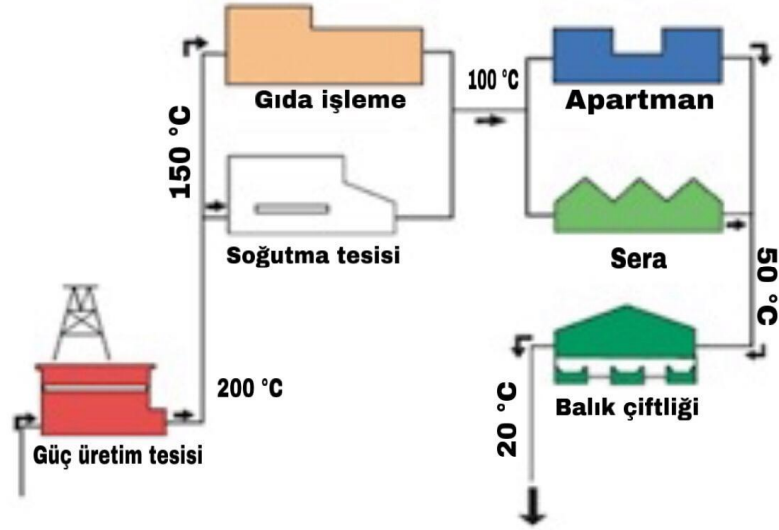
Jeotermal enerji bölge koşullarına ve jeotermal akışkanın yüzeye çıkan sıcaklığına bağlı olarak temelde 2 şekilde kullanılır:

1. Elektrik eldesi
2. Doğrudan kullanımı

Jeotermal akışkanın yüzeye çıkma durumuna bağlı olarak elektrik üretmek için çeşitli çevrimler kullanılır. Jeotermal kaynağa uygun olan çevrimin seçilebilmesi için kaynaklar ekonomik ve termodinamik açıdan incelenir.

Jeotermal kaynaklar çok farklı alanlarda kullanılabilir (Şekil 1.7). Akışkanın sıcaklığına bağlı olarak kullanılabilen alanlar Çizelge 1.3'te verilmiştir. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı üç ana maddede şu şekildedir:

1. Bina ve iş yerlerinin ısıtılmasında
2. Endüstriyel uygulamalarda
3. Tarımsal üretim alanlarında



Şekil 1.7 : Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanları.

Bu kullanım şekillerinin ortak özelliği akışkan dağıtım sistemidir. Akışkan dağıtım sisteminde ısı kayıplarını azaltmak için sistemde kullanılan pompa, boru, vana gibi malzemeler çeşitli yöntemlerle yalıtılır (Yıldız, 2010).

Çizelge 1.3 : Sıcaklıklarına göre jeotermal enerji kullanım alanları (Yıldız, 2010).

SICAKLIK (°C)	KULLANIM ALANLARI
180	Konsantrasyonu yüksek olan eriyiklerin buharlaştırılması
170	Elektriğin doğrudan üretimi Diatomitlerin kurutulması
160	Hidrojen sülfid eldesi Kereste kurutmacılığı
150	Balık kurutmacılığı
140	Alüminyumun Bayer's metodu ile eldesi Konservecilik
130	Çiftlik ürünlerinin daha hızlı kurutulması Şeker endüstrisi
120	Tuz endüstrisi
110	Temiz suyun distilasyonla eldesi
100	Çimento kurutmacılığı Organik madde kurutma
90	Yün yıkama ve kurutma Stok balığı kurutma

Çizelge 1.3 (devam) : Sıcaklıklarına göre jeotermal enerji kullanım alanları (Yıldız, 2010).

SICAKLIK (°C)	KULLANIM ALANLARI
80	Sera ve alan ısıtmacılığı
70	Soğutma
60	Kümes ve ahır ısıtmacılığı
50	Mantar yetiştirme
	Balneolojik hamamlar
40	Toprak ısıtma
30	Yüzme havuzları
	Fermantasyonlar
	Damıtma
20	Balık çiftlikleri

1.2.1 Türkiye’de ve Dünya’da jeotermal enerji potansiyeli

2018 yılı verilerine göre dünyada kurulu jeotermal enerji gücü 14.471 MW düzeyindedir. Jeotermal enerji kullanarak elektrik üretimi sağlayan ülkelerin başında ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye, Yeni Zelanda gelir. 70.000 MW’tı aşmış elektrik dışında doğrudan kullanım mevcuttur. Bu doğrudan kullanım uygulamalarında ABD, Çin, İsveç, Belarus, Norveç başta (Enerji Bakanlığı, 2018).

Çizelge 1.4 : Dünyada kurulu jeotermal enerji potansiyeli.

ÜLKE	KURULU GÜÇ (MW)
Amerika Birleşik Devletleri	3639
Endonezya	1948
Filipinler	1868
Türkiye	1303
Yeni Zelanda	1005
Meksika	951
İtalya	944
İzlanda	755
Kenya	676
Japonya	542
El Salvador	205
Kosta Rika	204

Çizelge 1.4 (devam) : Dünyada kurulu jeotermal enerji potansiyeli.

ÜLKE	KURULU GÜÇ (MW)
Nikaragua	109
Rusya	97
Papua Yeni Gine	56
Guatemala	42
Almanya	38
Portekiz	29
Çin	27
Şili	24
Etiyopya	8
Avusturya	1
TOPLAM	14.471

Ülkemiz jeolojik konumu itibariyle aktif tektonik birçok kuşağın üzerinde yer almaktadır. Bu durum ülkemizin diğer dünya ülkelerine göre jeotermal açıdan daha zengin olmasını sağlamıştır. Ülkemizin dört bir yanına yayılmış doğal çıkış şeklinde değişik sıcaklıklara sahip yaklaşık 1000 adet jeotermal kaynak bulunmaktadır. (Şekil 1.8).

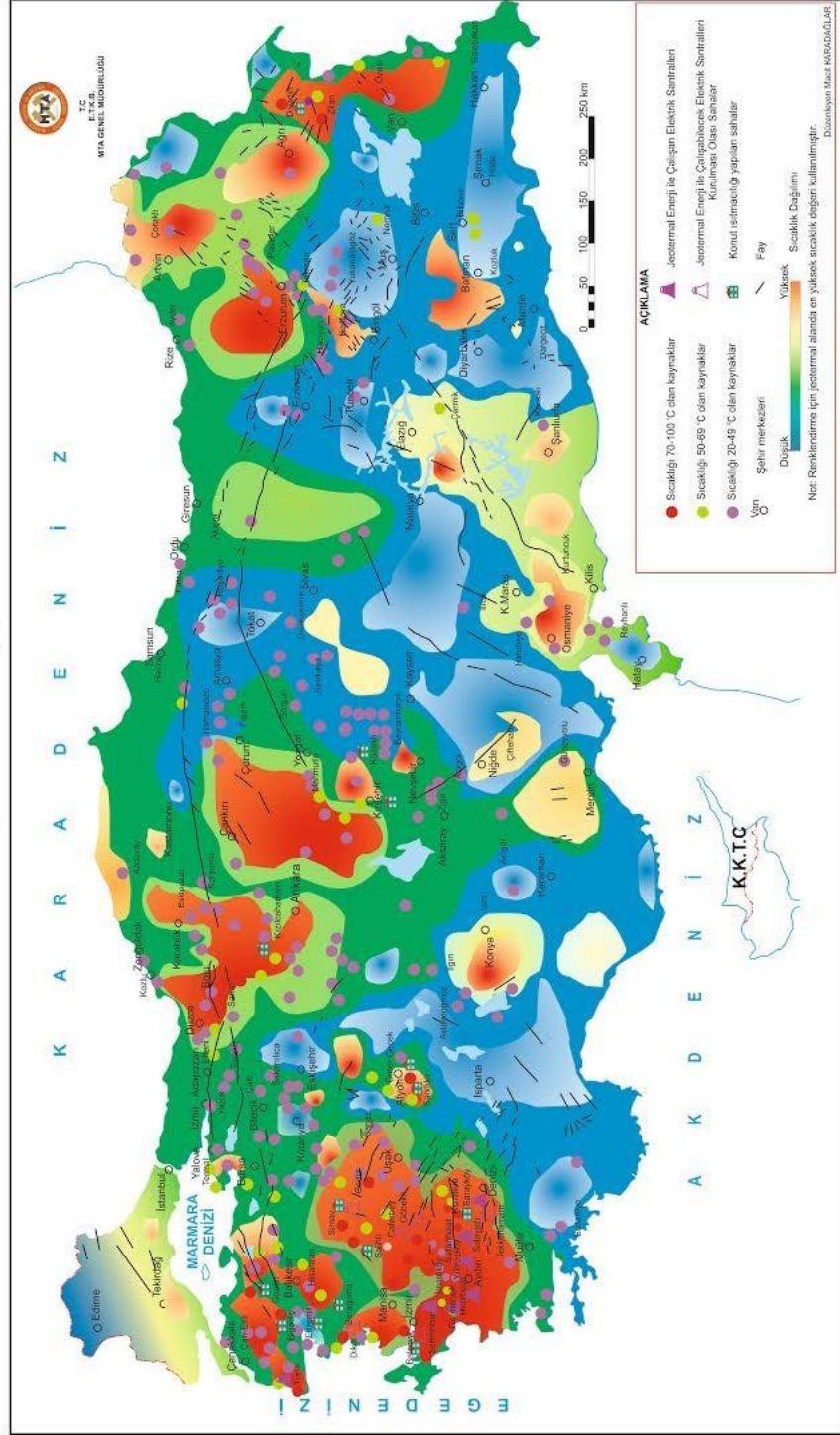
Jeotermal enerji kaynakları farklı kaynaklarda çeşitli sınıflandırmalarda görülür. Temel olarak sıcaklık değerlerine göre üç grupta incelenenbilir:

20 °C – 70 °C Düşük Sıcaklıklı Sahalar

70 °C – 150 °C Orta Sıcaklıklı Sahalar

150 °C'den yüksek Yüksek Sıcaklıklı Sahalar

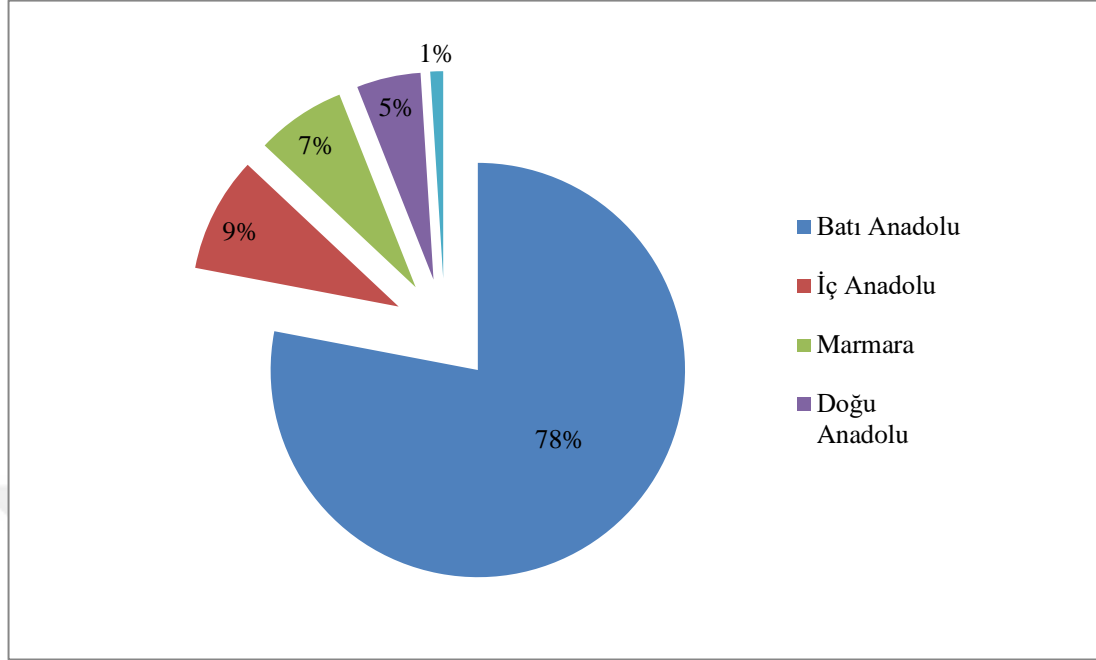
Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası



Şekil 1.8 : Türkiye jeotermal enerji haritası.

Jeotermal potansiyel ülkemizde oldukça fazladır. Bu alanların %78'i kırıklı yapının daha fazla olduğu Batı Anadolu bölgesinde bulunur. Geriye kalan %22'lik alanın %9'u İç Anadolu, %7'si Marmara, %5'i Doğu Anadolu ve %1'i diğer bölgelerde bulunmaktadır (Şekil 1.9). Düşük ve orta sıcaklık değerinde olan jeotermal enerji kaynaklarımız bütün kaynakların yaklaşık %90'ını oluşturuyor olup genellikle ısıtma, turizm ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Geriye kalan %10'luk

kaynaklar yüksek sıcaklıkta olup elektrik enerjisi eldesine uygun yapıdadır (Enerji Bakanlığı, 2018).



Şekil 1.9 : Bölgelere göre jeotermal enerji potansiyeli.

Ülkemizde jeotermal enerji alanında yapılan çalışmalar, Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğüne 1962 yılında başlatılmıştır. 1963 yılında, Balçova-İzmir’de arama sondajı açılmış ve 124 °C sıcaklığında sıcak su ve buhar 40 metre derinlikte keşfedilmiştir. Birleşmiş Milletler Kalkınma Teşkilatı (UNDP) işbirliğiyle Kızıldere-Denizli jeotermal alanı 1968 yılında bulunmuştur. Sonraları 232 °C kaynakla Germencik-Aydın, 182 °C kaynakla Salihli-Göbekli-Manisa, 174 °C kaynakla Tuzla-Çanakkale, 172 °C kaynakla Salavatlı-Aydın, 162 °C kaynakla Simav-Kütahya, 158 °C kaynakla Seferihisar-İzmir ve 130 °C kaynakla Dikili-İzmir jeotermal alanları keşfedilmiştir. 1975 yılında ise Kızıldere Santrali 0,5 MWe güçle jeotermal enerjiden elektrik üretmek için kurulmuştur (Çizelge 1.5) (Enerji Atlası, 2016).

Çizelge 1.5 : Devrede olan santraller (Enerji atlası, 2016).

SANTRAL ADI	İL	KURULU GÜÇ
Kızıldere 3 JES	Denizli	165 MW
Efeler JES	Aydın	115 MW
Kızıldere 3 JES	Denizli	80 MW

Çizelge 1.5 (devam) : Devrede olan santraller (Enerji atlası, 2016).

SANTRAL ADI	İL	KURULU GÜÇ
Pamukören JES	Aydın	68 MW
Galip Hoca Germencik JES	Aydın	47 MW
Alaşehir JES	Manisa	45 MW
Maren JES	Aydın	44 MW
Dora 3 JES	Aydın	34 MW
Melih JES	Aydın	33 MW
Greeneco 3 JES	Denizli	26 MW
Greeneco JES	Denizli	26 MW
Efe 7 JES	Aydın	25 MW
Enerjeo Kemaliye Santrali	Manisa	25 MW
Ken 3 JES	Aydın	25 MW
Mehmethan JES	Aydın	25 MW
Deniz JES	Aydın	24 MW
Ken Kipaş JES	Aydın	24 MW
Kerem JES	Aydın	24 MW
Kubilay JES	Aydın	24 MW
Türkerler Alaşehir 2 JES	Manisa	24 MW
Türkerler Alaşehir JES	Manisa	24 MW
Özmen 1 JES	Manisa	24 MW
Türkerler Alaşehir JES 3	Manisa	23 MW
Efe 6 JES	Aydın	23 MW
Pamukören 2 JES	Aydın	23 MW
Pamukören 3 JES	Aydın	23 MW
Sultanhisar 2 JES	Aydın	23 MW
Baklacı JES	Manisa	19 MW
Kuyucak JES	Aydın	18 MW
3S Kale JES	Aydın	17 MW
Dora 4 JES	Aydın	17 MW
Kızıldere (Zorlu) JES	Denizli	15 MW
Sanko Salihli JES	Manisa	15 MW

Çizelge 1.5 (devam) : Devrede olan santraller (Enerji atlası, 2016).

SANTRAL ADI	İL	KURULU GÜÇ
Sultanhisar JES	Aydın	14 MW
Buharkent Jeotermal Enerji Tesisi	Aydın	14 MW
Gümüşköy JES	Aydın	13 MW
Mis 1 JES	Manisa	12 MW
Karkey Umurlu JES	Aydın	12 MW
Umurlu 2 JES	Aydın	12 MW
Maspo Enerji JES 4	Manisa	10 MW
Dora 2 JES	Aydın	9,50 MW
Babadere JES	Çanakkale	8 MW
Dora 1 JES	Aydın	7,95 MW
Tuzla JES	Çanakkale	7,50 MW
Bereket Enerji Kızıldere JES	Denizli	6,85 MW
Pamukören 4 JES	Aydın	5,50 MW
Tosunlar JES	Denizli	3,81 MW
Afjet Afjes JES	Afyonkarahisar	2,76 MW

Çizelge 1.5’de görülen Germencik-Aydın ve Kızıldere-Denizli’deki jeotermal santrallerden elektrik üretimi geleneksel yöntemlerle sağlanabilmektedir. Bu santrallerin dışında gelişen teknolojilerin uygulanmasıyla elektrik elde edilen sahalarda da mevcuttur.

Düşük ve orta entalpili birçok saha bulunmaktadır. Orta entalpinin üzerinde bulunan elektrik üretimi ve ısıtmaya uygun olan sahalarda Salavatlı-Aydın, Tuzla-Çanakkale, Balçova-İzmir, Seferihisar-İzmir, Dikili-İzmir, Simav-Kütahya şeklindedir. Germencik-Aydın, Kızıldere-Denizli ve Acıgöl-Nevşehir yüksek entalpili sayılabilecek olan sahalardır. Bu sahalarda özellikle elektrik elde edilmesi ve ısıtma sistemlerine uygun sahalardır. 90 °C'nin üzerinde kuyu sıcaklığı olan sahalarda bile günümüz teknolojisiyle elektrik elde edilmesi kolaylıkla sağlanır.

Türkiye’de 48 adet kurulu jeotermal enerji santralinin toplam gücü 1.303 MW’tır. Bu jeotermal enerji santralleri ile 2016 yılında 4.213.526.000 kWh elektrik üretilmiştir (Çizelge 1.6).

Çizelge 1.6 : Jeotermal enerji santralleri profili (Enerji atlası, 2016).

Kayıtlı Santral Sayısı	48
JES Kurulu Güç	1.303 MWe
Kurulu Güce Oranı	%1,47
Yıllık Elektrik Üretimi	~7.775 GWh
Üretimin Tüketime Oranı	%2,99

2017 verilerine göre devrede olan 1.303 MW'lık santrallerin dışında kurulumu devam eden, üretim lisansı alan, önlisans alan ve proje aşamasındaki santrallerin toplam gücünün 681 MW olması beklenmektedir (Çizelge 1.7). Bu santraller güçleriyle birlikte çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 1.7 : Jeotermal enerji santralleri kurulu güç ve proje kapasiteleri (Enerji atlası, 2016).

DURUM	GÜÇ (MWe)	ORAN
Devrede	1.303	%51,8
Kurulumu Devam Eden	161	%8,1
Üretim Lisansı Alan	104	%5,2
Önlisans Alan	396	%20,0
Proje Aşamasında	20	%1,0
TOPLAM	1.984	%100

Çizelge 1.8 : Yapım aşamasındaki santraller (Enerji atlası, 2016).

SANTRAL ADI	İL	KURULU GÜÇ
Jeoden JES	Denizli	2,52 MW

Çizelge 1.9 : Üretim lisansı alan santraller (Enerji atlası, 2016).

SANTRAL ADI	İL	KURULU GÜÇ
Mis 3 JES	Manisa	48 MW
Greeneco 5 JES	Denizli	28,05 MW
Alaşehir 2 JES	Manisa	24,9 MW
Gök JES	Denizli	3 MW

Çizelge 1.10 : Ön lisans alan santraller (Enerji atlası, 2016).

SANTRAL ADI	İL	KURULU GÜÇ
Sarı Zeybek JES	Aydın	54 MW
Efe 8 JES	Aydın	50 MW
Mis 2 Jeotermal Santrali	Manisa	48 MW
Efe 9 JES	Aydın	36 MW
Ala 2 Jeotermal Santrali	Manisa	30 MW
Greeneco 6 JES	Denizli	26 MW
Kubilay 2 JES	Aydın	24 MW
Transmark JES	Çanakkale	19 MW
Özmen 3 JES	Manisa	18,62 MW
GCL ND M1 JES	Aydın	13,43 MW
RSC Seferihisar JES	İzmir	12 MW
Kuyucular JES	Aydın	12 MW
Babadere 2 JES	Çanakkale	11,8 MW
İda JES	Aydın	11 MW
Kiper 1 JES	Aydın	10,2 MW
Emirler 1 JES	Denizli	9,9 MW
Sentez Yeşilova JES	Manisa	5 MW
Halilbeyli 1 JES	Aydın	5 MW

Çizelge 1.11 : Planlanan santraller (Enerji atlası, 2016).

SANTRAL ADI	İL	KURULU GÜÇ
Nezihe Beren JES	Aydın	20 MW

1.2.2 Türkiye’de jeotermal enerji kullanımı

Jeotermal alanlar dünyada olduğu gibi Türkiye’de de ilk etapta kaplıca amaçlı tesisler olarak kullanılmıştır. Tek bir amaca hizmet eden küçük çaplı bu tesisler, şimdilerde birçok faaliyeti içinde bulunduran çok daha büyük çaplı işletme tesislerine dönüşmeye başlamıştır.

Jeotermal enerji ülkemizde kaynak sıcaklığına göre kullanım alanı bulur. Düşük ve orta sıcaklıklı kaynaklar en yaygın olarak bölgesel ısıtma sistemlerinde, bina ısıtmalarında, seracılıkta ve balık çiftliklerinde kullanılmaktadır. Bölgesel ısıtmalarda kullanılan sistemler, jeotermal kaynaktan çıkarılan sıcak suyu, mekanik bir tesisat

yardımıyla ısıtılacak alanlara ulaştırır. Jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri, fosil kaynakların kullanıldığı diğer ısıtma sistemlerine göre daha ekonomiktir. Yüksek sıcaklıktaki kaynaklar ise elektrik enerjisi üretimi gibi dolaylı uygulamalarda kullanılır.

1962 yılında başlayan jeotermal enerji kaynaklarının keşfedilmesi ve yüzeye çıkartılması araştırmalarını MTA Genel Müdürlüğü yürütür. 287,5 °C sıcaklığa ulaşan jeotermal kaynaklar MTA tarafından ortaya çıkartılmıştır.

1990'lı yılların başından 2004 yılına kadar süregelen politikalardan kaynaklı jeotermal enerji aramaları durma durumuna gelmiştir. Daha sonraları arama çalışmaları hızlandırılarak MTA Genel Müdürlüğüne bu çalışmalar için sağlanan ödenek ise yaklaşık 10 katına çıkarılmıştır. Türkiye'deki Jeotermal Uygulamaların Karşılaştırılması 2002-2017 yılları için MTA tarafından şöyle verilmiştir:

- 2002 yılında 16 adet olan elektrik üretimine uygun saha sayısı 2017 yılında 25 adede ulaşmıştır.
- 2002 yılında 500 dönüm olan sera ısıtması 2017 yılında 3931 dönüme çıkartılarak, %686 oranında artış sağlanmıştır.
- 2002 yılında 30.000 konuttan oluşan konut ısıtma sayısı 2017 yılında 114567 konut değerine ulaşmış %281 oranında artış sağlanmıştır.
- 2002 yılında 15 MWe olan elektrik üretiminde kurulu güç 2017 yılı Kasım ayı itibariyle sonunda 1052 MWe'e çıkmış ve %7000 artış sağlanmıştır.
- 2002 yılında 3000 MWt olan ülke görünür ısı kapasitesi 2017 yılında 15.500 MWt'e çıkartılarak %416 artış oluşturulmuştur.

1.2.3 Seracılıkta jeotermal enerji

Seralar, bölgesel iklim koşullarının dışarıda ürün yetiştirmeye olanak sağlamadığı dönemlerde bitkiler için uygun ortamların yaratıldığı tesislerdir. Seralarda birim alanda daha fazla ve daha kaliteli ürün alımı amaçlanır. Bu amaç doğrultusunda sıcaklık, ışık, bağıl nem ve CO₂ konsantrasyonu gibi iklim parametreleri kontrol altında tutulmalıdır.

Temelde mevsimleri dışında üretim yapma amacıyla kullanılan seralarda yetiştirilen ürünlerin miktar, kalite gibi parametrelerde istenilen düzeye getirilebilmesi için

optimum koşullar sağlanmalıdır. Sera tekniğinde önemli olan etken bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için tutulması gereken optimum sıcaklığı sağlayarak verimi ve kaliteyi arttırmaktır. Bitkinin ihtiyaç duyduğu sıcaklığın sağlanması verimi yaklaşık %50 oranında arttırabilmektedir. Seralar ise özellikle geceleri ısı kaybının çok fazla olduğu tesislerdir. Fosil yakıtların giderek tükenmesi ve sistemlerinin işletme maliyetlerinin artması üreticileri alternatif enerji yöntemlerine yönlendirmiştir.

Sera ısıtma sistemlerinde farklı uygulama örnekleri bulunmaktadır. Jeotermal kaynak yer ısısı olarak tanımlanır. Yer kabuğunun çeşitli yerlerinde toplanmış ısıdan meydana gelen, içindeki erimiş maddeler çevresindeki diğer kaynaklara oranla fazla olan su ve buhardır. Jeotermal enerji ise jeotermal kaynaklardan elde edilen enerji türüdür. Jeotermal kaynakların en yaygın kullanım alanı jeotermal ısıtma olup sera ısıtmasında jeotermal enerjinin kullanılması da Türkiye’de giderek önem kazanan bir durumdur.

1985 yılında Kızıldere-Denizli’de ilk jeotermal ısıtma sistemli sera faaliyeti 4,5 dekarlık alanda uygulanılmaya çalışılmıştır. 2018 verilerine göre Türkiye’de 1.283 dekar alanda jeotermal enerji ile ısıtılan örtüaltı yetiştiriciliği yapılmaktadır. Örtüaltı üretiminde %19’luk payla İzmir ilk sırada yer almaktadır. İzmir’i %17,7’lik payla Manisa, %16,8’lik payla Afyonkarahisar, %11,1’lik payla Denizli, %9,8’lik payla Şanlıurfa, %6,8’lik payla Kütahya illeri takip etmektedir (Çizelge 1.12). Ayrıca Aydın, Adıyaman, Eskişehir, Kırşehir, Yozgat, Nevşehir, Aksaray, Ağrı, Uşak, Van, Ankara ve Sakarya illerinde de jeotermal enerji ile ısıtılarak örtü altı tarımsal üretim yapılmaktadır.

Çizelge 1.12 : Türkiye jeotermal sera alanları.

	(dekar)
İzmir	820
Manisa	756
Afyonkarahisar	720
Denizli	474,3
Şanlıurfa	421,2
Kütahya	293

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Ülkelerin sosyal ve ekonomik olarak gelişmesinde en temel unsurlardan biri enerjidir. Enerjiye olan talep gün geçtikçe artmakta önümüzdeki yıllarda da artmaya devam edeceği bilinmektedir. Günümüzde birçok ihtiyaç için kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kaynaklı yakıtlar kullanılmaktadır. Ancak önümüzdeki yıllarda bugün kullandığımız enerji kaynakları olan fosil yakıtların tükeceği öngörülmektedir. Jeotermal, dalga, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları ise fosil yakıtların aksine tükenmesi mümkün olmayan çevre dostu kaynaklardır.

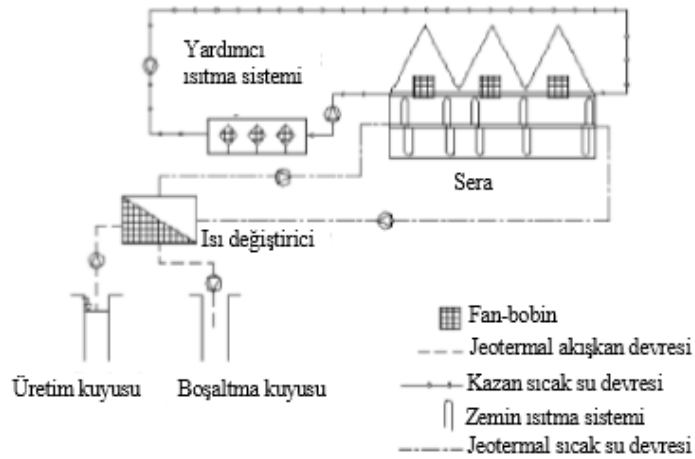
Seracılıkta üretim harcamalarının maliyeti büyük oranda ısıtma sisteminden harcanan maliyete bağlıdır. Bu durumda maliyeti azaltmak için yapılması gereken temel şey ısıtmaya harcanan oranı düşürmektir. Isıtmaya harcanan maliyetin düşürülmesinin en etkili yolu ise ısıtmanın yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılarak yapılmasını sağlamaktır. Maliyetin düşürülmesi kışın yapılan sebze tarımını önemli ölçüde etkiler. Türkiye’de bulunan kaynakların çokluğu bu anlamda ekonomik olarak fayda sağlayacak niteliktedir.

Bu çalışmada Bursa ili Orhangazi ilçesi Keramet bölgesindeki jeotermal enerji kaynağının ölçüleri belirlenmiş bir sera için ısıtma amacıyla kullanmasının olanağı araştırılmıştır. Bölgede sıcaklığı 31 °C debisi 53,5 lt/sn olan bir jeotermal kaynak bulunmaktadır. Bu kaynağın su sıcaklığı düşük olduğundan jeotermal kaynak jeotermal ısı pompasıyla (GSHP) desteklenmiştir. Jeotermal enerjiyle sera ısıtma sistemlerinin tasarımı ve bu sistemde kullanılacak olan ekipmanın seçimine teknik özellikler incelenmiştir. Bu amaçla Bursa ili iklim koşullarında 1000 m² taban alanlı polietilen (PE) plastik serada, bölgede çiçekçilik yaygın olduğu için çiçek yetiştiriciliği hedeflenmiştir. Seranın bölge iklim koşullarına göre ısı gereksinimi belirlenmiş ve bu gereksinimi karşılayacak bir ısı pompası seçilmiştir. Sistemde yer alan diğer ekipmanların tasarım değişkenleri belirlenmiştir. Klasik ısıtma yöntemli bir seraya göre jeotermal ısıtma sistemli bir seranın maliyet açısından karşılaştırması yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Andrew Chiasson, 2006, çalışmasında jeotermal ısı pompası ile sera ısıtmasının fizibilitesini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada hem kapalı hem de açık döngü sistemleri ABD'de dört noktada incelenmiştir ve çeşitli jeotermal ısı pompalı sistemler için 20 yıllık bir yaşam döngüsüne göre net bugünkü değer analizi yapılmıştır. Sonuçlar, sadece seranın bir kısmının, kapalı devre bir jeotermal ısı pompası sistemi ile ısıtılmasının ekonomik olarak toprak döngüsü kurulum maliyetinin ve yüksek doğalgaz maliyetinin altında olacağını göstermiştir. Ayrıca açık döngülü jeotermal ısı pompası sistemlerinin, kapalı döngülü sistemlerden çok daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

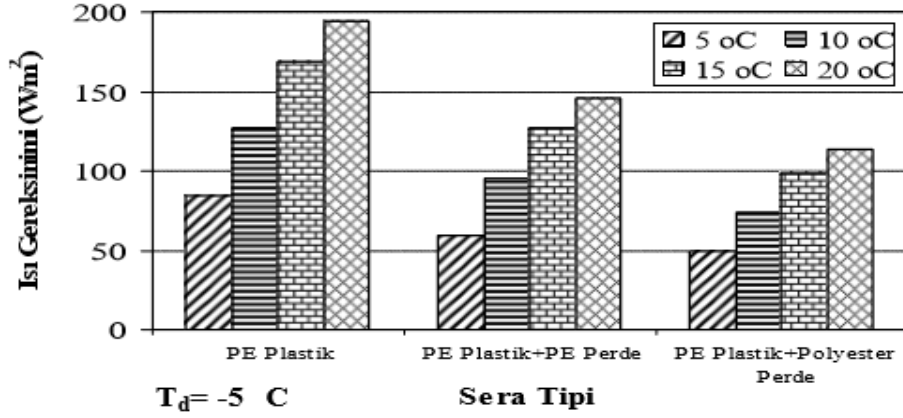
Kondili ve Kaldellis, 2006, Ege Denizi'nin Yunanistan kıyılarında bulunan entalpisi yüksek jeotermal kaynaklar üzerinde çalışmışlardır. Bu kaynaklardan yeterince yararlanılmadığına dikkat çekerek sera ısıtma sistemleri için kullanılmasını önermişlerdir. Kurmayı düşündükleri sistemi analitik olarak modelledikten sonra sisteme ait bileşenlerin enerji dengesi eşitliklerini belirlemişlerdir. Elektriğe harcanan maliyeti en aza çekecek ve sistemde oluşması öngörülen ısı kayıp seviyelerini düşürecek tasarım elemanlarını seçmişlerdir. Sistemin ekonomik anlamda uygunluğu ve teknik açıdan uygulanabilirliği Şekil 2.1'de verilen bir durum çalışması ile açıklanmıştır.



Şekil 2.1 : Sera ısıtmasını jeotermal enerjiyle sağlayan sistemin analitik modeli.

Karacabey ve Yağcıoğlu, 2009, çalışmada yoğun seracılık faaliyetleri olan Balçova-İzmir bölgesinden bir sera seçmişlerdir. Seçilen seranın bölgenin iklim koşullarına göre ihtiyacı olan en yüksek ısı miktarı hesaplanmıştır. Bu ısı gereksinimine göre seranın ısıtmasının fosil yakıtlı bir kaynakla ya da jeotermal enerjili bir kaynakla ısıtılması arasındaki ekonomik farklılığı incelemişlerdir. Yapılan hesaplamalara göre 12 dekarlık yüzey alanına sahip seranın tesis maliyeti 2007 yılına ait piyasa fiyatları baz alınarak fosil yakıtlı ısıtma sisteminde jeotermal kaynaklı ısıtma sistemine oranlar %27 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu sonuca bakıldığından bu bölgede bulunan jeotermal kaynağın sera ısıtmasında kullanılmasının fosil yakıtlı ısıtmaya göre 10 kat daha az maliyetli olduğu söylenmiştir.

Yıldız, 2010, çalışmasında jeotermal kaynaklarının sera ısıtmasında kullanılması imkanının Aydın ili için araştırılmasını amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda bölgede bulunan jeotermal kaynakların sera ısıtma için kimyasak ve fiziksel özelliklerinin uygunluğu incelenmiştir. 12 °C olan sera ısıtması eşik değeri dikkate alınarak seranın jeotermal enerjiyle ısıtılmasına ilişkin bir düzenekte tasarım ve ekipman seçimi konuları incelenmiştir. Bölgenin iklimi koşulları göz önüne alınarak, 1000 m² taban alanında üç farklı yapıdaki polietilen seralar için hesaplamalar yapılmıştır. Seraların taban alanları başına ısı gereksinimleri PE plastik serada 169,2 W/ m², PE ısı perdeli PE plastik serada 126,9 W/ m² ve polyester ısı perdeli serada 98,7 W/ m² olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.2). Hesaplanan ısı gereksinimlerini karşılayacak PE plastik sera için yaklaşık 1539,3 m, PE ısı perdeli serada 1154,4 m ve polyester ısı perdeli serada 897,9 m uzunluğunda 40 mm çapında plastik boru gereklidir. Sonuç olarak PE plastik seranın ısı gereksiniminin PE perdeli seraya ve polyester perdeli seraya göre oldukça yüksek olduğu bulunmuştur. Yapılan hesaplamalara göre ısı kayıplarının en düşük olduğu sera çeşidinin polyester perdeli sera olduğu tespit edilmiştir.

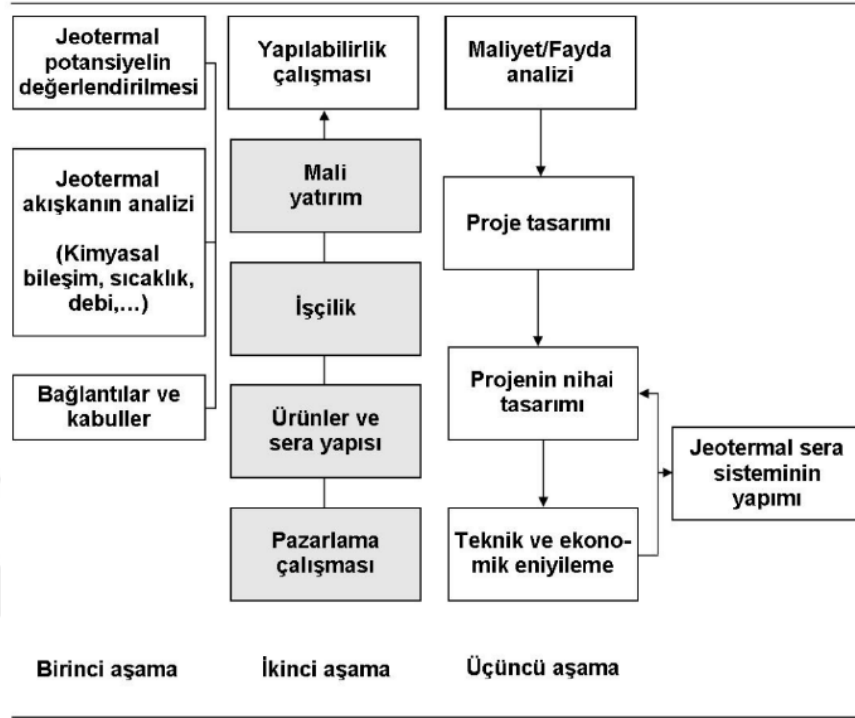


Şekil 2.2 : PE, PE ısı perdeli, polyester sera tipleri için ısı gereksinimi.

Kendirli ve Çakmak, 2010, çalışmada seraların ısıtılmasında kullanılabilecek doğal enerji kaynakları üzerinde durmuşlardır. En çok uygulama alanı bulan jeotermal enerji, güneş enerjisi ve biyokütle enerjisinin ülkemizdeki potansiyelini inceleyerek bu kaynakların sera ısıtılmasında kullanılma prensiplerinden ve karşılaşılan sorunlardan bahsetmişlerdir. Jeotermal enerjinin kullanıldığı ısıtma sistemini kaynaktan çıkarılan jeotermal akışkanın seraların olduğu bölgeye taşınana kadar gerekli olan ekipmanlar olarak değerlendirmiştir. Bu sistemleri teknik özelliklerine göre sınıflandırıp ısıtma sistemi içerisinde en uygun olanın toprak altından veya zeminden ısıtma olduğuna karar vermişlerdir. Yapılan incelemeler sonucu jeotermal akışkanlarda bulunan erimiş metaller nedeniyle kullanım aşamasında borularda kabuklaşma ve korozyona neden olduğu ortaya konulmuştur. Gelişen teknolojiler ile birlikte günümüzde sera ısıtma sistemlerinin projelenmesi ve işletilmesi ile ilgili sorunların çözülmesinin bu ısıtma sistemlerinin daha yaygın hale gelmesinde önemli bir rol oynayacağı sonucu ortaya konulmuştur.

Günerhan, 2011, çalışmasında çiçeklik ve sebze yetiştiriciliği yapılan seralarda jeotermal enerjili ısıtma sistemleri üzerinde durmuş ve bu sistemler hakkında temel bilgiler vermiştir. Çalışmanın amacı, ürünün çeşidine bağlı olarak seranın ihtiyacı olan enerji miktarını belirlemek, sera iç ortamını etkileyen parametreleri tartışmak, farklı sıcaklıklardaki ısıtma sistemlerinin özelliklerini ve bu özelliklerin üretimi nasıl etkilediğini ekonomik olarak tanımlamak ve sera ısıtılmasında jeotermal kaynakların kullanılmasının ekonomik analizini yapmak olmuştur. Çalışma sonucunda jeotermal enerjiyle ısıtılan bir sera için sistem seçiminin kesin bir yöntemle tanımlamanın olanaksız olduğuna karar verilmiştir. Bu duruma ek olarak sera ısıtılmasında jeotermal

enerjinin kullanılacağı projeleri geliştirmek için takip edilmesi gereken adımlardan oluşan bir akış şeması oluşturulmuştur (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Jeotermal enerji sera sistemleri genel akış şeması.

Cebeli ve Kendirli, 2011, yaptıkları çalışmada Yozgat ili ve ilçelerinde bulunan sera varlıkları ile jeotermal alanların miktar ve özellikleri incelendikten sonra, il merkezi ile jeotermal kaynakların yoğun olduğu üç ilçede planlanan sera modeli için ısı gereksinimi hesaplarını yapmışlardır. Bu hesaplamalarla Yerköy ilçesinin jeotermal kaynaklarının kullanımına en uygun olduğu tespit edilmiştir. Yerköy ilçesinde 5 dekarlık jeotermal topraksız sera için domates yetiştiriciliğine ait fizibilite hesapları yapılarak sistemin kârlılığı araştırılmıştır. Yerköy ilçesinde toplam 7 dekarlık işletme arazisi üzerinde her biri 2492 m² taban alanına sahip iki adet yay çatılı altılı blok sera ve yardımcı ünitelerden oluşan jeotermal ısıtılmalı topraksız tarım tekniği uygulanan bir sera işletmesi tasarlayıp seraların ve bütün yardımcı ünitelerin yatırım maliyetlerini hesaplamışlardır. Planlanan sera işletmesi projesinin uygulanabilirliği fayda/masraf oranı kriterine göre değerlendirilmiştir. Sonucunda Yozgat ili Yerköy ilçesinde 5 dekar alana sahip jeotermal enerjiyle ısıtılan topraksız serada domates yetiştiriciliğinin uygulanabilirliği araştırılmış ve işletme ömrü süresince elde edilen gelir ve giderlerin fayda/masraf yöntemiyle değerlendirilmesi yapılarak sistemin yapılabilir (ranta) olduğu sonucuna varılmıştır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : Yerköy ilçesi 7 dekarlık seranın gelir-gider tablosu.

Yıllar	Yatırım giderleri	İşletme giderleri	İşletme gelirleri	İndirgenme oranı	İndirgenmiş gider	İndirgenmiş gelir
0	466.593,78	-	-	1,000000	-466.593,78	-
1	-	134.103,50	148.482,00	0,917431	+123.030,70	+136.221,99
2	-	134.103,50	148.482,00	0,841680	+112.872,23	+124.974,33
3	-	134.103,50	148.482,00	0,772183	+103.552,44	+114.655,28
4-25	-	134.103,50	148.482,00	7,2913	+977.788,85	+1.082.626,80
Toplam					+850.650,44	+1.458.478,40

Kadıoğlu, 2013, çalışmada Simav ilçe merkezinin kuzeyindeki Eynal'da 1987 yılında başlayan jeotermal seracılığı coğrafi bakış açısıyla incelemeye çalışmıştır. Ağırlıklı olarak domates ve hıyar yetiştiriciliği yapılan bu seraların Simav ekonomisindeki rolü ve önemi araştırılmıştır. Kışın soğuk hava şartları nedeniyle üretim yapılmayan bu seralar ilkbahar mevsimindeki geç donların zararlarını önlemek amacıyla turfanda üretim amacıyla kurulmuştur. Bu nedenle çalışmanın esas konusunu Eynal'daki jeotermal seralar oluşturmuştur. Sonuç olarak Simav'da jeotermal ısıtım seracılık için mevcut olan potansiyel tam anlamıyla değerlendirilememiştir. Yöredeki zengin jeotermal kaynakların sera ısıtımında uygun özelliklere sahip olduğu gözlenmiştir. İlerleyen günlerde kurulacak seraların ısıtılmasında jeotermal enerjinin kullanılması üretimde önemli bir artış ve çeşitlilik sağlayacaktır.

Hasdemir ve diğ., 2015 çalışmalarını, 2012-2013 yıllarında Türkiye'de jeotermal seracılık alanında hali hazırda çalışmalar yapılan Aydın, Afyonkarahisar, İzmir, Denizli, Kırşehir, Manisa, Kütahya, Nevşehir, Yozgat ve Şanlıurfa bölgelerinde yapmışlardır. Bu illerde bulunan örtü altı işletmeleri jeotermal enerji kullanılan ve jeotermal enerji kullanılmayan olmak üzere iki ana gruba ayırmışlardır. Jeotermal kaynak kullanan ve kullanmayan işletmelerin üretim süreçlerinde ihtiyaç duydukları bilgileri karşılaştırdıklarında önemli farklılıklar bulunmuştur. Jeotermal kaynak kullanan işletmelerin çoğunlukla, il ve ilçe tarım müdürlükleri, tarım danışmanları ve işletme teknik personeli gibi formal bilgi kaynaklarına başvururken, jeotermal kaynak kullanmayan işletmelerin genellikle işletme sahibi, komşusu veya akrabası gibi informal bilgi kaynaklarına başvurmakta olduklarını tespit etmişlerdir.

Campuzano, 2014, çalışmada Ekvador paramosunda bulunan topluluklarda seraları ısıtmak için jeotermal enerjiyi kullanmanın fizibilitesini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda temel olarak bu çayırda sürdürülebilir

tarım programlarında ısıtılmış seralar yardımıyla hangi ürünlerin yetiştirilebileceğini belirlemek, paramodaki ısıtma uygulamaları için jeotermal potansiyeli analiz etmek, alpin çayırılık alanlardaki jeotermal sera ısıtmanın teknik ve finansal uygulanabilirliğini değerlendirmek ve seraları ısıtmak için fosil yakıtlar yerine jeotermal enerji kullanıldığında kaçınılacak CO₂ miktarını tahmin etmek gibi hedefleri belirlemiştir. Serada yetiştirmek üzere domates seçilmiştir. Seçilen ürüne göre ısı gereksinimi hesapları yapılarak sera tasarlanmıştır. Sonuç olarak ısıtılan seraların kullanılmasıyla daha yüksek verim daha az enerji sarfiyatı daha az toprak kullanımı elde edilmiştir. Bu projenin özel sektörde veya kamuda uygulanması önerilmiştir.

Taşkın ve Vardar, 2016, yaptıkları çalışmada tarım sektöründe doğal enerji kaynaklarının kullanıldığı örnekleri incelemişlerdir. Sonuç olarak enerji kaynaklarının giderek tükeniyor olması ve doğaya olan olumsuz etkilerini engellemek amacıyla tarım sektöründe alternatif enerji kaynaklarına yönelinilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşmasının sosyal ve ekonomik gelişmelere ek olarak sürdürülebilir tarım anlayışını da fayda sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

Bursa ilinin iklimsel ve coğrafik özellikleri verilen bu bölümde Bursa’da bulunan jeotermal enerji kaynakları teknik özellikleri ve kullanım olanakları açısından ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bölgenin iklim koşulları göz önünde bulundurularak polietilen örtülü temsili bir sera için jeotermal kaynağın yakıt olarak kullanıldığı bir sistem seçilmiş ve bu sisteme ait tasarım değişkenleri belirlenmiştir. Seranın ısıtılması için gereken ısı miktarı ve oluşacak kayıplar hesaplanmıştır. Isıtma sistemleri için gerekli kazan gücü, ısı pompası gücü, ısı değiştiricisi kapasitesi, ısıtma borusu uzunlukları, sirkülasyon ve santrifüj pompa debileri gibi tasarım değişkenleri belirlenmiştir. Meteorolojiden alınan 10 yıllık sıcaklık verileri ve BIN metot yardımıyla enerji sarfiyatı hesabı yapılmıştır. Bu hesaplara göre klasik ısıtma yöntemlerine göre jeotermal ısıtma yöntemlerinin ekonomik açıdan kârlı olup olmadığı sonucuna varılmak hedeflenmiştir.

3.1 Materyal

Marmara Denizi’nin güneydoğusunda yer alan Bursa 40 derece boylamında ve 28 – 30 derece enlemleri arasındadır. Kuzeyde İstanbul, Kocaeli, Yalova, güneyde Kütahya ve Eskişehir, doğuda Sakarya, Bilecik ve batıda Balıkesir illeriyle çevrilidir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Bursa'nın coğrafi konumu.

17 ilçesi (Büyükorhan, Gemlik, Gürsu, Harmancık, İnegöl, İznik, Karacabey, Keles, Kestel, Mudanya, Mustafakemalpaşa, Orhaneli, Orhangazi, Yenişehir, Nilüfer, Osmangazi ve Yıldırım), 230 beldesi ve 659 köy yerleşimi bulunan şehrin 11.027 kilometrekarelik bir alanı mevcuttur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Bursa'nın ilçeleri.

Toplam uzunluğu 135 km olan kıyı bandının yalnızca 22 km'lik kısmı kullanıma uygundur. 2018 yılı sonuçlarına göre ilin nüfusu 2.994.521'dir. Zengin bir bitki örtüsüne sahip olan şehirde ovalar, plato ve yüksek olmayan dağlar, Uluabat ve İznik gölleri ve akarsular bulunur. Yüzeyinin %17'si ovalarla kaplıdır. Bursa sınırları içerisinde yer alan Uludağ (2543 m) Batı Anadolu'nun en yüksek dağıdır.

Bursa'nın iklimi jeopolitik olarak Marmara ile Ege Bölgesi arasından yer aldığından karmaşık bir yapıya sahiptir. Şehrin güney ve iç kesimlerinde İç Batı Anadolu'nun karasal iklimi görülürken kuzey kesiminde Akdeniz ikliminin Marmara kıyılarına özgü tipi gözlemlenmektedir. En düşük hava sıcaklıkları Uludağ'da ölçülür ve burada yerin karla kaplı kalma süresi yaklaşık 6 aydır. Gemlik ve Mudanya gibi Marmara Denizi'ne kıyısı olan yerlerde ise hava sıcaklık ortalaması daha yüksek olup yerin karla kaplı kalma süresi yaklaşık 10 gündür.

Temmuz ve eylül ayları arasında en sıcak zamanlar yaşanırken, en soğuk aylar şubat ve marttır. Yıllık ortalama yağış miktarı 706 mm, ortalama nisbi nem ise %69 civarındadır.

Yüzey alanının yaklaşık %40'ı ormanlarla kaplıdır. Güney kesimlerinde ise ormanların büyük oranda tahrip edilmesi sebebiyle bitki örtüsü genellikle bozkır olarak karşımıza çıkar. Marmara Denizi kıyılarında Akdeniz iklimine ait bitki örtülerinden olan makiler ve zeytinlikler egemendir. Gürgen, ıhlamur, kestane ve kızılâğaçlardan oluşan ormanları alçak rakımlarda görülürken daha yüksek rakımlara çıkıldığında kayın, meşe, göknar ve kara çam ormanları vardır.

3.1.1 Bursa'nın jeotermal kaynakları

Bursa eski çağlardan beri jeotermal kaynakların çokluğu ile tanınmaktadır. Jeolojik olarak çok eski tarihlere uzanmakla Bursa'da kaplıcaların halka mal edilmesi Roma-Bizans İmparatorluğu dönemine rastlar. Bu dönemlerde kaplıcaların ismi Pytia'dır. Kükürtlü bölgesindeki Yeni Kaplıca 16. yüzyılda inşa edilmiş olup Osmanlı dönemine aittir.

Bursa il sınırları içerisinde toplam 9 adet jeotermal alan bulunmaktadır (Çizelge 3.1). Bursa'daki sıcak su kaynakları özellikle tedavi amaçlı kaplıcalarda ve turistik tesislerde kullanılmaktadır (MTA, 2018).

Çizelge 3.1 : Bursa'nın jeotermal kaynakları (MTA, 2018).

JEOTERMAL ALAN	SICAK SU		DOĞAL ÇIKIŞ		SONDAJ			KULLANIM ALANI
	ADI	DOĞAL ÇIKIŞ ADI	Sıcaklık (°C)	Debi (lt/sn)	Sıcaklık (°C)	Debi (lt/sn)	Potansiyel (MWT)	
KAYNARCA	Kaynarca		35 – 82,5	15,8	49 – 88	60	11,8	Kaplıca -
ÇEKİRGE	Çekirge		34,5 – 49,5	20,18	44	55	2,07	Istıma
ORHANGAZI	Keramet		31	53,5	35	50	-	Kaplıca
KERAMET								
İNEGÖL	Oylat		25 – 40	50	-	-	-	Kaplıca -
OYLAT								Kaplıca ısıtma
GEMLİK	Terme		36	0,5	-	-	-	Kaplıca -
TERME								Kaplıca ısıtma
M.KEMALPAŞA	Dümbüldök		28,5 – 45	2,5	51	55	3,68	
ORHANELİ	Ilıcaksu		35,5 – 45,5	3				
İNEGÖL	Karacakaya		25 -27	25				
ORHANELİ	Sadağ		64,5	1				
	Ağaçhisar		40	2				

3.1.1.1 Kaynarca (Kükürtlü) ve Çekirge kaplıcaları

Bursa kent merkezinde yer almaktadır. Sıcaklıkları 35 – 88 °C arasında değişen 17 adet kaynaktan oluşur. Bu kaynak genellikle termal turizm ve kaplıca amaçlı kullanılmaktadır (Şekil 3.3). Bölgedeki sondajlar çeşitli tarihlerde MTA tarafından açılmıştır. MTA'nın yapmış olduğu çalışmalar bu bölgenin jeotermal potansiyel açısından oldukça zengin olduğunu göstermektedir. Mevcut saha verilerine göre alandaki jeotermal potansiyelle çevredeki yaklaşık 50.000 konutun ısıtılacağı öngörülmektedir. Kent merkezinde ya da yakın çevrede termal turizm için kullanılabilir olan kaynaklar ayrıca elektrik üretimi ya da termal suyun entegre kullanımı sonucu seracılıkta da değerlendirilebilir.



Şekil 3.3 : Çekirge kaplıcaları.

3.1.1.2 Orhangazi – Keramet kaplıcası

Orhangazi ilçesinin Keramet Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. 31 °C sıcaklık ve 53,5 lt/sn debiye sahip doğal bir çıkışı bulunmaktadır (Şekil 3.4). Kaynağın çıktığı alanda herhangi bir tesis bulunmamaktadır. Bu alanda yapılacak sondaj çalışmalarıyla Orhangazi ilçesindeki konutların tamamı merkezi olarak ısıtılabilir. Ayrıca bu kaynaktan seracılık, kaplıca ve termal turizm tesisleri şeklinde de yararlanılabilir.



Şekil 3.4 : Keramet kaplıcası.

3.1.1.3 İnegöl – Oylat kaplıcaları

İnegöl ilçesi Hilmiye Mahallesi sınırı içinde kalmaktadır. Sıcaklıkları 25 – 40 °C arasında debisi yaklaşık 50 lt/sn olan 5 adet kaynaktan oluşur. Oylat kaplıcalarında otel ve apart tesisleri mevcuttur (Şekil 3.5). Bu alanda yapılacak jeotermal çalışmalar sonucunda muhtemele jeotermal potansiyel ile 10.000 adet konut ısıtılabilir. Ayrıca seracılık, kaplıca ve termal turizm amaçlı tesisler kurulabilir.



Şekil 3.5 : Oylat kaplıcaları.

3.1.1.4 Gemlik – Terme kaplıcası

Gemlik ilçe merkezinde yer almaktadır. Terme bölgesindeki kaynaktan sıcaklık 36 °C olarak ölçülürken debisi 0,5 lt/sn'dir. Mülkiyeti Gemlik Belediyesine ait olan kaynaktan yapılacak sondaj çalışmalarıyla seracılık faaliyetlerinde, kaplıcalarda, termal turizm tesislerinde yararlanılabilir.

3.1.1.5 M.Kemelpaşa – Dümbüldek kaplıcası

M.Kemelpaşa ilçesi Akarcılar Mahallesi yolu üzerindedir. Sıcaklıkları 28,5 – 45 °C arasında değişen 4 adet kaynaktan 0,3 – 2,58 lt/sn debide termal su çıkmaktadır. Bu alanda yapılacak sondaj çalışmalarıyla M.Kemelpaşa ilçesindeki konutların büyük bir bölümü merkezi olarak ısıtılabilir. Ayrıca bu kaynaktan seracılık, kaplıca ve termal turizm tesisleri şeklinde de yararlanılabilir.

3.1.1.6 Orhaneli – Ilıcaksu kaplıcası

Harmancık ilçesi Ilıcaksu Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Sıcaklıkları 35,5 – 45,5 °C debileri 0,4 – 0,52 lt/sn arasında değişen toplam 7 adet kaynaktan termal su çıkmaktadır. Bu alanda yapılacak sondaj çalışmalarıyla seracılık faaliyetlerinde, kaplıcalarda, termal turizm tesislerinde yararlanılabilir.

3.1.1.7 Orhaneli – Sadağ kaplıcası

Orhaneli ilçesi Sadağ Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Kaynak alanı Sadağ köyüne 3 km. uzaklıkta olup sit alanı ilan edilen kanyon içinde ve dere yatağında bulunmaktadır. 64,5 °C sıcaklığa sahip olan kaynağın debisi 1 lt/sn'dir. Alanda herhangi kurulu bir tesis yoktur. Sıcak su çıkışının bulunduğu alanın arazi şartları son derece engebeli ve ulaşım güçlükle sağlandığından kaynak çevresi gelişmemiştir. Kaynağın bulunduğu alanda Osmanlı Devleti'nin kuruluşundan önce bölgede bulunan Antrenos Krallığı zamanından kalma Kaya Hamamı bulunmaktadır (Şekil 3.6). Kaplıca yöre halkı tarafından banyo amaçlı kullanılmaktadır. Bu alanda yapılacak sondaj çalışmalarıyla seracılık faaliyetlerinde, kaplıcalarda, termal turizm tesislerinde yararlanılabilir.



Şekil 3.6 : Sadağ kaplıcası – Kaya hamamı.

3.1.1.8 Orhaneli – Ağaçhisar kaplıcası

Orhaneli ilçesi Ağaçhisar Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Bölgedeki jeotermal su 40 °C sıcaklıkta ve 2 lt/sn debiyle yüzeye çıkar. Kaplıcalar bölge halkı tarafından banyo amaçlı kullanılmaktadır. Bu alanda yapılacak sondaj çalışmalarıyla seracılık faaliyetlerinde, kaplıcalarda, termal turizm tesislerinde yararlanılabilir.

3.1.1.9 İnegöl – Karacakaya jeotermal alanı

İnegöl ilçesinin doğusunda yer alır. 25 – 27 °C sıcaklığında ve 25 lt/sn debidedir. Jeotermal kaynak herhangi bir amaçla kullanılmamaktadır. Bu alanda yapılacak sondaj çalışmalarıyla seracılık faaliyetlerinde, kaplıcalarda, termal turizm tesislerinde yararlanılabilir.

3.2 Metot

3.2.1 Klasik ısıtma yöntemleri

Bitki gelişmesi ve büyümesinde en önemli etmen iklimdir. Seralarda genellikle mevsim dışı yetiştiricilik yapılır. Bu nedenle seralarda kaliteli yüksek verimin elde edilebilmesi bitkilerin arzuladıkları biyolojik optimum koşulların sağlanmasına bağlıdır. Seraların kurulduğu bölgenin iklimine bağlı olarak, soğuk dönemlerde ısıtma, sıcak dönemlerde havalandırma, gölgeleme ve soğutma ihtiyacı ortaya

çıkılmaktadır. Yetiştirilmesi planlanan bitki türüne göre sera ortam sıcaklığı belirlenir. Bitkilerin normal gelişmelerini tamamlayabilmeleri için özellikle kış aylarında, seraların uygun sıcaklık değerlerine kadar ısıtılması gerekir (Baytorun ve diğ., 2016).

Sera ısı gereksinimi, seranın ısı kayıplarına göre belirlenir. Seralarda ısı kayıplarının nedenleri kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon ile meydana gelen ısı transferleridir. Bu ısı transferleri genellikle aynı anda meydana gelir. Sera ısı gereksinimleri ısı kaybı denkleminde, ısı kayıplarının tümü bir katsayı ile birleştirilerek hesaplanır (Worley, 2005). İyi bir ısıtma sistemi, başarılı bitki üretimi için en önemli adımlardan biridir. Bitkilere zararlı madde salmadan eşit sıcaklık kontrolü sağlayan, sera içi sıcaklığı bütün sera içinde eşit olan, gerekli yakıtın kolay olarak sağlanabildiği herhangi bir ısıtma sistemi kabul edilebilir.

Buhar veya sıcak sulu radyatörlü sistemler, fosil yakıt kullanılan ısıtma sistemleri, elektrikli ısıtıcılar, yenilenebilir enerji kaynakları ve benzerlerinin kullanıldığı sera ısıtma sistemleri mevcuttur. Bölgenin iklim koşullarına göre ısıtma sistemleri değişiklik gösteriyor olsa da en yaygın kullanılan gaz yakıtlı ısıtma sistemleri kullanılır.

Modern seralarda genellikle bir doğal gazlı kalorifer kazanı ve buna bağlı polietilen ya da demir boru ağlarıyla oluşturulan merkezi ısıtma sistemi kullanılmaktadır (Şekil 3.7). Polietilen boruların ömrü 4 ila 6 yıl arasında değişmektedir.



Şekil 3.7 : Doğal gaz kazanı.

Borular sera içerisinde zemine, yan yüzeylere ya da çatı üçgenin altına gelecek şekilde dönebilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Isıtma boruları.

Kar yükünün fazla olduğu soğuk bölgelerde biriken karı çözmesi için olukların altına gelecek şekilde yerleştirilen ısıtma boruları tercih edilir (Şekil 3.9). Bu ısıtma türüne konvansiyonel ısıtma adı verilir.



Şekil 3.9 : Konvansiyonel ısıtma.

Zemine döşenen borular bitkilerin gelişme sistemlerini olumsuz yönde etkilemektedir (Şekil 3.10). Ancak buna rağmen özellikle tropikal bitkiler için tercih edilir.



Şekil 3.10 : Zemin ısıtma boruları.

Bitkiler kasa içerisine yerleştirilerek masalara koyulur. Böylece sıcaklığın olumsuz etkisi azaltılmış olur (Şekil 3.11). Daha yeni sistemlerde ısıtma boruları masaların yaklaşık 30 cm altına yerleştirilir. Böylelikle sıcaklığın homojen dağılımı sağlanır.



Şekil 3.11 : Masa üzerinde ısıtma boruları.

Sera içerisinde ısı kaybını önlemek için ısı perdeleri kullanılır. Isı perdeleri havayı geçirmeyen yapıdadır. Genellikle geceleri ısı geçişini sağlamak için gündüzleri ise gölgelendirme için kullanılır (Şekil 3.12)



Şekil 3.12 : Isı perdesi.

Gölgelendirme perdelerinin amacı ise güneş ışıklarının direkt bitkilere gelmesini engellemektir. Gölgelendirme perdelerinin havayı geçirme oranı yaklaşık %40 veya %60'tır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : Gölgelendirme perdesi.

Sulama işlemleri genellikle zemine yerleştirilen sulama borularıyla yapılır (Şekil 3.14). Isıtmanın zeminden yapılıyor olması sulama boruları için sorun teşkil eden bir durum değildir. Bazı saksı bitkilerinden damla sulama tekniği kullanılır (Şekil 3.15).



Şekil 3.14 : Sulama boruları.



Şekil 3.15 : Damla sulama tekniği.

3.2.2 Jeotermal ısıtma sistemleri

Fosil yakıt maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle seraların birçoğunda düzenli bir ısıtma yapılamamaktadır. Bitkileri dondan korumaya yönelik bir ısıtma tercih edilerek maliyet azaltılmaya çalışılmaktadır. Seralarda ısıtmanın düzenli yapılamıyor olması üründen alınan verimi azaltıyor olup üretim çeşidine sınırlama getirmekte, elde edilen ürünlerin kalitesini düşürmektedir (Kendirli ve Çakmak, 2010). Bitkinin ihtiyacı olan ısıtmanın sağlanması üründen alınan verimi yaklaşık %50 oranında arttıracığı bilinmektedir.

Seralar iklimlendirmenin yapay olarak sağlandığı yapılardır. Bu nedenle seralarda enerji harcamaları oldukça fazladır. Isıtmanın oranı üretim harcamaları içinde %60'lara kadar çıktığından, seracılıktaki başarı ısıtmaya harcanan maliyetinin mümkün olduğunca düşürülmesine bağlıdır. Seracılıkta enerji tüketimini azaltmaya yönelik hedefler şu şekilde sıralanabilir (Yıldız, 2010):

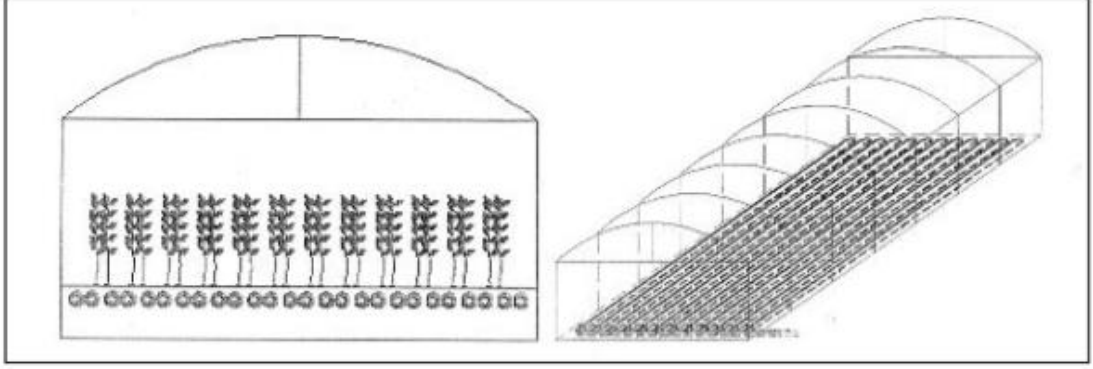
- Ürün çeşidini değiştirerek düşük sıcaklıklar hedeflenebilir.
- Isı perdesi türü değiştirilerek ısı kayıpları en aza indirgenebilir.
- Klasik ısıtma sistemlerinin etkinliğini artırılabilir.
- Yenilenebilir enerji kaynakları ısıtma sisteminde kullanılabilir.

Bu hedefler arasındaki en etkin yol yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaktır. Bu kaynaklar arasında özellikle güneş enerjisi ve jeotermal enerji öne çıkmaktadır. Jeotermal enerji, yer kabuğunun derinliklerinde biriken ısının oluşturduğu, sıcaklığı bulunduğu bölgeye göre sürekli ortalamanın üzerinde olan, çevresindeki diğer sulara göre fazla miktarda erimiş mineral bulunduran sıcak su ya da buhardan elde edilen enerji olarak tanımlanır. Özellikle yüksek sıcaklıktaki jeotermal enerjinin kullanıldığı seralarda, bitki gelişimi ve döllenme için gereken sıcaklık daha kolay ve daha ekonomik olarak sağlanmakta ve ürünlerden elde edilen verim artmaktadır (Anonim, 2013).

Jeotermal enerjiden yararlanan sera ısıtma sistemleri, jeotermal akışkanın çıkarıldığı bölgeden tüketicilerin bulunduğu bölgelere taşınması için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler teknik özelliklerine göre toprak ısıtma sistemleri, hava ısıtma sistemleri ve kombine ısıtma sistemleri olarak sınıflandırılabilir.

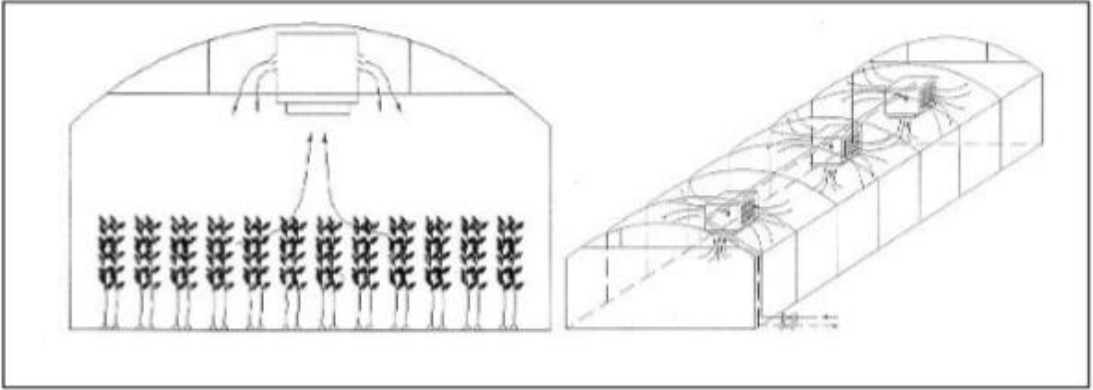
Zeminden ya da toprak altından yapılan ısıtma sistemi, jeotermal enerji uygulamalarının en uygun sistemidir. Aynı kaynaktan beslenen ortam havası ısıtma

sistemleri ile desteklenmesi mümkün olan bu sistem Şekil 3.16’da gösterilmiştir. İçerisinde sıcak akışkanın dolaştığı ısıtma boruları belirli derinlik ve aralıklarla toprak altına döşenir. Plastik malzemelerden üretilen ısıtma boruları yüksek sıcaklığa dayanıklı olmaları ve kolay bir şekilde döşenebilmeleri nedeni ile günümüzde yaygın olarak tercih edilmektedir.



Şekil 3.16 : Toprak ısıtma sistemi.

Hava ısıtma sistemlerinde fan ve ısı değiştirici üniteleri seraların çatı konstrüksiyonlarına asılır. Sudan havaya ısı değiştirici ve basıncı fanlardan oluşan sistem Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Geçici olarak ısıtma yapılması yeterli olan ılıman iklim bölgelerinde tercih edilen bir sistemdir. Sera boyunca uzanan ve üzerinde delikler olan polietilen borular yardımıyla jeotermal akışkan taşınarak dağıtma kanallarıyla sera ortamına dağıtılır. (Öztürk, 2008).



Şekil 3.17 : Isı değiştirici ve fan ünitesi ile ısıtma.

3.2.3 Isı kaybı hesabı

Bir seranın ısı kaybı duvarlar ve çatı yüzeyleri boyunca iletim kaybı ve soğuk dış havanın ısınmasından kaynaklanan sızma ve havalandırma kayıpları olarak iki temel bileşenden oluşur.

İletim kaybını değerlendirmek için ilk adım yapının yüzey alanını hesaplamaktır. Bu yüzey alanı seranın yapı malzemesine göre bir ısı kaybı faktörü ve sıcaklık farkıyla birleştirilerek toplam iletim ısı kaybı hesaplanır.

Şekilde özellikleri verilen polietilen (PE) seranın toplam yüzeyinden dış ortama iletilen toplam ısı \dot{Q} (W) Denklem 3.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}=U \times \Sigma A \times \Delta T \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de U sera örtü yüzeyinin toplam ısı iletim katsayısını ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), ΔT seranın iç ortam havasının T_i ve dış ortamın T_d sıcaklıkları arasındaki farkı ($^\circ C$), A seranın toplam örtü yüzey alanını (m^2) ifade eder.

Çizelge 3.2 : Örnek seranın teknik özellikleri.

Genişlik (m)	Uzunluk (m)	Oluk yüksekliği (m)	Sera yüksekliği (m)	Çatı yüzeyi yüksekliği (m)	Çatı yüksekliği (m)	Çatı eğimi
8	125	2	3,5	4,27	1,5	20,55

$$A_3=(H \times L) \cdot 2 \quad (3.4)$$

Seranın çatı yüzey alanları toplamı Denklem 3.5 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$A_{\text{ç}}=A_2+A_4 \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te A_2 ve A_4 sırasıyla şekildeki 2 ve 4 numaralı yüzeylerin toplam alanlarını ifade etmektedir. Bu yüzey alanları aşağıda verilen denklemler yardımıyla hesaplanır.

$$A_2=\left(\frac{W}{2} \times H_r\right) \cdot 2 \quad (3.6)$$

$$H_r=\frac{W}{2} \times \tan \alpha \quad (3.7)$$

$$A_4=(W_r \times L) \times 2 \quad (3.8)$$

$$W_r=\frac{W}{2} / \cos \alpha \quad (3.9)$$

Seranın taban alanı Denklem 3.10 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$A_5=(W \times L) \quad (3.10)$$

Şekil 3.18'de gösterilen seranın yukarıda verilen denklemlere göre hesaplanan alanları Çizelge 3.4'te listelenmiştir.

Çizelge 3.4 : Örnek seranın yüzey alanları.

$A_1(\text{m}^2)$	$A_2(\text{m}^2)$	$A_3(\text{m}^2)$	$A_4(\text{m}^2)$	$A_5(\text{m}^2)$
32	12	500	1068	1000

Seranın toplam ısı iletim yüzey alanı 1612 m^2 olarak hesaplanmıştır.

Birçok bitki gelişimi için ihtiyaç duyduğu sıcaklık birbirinden farklıdır. Seraların iç ortam sıcaklığı içerisinde yetiştirilen bitkinin türüne göre belirlenmektedir. Çiçek yetiştiriciliği yapılan bir sera için iç sıcaklık değeri yaklaşık $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

Dış ortam sıcaklığı seranın bulunduğu bölgenin iklim koşullarına göre yıl içerisinde hava sıcaklığının en düşük olduğu zamanların ortalamalarına göre hesaplanır. Bu proje kapsamında Bursa iline ilişkin yıllık en sık görülen (frekansı yüksek) ve en düşük ortalama sıcaklık değerleri üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Bu durumda Bursa için dış ortam sıcaklığı $-6 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir (TMMOB, 2001).

Çizelge 3.5 : Isı kaybı hesabı.

	U	A	ΔT
$\dot{Q}=U.\Sigma A.\Delta T$	(W/m ² °C)	(m ²)	(°C)
	6,53	1612	21

Çizelge 3.5’te verilen değerlere göre proje kapsamında ele alınan sera için iletimden kaynaklı ısı kaybı değeri yapılan hesaplamalarla 221,1 kW olarak hesaplanmıştır.

Pencere ve kapılarda kapatılmış durumda kanatlar ve kasalar tam olarak çakışmamakta arada boşluklar kalmaktadır. Bu durumda dış hava ile iç ortam havası arasındaki basınç farkına bağlı olarak içeriye soğuk hava sızıntısı olurken dışarıya iç hava sızmaktadır. İçeriye sızan soğuk havanın ısıtılması için gereken ısı miktarına hava sızıntısı (enfiltrasyon) ısı kaybı denir.

Toplam ısı kaybı hesabının ikinci adımında hava sızıntısından kaynaklanan ısı kayıpları Denklem 3.11’e göre hesaplanır.

$$\dot{Q}_s = \Sigma a \times L \times R \times H \times \Delta T \times Z_e \quad (3.11)$$

Denklem 3.11’de L pencere veya kapının açılan kısımlarının çevre uzunluğunu (m), ΔT seranın iç ortam havasının T_i ve dış ortamın T_d sıcaklıkları arasındaki farkını (°C) belirtmektedir.

a hava sızdırma katsayısıdır (m³/mh). Çizelge 3.6’ya göre plastik çerçevelerde tek pencere için 1,5 değerini alır (TMMOB, 2001).

Çizelge 3.6 : Pencere ve kapı çerçevesinin hava sızdırma katsayısı (a) (TMMOB, 2001).

Malzeme	Pencere veya kapı şekli	a
Ahşap çerçeve	Tek pencere	3.0
	Çift camlı pencere	2.5
Plastik çerçeve	Tek veya çift camlı pencere	2.0
	Tek pencere	1.5
Çelik veya metal çerçeve	Çift camlı pencere	1.2
	Çift pencere	1.2
İç kapılar	Eşiksiz kapılar	40.0
	Eşikli kapılar	15.0

R oda durum katsayısı olup birimsizdir. Bu hesaplama için ihmal edilmiştir.

H, yapı durum katsayısıdır. Rüzgarlı bölgede serbest yapılar için değeri $0,977 \times 10^{-3}$ kWh/ m³°C'dir.

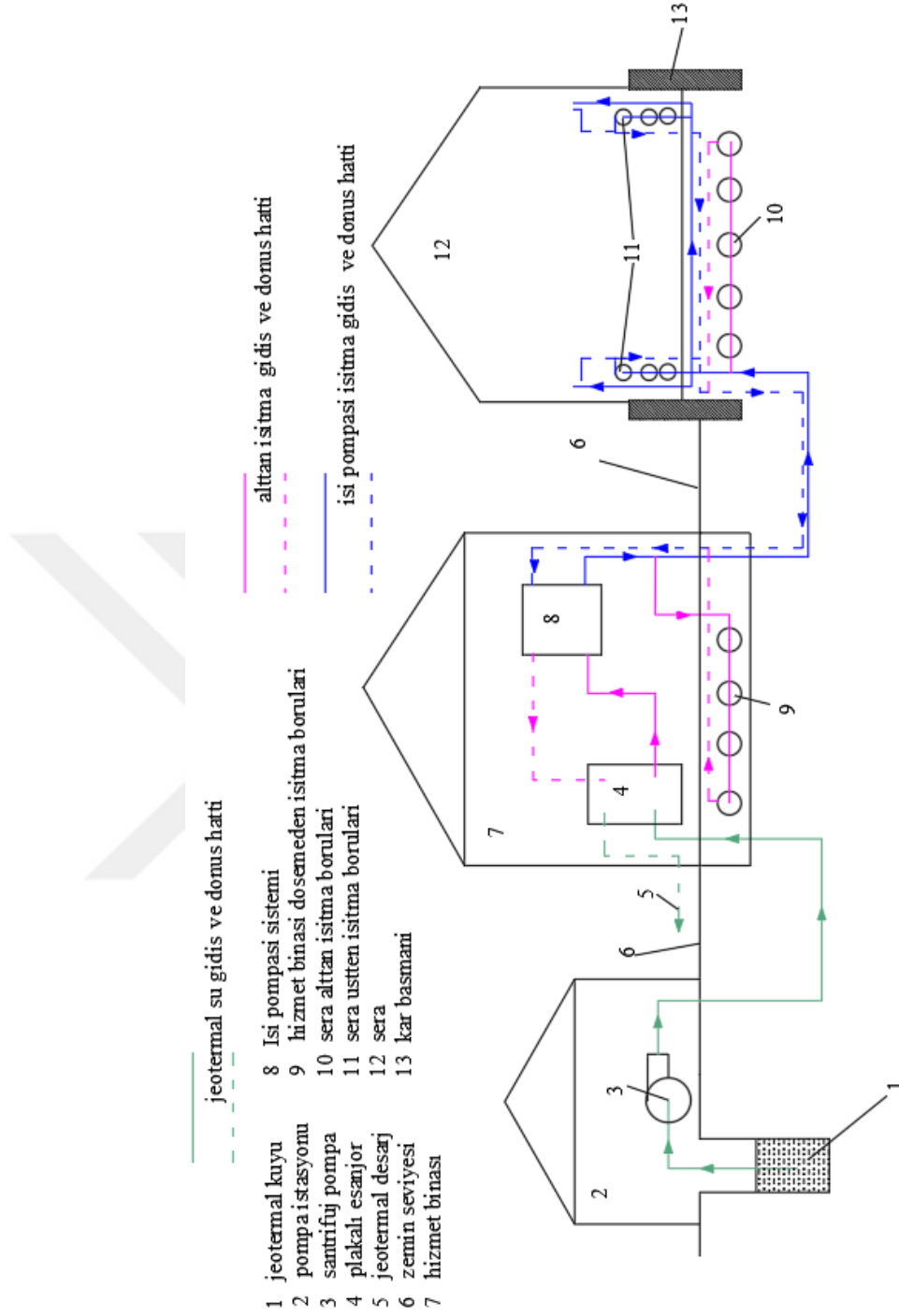
Z_e katsayısının her iki dış duvarında pencere olan odalar için değeri 1,2 iken diğer odalar için değeri 1'dir.

Bu bilgilere göre proje kapsamında özellikleri verilen sera için hava sızıntısından kaynaklı ısı kaybı değeri 15,44 kW olarak hesaplanmıştır.

Bütün bu hesaplamalarla beraber Bursa ili koşullarında 1 dönümlük PE örtülü çiçek serasının ısı kaybı hava sızıntısından kaynaklı ısı kayıpları dahil yaklaşık 236,5 kW olarak belirlenmiştir.

3.2.4 Ekipman seçimi

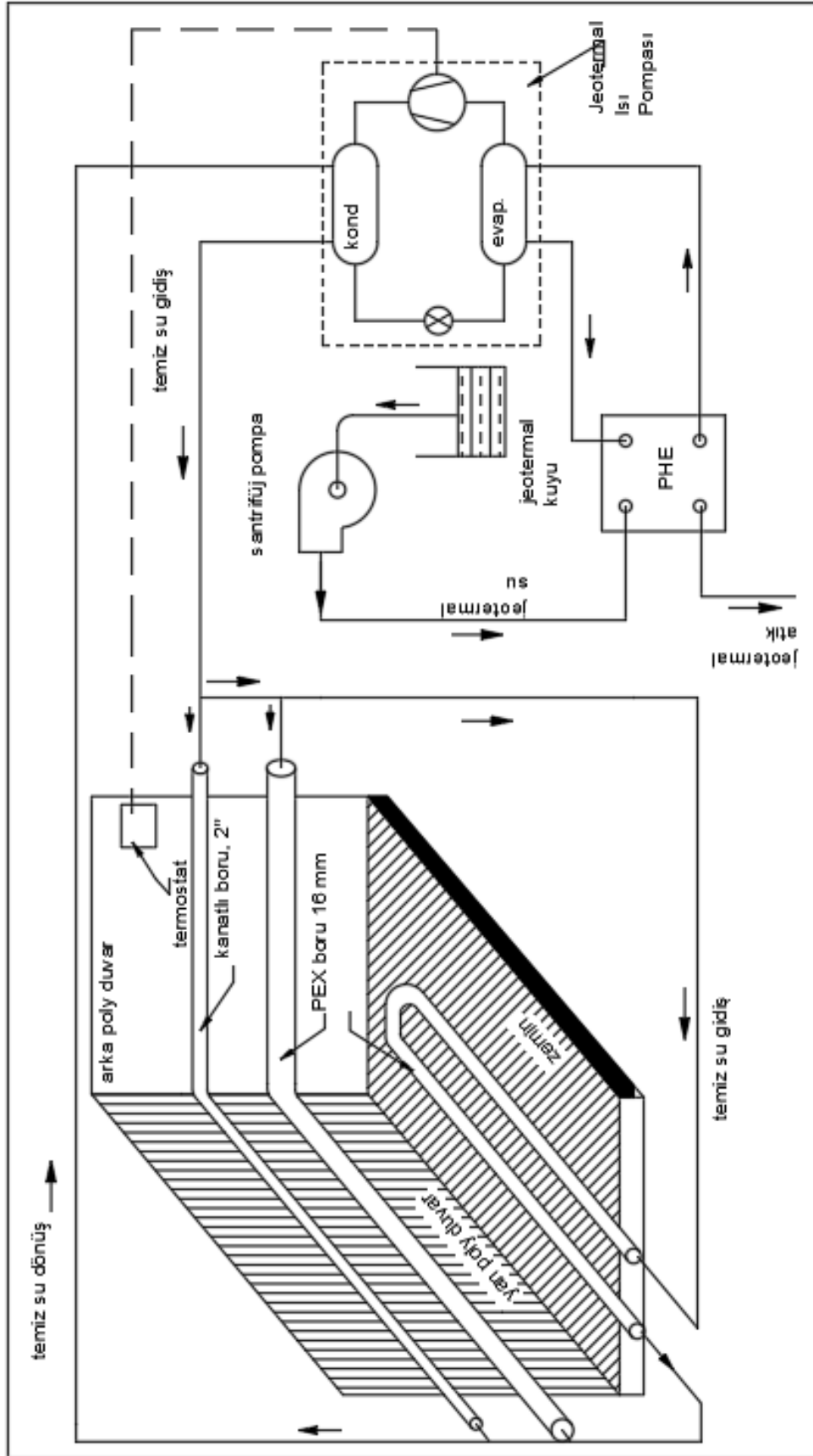
Kurulması planlanan sera için gerekli ekipmanlar Şekil 3.19'da görsel olarak verilmiştir.



Şekil 3.19 : Sera ekipmanları.

3.2.4.1 Isı pompası seçimi

Jeotermal kaynakta 31 °C olan su iletim hattı kayıpları nedeniyle yaklaşık 25 °C olarak sisteme gönderilir. Isı pompası yardımıyla 50 °C sıcaklığa getirilerek seraya taşınır (Şekil 3.20). Isı pompasının kapasitesi seranın toplam ısı kaybını karşılayacak şekilde seçilir.



Şekil 3.20 : Isı pompası çalışma düzeneği.

Her biri 61 kW kapasiteli toplam 4 adet Viessman Vitocal 350G-PRO serisinden bir ısı pompası seçilmiştir (Çizelge 3.7). Seçilen ısı pompaları kaskat bağlanarak kullanılacaktır.

Çizelge 3.7 : Isı pompası teknik verileri.

Isı pompası (Viessman Vitocal 350G-Pro BW352A027)	
Kondenser gücü	61 kW
Kompresör tükettiği güç	10,1 kW
Evaporatör gücü	50 kW
COP	6,13

3.2.4.2 Toprak sıcaklığının belirlenmesi

Bu sistemde sıcak suyun sirküle edildiği PE borular seranın zeminine gömülür. Sıcak sudan gelen ısı, borudan toprağa ve en sonunda seradaki havaya aktarılır. Zemin ısıtma sisteminin tasarlanabilmesi için gerekli zemin sıcaklığının, boru çapı ve uzunluğunun, gömülme derinliğinin ve modülasyonun (borular arasındaki aralıkların) hesaplanması gerekir.

Zeminin ısı çıkışı, zemin yüzey sıcaklığının, sera hava sıcaklığının ve odadaki ısıtılmamış yüzeylerin (AUST) ortalama sıcaklığının bir fonksiyonudur. Yerden gelen ısı çıkışı iki mekanizma ile oluşur: Konveksiyon ve radyasyon.

Seranın ısı kaybı ısıtma amacıyla kullanılacak zemin alanına bölünür. Şekilde verilen sera için zemin alanı 1000 m², toplam ısı kaybı 236,5 kW'tır.

Bu değer daha sonra gerekli zemin yüzey sıcaklığını çözmek için Denklem 3.12'de kullanılır.

$$\dot{Q}/A = 0,15 \times [(T_f + 460/100)^4 - (AUST + 460/100)^4] + [0,32 \times (T_f - T_a)^{1,32}] \quad (3.12)$$

Denklem 3.12'de T_f yüzey sıcaklığını (°C), T_a ise kapalı ortam hava sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

Ancak bu denklemde önce AUST değeri hesaplanmalıdır. Daha önce belirtildiği gibi AUST, odadaki ısıtılmamış yüzeylerin alan ağırlıklı ortalama sıcaklığıdır. Bir sera için, bu yüzeyler duvarlar ve çatıdır. İç yüzey sıcaklığı Denklem 3.13'e göre hesaplanır.

$$IST=IDT-\left[\left(\frac{0,595}{1/U}\right)\times\Delta T\right] \quad (3.13)$$

Denklemler 3.13'te IST iç yüzey sıcaklığını (°C), IDT iç ortam sıcaklığı (°C), U sera örtü yüzeyinin toplam ısı iletim katsayısını (W/m²°C), ΔT seranın iç ortam havasının T_i ve dış ortamın T_d sıcaklıkları arasındaki farkını (°C) ifade etmektedir.

Farklı yüzeylere sahip seralar için AUST değeri şöyle hesaplanır:

$$AUST=\frac{A_1\times IST_1+A_2\times IST_2}{A_1+A_2} \quad (3.14)$$

Toprak yüzey sıcaklığının (T_f) makul bir düzeyde olması için sera ısıtma yükünün %75'inin (180 kW) zeminden karşılanması geri kalan kısmının ise yan duvarlar boyunca yerleştirilecek olan kanatçıklı borulardan karşılanması planlanmıştır. Buna göre Denklem 3.12'de Q değeri 180 kW alınacaktır. Bu durumda Denklem 3.12-3.14'ten toprak yüzey sıcaklığı T_f = 26,6 °C bulunmuştur. Bu değer bitki köklerine zarar vermeyecek kabul edilebilir bir değerdir.

Bir sonraki adım ısıyı sağlayan boruların gömüleceği derinliği ve aralığı belirlemektir. Boru aralığı ve boyutu mevcut su sıcaklığına bağlıdır. Genel olarak, derinlik, boruların yüzey etkinliğinden, sistem tasarımından daha fazla korunması işlevidir ve yüzeyden 5 ila 15 cm arasında bir rakam yaygındır. Boru çapı en yaygın kullanılan PEX borular 16 mm olarak seçilmiştir.

3.2.4.3 Boru uzunluğu hesabı

Yukarıda bahsedildiği gibi zeminden ısıtma sisteminin kapasitesi 180 kW olarak tayin edilmiştir. Ayrıca zeminden ısıtmada suyun ısıtma sistemine giriş-çıkış sıcaklıkları iletim hattı kayıpları nedeniyle 45 ° – 40 °C olarak seçilmiştir. Buna göre ortalama su sıcaklığı T_{w,m}=42,5 °C olmaktadır. Bu durumda zeminden ısıtma sisteminde dolaştırılacak suyun debisi,

$$\dot{m}_z=\frac{\dot{Q}_z}{c_p\times\Delta T_z} \quad (3.15)$$

denklemden hesaplanır. Denklem 3.15'te Q_z zeminden sağlanan ısıtma gücünü (kW), c_p akışkanın özgül ısısını (J/kg°C), ΔT_z zeminden ısıtmada suyun ısıtma sistemine giriş – çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı (°C) ifade etmektedir.

Boruların gömüleceği derinlik yukarıda belirtilen ortalama su sıcaklığı, toprağın ısı iletim katsayısı ve toprak yüzey sıcaklığı dikkate alınarak Rafferty (2019) tarafından verilen Çizelge 3.8'e göre 5 inç (yaklaşık 12 cm) olarak belirlenmiştir.

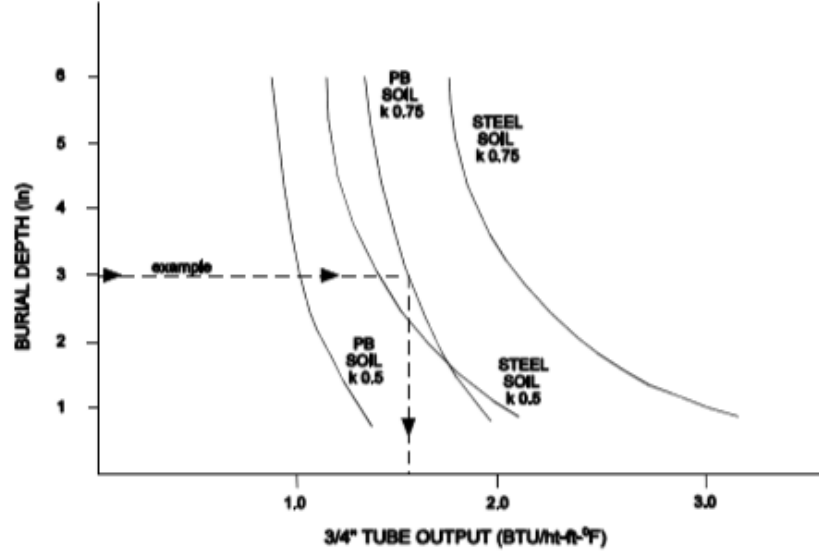
Çizelge 3.8 : Önerilen maksimum su sıcaklığı (°F).

Polibütilen gömme derinliği (inç)	Çelik boru		Plastik boru	
	k=0,5	k=0,75	k=0,5	k=0,75
1	111	105	124	112
2	116	110	131	120
3	122	115	139	128
4	125	117	144	131
5	128	120	148	135
6	134	125	156	142

Zeminden ısıtma sisteminde kullanılacak boru uzunluğu aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$l_z = \frac{\dot{Q}_z}{F \times (T_{w,m} - T_f)} \quad (3.16)$$

Denklem 3.16'da F faktörü zemine döşenen borunun metresinden yayılan ısı miktarıdır ve Şekil 3.21'den 1,6 olarak alınır. l_z zemine döşenen boru uzunluğunu (m), \dot{Q}_z zeminden seraya verilecek ısı miktarını (kW), $T_{w,m}$ akışkanın ortalama sıcaklığını (°C), T_f yüzey sıcaklığını (°C) ifade etmektedir. Şekil 3.20 ¾ inç boru dış çapı için verilmiştir. Zeminden ısıtma sisteminde dış çapı 16 mm (0,63 inç) olan PEX boru kullanılacağından herhangi bir düzeltmeye ihtiyaç duyulmamıştır (Rafferty, 2019).



Şekil 3.21 : Zemin sistemi için ısı çıkışı.

3.2.4.4 Kanatçıklı boru seçimi

Sera ısı kaybının geri kalan kısmı (60 kW) sera yan duvarlarına paralel yerleştirilen kanatçıklı borularla sağlanacaktır. Kanatçıklı boru uzunluğu aşağıdaki denklemlere göre hesaplanmıştır:

$$l_k = \frac{\dot{Q}_k}{m \times n} \quad (3.17)$$

Denklem 3.17’de l_k kanatçıklı boru uzunluğunu (m), \dot{Q}_k kanatçıklı borulardan seraya verilecek olan ısı miktarını (60 kW), m Çizelge 3.8’den alınan bir faktörü, n ise Çizelge 3.9’dan alınan bir faktörü temsil etmektedir (Rafferty, 2019).

Çizelge 3.9 : Sıcak su sınıfları (btu/h/lf).

Isıtma elemanları	Boru adedi	Ortalama su sıcaklığı							
		240°F	230°F	220°F	210°F	200°F	190°F	180°F	170°F
33 kanatçık/birim uzunluk (feet)	1	1630	1480	1370	1240	1120	1010	900	790
	2	2810	2570	2360	2140	1940	1760	1550	1370
	3	3660	3340	3080	2780	2520	2290	2020	1790
40 kanatçık/birim uzunluk (feet)	1	1750	1600	1470	1330	1220	1090	970	850
	2	2930	2670	2460	2220	2010	1830	1610	1430

m faktörü belirlenmesinde birim uzunluğunda 3 kanatçık olan 3 borulu kanatçıklı boru tipi seçilerek ortalama su sıcaklığı 170 °F sütunundan 1790 btu/h/lf değeri seçilmiştir. Bu değer 3 borulu kanatçıklı borunun birim uzunluğundan atılan ısı gücüdür. Diğer yandan 170 °F ortalama su sıcaklığı yukarıda belirtilen ortalama su sıcaklığından (42.5 °C, 108 °F) farklı olduğu için m değerinin bir düzeltme faktörü (n) ile çarpılması gerekmektedir. Çizelge 3.10'dan n faktörü 0,17 olarak alınmıştır (Kevin ve Rafferty, 2019).

Çizelge 3.10 : Düzeltme faktörü.

Ortalama su sıcaklığı (°F)	Faktör
180	0,80
160	0,62
140	0,47
120	0,30
100	0,17

3.2.4.5 Plakalı eşanjör ve kuyu başı pompası seçimi

Şekil 3.19'da 4 numaralı plakalı eşanjör primer ve sekonder devre akışkanlarının giriş – çıkış sıcaklıkları, debileri ve ısıl kapasitesi dikkate alınarak firma kataloglarından seçilmiştir (Çizelge 3.11). Plakalı eşanjörün ısıl kapasitesi, evaporatör ısıl kapasitesinin plakalı eşanjör etkenlik değerine bölünmesiyle elde edilmiştir. Plakalı eşanjörün etkenlik katsayısı 0,83 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.11 : Plakalı eşanjör teknik verileri.

Plakalı eşanjör (MIT 504 model 49 plaka)	
Kapasite	60 kW
Primer devre	30/25 (°C)
Sekonder devre	20/25 (°C)

Kuyu başı pompası seçiminde ise seranın jeotermal kaynağa olan mesafesi konusunda bir kesinlik olmadığı için debi esas alınmış ve bu debiyle 7,5 mSS basma yüksekliği verecek bir pompa seçilmiştir (Çizelge 3.12). Pompa debisi Denklem 3.18'e göre hesaplanmıştır. Çalışmaya esas olan jeotermal kaynak kendiliğinden yüzeyletiği için emme tarafı düşüsü yaklaşık 1,5 mSS kabul edilmiştir. Ayrıca pompa seçiminde plakalı eşanjörün yarattığı basınç kaybı dikkate alınmıştır.

$$\dot{m}_{\text{kuyu}} = \frac{\dot{Q}_{\text{PH}}}{c_p \times \Delta T_{\text{PH}}} \quad (3.18)$$

Denklem 3.18'e \dot{Q}_{PH} plakalı eşanjörün gücünü (kW), c_p akışkanın özgül ısısını (J/kg°C), ΔT_{PH} plakalı eşanjöre suyun giriş – çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı (°C) ifade etmektedir.

Çizelge 3.12 : Kuyu tarafı santrifüj pompa teknik verileri.

Kuyu tarafı santrifüj pompa (Wilo Economy MHi420M Çok Kademeli)	
Güç	0,75 kW
Debi	8 m ³ /h
Düşü	22 mSS

3.2.4.6 Sirkülasyon pompaları seçimi

Evaporatör devresi sirkülasyon pompası seçiminde debi ve basınç kayıpları esas alınarak frekans konventörlü bir pompa seçilmiştir (Çizelge 3.13). Evaporatör ve plakalı eşanjör arasındaki borulama mesafesi kısa olduğundan borularda olan basınç kayıpları ihmal edilmiştir. Fakat plakalı eşanjörün yarattığı basınç kaybı dikkate alınmıştır. Pompa debisi Denklem 3.19'a göre hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_{\text{ev}} = \frac{\dot{Q}_{\text{ev}}}{c_p \times \Delta T_{\text{ev}}} \quad (3.19)$$

Denklem 3.19'da \dot{Q}_{ev} evaporatörün gücünü (kW), c_p akışkanın özgül ısısını (J/kg°C), ΔT_{ev} evaporatöre suyun giriş – çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı (°C) ifade etmektedir.

$$\dot{Q}_{\text{kond}} = \dot{Q}_{\text{ev}} + W_{\text{com}} \quad (3.20)$$

Isı pompası kondenser gücü Çizelge de 61 kW, kompresör gücü ise 10,1 kW olarak verilmiştir. bu durumda evaporatör gücü 50 kW'tır.

Çizelge 3.13 : Evaporatör devresi sirkülasyon pompası teknik verileri.

Evaporatör devresi sirkülasyon pompası (Wilo YONOS MAXO 40/0,5-8 DN 40)	
Güç	0,2 kW
Debi	15 m ³ /h
Düşü	8 mSS

Kondenser devresi sirkülasyon pompası seçimi için ise sera içi ısıtma sisteminin basınç kayıpları aşağıdaki Denklem 3.21'e göre hesaplanmıştır. Frekans konventörlü bir pompa seçilmiştir (Çizelge 3.14).

$$\Delta P=R \times L+Z \quad (3.21)$$

Denklem 3.20'de ΔP ısıtma devresi basınç kaybını (Pa), R özgül basınç kaybını (Pa/m), L toplam boru uzunluğunu (m), Z ise yerel basınç kayıplarını (Pa) ifade etmektedir.

Kondenser devresi sirkülasyon pompası debisi için Denklem 3.22 kullanılmıştır.

$$\dot{m}_{kond}=\frac{\dot{Q}_{kond}}{c_p \times \Delta T_{kond}} \quad (3.22)$$

Denklem 3.22'de \dot{Q}_{kond} kondenser gücünü (kW), c_p akışkanın özgül ısısını (J/kg°C), ΔT_{ev} kondensere suyun giriş – çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı (°C) ifade etmektedir.

Çizelge 3.14 : Kondenser devresi sirkülasyon pompası teknik verileri.

Kondenser devresi sirkülasyon pompası (Wilo YONOS MAXO 25/0,5-12 PN 10)	
Güç	0,2 kW
Debi	11 m ³ /h
Düşü	11 mSS

3.2.5 BIN metot ile enerji sarfiyatı hesabı

BIN metodunda aylık yada yıllık enerji sarfiyatı belirlenirken sıcaklık ve zaman aralıkları ayrı ayrı değerlendirilir. Bu metotta belirli bir zaman aralığı için dış hava sıcaklık değerlerinin orta noktası değerleri ile bu değerlerin belirlenen sıcaklık aralıklarında kaç saat geçtikleri hesaplanır. Tespit edilen saat sayılarına göre ihtiyaç duyulan enerji belirlenir. Enerji sarfiyatının toplam değeri, bütün sıcaklık aralarındaki enerji miktarı bir araya getirilerek hesaplanır (Ali ve Ertürk, 2012).

Derece-gün yöntemi konumu belli olan bir binanın enerji ihtiyacının yıllık ne kadar olacağını bulunmasında kullanılır. Binanın yüzeyinde kullanılan malzemelere ait ortalama ısı iletim katsayı (U) değerleri yardımıyla yıllık enerji ihtiyacı kolayca hesaplanır.

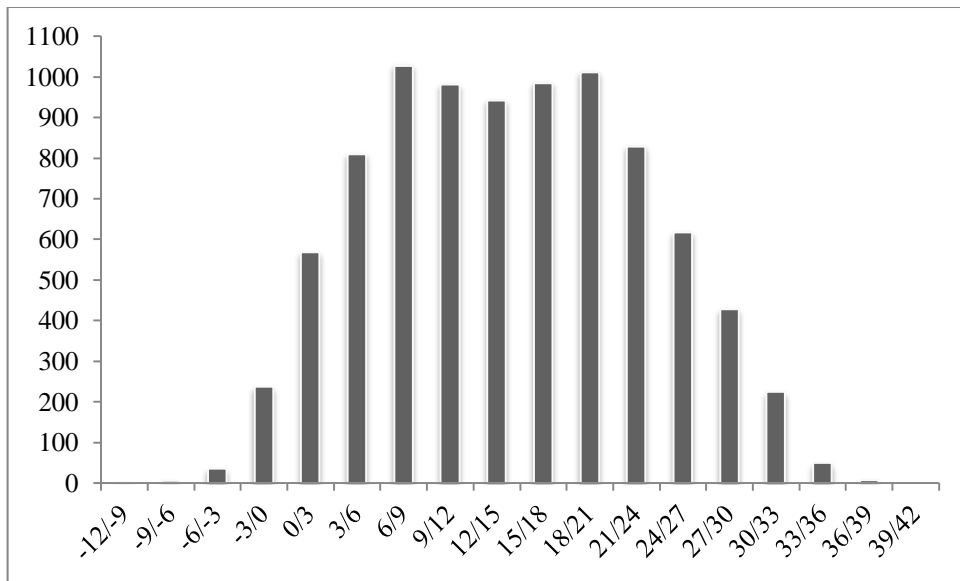
Derece-saat yönteminde ise bir binanın ısıtılması ve soğutulması için gerekli olan enerji, dış ortam sıcaklığı ile denge sıcaklığı arasındaki farkla bağlantılı olduğu kabul edilir. Belirli bir denge sıcaklığına göre derece-saat yöntemiyle değerler tespit edilir. Bir yıllık çalışmada toplam 8760 saatlik ölçüm değerlerinin olması gerekir.

Bu çalışmada Bursa ili için 24 saatlik zaman dilimine ait bin değerleri kuru termometre sıcaklığının -12°C ile 42°C aralığında 3°C 'lik dilimler halinde hesaplanarak tespit edilmiştir. Bin değerlerinin hesaplanmasında, 2007-2016 yılları arasında Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ölçülen toplam 10 yıllık saatlik kuru termometre sıcaklıkları kullanılmıştır. Çizelge 3.15'de yıllık toplam bin değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.15 : 2007-2016 Bursa ili BIN değerleri.

Sıcaklık Aralığı ($^{\circ}\text{C}$)	
-12/-9	2
-9/-6	5
-6/-3	36
-3/0	237
0/3	568
3/6	810
6/9	1028
9/12	981
12/15	942
15/18	985
18/21	1011
21/24	829
24/27	618
27/30	428
30/33	224
33/36	49
36/39	7
39/42	0

Yıllık toplam en büyük bin sayısı değeri 1028 saat ile $7,5^{\circ}\text{C}$ ($6^{\circ}\text{C}/9^{\circ}\text{C}$) sıcaklık aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 : 2007-2016 Bursa ili BIN değerleri.

Çizelge 3.16 : Isı pompası sistemi enerji hesabı.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
$T_{bin,ora}$														
$T_{denge}^{T_{bin}}$														
		BIN değerleri	Sera ısı kaybı ($U \times A \times \Delta T_{sera}$) (kW)	Isı pompası kapasitesi (kW)	(ısı kaybı/ısı pompa kapasitesi) x faktörü	Düzeltilmiş ısı pompası kapasitesi	(ısı pompası x kapasite düz. fak.)	Sistemin elektrik gücü	Çalışma zaman faktörü (ısı kaybı/düzeltilmiş ısı pompası kapasitesi)	İstima enerjisi (kWh) (BIN değer x düzeltilmiş kap. x zaman fak.)	Kompresör elektrik tüketimi (kWh) (BIN değer x komp. tüketimi x zaman fak.)	İstima enerjisi ihtiyacı (kWh) (BIN değer x ısı kaybı)	Ek istima ihtiyacı (kWh)	Toplam enerji tüketimi (kWh)
16,5	-1,5	985	-15,55	61	-	49,64	10,34	0,31	14649,08	3050,80	14649,08	0	0	3050,80
13,5	1,5	942	15,55	61	0,25	57,41	10,34	0,81	45766,71	8240,49	45766,71	0	0	8240,49
10,5	4,5	981	46,65	61	0,76	110,94	20,68	0,70	79932,34	14896,51	79932,34	0	0	14896,51
7,5	7,5	1028	77,76	122	0,64	118,71	20,68	0,92	88174,39	15356,24	88174,39	0	0	15356,24
4,5	10,5	810	108,86	122	0,89	172,24	30,62	0,81	79496,91	14131,05	79496,91	0	0	14131,05
1,5	13,5	568	139,96	183	0,76	180,02	30,62	0,95	40541,56	6895,23	40541,56	0	0	6895,23
-1,5	16,5	237	171,06	183	0,93	233,54	41,35	0,87	7277,89	1288,60	7277,89	0	0	1288,60
-4,5	19,5	36	202,16	244	0,83	241,32	41,35	0,97	1166,33	199,85	1166,33	0	0	199,85
-7,5	22,5	5	233,27	244	0,96	249,09	41,35	1,06	528,74	87,77	528,74	0	0	87,77
-10,5	25,5	2	264,37	244	1,08									
									TOPLAM	357534	64146,5	357533,92	0	64146,54

Yukarıda anlatılan BIN metoda göre yapılan hesaplamalar toplu halde Çizelge 3.16'da verilmiştir. Bu hesaplamalar ASHRAE (2013)'te verilen metoda dayanmaktadır.

Şekil 3.22'de A sütununda BIN metotta kullanılan sıcaklık aralıklarının orta noktası görülmektedir. B sütununda sera iç dizayn sıcaklığı ile ilk sütundaki sıcaklıklar arasındaki fark verilmiştir. C sütununda çizelge 3.11'de verilen BIN değerleri görülmektedir. D sütunu o sıcaklık değerleri için ısı kaybıdır ve sera U.A değeri ile B sütununda verilen sıcaklık farkları çarpılarak bulunmuştur. E sütununda seçilen ısı pompasının kondenser kapasitesi değerleri verilmiştir. 6. Sütunda ise D sütununda verilen ısı kaybı değerleri E sütununda verilen ısı pompası kapasitelerine bölünerek bulunan x faktörü verilmiştir. Bu faktör Denklem 3.19'da yerine yazılıp F sütununda verilen kapasite dengeleme faktörü değerleri bulunmuştur. O sıcaklık değerinde oluşan ısı kaybını karşılayabilmek için ısı pompasının hangi kapasitede çalıştığını gösterir.

$$\text{kapasite dengeleme faktörü} = 1 - 0,25 \times (1 - x) \quad (3.19)$$

G sütunu ısı pompasının nominal ısı gücüyle (61 kW) kapasite dengeleme faktörünün çarpımı olarak hesaplanmıştır. Kapasite dengeleme faktörüne göre düzeltilmiş ısı pompası değerini verir.

$$\text{sütun G} = \text{sütun E} \times \text{sütun F} \quad (3.20)$$

H sütunundaki değerler ısı pompasının kompresörünün, evaporatör devresi sirkülasyon pompasının ve kuyu tarafı santrifüj pompasının tükettiği güçleri vermektedir. Burada seçilen ısı pompasının kapasite kontrollü olduğu hatırlanmalıdır. I sütunu ısı pompasının çalışma zaman faktörüdür. Düzeltilmiş ısı pompasının oransal olarak ne kadar süre çalıştırılacağını gösterir.

$$\text{sütun I} = \text{sütun D} / \text{sütun G} \quad (3.21)$$

J sütunu ısı pompasının seraya sağladığı kWh biriminden ısıtma enerjisi miktarıdır.

$$\text{sütun J} = (\text{sütun I} \times \text{sütun G} \times \text{sütun C}) / 1000 \quad (3.22)$$

K sütunu kWh biriminden kompresörün elektrik tüketim miktarıdır.

$$\text{sütun K} = \text{sütun I} \times \text{sütun H} \times \text{sütun C} \quad (3.23)$$

L sütunu seranın kWh biriminden ısıtma enerjisi ihtiyacıdır.

$$\text{sütun L} = \text{sütun C} \times \text{sütun D}/1000 \quad (3.24)$$

M sütunu ısı pompasının sağladığı enerji ile seranın ısıtma enerjisinin ihtiyacı arasındaki farktır.

$$\text{sütun M} = \text{sütun L} - \text{sütun J} \quad (3.25)$$

Isı pompaları kapasite kontrollü seçildiği ve kaskat bağlanacağı için sera ısıtma enerjisinin birebir karşılama imkanına sahiptir. Bu nedenle M sütunundaki değerler 0 olmuştur. Sonuç olarak kurulacak olan ısı pompası sistemi seranın ihtiyacı olan ısıtma enerjisini birebir karşılayacak şekilde kontrol edilmektedir. N sütunu toplam enerji tüketimini vermektedir.

$$\text{sütun N} = \text{sütun K} - \text{sütun M} \quad (3.26)$$

Görüldüğü üzere ısı pompası sistemi seranın ihtiyacı olan ısıtma enerjisini birebir karşılayacak şekilde tasarlandığı için kompresörün elektrik tüketimine eşit olmaktadır.

Isı pompası sistemi her biri 61 kW'lık toplam 4 adet kaskat bağlanmış ısı pompası ünitelerinden oluşmaktadır. Bu ünitelerin işletim otomasyon reçetesi E sütunu esas alınarak yapılacaktır. Diğer bir ifadeyle ilk sütunda verilen dış sıcaklık değerlerine göre aktive edilecek ünite kapasitesi E sütununda yer almaktadır.

3.2.6 Ekonomik analiz

Ekonomik analizi yapmak için öncelikle fosil yakıtlı klasik seranın ekipman maliyetleri (ilk yatırım maliyetleri) ve jeotermal seranın ekipman maliyetleri piyasa araştırması yoluyla belirlenmiştir. Bu maliyetler Çizelge 3.17 ve Çizelge 3.18'de detaylı olarak verilmiştir. Buna göre fosil yakıtlı klasik seranın toplam ekipman maliyeti yaklaşık 158.000 TL, jeotermal seranın toplam ekipman maliyeti ise yaklaşık 1.094.000 TL olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.17 : Klasik ısıtma yöntemli sera ilk yatırım maliyetleri.

MALZEME	MARKA	MODEL	FİYAT (TL)
Sera	AYTEKİN SERA	1 DÖNÜM ÇELİK konstrüksiyon	49.525,91
Kazan Sirkülasyon Pompası	WILO	POLİETİLEN (PE) +ISI PERDESİ YONOS MAXO 25/0,5-12 PN 10	3.788,47
Isıtma Borusu Finli Boru	ATAKOĞLU ISI		11.577,07 19.618,41
Kazan	VISSMAN		74.400
		TOPLAM	158.909,86

Çizelge 3.18 : Isı pompası kullanılan sera ilk yatırım maliyetleri.

MALZEME	MARKA	MODEL	FİYAT (TL)
Sera	AYTEKİN SERA	1 DÖNÜM ÇELİK konstrüksiyon	49.525,91
Isıtma Borusu Finli Boru	ATAKOĞLU ISI		11.577,07 19.618,41
Kondenser tarafı Sirkülasyon Pompası	WILO	YONOS MAXO 25/0,5-12 PN 10	3.788,47
Isı Pompası	VISSMAN	VITOCAL 350-G PRO:BW 352.A027	992.000,00
Plakalı Eşanjör	EKİN ENDÜSTRİYEL	MIT 504 MODEL 49 PLAKA	9.176,00
Kuyu tarafı Santrifüj Pompa	WILO	ECONOMY MHi420M	3.515,84
Evaporatör Devresi Sirkülasyon Pompası	WILO	YONOS MAXO 40/0,5-8 PN 6/10	5.073,69
		TOPLAM	1.094.275,39

Her iki seranın enerji maliyetleri Çizelge 3.19’da özetlenmiştir. Burada ilk sütunda seranın yıllık ısıtma enerjisi görülmektedir. Doğal gaz birim fiyatı Bursagaz’dan alınmıştır. Elektrik fiyatları Limak’tan alınmıştır.

Çizelge 3.19 : Sera enerji maliyetleri.

Yıllık ısıtma enerjisi	Doğal gaz birim fiyatı (TL/kWh)	Yakıt maliyeti (TL/yıl)	Isı Pompası	Elektrik birim fiyatı (krş)	Elektrik maliyeti (TL/yıl)
357.533,92	0,12	42.904,07	64.146,55	0,41	26.300,08

Buna göre fosil yakıtlı seranın yıllık yakıt maliyeti 42.904 TL'dir. Isı pompasının enerji maliyeti ise yıllık 26.300 TL olarak bulunmuştur. Sonuç olarak jeotermal ısı pompalı sistem ile sağlanan yakıt tasarrufu yıllık 16.603 TL'dir.

Bu analizlerden elde edilen sonuçlar literatürde P1-P2 olarak bilinen yöntemin Kalogirou (2014) tarafından verilen versiyonunda birleştirilerek ömürlük kazanım analizi (LCSA) yapılmış ve jeotermal ısı pompası destekli seranın amortisman süresi hesaplanmıştır.

Çizelge 3.20 : Ekonomik analiz için gerekli veriler.

Ekstra İlk Yatırım Maliyeti	935.356,53 TL
Krediye Tabi Miktar	%75
Kredi Geri Ödeme süresi	7 yıl
Kredi Faiz Oranı	%8.25
Enflasyon Oranı	%30
Sistem Ömrü	20 yıl
Sistem Hurda Değeri	%20
Isıtma Enerjisi İhtiyacı	357.533,92 kWh/yıl
Klasik Sistem Yakıt Maliyeti	42.904,07 TL/yıl
Isı Pompası Elektrik Maliyeti	26.300,08 TL/yıl
EUR/TRY	6.2
USD/TRY	5.4
Reeskont Oranı	%18.5

Klasik fosil yakıtlı ısıtma sistemine kıyasla jeotermal ısı pompası sisteminin yarattığı ekstra yatırım maliyetinin karşılanması amacıyla Tarım Orman Bakanlığının tarımda temiz enerji uygulamalarını teşvik amacıyla Ziraat Bankası aracılığı ile 2019 yılı için uygulamaya koyduğu 2 yıl geri ödemesiz 7 yıllık düşük faizli kredi kullanılması

öngörülmüştür. Bahsi geçen kredi kullanım mevzuatına göre sağlanan kredi toplam yatırımın %75'ini geçemez.

Klasik sistemin ve ısı pompası sisteminin enerji maliyetleri ve P1, P2 metot için gerekli diğer ekonomik göstergeler Çizelge 3.20'de verilmiştir. Burada verilen ekonomik göstergeler Şubat 2019 Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB) verileridir. Bu verilere göre ödeme planı yapılmış seranın amortisman süresi hesaplanmıştır.

Çizelge 3.21 : Ödeme planı (Kalogirou, 2014).

Peşinat	233.841,38 TL
PWF	3,97
Krediye Tabi Tutar	701.524,15 TL
Periyodik Ödeme	176.860,49 TL
İlk Yıl için Ödenen Faiz	57.875,74 TL
Ana Ödeme	118.984,75 TL
Ana Bakiye	582.539,40 TL

Ekstra ilk yatırım maliyetinin 233.841,38 TL'si peşinat olarak verilmiştir.

$$\text{peşinat} = \text{ekstra maliyet} \times 0,25 \quad (3.27)$$

Geriye kalan 701.524,15 TL için kredi planlaması yapılmıştır. Kredi oranına göre yıllık 176.860,15 TL kredi ödemesi yapılacaktır.

Şimdiki değer faktörü Kalogirou (2014)'e göre Denklem 3.28'e göre hesaplanır.

$$\text{PWF} = \frac{1}{\text{kredi faiz oranı} \times \left(1 - \left(\frac{1 + \text{kredi faiz oranı}}{n}\right)\right)} \quad (3.28)$$

Denklem 3.28'e göre n kredi vade süresini göstermektedir. Çizelge 3.20'de 7 yıl olarak verilmiştir. Kredi mevzuatına göre 2 yıl geri ödemesizdir.

Toplam ödenecek tutar 884.302,47 TL'dir (Çizelge 3.21).

4. SONUÇLAR

Seracılığın en önemli sorunlarından biri ısıtmadır. Seracılıkta yaygın olarak fosil yakıtlara bağlı ısıtma yapılır. Petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil kaynaklı yakıtların pahalılığı ve çevreye olan olumsuz etkileri üreticiyi ısıtma yapmadan yetiştiriciliğe ya da ekonomik olan farklı enerji kaynaklarına yönelmektedir. Isıtma yapmadan yetiştiricilik ancak iklim koşullarının uygun olduğu yerlerde sağlanmaktadır.

Ülkemizde ve diğer ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ekonomik olmaları, kurulum ve bakım maliyetlerinin düşük olması, tükenmeyecek olmaları ve çevre dostu olmaları nedeniyle üretici tarafından tercih edilmektedir. Jeotermal enerjinin kendini yenileyebiliyor olmasıyla birlikte sera ısıtmasında bu enerjinin kullanılması sera tarımının ısıtma giderlerinin büyük ölçüde azalacağı öngörülmektedir. Bu sebepten ötürü son yıllarda jeotermal enerjinin sera tarımında kullanılmasına ilişkin çeşitli araştırmalar yapılmakta geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır.

Seraların ısıtma için eşik değeri olarak 12 °C alınır. Günlük ortalama dış ortam sıcaklığının bu değerinin altına düştüğü bölgelerde özellikle geceleri seralarda ısıtılması yapılması gerekmektedir. 12 °C eşik değeri dikkate alındığında, Bursa bölgesinde bulunan seraların genellikle kasım ayından başlayarak mart ayı sonuna kadar ısıtılması gerekir. Bu çalışma için seçilen Keramet bölgesindeki jeotermal akışkanın sıcaklığı tek başına sera ısıtması için uygun sıcaklık aralığında değildir. Bu nedenle sisteme ısı pompasıyla destek sağlanarak sıcaklık istenilen düzeye getirilmeye çalışılmıştır.

Bursa ili iklimi koşullarında dış ortam sıcaklığının -6 °C, serada yetiştirilmesi planlanan çiçek türü için uygun iç ortam sıcaklığı yaklaşık 15 °C'dir. Bu koşullarda 1 dönümlük (1000 m²) PE plastik sera için ısı gereksinimi yaklaşık 236,5 kW olarak belirlenmiştir. Bu ısı gereksinimi zemine döşenen yaklaşık 4105 m uzunluğunda, 16 mm çapındaki PEX borulardan ve yan duvarlara döşenen yaklaşık 205 m uzunluğundaki finli borulardan sağlanacaktır.

Jeotermal ısı pompası kullanılarak Bursa ili Orhangazi ilçesi Keramet bölgesinde kurulması planlanan sera için P1, P2 metoda göre yapılan ekonomik analizlere ait sonuçlar Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de topluca gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Ömürlük tasarruf analizi sonuçları – I (Kalogirou, 2014)

Yıl	Kredi ödemesi	Yakıt tasarrufu	Toplam tasarruf (TT)	TT şimdiki değeri
0	-	-	-233.841,38	-233.841,38
1	0	16.603,99	16.603,99	14.011,80
2	0	21.517,11	21.517,11	15.323,12
3	-176.860,49	27.884,02	-148.976,48	-89.528,78
4	-176.860,49	36.134,90	-140.725,60	-71.367,37
5	-176.860,49	46.827,21	-130.033,28	-55.649,69
6	-176.860,49	60.683,39	-116.177,11	-41.957,58
7	-176.860,49	78.639,60	-98.220,89	-29.934,74
8	0	101.909,06	101.909,06	26.209,94
9	0	132.063,95	132.063,95	28.662,83
10	0	171.141,67	171.141,67	31.345,29
11	0	221.782,49	221.782,49	34.278,78
12	0	287.407,93	287.407,93	37.486,81
13	0	372.451,94	372.451,94	40.995,07
14	0	482.660,46	482.660,46	44.831,66
15	0	625.479,70	625.479,70	49.027,30
16	0	810.559,14	810.559,14	53.615,59
17	0	1.050.403,59	1.050.403,59	58.633,29
18	0	1.361.218,01	1.361.218,01	64.120,57
19	0	1.764.002,42	1.764.002,42	70.121,39
20	0	2.285.970,73	2.285.970,73	76.683,81
TOPLAM	-884.302,47			

Çizelge 4.1’de kredi ödemesi değeri Çizelge 3.21’de verilmiştir. Yakıt tasarrufu ise Çizelge 3.19’da verilen değerlere göre hesaplanmıştır. Toplam tasarruf sütunu ilk değeri ekstra maliyetin peşinat ödenen kısmıdır. Diğer satırlar kredi ödemesi ve yakıt tasarrufu değerleri toplanarak hesaplanmıştır. Toplam tasarrufun şimdiki değeri ise Denklem 4.1’e göre hesaplanır (Kalogirou, 2014).

$$TT \text{ şimdiki değeri} = \frac{\text{toplam tasarruf}}{(1+\text{reeskont oranı})^n} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de verilen toplam tasarruf Çizelge 4.1’de (TT) görülmektedir. Reeskont değeri de Çizelge 3.20’de verilmiştir. n değeri için Çizelge 4.1’deki ilk sütun değerleridir.

Çizelge 4.2 : Ömürlük tasarruf analiz sonuçları – II (Kalogirou, 2014)

Yıl	Faiz ödemesi	Anapara ödemesi	Ana denge	Kümülatif tasarruf
0	-	-	701.524,15	-233.841,38
1	0	0	701.524,15	-219.829,58
2	0	0	701.524,15	-204.506,46
3	57.875,74	118.984,75	582.539,40	-294.035,24
4	48.059,50	128.800,99	453.738,40	-365.402,61
5	37.433,42	139.427,08	314.311,33	-421.052,30
6	25.930,68	150.929,81	163.381,52	-463.009,88
7	13.478,98	163.381,52	0	-492.944,62
8	0	0	0	-466.734,68
9	0	0	0	-438.071,85
10	0	0	0	-406.726,56
11	0	0	0	-372.447,78
12	0	0	0	-334.960,96
13	0	0	0	-293.965,89
14	0	0	0	-249.134,23
15	0	0	0	-200.106,93
16	0	0	0	-146.491,34
17	0	0	0	-87.858,05
18	0	0	0	-23.737,48
19	0	0	0	46.383,91
20	0	0	0	123.067,72
TOPLAM	182.778,32	701.524,15		

Bu çizelgelerde kazançlar pozitif, harcamalar ise negative olarak görülmektedir. Yukarıdaki çizelgelerin sağlaması basitçe aşağıdaki gibi yapılabilir: Çizelge 4.1'deki kredi ödemesi miktarı Çizelge 4.2'deki faiz ödemesi ve anapara ödemesinin toplamına eşit olmalıdır. Ayrıca toplam kredi ödemesiyle (Çizelge 4.1'de 2. sütunun toplamı) alınan kredi miktarı arasındaki fark (M) ödenen toplam faiz değerini (Çizelge 4.2'deki 3. sütun) vermelidir.

Çizelge 4.1'de son sütunda yer alan Toplam Tasarrufun Şimdiki Değeri'ne bakılırsa sistemin sağladığı tasarrufun 8. yıldan itibaren pozitif olduğu, yani net bir nakit girdisi sağladığı görülmekte ise de, Çizelge 4.2'de yine son sütunda yer alan kümülatif tasarrufun ancak 19. yılda pozitifte geçtiği görülmektedir. Sonuç olarak sistemin gerçek amortisman süresinin 18 yıl olduğu anlaşılmaktadır.

Amortisman süresinin fazla olmasına sebep olan en önemli parametre ısı pompasının ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Bunun sebebi de ısı pompasının yerli üreticisi bulunmamasıdır. İthal edilen ürünlerin maliyetinin fazla olmasının sebeplerinden biri döviz kuru olarak değerlendirilebilir.

İlk yatırım maliyetlerini düşürebilmek için farklı çözümler geliştirilebilir. Genel yaklaşım olarak ısıtma sistemleri pik ısıtma yüküne göre dizayn edilir ve bu çalışmada da bu yaklaşım benimsenmiştir. Tasarım hesaplarında Bursa ili için dış ortam sıcaklığı $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak alınmıştır. Halbuki Çizelge 3.15'e bakıldığında $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında sadece 5 saat kaldığı görülmektedir. Bu durumda $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye göre seçilmiş olan ısıtma sistemi ısıtma sezonu boyunca sadece 5 saat tam yükte çalışacak geri kalan sürede ise kısmi yükte çalışacaktır. Kısmi yük çalışma rejimi sistemin toplam verimini düşürür. Bu nedenle bilinen yöntemin dışına çıkılarak sistem tasarımı için aşağıdaki yaklaşım benimsenebilir.

Çizelge 3.16'da dış ortam sıcaklığı $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşünceye kadar sera ısı pompasıyla ısıtılacak ve pik yük için klasik kazan sistemi devreye sokulacaktır. Bu senaryoya göre ısı pompası 140 kW ısıtma gücü verecek şekilde seçilebilir. Geri kalan 124 kW 'lık yük ise kazan ile karşılanacaktır.

Buna göre ilk yatırım maliyetleri, enerji maliyetleri ve amortisman hesabı güncellendiğinde geri ödeme süresi yaklaşık 10 yıl olmaktadır.

Jeotermal kaynak sıcaklıklarının yüksek olduğu yerlerde sera ısıtmasında jeotermal enerjinin doğrudan (ısı pompası olmaksızın) kullanımı mümkündür. Sera ısı kaybına ek olarak ısı kazançları da hesaba katılmalıdır. Bu durumda sistem kapasitesi, dolayısıyla maliyet düşecektir. Bu durum amortisman süresini kısaltacaktır.

KAYNAKLAR

Ali, M., Ertürk, E. (2012). *Isıtma ve Soğutma Derece Saat Hesaplamalarında Farklı Bir Yöntemin Araştırılması ve Geliştirilmesi*. (Doktora tezi). Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Anonim. (2013). Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018) Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu, Enerji Hammaddeleri Grubu Jeotermal Çalışma Alt Grubu Raporu (Rapor No.). Ankara : Kalkınma Bakanlığı.

Baytorun, A.N. & Üstün, S. & Akyüz, A. (2016). Sera Isıtma Sistemlerinin Projelenmesinde Uzman Sistem “Isıger-Sera”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 155, 13-24.

Bursa Jeotermal Enerji Kaynakları. Erişim: 2018, <http://www.mta.gov.tr/>

Cebeli, F. & Kendirli, B. (2011). Yozgat İli Seracılığında Jeotermal Enerjinin Kullanım Olanakları, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 3 (2), 55-64.

Campuzano, M. (2014). *Greenhouse Heating with Geothermal Energy: Feasibility Study for the Ecuadorian Alpine Grasslands*. (Yüksek lisans tezi). University of Central Lancashire, Energy and Environmental Management, Lancashire.

Chapter 14. Greenhouses. Erişim: 3 Nisan 2019, https://www.hort.vt.edu/ghvegetables/documents/Greenhouse%20Heating_Energy/KRaffertyGhEnergy_tp50.pdf

Chiasson, A. (2006). Greenhouse Heating with Geothermal Heat Pump Systems. *ASAE Annual Meeting, 064131*, . doi:10.13031/2013.21135.

Erkul, H. (2012). Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği, *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10 (19), 1-30.

Günerhan, H. (2011). Jeotermal Enerjili Sera Isıtma Sistemleri, *X.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, (ss.195-215). İzmir, Nisan 13-16.

Jeotermal Enerji Kaynakları. Erişim: 2018, <http://www.enerji.gov.tr/>

Jeotermal Enerji Santralleri. Erişim: 2016, <http://www.enerjiatlasi.com/>

Kadioğlu, Y. (2013). Simav’da Jeotermal Seracılık, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 28, 64-80.

Kalogirou, S. (2014). *Solar Energy Engineering Processes and Systems*. San Diego, CA.

Karacabey, E. & Yağcıoğlu, A.K. (2009). Seralarda Katı Yakıtlı ve Jeotermal Enerjili Isıtma Sistemlerini Oluşturan Unsurların Seçimi ve Bu Sistemlerin Maliyet Yönünden Karşılaştırılması, *Tarım Makinaları Bilim Dergisi*, 5 (2), 175-182.

Kendirli, B. & Çakmak, B. (2010). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sera Isıtmasında Kullanımı, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2 (1), 95-103.

Kondili, E., Kaldellis J.K. (2006). Optimal Design of Geothermal-Solar Greenhouses for the Minimisation of Fossil Fuel Consumption, *Applied Thermal Engineering*, 26 (8-9), 905-915.

Öztürk, H. (2008). *Sera İklimlendirme Tekniği*. İstanbul: Hasad Yayıncılık.

Taşkın, O.. & Vardar, A. (2016). Tarımsal Üretimde Bazı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30 (1), 179-184.

Tarım Alanları İstatistikleri. Erişim: 2018, <http://www.tuik.gov.tr/>

TMMOB Makine Mühendisleri Odası (2001). *Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Esasları*. Ankara.

Worley, J. (2005). *Greenhouse Heating, Cooling and Ventilation*. The University of Georgia, Georgia.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Erişim: 2019, <http://www.enerjiportali.com/>

Yıldız, M. (2010). *Aydın İlindeki Jeotermal Enerji Kaynaklarının Sera Isıtmak Amacıyla Kullanımı Üzerine Bir Araştırma*. (Yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Nilhan Betül Yuğaç
Doğum Tarihi ve Yeri : 12.11.1993 / Bursa
E-posta : nilhanyugac@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği