

# JEOTERMAL ENERJİLİ SERA ISITMA SİSTEMLERİ

Hüseyin GÜNERHAN

## ÖZET

Bu çalışmada, seralarda sebze ve çiçek yetiştiriciliği kapsamında jeotermal enerjiden yararlanma olanakları üzerinde durulmuş ve jeotermal enerjili sera ısıtma sistemleri ile jeotermal enerjili sera ısıtma tesisatları üzerine temel bilgiler verilmiştir. Çalışmanın amacı, sera ortamını etkileyen etkenleri tartışmak, sera ve ürün türüne bağlı olarak seranın ısı gereksinimlerini tanımlamak, farklı düşük sıcaklıktaki ısıtma sistemlerinin özelliklerini ve bu özelliklerin üretimi geliştirme tekniklerini ve ekonomisini nasıl etkilediğini tanımlamak, enerjiyi kaynaktan ısıtma sistemine taşıyan akışkanların iletim sistemlerini tartışmak ve sera ısıtılması için jeotermal enerji kullanımının ekonomik açıdan analizini yapmaktır.

Bu çalışmada ışık, sıcaklık, CO<sub>2</sub> yoğunluğu, hava akımı, su kullanımı, ısıtma tesisatı ve soğutma sistemi gibi sera şartları üzerinde durulmuş ve jeotermal sera ısıtma sistemleri için teknik çözümler verilmiştir.

## 1. GİRİŞ

**Çizelge 1.**Dünyada bazı jeotermal seralar [1]

Ülke	Toplam Alan (hektar)
Amerika Birleşik Devletleri	183.12
Macaristan	130.38
Çin	115.92
İtalya	050.50
Rusya	034.00
Fransa	024.30
İspanya	020.00
İzlanda	018.00
Yunanistan	017.95
Bulgaristan	017.60
Slovakya	017.36
Gürcistan	016.50
Japonya	012.00
Yugoslavya	010.13
Yeni Zelanda	010.00
Türkiye	007.30
Slovenya	006.00
İsrail	003.00
Bosna Hersek	002.00
Cezayir	000.72
Almanya	000.30
Portekiz	000.22
Belçika	000.05

Jeotermal enerjili sera ısıtma sistemleri dünyada ve Türkiye’de yaygın olarak kullanılmaktadır. Seralarda sezon dışı sebze, çiçek ve meyve üretmek amacı ile jeotermal enerjiden yararlanılmaktadır. Dünyada bu amaçla kurulmuş jeotermal enerjili sera alanlarını içeren bilgiler Çizelge 1 ile verilmiştir.

Dünyada ve Türkiye’de sera ısıtması için jeotermal enerjinin seçilmesinin birçok nedeni vardır. Bu nedenlerden bazıları aşağıda verildiği gibidir:

- Sera üretim alanları ile düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar arasında iyi bir bağlantı olması.
- Seraların, tarım endüstrisine ait enerji tüketiminde en düşük sıcaklığa (entalpiye) gereksinim duyması.
- Jeotermal enerjinin göreceli olarak basit ısıtma sistemleri gerektirmesi (Bunun yanında gerektiğinde gelişmiş bilgisayarlı sistemler, sera içi iklimini düzenlemek ve iç ortamı havalandırmak için kullanılabilir).
- Birçok durumda sera ısıtma için jeotermal enerjinin kullanılmasının daha ekonomik olması.
- Yerel yiyecek üretimi için bölgesel enerji kaynaklarının stratejik önemde olması.

Sera ısıtmak için jeotermal enerjinin kullanılmasında birçok durumun ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir ve bölgesel etkenlerin belirleyici rol oynadığı göz önüne alınmalıdır [2].

## 2. TARIMDA KORUNAN ÜRÜN EKİMİNİN ENERJİ İLE İLGİLİ YÖNLERİ

### 2.1. Korunmuş Ürün Ekiminin Nedenleri

Her bitki bir kimyasal fabrika olarak görülebilir. Bitkilerde fotosentez olarak isimlendirilen güneş ışığı-karbondioksit-su-besin (şeker) döngüsü tersinir bir işlemdir. Fotosentez ile ortamın serbest enerjisi yakalanır ve bitki içinde depolanır. Bunun yanında bitki solumasıyla karbondioksit ve su oluşur.

Bitkinin büyümesi için yapı maddesi olarak kullanılan enerji bitki içinde depolanmaktadır. Yaşam döngüsünü tamamlamak için her bitki çeşitli oranlarda ısı gibi enerjiye gereksinim duyar. Bitki gelişiminde gerekli olan enerjinin sağlanması için gereken ideal koşullara sadece yılın belirli bir bölümünde ulaşılabilir. Korunmuş ürün üretiminin amacı, en uygun büyüme koşullarını sağlamak, sera dışında meydana gelen iklim değişiminden etkilenmemek, üretim miktarını arttırmak ve ürünün kalitesini iyileştirmektir. Bu durumda, bitkinin gelişimini etkileyen etkenleri, teknik ve teknolojik gereksinimleri belirlemek ve sosyal ve ekonomik duruma uygun büyüme koşullarını sağlamak gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

### 2.2. Sera İklim Koşulları

Sera, sera dışındaki iklim koşullarından farklı olarak, istenen iklim koşullarını sağlayan ve ışık geçirgenliği olan malzeme ile kaplanmış kapalı bir hacimdir. Sera ortamını oluşturan dört adet fiziksel olay vardır:

1. Güneş ışınımı, özellikle kısa dalga ışınımı, hemen hemen hiç enerji kaybı olmaksızın cam ya da plastik malzemedan oluşan sera kaplamasından geçerek iç bölgeye ulaşır. Kısa dalga ışınımı sera içinde yansıtılarak uzun dalga ışınımına dönüşür. Uzun dalga ışınımı sera kaplamasına ulaştığında kısa dalga ışınımı gibi geçip dışarı çıkamaz. Böylece enerji kapalı alan içinde tutulmuş olur.
2. Sera içindeki hava durgundur.
3. Korunan hacimdeki bitki kütlelerinin yoğunluğu, dışarıdaki yoğunluktan çok daha yüksektir ve bu yüzden kütle transferi farklıdır.
4. Isıtmanın yapılması ve çeşitli tesisatların kullanılması gerekli sera iklimini oluşturur.

Yukarıda verilen fiziksel parametreler, bitkinin büyüme sürecine etki eder. Bu sürece etki eden fiziksel parametreler aşağıda verildiği gibi incelenebilir.

## **Işık**

Işık, bitki büyümesinde en önemli parametredir. Bütün diğer parametreler ışık yoğunluğuna bağlıdır. Sadece 400-700 nm (nanometre) arasındaki ışınım değerleri bitkinin yaşam sürecini etkilemektedir.

## **Sıcaklık**

Çevreden seraya olan enerji transferi sera sıcaklığıyla kontrol edilir. Bu enerji transferini çoğunlukla seranın yakınındaki dış havanın sıcaklığı, bunun yanında toprağın sıcaklığı ve sera malzemeleri ve tesisat donanımları etkiler. Bitkinin yaşam sürecindeki gelişimi, bitki için güvenilir olan sıcaklığa bağlıdır. Daha yüksek ışık yoğunluğu, daha yüksek bitki sıcaklığına neden olur.

## **CO<sub>2</sub> yoğunluğu**

Bitkilerin çevresinde bulunan CO<sub>2</sub>, şeker gibi bitki yapı maddelerinin oluşumunda yani dönüştürme işleminde kullanılır. Dönüşüm, ışık yoğunluğu ve bitki sıcaklığı tarafından yönetilir. Daha yüksek ışık yoğunluğu ve sıcaklık, daha yüksek CO<sub>2</sub> yoğunluğu gerektirir.

## **Hava akımı**

Seralardaki hava akımı, bitki ve hava arasındaki ısı transferini ve aralarındaki su değişimini etkiler. Farklı bitki çeşitleri farklı hava akımları gerektirir.

## **Su taşıma**

Su, bitki yapı maddelerinin üretiminde önemli bir unsurdur. Bitki, havadan ve topraktan kendi kök sistemine su taşır. Hava ve toprak nemliliğinin en uygun koşulu, bitki türüne ve bitkinin gelişim aşamasına bağlıdır.

## **Isıtma sistemi**

Isıtma sistemleri hava ve toprağın sıcaklığına ve aynı zamanda sera içindeki hava akımının hızına ve türüne etki eder. Bu yüzden ısıtma sistemi bitki enerji dengesinde önemli bir rol oynar.

## **Soğutma sistemi**

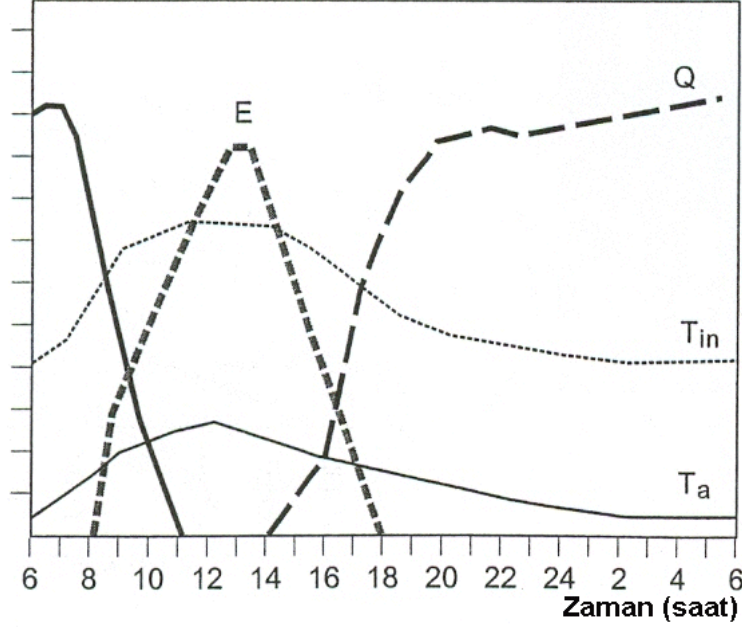
Soğutma sistemleri sera ikliminin oluşmasında etkin bir unsurdur çünkü hava sıcaklığına ve nemine etki eder. Sera yapısının türü, geçirgen örtü malzemeleri, ürünün türü ve gelişim aşamaları gibi sera havasını etkileyen başka unsurlar da vardır.

En uygun sera iklimi, ışık yoğunluğu ve niteliğe bağlı olarak en uygun bitki büyümesini sağlamalıdır [3].

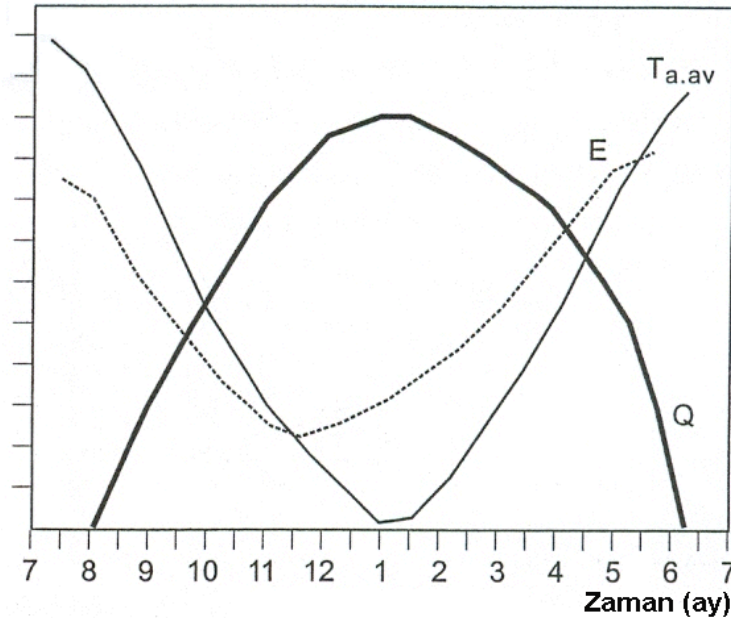
## **3. ISI TÜKETİMİNİN ÖZELLİKLERİ**

Seralar, kontrol edilebilen bir çevrede, dış iklim koşullarının olumsuz olduğu durumlarda bile bitki yetiştiriciliği için korumalı bir hacim oluşturan yapılardır. Bir bitki yaşam süreci boyunca ışığa gereksinim duyar. Bu amaçla sera örtüsü olarak ışığı geçiren cam ve plastik gibi malzemeler kullanılır. Gündüz boyunca sera örtüsünden giren güneş ışığı, iç sıcaklık koşullarını düzenler. Ancak bu durum, güneş ışınımının olmadığı gece boyunca veya ışınımın yeterince güçlü olmadığı dönemlerde en uygun büyüme koşullarını sürdürmek için yeterli değildir, (Şekil 1). Bunu sağlamak için seralarda ek bir enerji kaynağının olması gerekir. Ek enerji kaynağı için gerekli miktar, yerel iklim koşullarına, bitki gereksinimlerine ve sera yapı malzemesi türüne bağlıdır. 12 aylık dönem boyunca çoğunlukla dış hava sıcaklık değişimlerine ve güneş ışınımı şiddetine bağlıdır, (Şekil 2).

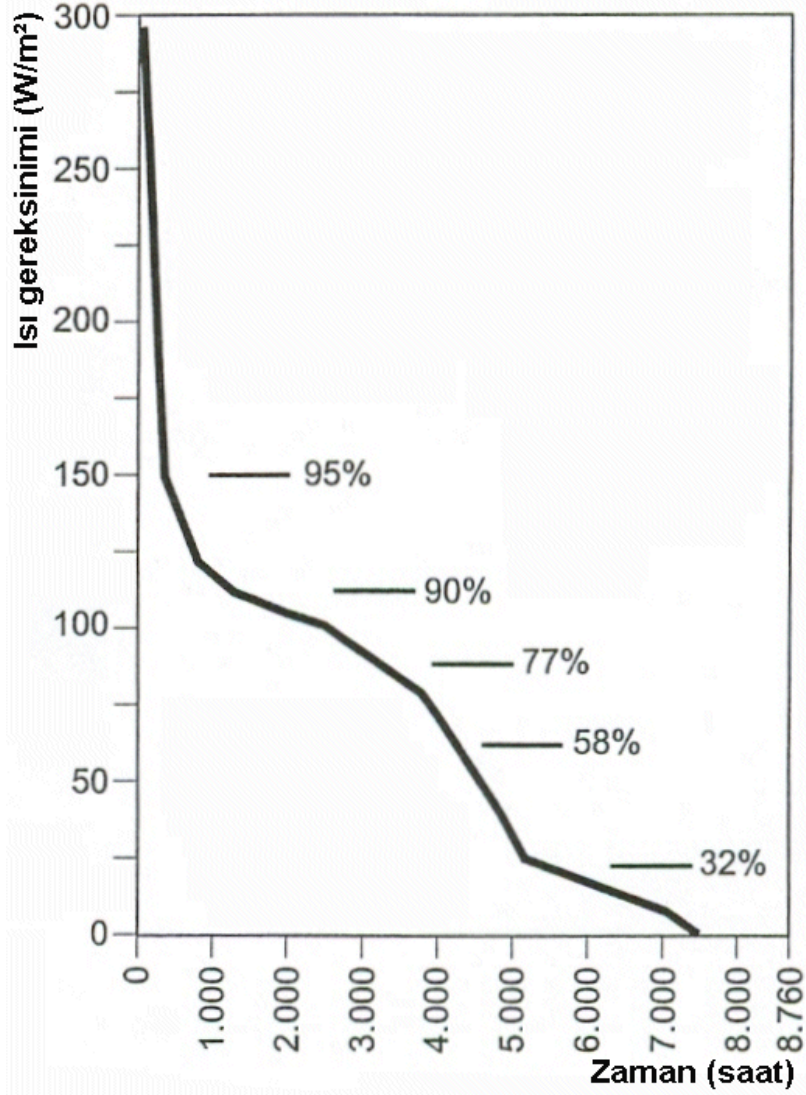
Şekil 3 ile örnek bir seranın ısı gereksinim oranları verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi en yüksek ısı gereksinimi kısa bir süre içinde sağlanabilmektedir. Soğuk iklimlerde bile toplam yıllık ısı gereksiniminin %95 kadarını karşılamak için en fazla ısı kapasitesinin sadece %50 kadarı yeterli olmaktadır. Sonuç olarak, bir seranın günlük ve yıllık ısı gereksinimini sağlamak için pahalı ve karmaşık ısıtma tesisatlarına gerek olmadığı söylenebilir [4].



**Şekil 1.** Ocak Ayı Ortalama Verileri İçeren Örnek Bir Sera İçerisindeki Isı Gereksinimi Değişimleri [E: Güneş Işınımı ( $Wh/m^2$ ),  $T_a$ : Dış Hava Sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),  $T_{in}$ : En Uygun İç Hava Sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ), Q: Seranın Isı Gereksinimi (W)], [5].



**Şekil 2.** Örnek Bir Sera İçin Isı Gereksinimleri [E: Güneş Işınımı ( $Wh/m^2$ ),  $T_{a.av}$ : Aylık Ortalama Dış Hava Sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ), Q: Seranın Isı Gereksinimi (W)], [5].



Şekil 3. Değişik Enerji Kaynakları İle Isıtılan Örnek Bir Sera İçin Yıllık Isı Akısı Oranları, [6]

#### 4. JEOTERMAL ENERJİLİ SERA ISITMA TESİSATI İÇİN TEKNİK ÇÖZÜMLER

##### 4.1. Teknolojik Çözümün Seçimini Etkileyen Etmenler

Seralar için teknolojik çözümler aşağıda verildiği gibi olabilir:

1. Seradaki üretimin tipine bağlıdır (Bitkilerin yıl boyunca yada sadece soğuk sezonun birkaç ayı boyunca kontrollü bir iklime gereksinim duyup-duymadığı).
2. Isıtma tesisatının görevine bağlıdır (Sera içindeki sıcaklık koşullarını iyileştirmek veya bütünüyle kontrol etmek).
3. Kuyu tipine bağlıdır (Artezyen veya elektrikle çalışan pompalar aracılığı ile akışkanın kuyudan-yeraltından sağlanması)
4. Jeotermal akışkanların kimyasal özelliklerine bağlıdır.
5. Jeotermal akışkanın nihai diğer kullanım alanlarına bağlıdır.

## 4.2. Sıcak-Su Aktarma Sistemleri

Jeotermal akışkan aktarma sistemi tipi, kuyu tipine, suyun kimyasal yapısına ve yatırım ve işletim maliyetlerine bağlıdır.

### Doğrudan Bağlantılar

Düşük mineral içeriğe ve düşük sıcaklığa sahip jeotermal akışkan, basit teknik çözümlerin seçilmesinde çeşitli olanaklar sağlar, (Şekil 4). Doğrudan bağlantılı bir sistemde jeotermal akışkan yer seviyesinden yüksek bir depoda toplanır. Bu depoda akışkanın içindeki hava ayrıştırılır ve ayrıştırılmış akışkan yerçekimi yardımıyla ısıtma sistemine gönderilir. Bu sistemde ısı transferi miktarı, el ile kontrol edilen bir veya birkaç vana ile düzenlenir.

Basit yapı malzemeli-plastik örtülü seralardan erken ilkbahar ürünleri elde etmek için kullanılan bu sistem daha çok Akdeniz ülkelerinde yeğlenir. Jeotermal akışkanın çok korozif (aşındırıcı) olduğu bölgelerde ise, ısıtma tesisatı için plastik malzemelerin kullanılması önerilir.

### Dolaylı Bağlantılar

Eğer jeotermal akışkanın mineral içeriği çok düşük ve yetiştirilecek bitkiler daha yüksek yatırımlara olanak verirse, kuyudan olan basit aktarma ısı pompalı daha karmaşık bir ısıtma sistemine bağlanabilir, (Şekil 5). Böylece ısıtma sistemine dolaylı bir bağlantı yapılmış olur. Çevresel kısıtlamalar ve yüksek mineral içerikli jeotermal akışkanlar, ayrıştırma donanımı, CO<sub>2</sub> ve pH düzenleyici ve korozyon önleyici gibi daha karmaşık jeotermal akışkan aktarma sistemleri gerektirebilir. Bu tür sorunlar, kullanılan ısı değiştirici tipine bağlı olarak dolaylı bağlantılarla ortaya çıkmaktadır. Plakalı ısı değiştiricilerin yüksek tuz içeriği olan jeotermal akışkanlar için en iyi çözüm olduğu söylenebilir.

## 4.3. Birleşik Kullanımlar

Seralarda jeotermal enerjinin kullanılmasının eksilerinden biri, kuyu aktarım ve düzenleme sistemleri için yüksek maliyettir. Şekil 3 ile de verildiği gibi bu sistemler yılın sadece belli bir bölümünde kullanılmaktadır. Yani bu durumda kullanılan ısı enerjisinin maliyeti yükselmektedir. Bu maliyeti azaltmanın bir yolu, ısı enerjisini seralar dışında başka amaçlar için de kullanmak olabilir. Seralar dışında ısı enerjisini kullanmak için kullanıcıların yıllık ve günlük ısı gereksinimleri farklı olmalıdır yani bir kullanıcı ısıya en fazla oranda gereksinim duyduğunda diğeri en az oranda gereksinim duymalıdır. Böyle bir örnek uygulama Şekil 6 ile verilmiştir.

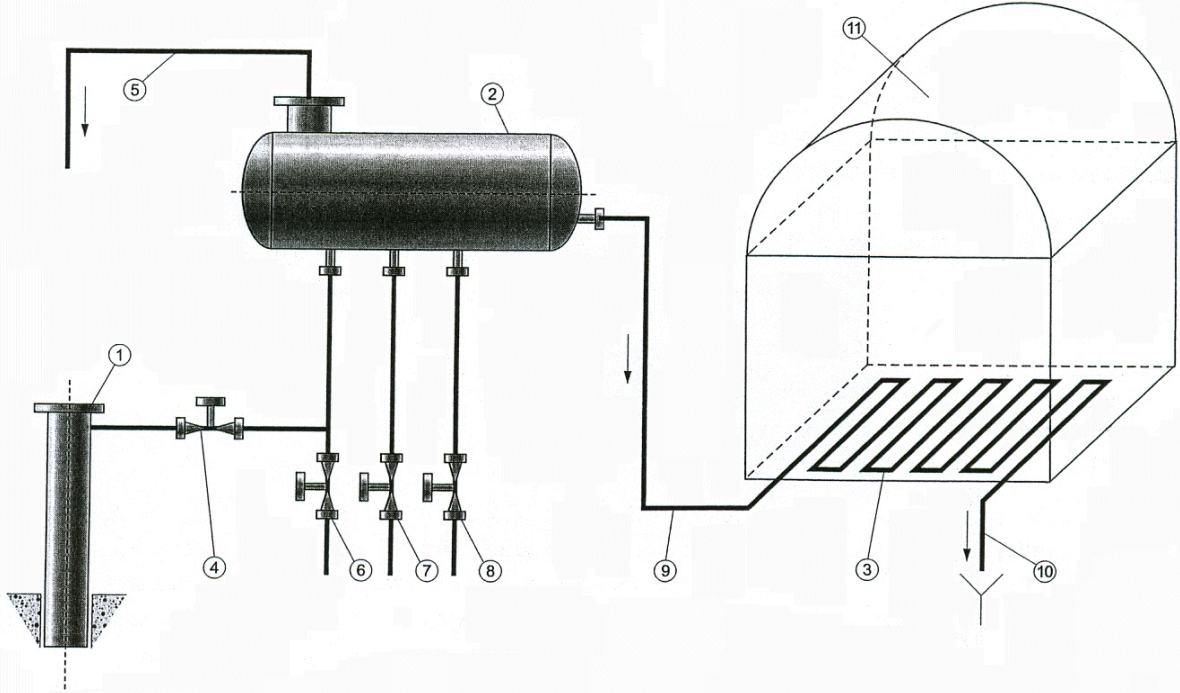
Özel durumlarda, kısa sürelerde en yüksek ısı yüklerini sağlamak için sisteme maliyeti düşük yardımcı ısıtma donanımları eklemek daha uygun olabilir (Şekil 7), [7, 8].

## 5. JEOTERMAL SERA ISITMA TESİSATLARI

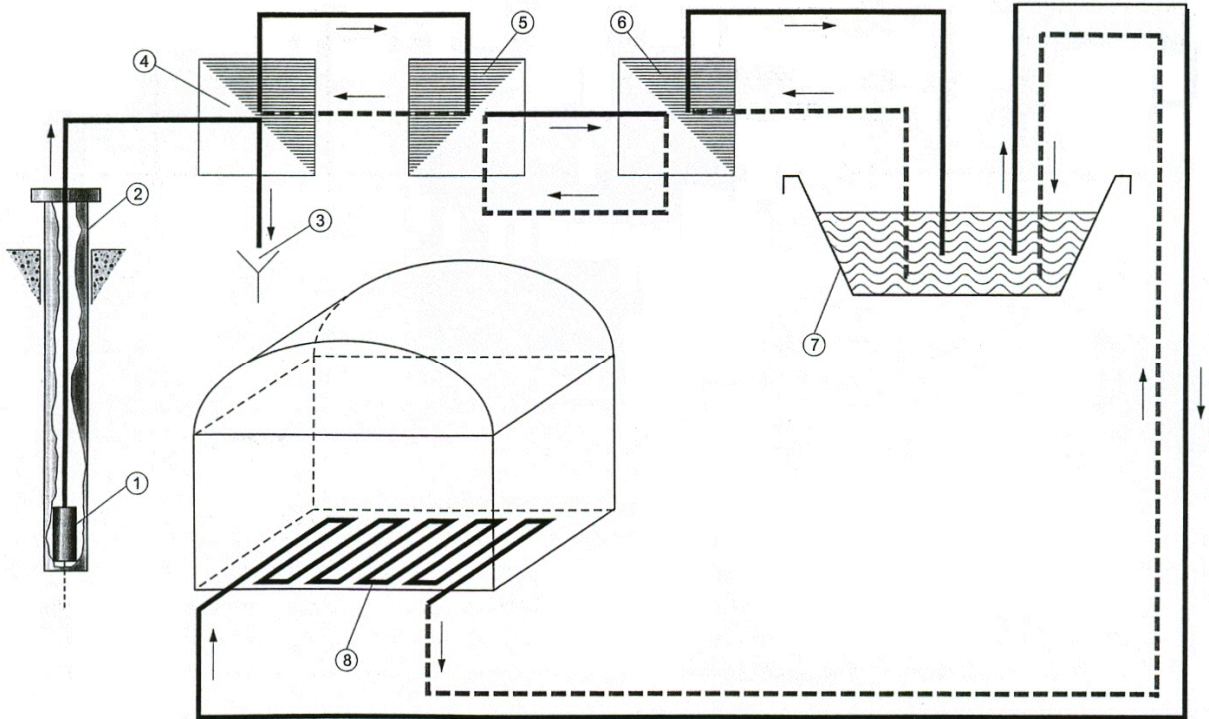
### 5.1. Sınıflandırma

Isıtma tesisatı kapsamında sistemde ısı değiştirgeçleri kullanılmaktadır. Isıtılan ortamın sıcaklığı, jeotermal akışkan, seradaki bitkilerin belirli gereksinimleri, sera tasarımı, konum, malzeme, düzenleme araçları gibi etmenlere bağlıdır. Karmaşıklığın seviyesi ise, üretimin teknolojik düzeyine, sera yapısına, iklim koşullara, teknik ve ekonomik koşullara bağlıdır.

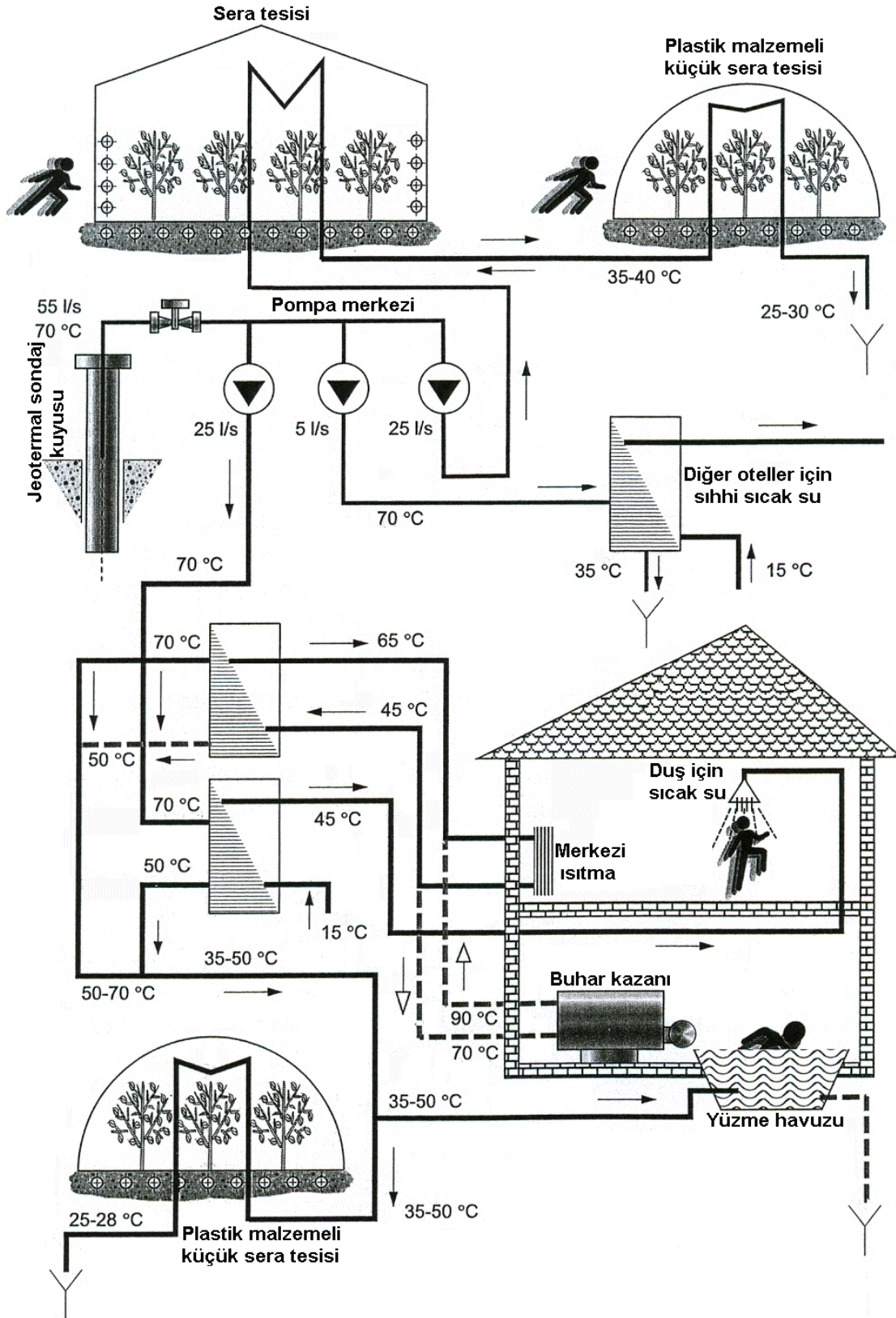




**Şekil 4.** Jeotermal Kaynak veya Kuyudan Yapılan Doğrudan Bağlantı [1: Jeotermal sondaj veya kaynak, 2: Su toplama deposu, 3: Isıtma sistemi, 4: Düzenleme vanası, 5: Hava ayrıştırma borusu, 6: Boşaltma vanası, 7: Taşma vanası, 8: Boşaltma vanası, 9: Bağlantı borusu, 10: Kullanılmış suyun tahliyesi, 11: Plastik malzemeli sera], [7]

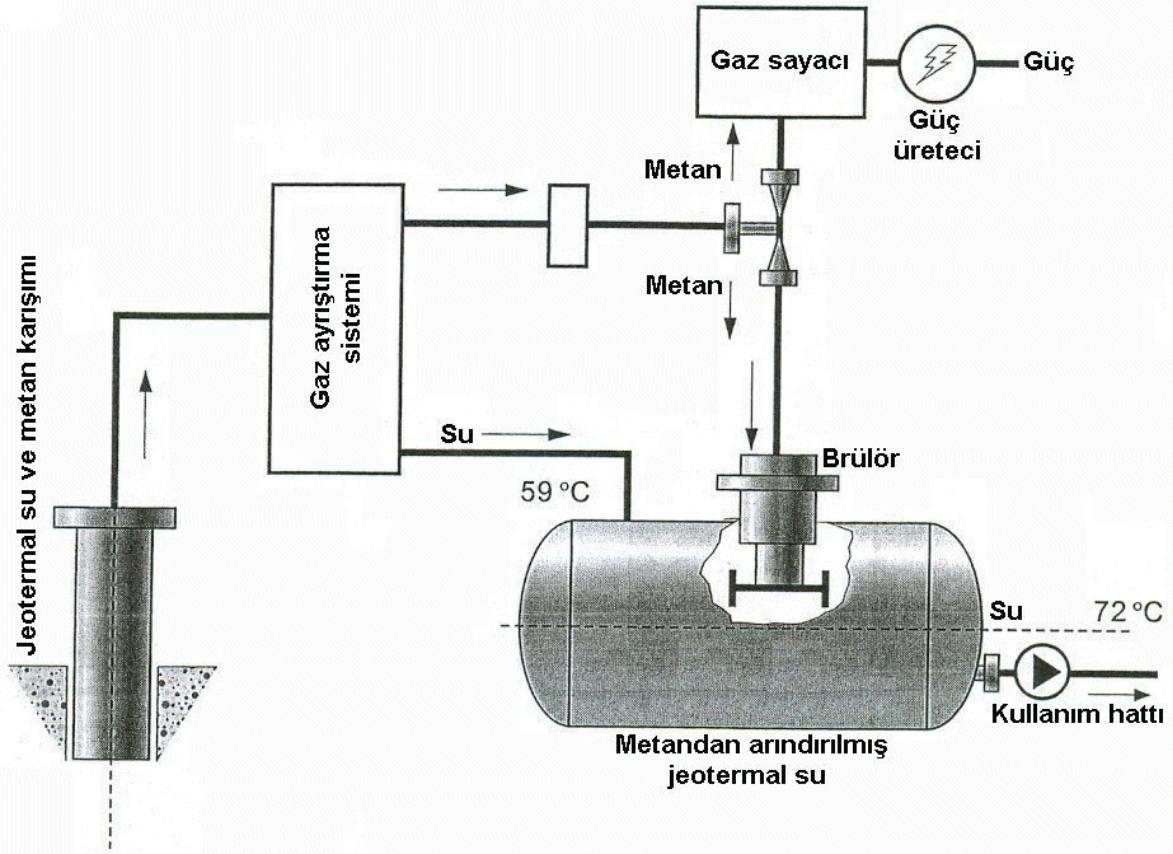


**Şekil 5.** Jeotermal Kuyu Bağlantılı Isı Pompası Tesisatı [1: Pompa, 2: Sondaj deliği, 3: Kullanılmış suyun tahliyesi, 4: Buharlaştırıcı, 5: Kompresör, 6: Yoğurturucu, 7: Biriktirme havuzu, 8: Isıtma tesisatı], [8]



**Şekil 6.** Sera Isıtma ve Otel-Kaplıca Tesisi İçeren Jeotermal Enerjinin Kullanıldığı Birleşik Bir Sistem, [7]





Şekil 7. Serada Doğrudan Isı Kullanımı ve Elektrik Üretimi İçin Jeotermal Sudan Metanın Ayrıştırılmasını İçeren Örnek Bir Tesisat, [7]

Genel olarak iki teknolojik çözümden söz edilebilir. Bu çözümler aşağıda verildiği gibi olabilir:

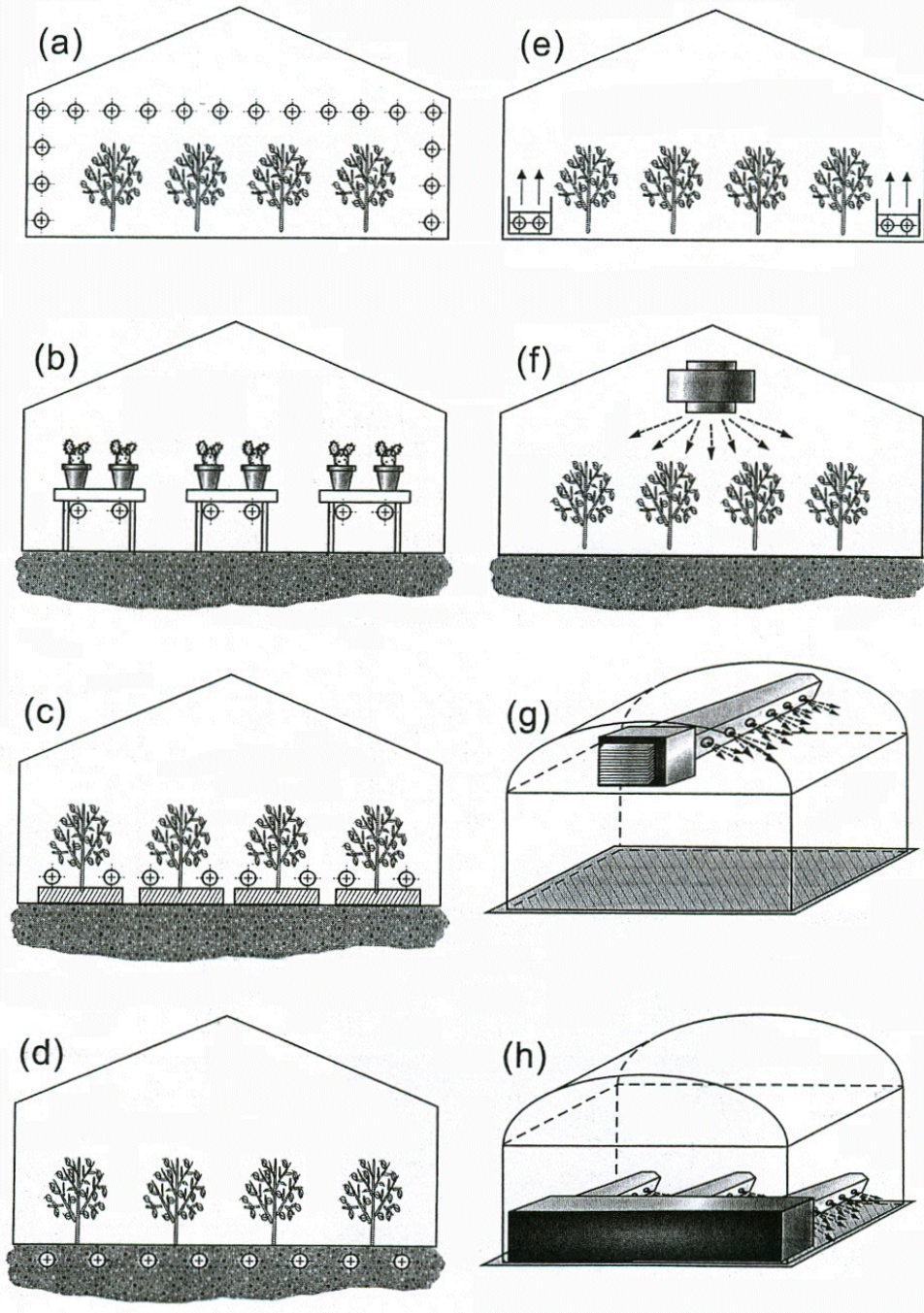
1. Basit bir ısıtma sistemi, ısı kaynağının doğrudan seraya bağlandığı, ısı miktarının el ile kontrol edildiği plastik malzemeden yapılmış bir sistem olabilir. Bu tip tesisatın amacı, bütün yıl boyunca iç sıcaklık koşullarını ılıman kış iklimi koşullarında veya bahar koşullarına yakın bir seviyede tutmaktır [9]. Maliyeti düşük plastik malzemelerin kullanılabilmesi bu tür sistemler yoğun üretim için teknolojik olarak uygun değildir. Bu tür sistemlerde suyun sürekli pompa ile gönderilmesi her zaman ekonomik değildir ve pompanın çalışma koşulları bitki büyümesine, üretim seviyesine ve pazarlama koşullarına bağlıdır.
2. Isı kaynağının otomatik düzenleyici ile kontrol edildiği karmaşık ısıtma tesisatları, tam hava koşullandırma için uygun tesisatlardır. Bu sistemlerde ısı gereksinimini belirleyen etmenler, iç ve dış ortam koşulları ile bitkinin büyüme süreci ve üretim zamanlarıdır. Yoğun üretimi amaçlayan yüksek teknolojiye sahip bu tür sera yapılarında kaliteli cam malzeme veya sert plastik malzeme kullanılır. Eğer jeotermal akışkanın kimyasal özellikleri sistem için elverişsiz ise kuyu, sera tesisatlarına dolaylı olarak bağlanabilir.

Yukarıda verilen teknolojik çözümler, ısı değiştiricileri tipine, ısı gereksinimine, jeotermal akışkanın kimyasal özelliklerine, sera yapısına ve ekonomik etmenlere bağlıdır.

Seralarda kullanılan ve havayı ısıtan ısı değiştirgeçleri, Şekil 8 ile verildiği gibi, ısı transferi tipi ve ısıtma elemanlarının bulunduğu konuma göre sınıflandırılır [10]. Sınıflandırma aşağıda verildiği gibi olabilir:

- Toprağın işlendiği taban içine veya toprağın içine yerleştirilen ısı değiştiricili ısıtma sistemleri
- Basamaklara veya toprak yüzeyine yerleştirilen ısı değiştiricili ısıtma sistemleri
- Hava içine yerleştirilen borulu ısıtma sistemleri

- Fan yardımıyla ısı yayan hava akışkanlı ısıtma sistemleri
- Tek biçimde olmayan ısıtma sistemleri
- Birleşik ısıtma sistemleri

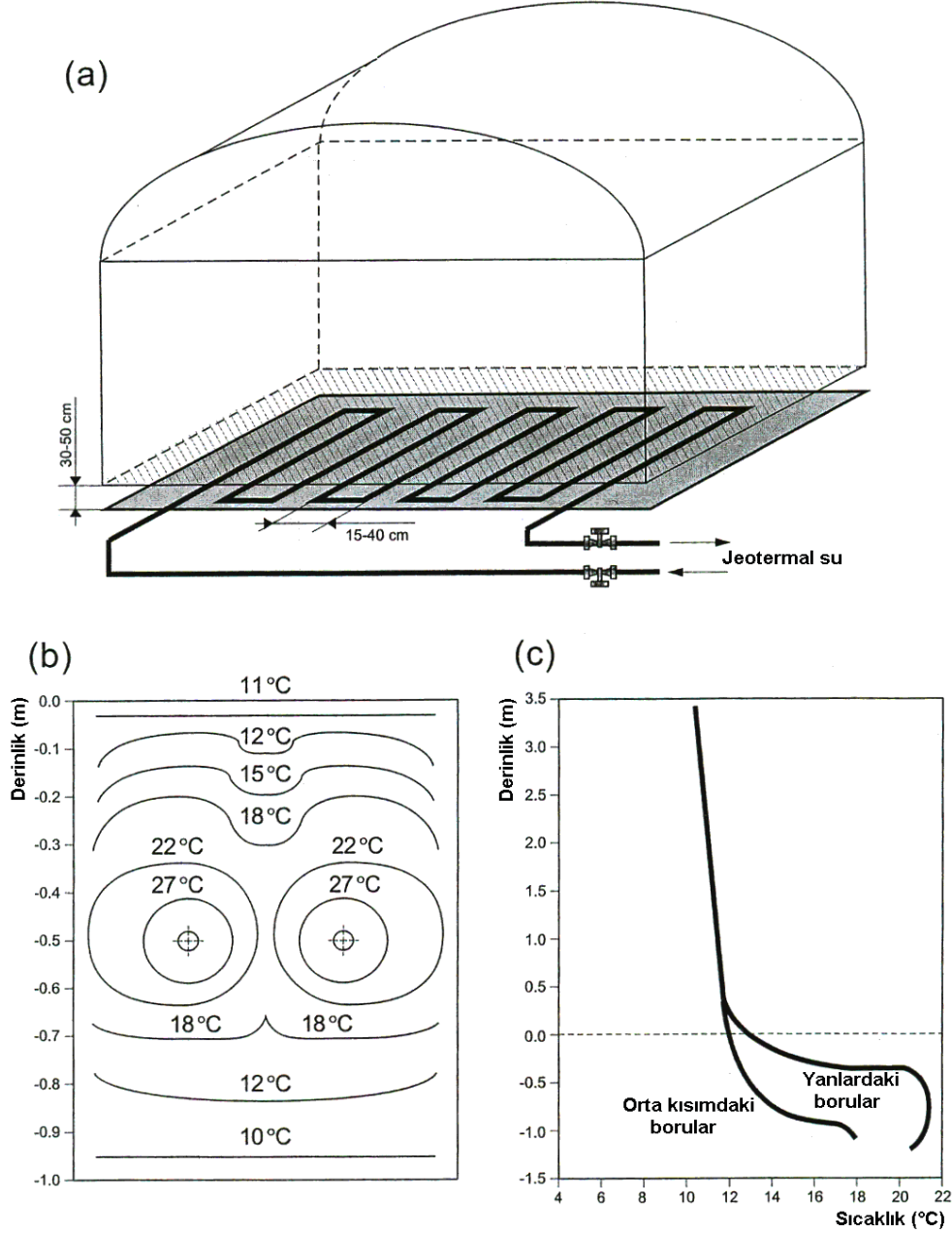


**Şekil 8.** Düşük Sıcaklıklı Isıtma Sistemlerinin Sınıflandırılması. [Doğal hava dolaşımli ısıtma tesisatları: a: Hava içine yerleştirilen borulu ısıtma sistemi, b: Basamaklara yerleştirilen ısı değiştiricili ısıtma sistemi, c: Havayı ısıtmak için alçak konumlu ısıtma boruları, d: Toprak altı ısıtma boruları, Zorlanmış hava dolaşımli ısıtma tesisatları: e: Yandan ısıtılmalı sistem, f: Hava üflemeli fanlı sistem, g: Yüksek konumlu kanallar, h: Alçak konumlu kanallar], [10]



## 5.2. Toprak Isıtma Sistemleri

Toprak ısıtma sisteminin amacı, bitki kök sistemini ısıtmaktır, (Şekil 9). Toprak ısıtma sistemleri, toplam ısıtma gereksiniminin sadece bir bölümünü oluştururlar. Sadece iklim koşullarının çok ılıman olduğu durumlarda diğer ısıtma sistemleri olmadan kullanılabilirler.



**Şekil 9.** Toprak Isıtma Tesisatı [a: Boruların konumu, b: Isıtılan topraktaki sıcaklık değişimi, c: Sera içindeki dikey sıcaklık değişimi], [7]

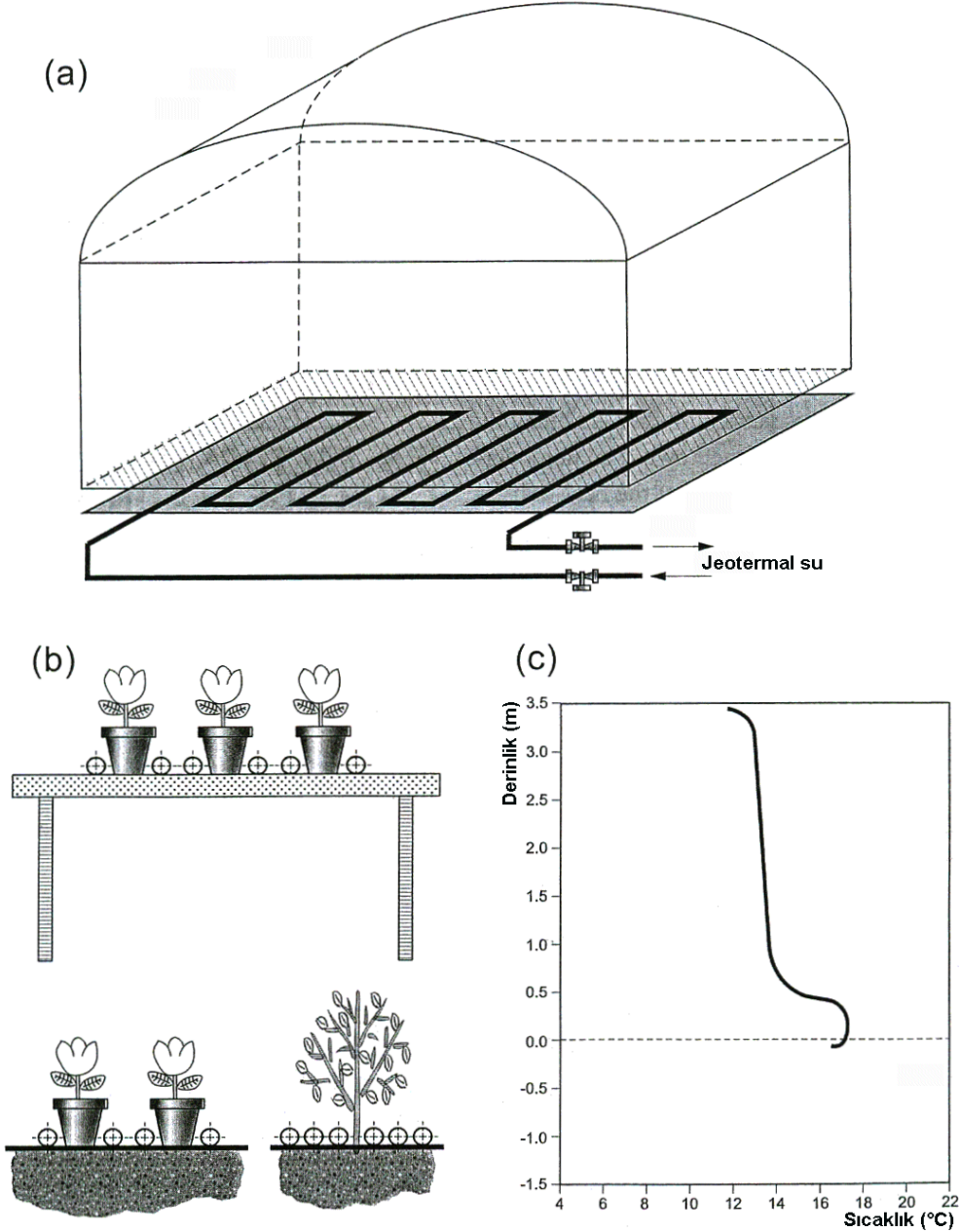
## 5.3. Toprak ve Hava Isıtma Sistemleri

Bu tür sistemler, toprak yüzeyine kurulan sistemleri içermektedir, (Şekil 10). Üretim için çok kullanışlı olan bu sistem ile toprağın üst tabakası ve hava ısıtılır.

Ticari amaçla kullanılan farklı ısıtma sistemleri aşağıda verildiği gibi olabilir:

- Toprak ısıtma için, ince metalik borular, düz ve oluklu ince plastik borular
- Şeffaf plastik hortumlar
- Yumuşak ve sert plastik plakalar
- Plastik plakalar

Isıtma elemanlarının uygun konumlandırılması, bitkiye en uygun ısı transferini ve çevreye en az ısı kaybı aktarımını sağlar, (Şekil 10). Bu durum, ılıman iklimlerde toplam ısı gereksinimini sağlamak için yada orta ve sert iklimlerde ana istemi karşılamak için mükemmel bir çözümdür.

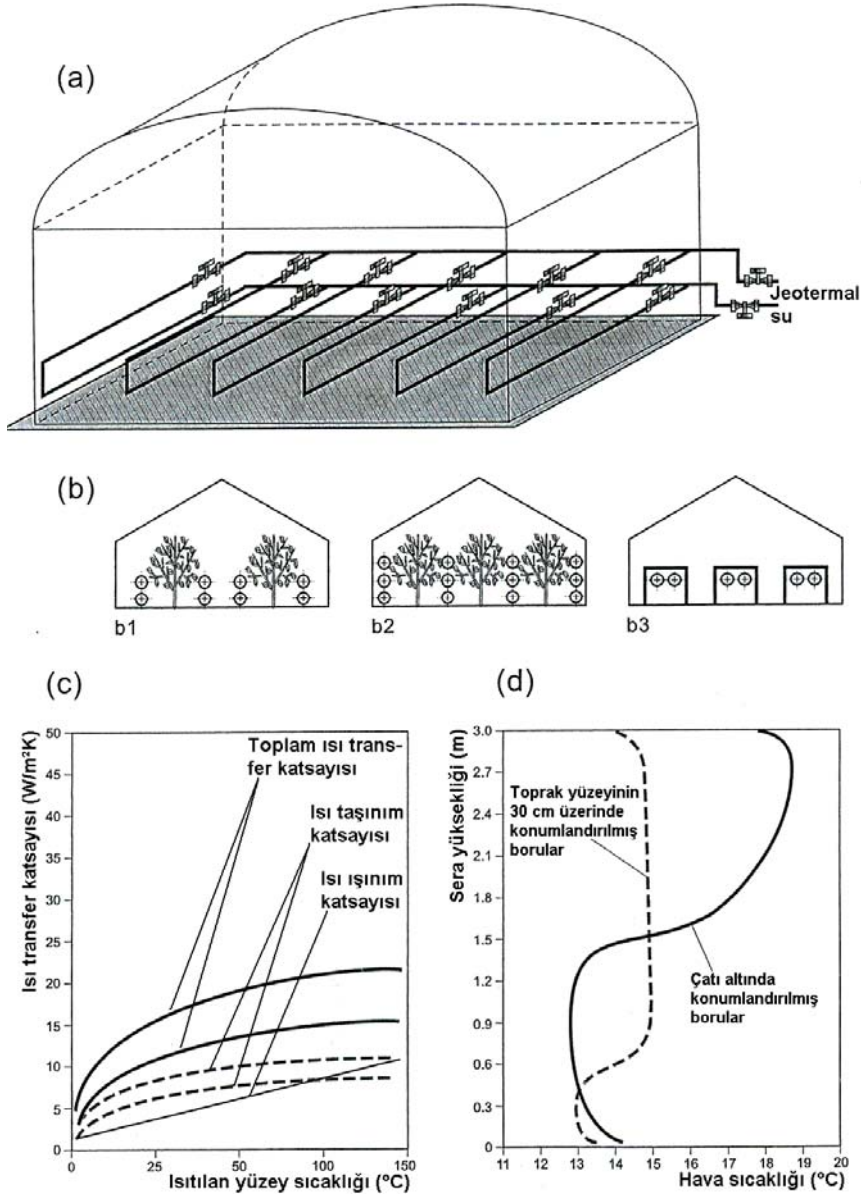


**Şekil 10.** Isıtma Borularının Toprak Yüzeyinin Üzerinde Olduğu Toprak Ve Hava Isıtma Tesisatı [a: Boruların konumu, b: Isıtma borularının düzenlenmesi için farklı çözümler (tezgah üzerinde, kap içinde ve toprağın içinde üretim), c: Sera içindeki dikey sıcaklık değişimi], [7]



#### 5.4. Hava İçine Yerleştirilen Borulu Isıtma Sistemleri ve Isı Yayıcılar

Metalik borulardan, kanatlı metalik borulardan veya ısı yayıcılarından oluşan bu tür ısıtma sistemleri, toprak yüzeyi üzerine, ortam havası içine yerleştirilmektedir, (Şekil 11). Bu sistemlerde sıcaklık ayarları hızlı ve dakik bir şekilde yapılabilmekte ve hem ılıman hem de sert iklim koşullarında bile kullanılabilir. Bu tür sistemlerin eksikliklerinden biri, düşük sıcaklıkta ısıtma yapıldığında kullanılan akışkanın ısı transferi katsayısının çok düşük olmasıdır. Bu durumda da çok geniş ısıtma yüzeylerinin seçilmesi gerekmektedir. Geniş yüzeyler ise sera içindeki ışık yoğunluğunu azaltmakta ve çalışma koşullarını olumsuz etkilemektedir.



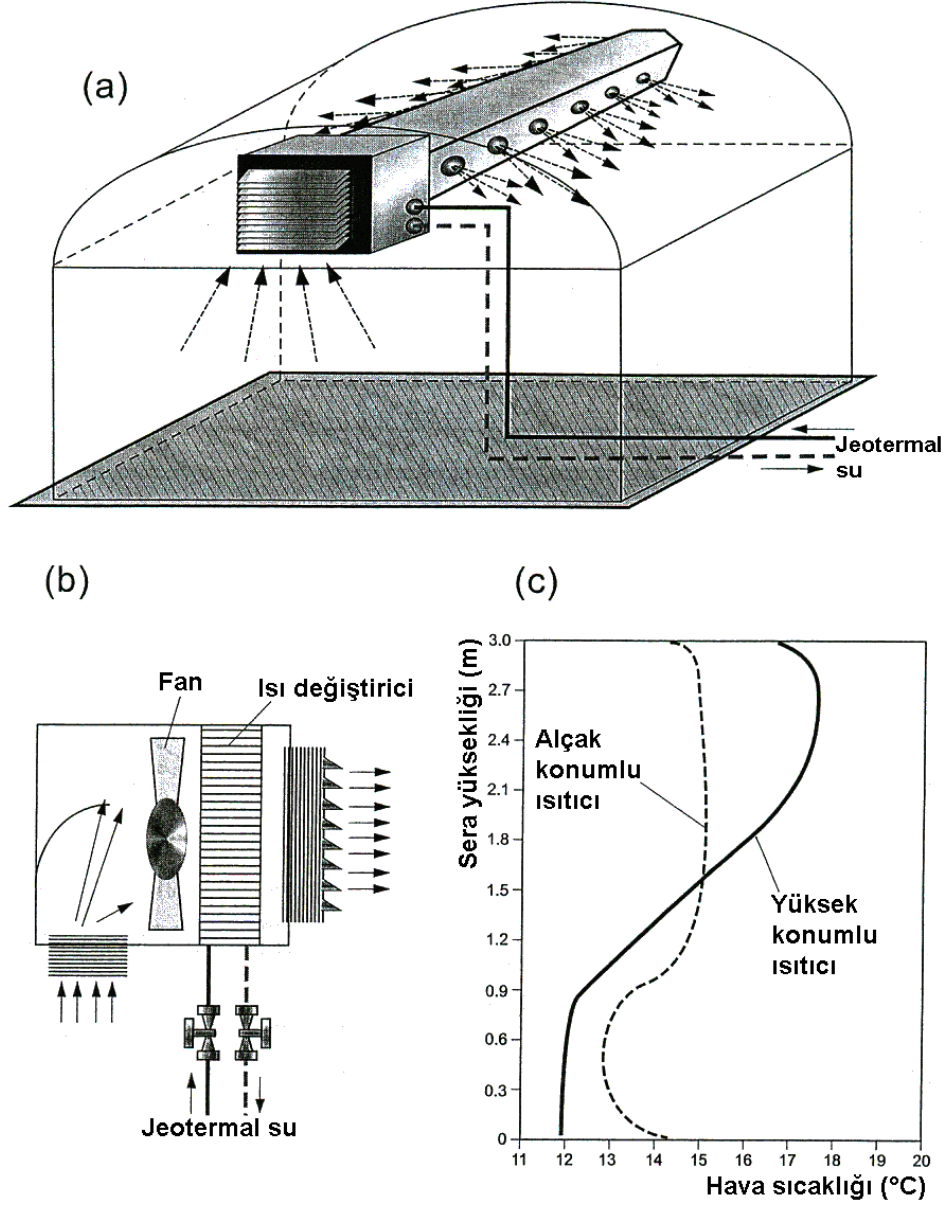
**Şekil 11.** Kanatlı Ve Kanatsız Çelik Borulardan Oluşan Ve Hava İçine Yerleştirilen Isıtma Sistemleri [a ve b: Düşük sıcaklıklı ısıtma akışkanları için hava içine yerleştirilmiş borulu ısı değiştiricilerinin konumu, b1: Bitki sıraları boyunca, b2: Bitkilerin kapladığı hacim içinde, b3: Tezgah altında, c: Isıtma akışkanının sıcaklığı ve boru çapına dayalı sera içi için ısı transfer katsayısı, d: Hava içine yerleştirilen ısıtma sistemleri tarafından ısıtılan seradaki dikey hava sıcaklığı değişimi], [7]

Bu tür sistemlerde kullanılan ısı yayıcılar, düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanlar için elverişsizdir, [7].

### 5.5. Fan destekli ısı yayıcılar

Düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanların kullanıldığı sistemlerde fan destekli ısı yayıcılar ile ısı transferi katsayısının yükseltilmesi sağlanabilir. Fan destekli ısı yayıcılar Şekil 12 verildiği gibi sera içine boydan boya yerleştirilebilir.

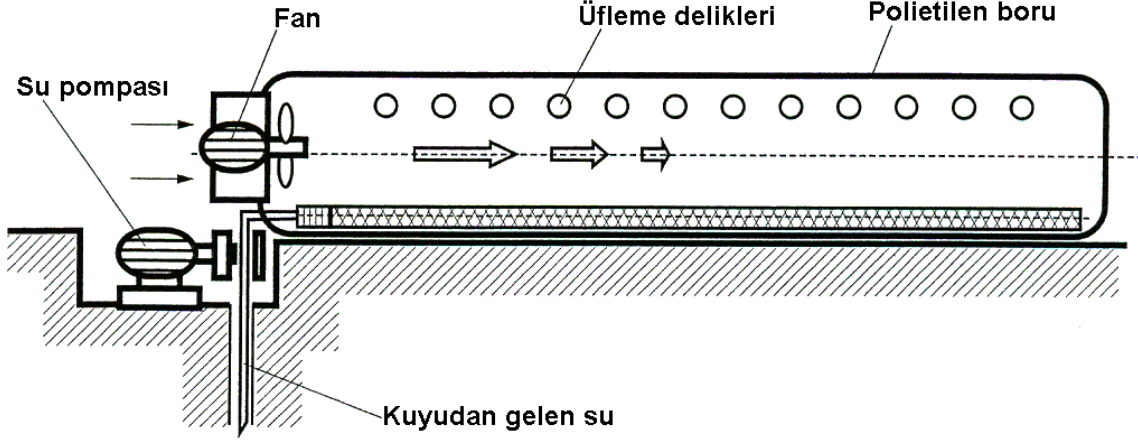
Hava dağıtım boruları bitkilerin ortasına yerleştirildiğinde dikey sıcaklık dağılımları oldukça düzenli olur. Akdeniz ülkelerinde ve Amerika Birleşik Devletleri'nde bu tür sistemler yaygın olarak kullanılır. Bu tür sistemler, otomatik düzenleyici elemanlar aracılığı ile ani dış ortam sıcaklığı değişimine hızlı bir şekilde yanıt verebilirler, [7].



**Şekil 12.** Fan Destekli Isı Yayıcılar [a: Sera içinde fanlı ısıtma sisteminin konumu, b: Fan destekli ısı yayıcı sisteminin ayrıntılı gösterimi, c: Fan destekli ısı yayıcısı ile ısıtılan sera içindeki dikey sıcaklık değişimi], [7]

### 5.6. Diğer ısıtma sistemleri tipleri

Bazı ısıtma sistemlerinin yerel koşullar gözetilerek tasarlanması gerekmektedir. Örneğin Yunanistan'da jeotermal suyun neden olduğu kabuklaşma sorununun üstesinden gelmek için hava ve su akışkanının kullanıldığı ısı değiştiricileri geliştirilmiştir (Şekil 13), [11]. Bu sistemde içinden suyun geçtiği boru, hava dağıtım tüpünün içerisine yerleştirilir. Sistemde kullanılan maliyeti düşük polietilen (polyethylene) malzemesi 1-2 üretim döneminden sonra yenileri ile değiştirilir.



Şekil 13. Hava Dağıtım Borusu İçindeki Su/Hava Isı Değiştiricisi, [11]

## 6. ISITMA SİSTEMİ SEÇİMİNİ ETKİLEYEN ETMENLER

Bir jeotermal sera projesinde en zor tasarım sorunlarından biri, uygun ısıtma sisteminin teknik-teknolojik ve ticari açıdan seçimidir. Her durum kendi içinde ele alınmalı ve en iyi çözüme ulaşabilmek için ısıtma sistemini etkileyen bütün etmenler göz önünde bulundurulmalıdır, [7].

### 6.1. Sera içi sıcaklık değişimleri

Sera ısıtmasında birinci öncelik, sıcaklığı en uygun koşullara yakın değerlerde tutabilmektir. Sera içerisinde kullanılan hiçbir tesisat dikey (Şekil 14) [10] ve yatay (Şekil 15) sıcaklık değişimini aynı değerde kalmamasını sağlayamaz. Toprak seviyesinin 1.5 m üzerindeki referans hava sıcaklığı için, toprak seviyesi ile sera çatısı altında oluşacak sıcaklık farkı en çok 5 ile 6°C kadar yüksek olmalıdır, (Şekil 16). Isıtma tesisatı seçiminde bu değerler önemli birer etmendir.

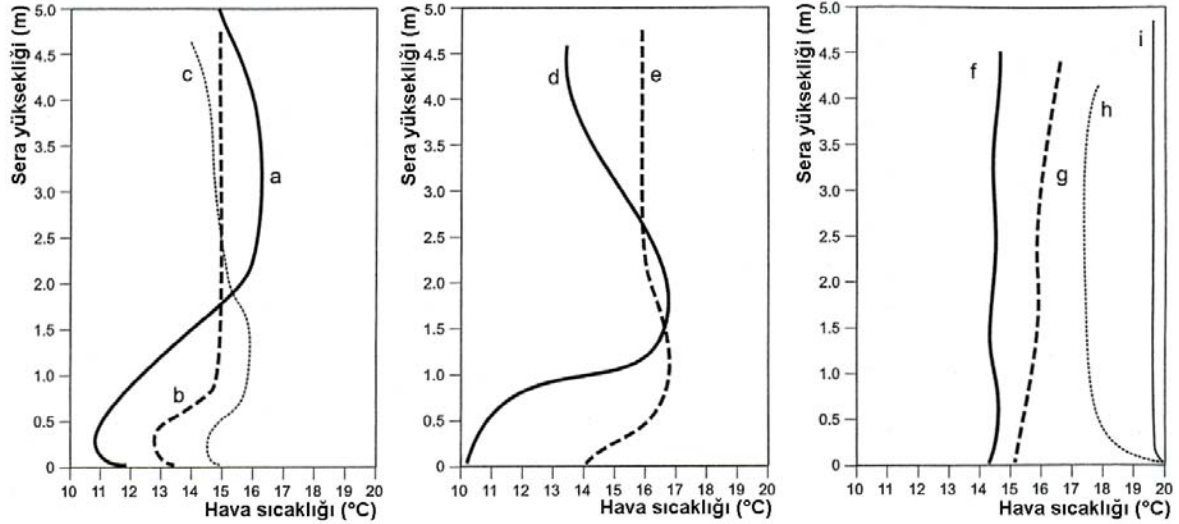
### 6.2. Ekonomik durumlar

Jeotermal enerjili sera ısıtılma sistemlerinin ticari olabilirliği, anapara yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri, ürüne göre uygun pazar ve ürünün değerine göre değişen enerji maliyetleri gibi birçok etmene bağlıdır. Bunun yanında ticari olabilirliğin hesabı ve jeotermal enerjinin rekabet gücü için en önemli etken kullanılan ısının ederidir. Isının nihai ederi ise, gerekli olan anapara yatırımı, kredi koşulları, bakım ve kullanım giderleri, sigorta ve vergiler, yakıt giderleri, iş gücü giderleri, bitkinin verimliliği ve yararlanma katsayısı gibi etmenlere bağlıdır. Kullanılan enerjinin tipi ve yerel koşullara bağlı olarak, yıllık ısı yükünü gösteren özgün eğriler çizilerek giderler modellenebilir (Şekil17), [12].

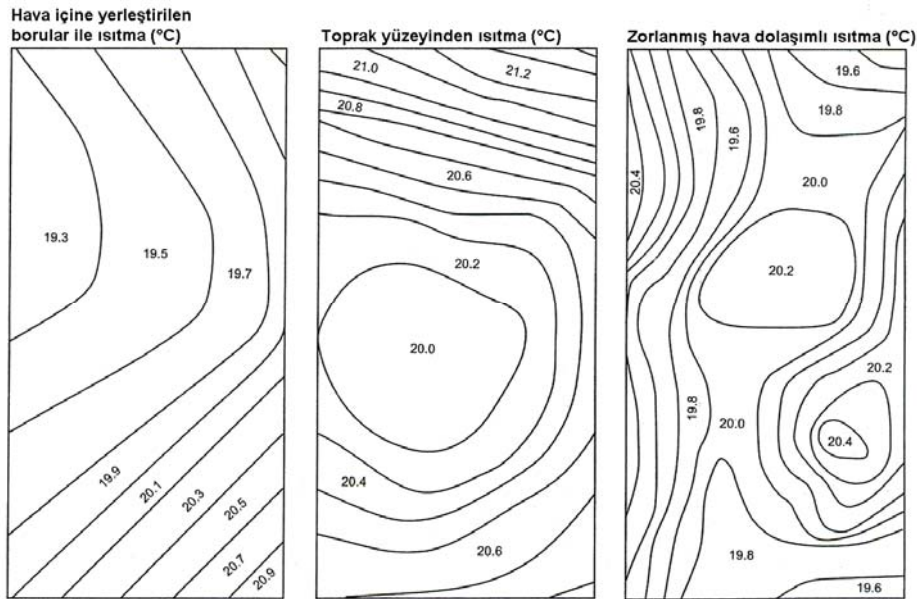
Bu eğriler durumdan duruma farklıdır fakat genellikle kısa kullanım süreçleri için jeotermal enerjinin ekonomik olmadığını gösterir. Yılın uzun bir sürecinde uygun ısı güç kullanıldığında ekonomiklik

sağlanabilmektedir. Fazla anapara yatırımı gerektirmeyen diğer enerji kaynakları ile istenen gereksinimleri karşılamak daha ekonomik olmaktadır.

Örnek olarak Şekil 17 ile verildiği gibi [12], 6 MW ısı güce ve 3 hektar alana sahip seralar ele alınsın. Bu seralara ait jeotermal kuyudan 50 litre/s değerinde üretim yapılsın ve ısıtma tesisatı sıcaklık düzeni 70°C/40°C değerinde olsun. Ağır petrolün ederi 200 US\$/ton, 12000 J/kg enerji içeriğine sahip kömürün ederi 75 US\$ ve elektrik enerjisinin değeri ise 0.065 US\$/kWh olsun. Kredi koşulları, 8 yıl geri ödemeli, 2 yıl erteleme süreli ve %10 faiz oranlı olsun. Bu veriler kapsamında yıl boyunca yukarıda verilen her yakıt ve jeotermal enerji için, değişik yüklerde kullanılmış ısı enerjisinin kWh ederi belirlenerek analiz yapılır. Yerel etkenlere bağlı olarak analize eklemeler de yapılabilir.

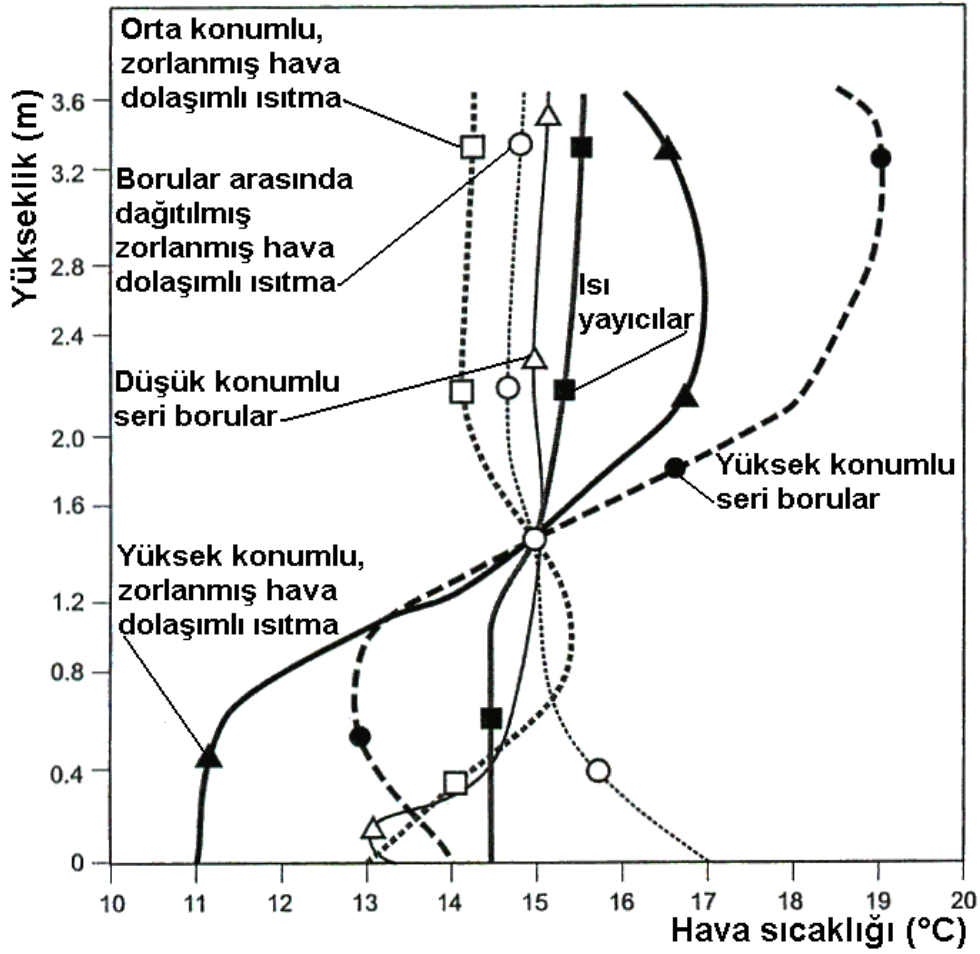


**Şekil 14.** Isıtma Tesisatının Konumu Ve Tipine Bağlı Olarak Sera İçindeki Dikey Sıcaklık Değişimi [a: Yüksek sıcaklıklı hava içine yerleştirilen borular, b: Yüksek sıcaklıklı borular, c: Düşük sıcaklıklı borular, d: Yüksek konumlu hava ısıtıcılar, e: Ürünün 2 m üzerinde konumlandırılmış fan destekli sistemler, f: Yüksek hızlı hava ısıtıcılar, g: ısı yayıcılar, h: Bitkiler arasında konumlandırılmış fan destekli sistemler, i: Tezgah altına konumlandırılmış fan destekli sistemler], [10]



**Şekil 15.** Aynı Dış İklim Koşulları Altında, Isıtma Tesisatının Farklı Tipleri Tarafından Isıtılan Sera İçinde Yatay Sıcaklık Dağılımı (°C), [7]





**Şekil 16.** Isıtma Tesisatının Farklı Tipleri Tarafından Isıtılan Sera İçindeki Dikey Hava Sıcaklığı Değişimi, [7]

Yukarıda verilen bilgiler kapsamında enerji tüketimi jeotermal enerji ile olursa, kullanılan ısının ederi 0.07 US\$/kWh olmakta, eğer ısıl kapasitenin %50 kadarı jeotermal enerji ve %50 kadarı ağır petrolun kullanıldığı kazan sistemi ile desteklenecek şekilde tasarlanırsa eder 0.04 US\$/kWh gibi tek enerji formunun kullanımından daha ekonomik olmaktadır. İdeal bir sistem, değişik kullanım etmenleri ve ısının diğer kullanımları için tasarlanabilir. Örneğin, toplam sığanın 6 MW-ısı kadarı sera içi ortamın ısıtılması ve sıhhi ılık su sağlamak için ve 0.6 MW-ısı kadarı haziran ayından kasım ayına kadar ürünün kurutulması için kullanılır ise, bu sistemde (aynı sığaya sahip ağır petrolun kullanıldığı kazan sistemi ile karşılaştırıldığında) 0.59 J ısı kaybına sahip kuyu için %59 oranında kullanım etmenine ulaşabilmektedir, [7, 12].

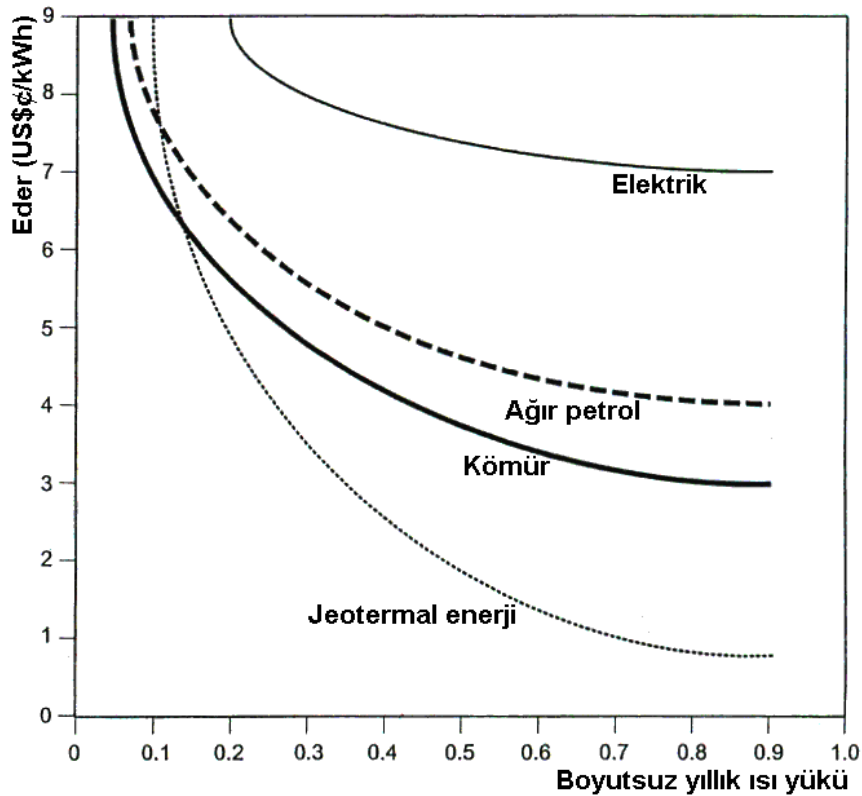
### 6.3. İşletme sorunları

İşletme sorunları, genel olarak jeotermal kaynakların niteliğine bağlıdır. Sorunlar, kuyu başında yada kaynağında başlamaktadır. Doğal artezyen kaynağında sorun az olmakla birlikte pompa kullanımının gerekli olduğu sondaj kuyusunda ise, su haznesinde aşırı kullanım ve kumun pompaya zarar vermesi gibi iki önemli sorun öne çıkmaktadır. Birinci sorunu ortadan kaldırmak için ticari kullanıma başlamadan önce kaynak özelliklerinin iyice araştırılması gereklidir. Kumun oluşturduğu sorun ise, su pompaya ulaşmadan önce filtre kullanılarak ve pompanın ani olarak devreye alınmaması ile giderilebilir.

Diğer bir sorun ise jeotermal akışkanda bulunan oksijen (O<sub>2</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), klor (Cl) ve hidrojen sülfid (H<sub>2</sub>S) tarafından oluşturulan korozyondur. Korozyon için 3 adet çözüm vardır. Korozyon oluşturmeyen madde kullanımı, agresif kimyasal bileşenlerin yansızlaştırılması veya sıvıdan çözülmemiş gazların alınması ve ayrıştırılması ile kimyasal bileşenlerin düzenlenmesi ve kuyudan ısıtma tesisatına doğrudan olmayan bir bağlantı yapılması. Teknik gereksinimler ile ekonomik sonuçlar arasında iyi bir uzlaşma sorunları en aza indirebilir. Maliyeti yüksek karmaşık çözümler yerine belli süreler içinde bakım gerektiren basit çözümlerin seçilmesi çoğu zaman daha ekonomik olmaktadır.

Benzer bir sorun kabuklaşma ile meydana gelmektedir. Kimyasal kabuklaşma önleyiciler, manyetik alan ve ultrasonik dalgalarla suyun işletilmesi gibi yöntemler ile kabuklaşma önlenebilmektedir.

Isı değiştirgeçlerine ait sorunlar, genellikle kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerinden kaynaklanır. Örneğin, yumuşak plastik malzemeli ısı değiştirgeçleri patlayabilir, [7].



**Şekil 17.** Yıllık Yük Etmenin Bir Fonksiyonu Olarak Elektrik, Ağır Petrol, Kömür ve Jeotermal Enerjinin Isı Maliyeti [Yıllık Yük Etmeni:  $L = (Q/P)(8760)(3600)$ , Q: Yıl Boyunca Isı Tüketimi (J), P: Jeotermal Kuyunun Isı Sığası (W)], [12]

#### 6.4. Çevresel Görünüm

Jeotermal enerji, “temiz” bir enerji kaynağı olarak kabul edilse de gerçekte öyle değildir. Sera ısıtılmasında yüksek debili jeotermal akışkan kullanıldığında olduğu gibi, çevreye ısıl ve kimyasal kirlilik olarak zarar vermektedir.

Isıl kirlilik, jeotermal enerjili ısıtma tesisatlarının zayıf teknik tasarımı, düşük yatırım giderlerini sağlamak için tasarımlarda yapılan değişiklikler ve yapılması gereken sıradan işlemlerin yapılmaması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Enerjinin, sadece uygun sıcaklık aralığını sağlamak için üst seviyede kullanılması ve böylece çevreye yüksek sıcaklığa sahip akışkanın bırakılması ısıl kirliliği artırır.

Kimyasal kirlilik, agresif ve zehirli elementler içeren jeotermal akışkanın kimyasal bileşiminden oluşur. Ayrıca kimyasal dengesizlik kabuklaşmaya da neden olur. Her iki olayda çevreyi olumsuz olarak etkiler.

Çevreyi korumak için alınacak önlemler, jeotermal enerji kullanımını ekonomik olarak olumlu bir şekilde etkileyecektir. Bu çerçevede ısı atık suyun en yüksek sıcaklığının ve zararlı kimyasal bileşenlerin en yüksek yoğunluğunun yasal olarak belirlenmesinde büyük yarar olacaktır.

Isıl kirliliği gidermenin tek yolu, düşük sıcaklıklı ısıtma tesisatı kurmak ya da istenilen sıcaklık aralığını sağlayan tesisat bileşimini oluşturmaktır. Kimyasal kirliliği gidermenin tek çözümü ise, kullanılmış suyu tekrar kaynağına geri göndermektir ama bu işlemin gideri yüksektir, [7].

### 6.5. Teknolojik Çözümlerin Yerel Koşullara Uyarlanması

Değişebilir pazar koşulları ve gereksinimler, sera ısıtma için jeotermal enerjinin seçiminde negatif etki oluşturmaktadır. Jeotermal enerji diğer enerji türlerine göre daha yüksek sermaye yatırımı ve böylece uzun süreli geri ödeme süreleri gerektirmektedir.

Her üretim, özel bir ısıtma tesisatı tipine gereksinim duyar. Ürünün türü değiştirildiğinde maliyeti yüksek ek yatırımlara gerek duyulabileceği göz önüne alınmalıdır. Bu nedenlerden dolayı genelde maliyeti düşük ve basit sera yapıları seçilmiş ve örneğin domates, salatalık ve karanfil gibi garantili satışı olan ürünler için jeotermal enerji kullanılmıştır. Bununla birlikte, ticari olarak uygun olan büyük tesisatlar da yapılabilir. Ama büyük tesisatlarda gerektiğinde değişiklikler yapmak mümkün olmayabilir.

Alçak konumlu ısıtma tesisatlarında doğal hava dolaşımı en iyi şekilde dikey sıcaklık değişimleri ve düşük ısı tüketimleri ile sağlanabilir (düşük hava sıcaklıkları sera çatısının altındaki yüzeylerde oluşur). Yine de hızlı büyüyen bitkiler için dış ortamdaki soğuk ışımdan korunma sağlanmalıdır.

Bir diğer önemli etkende sera içinde kullanılan ısıtma tesisatının oluşturduğu gölgemelerdir. Gelen güneş ışıınımdan bitkilerin en iyi şekilde yararlanabilmesi için en az gölge oluşturacak tasarımlar yapılmalıdır.

Zaman zaman yerel iklim koşulları örneğin yerel güçlü rüzgarlar sera içindeki doğal hava dolaşımını etkileyebilir. Bu durumda bu olumsuzluğu gidermek için zorlanmış hava dolaşımına gereksinim duyulabilir.

Tesisat tipi seçilirken hemen sağlanabilecek malzemelerin göz önüne alınması önemlidir. Yedek parçalar, malzemeler ve donanımlar, rahat bir işleyiş için kolay şekilde sağlanabilmelidir. Sera yapısının küçük ısı ataletinin, bakım için uzun aralara izin vermeyebileceği de göz önüne alınmalıdır.

## SONUÇ

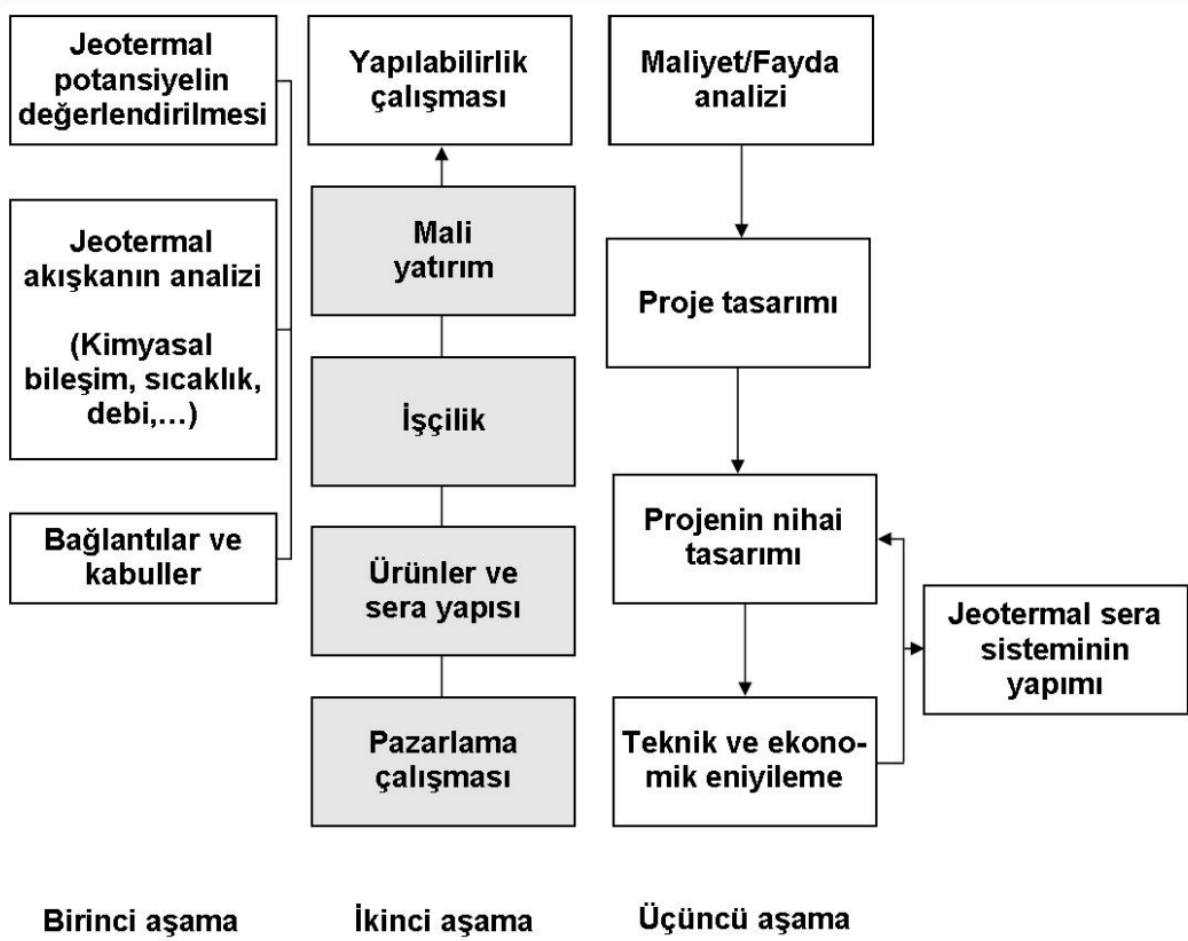
Sera ısıtma sisteminin özellikleri aşağıda verildiği gibi olabilir:

- Sistem, dış hava sıcaklığına bağlı olmadan sera içi sıcaklığını istenilen sınırlar içinde tutabilmelidir.
- Sıcaklık sera içinde dengeli olarak dağıtılmalıdır.
- Sık sık arıza olmamalıdır.
- Verimli çalıştırılmalıdır.
- Maliyet ve yakıt giderleri az olmalıdır.

Seraların örtü malzemesi olan cam ve plastiğin güneş ışığı geçirme özelliğinin yüksek olması nedeniyle seralar çabuk ısınır ve çabuk soğurlar. Serada bitkinin iyi bir şekilde gelişebilmesi için seranın sıcaklığı düştüğü zaman sera içine ısı verilmesi gerekmektedir. Seraya verilecek ısı enerjinin

miktarı, sera dışındaki hava sıcaklığına, sera içinde istenilen sıcaklığa, seranın dış yüzeylerinin toplam alanına, sera örtü malzemesinin tipine ve kat sayısına ve seranın yapı kalitesine bağlı olarak değişir.

Jeotermal enerjinin kullanıldığı bir sera için ısıtma sistemi seçimi, çeşitli bilimsel ve teknik etmenlerin birbirine bağlı olmasından dolayı karmaşık bir işlemdir. Bu sorunu çözmek için kesin bir yöntem tanımlamak olanaksızdır. Bunun yanında jeotermal enerjili sera ısıtma sistemi projeleri geliştirmek için izlenmesi gereken adımları içeren genel bir akış şeması, Şekil 18 ile verildiği gibi olabilir.



Şekil 18. Jeotermal Sera Isıtma Projesi İçin Gelişim Çizelgesi [7]

## KAYNAKLAR

- [1] POPOVSKI, K, "Geothermally heated greenhouses in the world", International Workshop on Heating Greenhouses with Geothermal Energy, Ponta Delgada, Azores, 1998.
- [2] POPOVSKI, K, "Present status of geothermal energy use in agriculture in Europe", FAO/CNRE Workshop on Solar and Geothermal Energy Use for Greenhouses Heating, Adana, 1988.
- [3] POPOVSKI, K, "Engineering aspects of geothermal energy use in agriculture", International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy, Skopje, Macedonia, 1991.
- [4] POPOVSKI, K, "Simple heating methods for mild Mediterranean climate conditions", Symp. On Simple Methods for Heating and Ventilating Greenhouses in Mild Climate Conditions, Djerba-Tozeur, 1988.



- [5] POPOVSKI, K, Use of solar energy and heat accumulator in the soil for greenhouse heating, PhD thesis, Edward Kardelj University, Slovenia, 1984.
- [6] WAN DEN BRAAK, NJ, KNİES, P, “Waste heat for greenhouse heating in the Netherlands”, First FAO/CNRE Technical Consultations on Geothermal Energy and Industrial Thermal Effluents Use in Agriculture, Rome, 1985.
- [7] POPOVSKI, K, “Greenhouse heating”, Geothermal Energy Utilization and Technology, Edited by M.H. Dickson & M. Fanelli, Earthscan, 2006.
- [8] Agence Pour Les Economies D’Energie, Utilization des Energies de Substitution dans les Serres, Paris, France, 1982.
- [9] CAMPIOTTİ, CA, PICCIURRO, G, ROMANAZZO, M, TAGGİ, R, “Climatic and environmental data monitoring in greenhouses heated with geothermal water”, Acta Horticulturae, Vol. 174, 1985.
- [10] VON ZABELTİTZ, C, GEWACHSHAUSER, Handbuch des Erwerbgartners, Stuttgart, 1986.
- [11] GRAFIADELLİS, M, “Development of simple systems for distribution of geothermal energy in greenhouses”, FAO/CNRE First Workshop on Geothermal Energy Use in Agriculture, Skopje, Macedonia, 1986.
- [12] POPOVSKI, K, POPOVA, N, “Economy of geothermal energy use in agriculture”, First FAO/CNRE Workshop on Geothermal Energy Use in Agriculture, Skopje, Macedonia, 1987.

## ÖZGEÇMİŞ

### Hüseyin GÜNERHAN

İzmir Atatürk Lisesi’nden mezun olduktan sonra, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991–2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001 yılından beri, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalışmaktadır. 2004 yılında, Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezine (ÇEVMER) müdür yardımcısı olarak atanmıştır. (huseyingunerhan@gmail.com)