

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**BALÇOVA (İZMİR) YÖRESİNDE BAZI ÜRÜNLER İÇİN
SERA ISI GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ ve ISI
AÇIĞININ FARKLI SİSTEMLERLE KARŞILANMASININ
TEKNİK ve EKONOMİK YÖNDEN İNCELENMESİ**

Ersin KARACABEY

Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Bilim dalı kodu : 501.08.00

Sunuş tarihi : 02.01.2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. A. Kadir YAĞCIOĞLU

Bornova – İZMİR

III

KABUL ve ONAY SAYFASI

Sayın Ersin KARACABEY tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak sunulan “**Balçova (İzmir) Yöresinde Bazı Ürünler İçin Sera Isı Gereksinimlerinin Belirlenmesi ve Isı Açığının Farklı Sistemlerle Karşılanmasının Teknik ve Ekonomik Yönden İncelenmesi**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 02.01.2008 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı :

.....

Raportör Üye :

.....

Üye :

.....

ÖZET

BALÇOVA (İZMİR) YÖRESİNDE BAZI ÜRÜNLER İÇİN SERA
ISI GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ ve ISI AÇIĞININ
FARKLI SİSTEMLERLE KARŞILANMASININ TEKNİK ve
EKONOMİK YÖNDEN İNCELENMESİ

KARACABEY, Ersin

Yüksek Lisans Tezi, Tarım Makinaları Bölümü

Danışman : Prof. Dr. Abdulkadir YAĞCIOĞLU

Bu tez çalışmasında, önemli bir tarımsal üretim şekli olan sera yetiştiriciliğinde, üretim maliyetini ve buna bağlı olarak karlılığı yüksek oranda etkileyen ısıtma konusunda üreticilere maliyetler hakkında fikir kazandırılması temel hedef olarak seçilmiştir. Çalışmada seracılığın yoğun olarak yapıldığı Balçova’da örnek bir sera işletmesi seçilerek ısı gereksinimleri belirlenmiş ve ısı ihtiyacının linyit kömürlü ve jeotermal sıcak sulu sistemlerle karşılanması durumunda ortaya çıkacak olan sabit ve değişken maliyetler hesaplanmıştır. Özellikle, çalışma alanındaki seralarda jeotermal enerjiyle ısıtmada eşanjör kullanım zorunluluğunun getirilmesinden sonra, linyit kömürlü ve jeotermal sıcak sulu sistemlerin ekonomikliği hakkında karar vermede üreticilere yol gösterici veriler sunulmuştur.

Çalışma alanındaki seralarda yetiştiriciliği yapılan tüm bitkiler için hesaplanan ısı gereksinimleri, Ocak ayında en yüksek değerde çıkmıştır. Bu ayda gündüz ve gece koşullarında ısı gereksinimleri domates yetiştiriciliği için sırasıyla 758 556 – 1 470 825 W; hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için 1 233 016 – 1 787 129 W olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanındaki 12 da'lık örnek sera işletmesi için, linyit kömürlü kaloriferli ısıtma sistemlerinin tesis maliyeti, 2007 yılı piyasa fiyatlarına göre, jeotermal sıcak sulu kaloriferli ısıtma sistemlerinin tesis maliyetlerinden %27 daha yüksek bulunmuştur. İki sistem arasındaki en belirgin farkı oluşturan değişken işletme maliyetlerine bakıldığında, jeotermal sıcak suyla çalışan ısıtma sistemlerinin, linyit kömürlü kaloriferli ısıtma sistemlerine göre yaklaşık 10 kat daha düşük maliyete sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler : Sera, ısıtma, jeotermal enerji

ABSTRACT

**DETERMINATION OF HEAT REQUIREMENTS OF
GREENHOUSES FOR SOME CROPS IN BALCOVA (IZMIR) AND
EXAMINATION OF PROVIDING HEAT NEEDED WITH
DIFFERENT SYSTEMS TECHNICALLY AND ECONOMICALLY**

KARACABEY, Ersin

MSc in Agricultural Machinery

Supervisor : Prof. Dr. Abdulkadir YAĞCIOĞLU

The objective of this study was to provide necessary information for the growers about the cost of heating that significantly affect the production costs of greenhouses and as profit to be obtained. In the study, a typical greenhouse operation located in Balçova where greenhouse production is intensively made was chosen and its heat requirements were determined. Based on these determinations, fixed and variable costs for heating by either brown coal or geothermal hot water were calculated. Especially after the obligation of using heat exchangers in heating with geothermal energy in the greenhouses in the study region, presenting leading datas to growers in the decision of profitability of brown coal and geothermal hot watery heating systems was included.

Heat requirements calculated for all crops grown in the greenhouses in the study region were found highest in January. In this month, heat requirements were calculated for tomato cultivation as 758 556 W – 1 470 825 W; for cucumber, melon, watermelon and rose cultivation as 1 233 016 – 1 787 129 W for day and night conditions respectively.

In the study region for the typical greenhouse operation which has 12 decare total area, in respect of market prices of 2007, it has been found out that fixed costs of brown coal welded heating systems are %27 bigger than geothermal hot watery heating systems. In point of variable operation costs in which the difference between two systems is the most explicit, it has been determined that brown coal welded heating systems have nearly less tenfold cost than geothermal hot watery heating systems.

Key words: Greenhouse, heating, geothermal energy

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam öncesinde verdiği derslerle bir altyapı oluşturmamı sağlayan ve çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Abdulkadir YAĞCIOĞLU'na, tezimin bir kısmını birlikte yürüttüğümüz sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hüseyin YÜRDEM'e, ekonomik değerlendirme bölümündeki katkılarından dolayı sayın hocam Prof. Dr. Osman GÖKÇE'ye, sektörde faaliyet gösteren ve deneyimlerini paylaştan Teknoser Seracılık Ltd. Şti.'ne ve sürekli desteğini aldığım aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	V
ABSTRACT	VII
TEŞEKKÜR.....	IX
İÇİNDEKİLER	XI
ÇİZELGELER DİZİNİ	XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVIII
1 GİRİŞ	1
1.1 Dünya’da ve Türkiye’de Örtüaltı Yetiştiriciliği	2
1.2 Seralarda Isıtma Uygulamaları	6
1.2.1 Sıcaklığın Bitki Gelişmesi Üzerindeki Etkileri.....	6
1.2.2 Seralarda Isıtmanın Amacı ve Önemi	8
1.2.3 Sera Isıtma Sistemlerinden Beklenen Özellikler.....	9
2 SERALARDA TEMEL ISITMA UYGULAMALARI.....	11
3 JEOTERMAL ENERJİDEN YARARLANARAK ISITMA ...	18
3.1. Jeotermal Enerjinin Tanımı.....	18
3.2. Jeotermal Enerji Kullanımının Tarihi Gelişimi.....	20
3.3. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları	21
3.4. Dünya’da Jeotermal Enerji Kullanımı	23
3.5. Türkiye’de Jeotermal Enerji Kullanımı	27
3.6. Dünya’da ve Türkiye’de Seracılıkta Jeotermal Enerji Kullanımı	31
3.7. Jeotermal Enerjili Sera Isıtma Sistemleri.....	42
3.7.1. Jeotermal Kaynakların Seralara Bağlantı Şekilleri	42
3.7.2. Eşanjörler	43
3.7.3. Isıtma Boruları	48

İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
3.8. Jeotermal Enerji Kullanımında Karşılaşılan Sorunlar	49
4 LİTERATÜR ÖZETİ	52
5 MATERYAL ve YÖNTEM	57
5.1 Materyal	57
5.1.1 Örnek Seraların Teknik Özellikleri	57
5.1.2 Çalışma Alanının İklimi	59
5.1.3 Çalışma Alanının Jeolojisi	60
5.2 Yöntem	62
5.2.1 Sera Isı Gereksinimlerinin Belirlenmesi	62
5.2.2 Isıtıcı Yüzey Alanı ve Boru Uzunluklarının Belirlenmesi	66
5.2.3 Maliyet Analizi	68
6 BULGULAR ve TARTIŞMA	74
6.1 Sera Isı Gereksinimleri	74
6.1.1 Güneşten Kazanılan Isı Enerjisi	74
6.1.2 Seralardan Dış Ortama İletilen Isı Miktarları	76
6.1.3 Isı Gereksinimi Değerleri	80
6.2 Isıtıcı Yüzey Alanı ve Boru Uzunlukları	85
6.3 Maliyet Değerleri	88
6.3.1 Tesis Maliyetleri	88
6.3.2 İşletme Maliyetleri	92
7 SONUÇ ve ÖNERİLER	102
8 KAYNAK DİZİNİ	104
ÖZGEÇMİŞ	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge No	Sayfa
Çizelge 1.1. Seralarda yetiştirilen bazı sebzelerin en uygun iç ortam sıcaklıkları	8
Çizelge 3.1. Jeotermal akışkanların kullanım alanları.....	22
Çizelge 3.2. Jeotermal kurulu elektrik güç kapasitelerinin ülkelere göre dağılımları.....	24
Çizelge 3.3. Dünya jeotermal enerji doğrudan kullanım istatistikleri	25
Çizelge 3.4. Yüksek sıcaklığa sahip bazı jeotermal alanlar	28
Çizelge 3.5. Türkiye’de jeotermal enerjili ısıtma sistemlerinin mevcut durumu.....	30
Çizelge 3.6. Dünya jeotermal sera alanları.....	33
Çizelge 3.7. A.B.D’de jeotermal enerjiyi kullanan bazı sera işletmeleri	37
Çizelge 3.8. Türkiye’deki jeotermal sera alanları.....	39
Çizelge 3.9. CaCO ₃ Kabuklaşmasını önleyici katkı maddeleri	51
Çizelge 4.1. Jeotermal enerji ile ısıtma baz alınarak diğer bazı ısıtma sistemlerinin karşılaştırılması	53
Çizelge 5.1. Örnek seraların teknik özellikleri	58
Çizelge 5.2. İzmir ilinde (Güzelyalı) 1938 - 2003 yıllarına ait aylık ortalama iklim değerleri.....	59
Çizelge 5.3. Balçova jeotermal üretim kuyuları	61
Çizelge 6.1. Örnek seraların güneşten kazandığı ısı enerjisi miktarları	74
Çizelge 6.2. Örnek seralarda domates yetiştiriciliği için gündüz ve gece koşullarında hesaplanan ısı kayıpları.....	76

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge No	Sayfa
Çizelge 6.3. Örnek seralarda hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için gündüz ve gece koşullarında hesaplanan ısı kayıpları	78
Çizelge 6.4. Örnek seralarda domates yetiştiriciliğinde gündüz ve gece için hesaplanan aylık ısı gereksinimleri.....	81
Çizelge 6.5. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliğinde gündüz ve gece için hesaplanan aylık ısı gereksinimleri.....	83
Çizelge 6.6. Konveksiyonla ısı iletim katsayıları	86
Çizelge 6.7. Kondüksiyonla ısı iletim katsayıları.....	86
Çizelge 6.8. Domates yetiştiriciliği için hesaplanan ısıtıcı yüzey alanı ve boru uzunlukları	87
Çizelge 6.9. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için hesaplanan ısıtıcı yüzey alanı ve boru uzunlukları.....	87
Çizelge 6.10. Domates yetiştiriciliği için gerekli PE ve çelik ısıtma borularının yatırım maliyetleri	89
Çizelge 6.11. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için gerekli PE ve çelik ısıtma borularının yatırım maliyetleri	89
Çizelge 6.12. Domates yetiştiriciliğinde ısıtma için gerekli yakıt maliyetleri ..	94
Çizelge 6.13. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliğinde ısıtma için gerekli yakıt maliyetleri.....	94
Çizelge 6.14. Balçova'da jeotermal enerjili seralarda aylık sıcak su bedelleri	95
Çizelge 6.15. Domates yetiştiriciliği için kurulacak ısıtma sistemlerindeki tesis ve işletme maliyetleri.....	98
Çizelge 6.16. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için kurulacak ısıtma sistemlerindeki tesis ve işletme maliyetleri	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa No
Şekil 1.1. Örtüaltı alanlarının 1997 - 2006 yılları arasındaki değişimi	5
Şekil 2.1. Bitki seviyesinden aşağıya ve sıralara yakın yerleştirilen ısıtma boruları.....	13
Şekil 2.2. Yetiştirme masalarının altından geçirilen sıcak su boruları	13
Şekil 2.3. Seralarda sobalı ısıtma sistemi	14
Şekil 2.4. Doğal ve pompalı dolaşımli sıcak sulu kalorifer düzenleri	15
Şekil 2.5. Sıcak havayla ısıtma yöntemleri.....	16
Şekil 2.6. Su varilleriyle yapılan ısıtma uygulaması	18
Şekil 3.1. Yerküredeki Sıcaklık Dağılımı.....	18
Şekil 3.2. İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi.....	19
Şekil 3.3. Jeotermal enerjinin dünyadaki kullanımı ile ilgili yüzdesel dağılım.	26
Şekil 3.4. Jeotermal enerjinin Türkiye’de ve Dünya’da değerlendirilmesi ve karşılaştırılması.....	27
Şekil 3.5. İzlanda Hveragerdi’de jeotermal enerjiyle ısıtılan bir sera	34
Şekil 3.6. Mokai, Yeni Zelanda’da jeotermal enerjiyle ısıtılan 5 ha’lık sera işletmesi	34
Şekil 3.7. Mt. Amiata’da kurutucu ve seralarda jeotermal enerji kullanımı.....	35
Şekil 3.8. ABD’de bir jeotermal sera	36
Şekil 3.9. Utah’ta bir jeotermal çiçek serası.....	36
Şekil 3.10. Jeotermal enerjinin farklı alanlardaki kullanımı.....	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa No
Şekil 3.11. İzmir - Balçova’da jeotermal enerjiyle ısıtılan bir sera	40
Şekil 3.12. Bergama’da jeotermal enerjiyle ısıtılan ve ısıtma borularının aynı zamanda ray olarak kullanıldığı seralar	40
Şekil 3.13. Sivas-Çermik jeotermal sera alanı.....	40
Şekil 3.14. Isıtma sistemine doğrudan bağlı sıcak jeotermal suyla sera ısıtma	42
Şekil 3.15. Jeotermal sıcak sudan yararlanarak çalışan ısı pompasıyla sera ısıtılması.....	43
Şekil 3.16. Kuyu içi eşanjörlü jeotermal ısıtma sistemi	44
Şekil 3.17. Kuyu başı eşanjörlü jeotermal ısıtma sistemi.....	44
Şekil 3.18. Richard Seligman ve ilk PHE (plakalı ısı eşanjörü).....	45
Şekil 3.19. Farklı plakalı ısı eşanjörleri.....	46
Şekil 3.20. Pirinç kaynaklı plakalı ısı eşanjörü	46
Şekil 3.21. Bir plakalı ısı eşanjörünün ana parçaları	47
Şekil 3.22. Plakalı eşanjörlerde conta sistemi	47
Şekil 3.23. Poietilen ısıtma borularıyla ısıtılan seralar.....	48
Şekil 3.24. Metal ısıtma borularıyla ısıtılan seralar.....	48
Şekil 3.25. Metal borularda korozyon	49
Şekil 3.26. Boru ve kuyularda kabuklaşma	50
Şekil 5.1. Çalışmada ele alınan örnek sera işletmesi ve ısıtma düzeninin planı	58
Şekil 5.2. NTU – Randıman İlişkisi	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa No</u>
Şekil 6.1. Domates yetiştiriciliği için kurulacak ısıtma sistemlerinde tesis ve işletme maliyetlerinin değişimi.....	100
Şekil 6.2. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için kurulacak ısıtma sistemlerinde tesis ve işletme maliyetlerinin değişimi	100

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simge	Anlamı	Birimi
A_B	Isıtıcı yüzey alanı	m^2
$A_ç$	Sera çatı alanı	m^2
C_A	Amortisman maliyeti	YTL/yıl
C_b	Isıtma borularının yatırım maliyeti	YTL
C_D	Sermayenin yıllık geri ödentisi	YTL/yıl
C_e	Pompanın elektrik enerjisi tüketim maliyeti	YTL/ay
C_p	Sabit basınç şartlarında havanın özgül ısı	J/kgK
C_y	Yakıt maliyeti	YTL
C_0	Tesis maliyeti	YTL
D	Boru dış çapı	m
F_b	Birim boru uzunluğunun fiyatı	YTL/m
F_e	Birim elektrik enerjisi maliyeti	YTL/kWh
F_y	Birim yakıt fiyatı	YTL/t
HDS	Sızma yoluyla hava değişim sayısı	
h_1	Akışkandan boru iç yüzeyine konveksiyonla ısı iletim katsayısı	W/m ² K
h_2	Boru yüzeyinden atmosfere konveksiyonla ısı iletim katsayısı	W/m ² K
I_0	Ortalama günlük ışınlam intensitesi	W/m ²
i	Reel faiz oranı	%
k	Kondüksiyonla ısı iletim katsayısı	W/mK
k_B	Boru ısı iletim katsayısı	W/m ² K
k_r	Sera örtüsünün dış yüzeyinden rüzgar etkisiyle ısı iletim katsayısı	W/m ² K
k_s	Sera örtüsünden hava sızmasına bağlı ısı iletim katsayısı	W/m ² K
L_B	Boru uzunluğu	m
LMTD	Logaritmik sıcaklık farkları ortalaması	°C
M	Isıtma için gerekli yakıt miktarı	t
MWe	Megawatt elektrik	MW
MWt	Megawatt termal	MW
m	Sera ısıtma düzeni akışkan debisi	kg/s
m_{min}	Eşanjör içerisindeki en küçük debi değeri	kg/s
m_{max}	Eşanjör içerisindeki en büyük debi değeri	kg/s
NTU	Transfer birimleri sayısı	
n	Ortalama sistem ömrü	yıl
P	Pompanın yuttuğu güç	kW

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simge	Anlamı	Birimi
Q	Toplam sera ısı gereksinimi	W
Q_{ϕ}	Çatıdan kaybedilen ısı enerjisi miktarı	W
Q_d	Duvarlardan kaybedilen ısı enerjisi miktarı	W
Q_G	Güneşten kazanılan ısı enerjisi miktarı	W
Q_K	Seradan kaybolan ısı enerjisi miktarı	W
T	Pompanın kullanım süresi	h/ay
T_{1H}	Isıtmayla sera içerisinde sağlanan sıcaklık	$^{\circ}C$
T_{1S}	Borulardaki akışkanın ilk sıcaklığı	$^{\circ}C$
T_{2H}	Isıtma yapılmaması durumunda oluşacak sera iç sıcaklığı	$^{\circ}C$
T_{2S}	Borulardaki akışkanın soğuduğu son sıcaklık	$^{\circ}C$
T_d	Sera dışı hava sıcaklığı	$^{\circ}C$
T_i	Sera içi hava sıcaklığı	$^{\circ}C$
t	Isıtma dönemindeki toplam ısıtma süresi	s
U	Toplam ısı iletim katsayısı	W/m^2K
u	Seranın bulunduğu bölgedeki ortalama rüzgar hızı	m/s
V	Sera hacmi	m^3
ΣA_{δ}	Isıyı dış ortama ileten toplam örtü yüzeyi	m^2
Σk_y	Kondüksiyon, konveksiyon ve ışıma yoluyla ısı iletim katsayısı	W/m^2K
δ	Sera örtü malzemesinin kalınlığı	m
λ	Örtü malzemesinin kondüksiyon yoluyla ısı iletim katsayısı	W/mK
ζ	Yakıtın ısı verimi	$\%$
ρ	Havanın yoğunluğu	kg/m^3
ω	Yakıtın ısı değeri	J/t
ΔT_m	Logaritmik sıcaklık ortalaması	$^{\circ}C$
Δt	Sıcaklık farkı	$^{\circ}C$
α_d	Sera örtüsünün dış yüzeyinin konveksiyonla ısı iletim katsayısı	W/m^2K
α_i	Sera örtüsü iç yüzeyinin toplam ısı iletim katsayısı	W/m^2K
η	Seraya girip faydalı hale gelen güneş enerjisi oranı	$\%$

1 GİRİŞ

Örtüaltı tarımı açık alan üretimine göre daha fazla girdi kullanarak birim alandan daha fazla ürün almayı hedefleyen bir yetiştiricilik şekli olup, çevre koşullarını denetim altında tutarak bitkilerin mevsimleri dışında yetiştirilmesine olanak sağlar. Seralarda sıcaklık, ışık, oransal nem ve CO₂ konsantrasyonu kontrol edilmesi gereken başlıca iklim parametreleridir. Bu parametrelerin bir bütünlük içerisinde değerlendirilmesi ve bitkilerin optimum istekleri doğrultusunda sağlanmasıyla nitelik ve nicelik açısından ürün artışı sağlanabilmektedir.

Sıcaklık faktörü bitki gelişmesi üzerinde çok önemli etkilere sahiptir. Sıcaklık bir taraftan bitki bünyesindeki birçok fizyolojik faaliyeti denetlemekte, diğer taraftan da bitkinin içinde yaşadığı ortamı oluşturan toprağı etkilemektedir. Ekvator kuşağındaki bitki örtüsü ile kutup bölgelerindeki bitki örtüsünün karşılaştırılması, yazlık bitkilerde yaz aylarında görülen hızlı gelişme ile kış aylarındaki durgunluğun kıyaslanması sıcaklığın bitki yaşamı üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi açısından faydalı olacaktır.

Seralarda sıcaklık değerinin uygun sistemler kullanılarak istenilen değerlerde tutulması modern yetiştiriciliğin gereklerindendir. Ancak ısıtma giderlerinin sera üretim maliyeti içerisindeki payı % 60'lara kadar çıkabilmektedir. Burada önemli olan, enerji maliyetini olabildiğince düşük düzeyde tutarak ekonomik bir uygulama gerçekleştirebilmektir. Sıvı, gaz ve katı yakıt fiyatlarının yüksekliği nedeniyle de jeotermal vb. alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ekonomikliği sağlayarak önemli bir tarımsal faaliyet olan seracılığın gelişimini teşvik edecektir.

Son yıllarda tarımda geniş kullanım olanağı bulan jeotermal enerjiyle sera ısıtılmasının ekonomiklik ölçüsü, jeotermal kaynağın sıcaklığı, debisi, derinliği, akışkanın iletildiği uzaklık gibi faktörlere bağlıdır. Jeotermal potansiyeli bakımından dünyada önemli bir yere sahip olan ülkemizde de bu konuda araştırma – geliştirme faaliyetlerine, yukarıda sıralanan ölçütler göz önünde bulundurularak önem verilmesi, kullanımın teşvik edilmesi mikro ve makro boyutlarda ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacaktır.

Sosyo-ekonomik yönleriyle ülkemizde önemli bir tarımsal üretim şekli olan seracılıkta, özellikle enerji maliyetlerinin yükseldiği son dönemlerde, havalandırma ve ısıtma gibi mühendislik uygulamalarında amaca ve ekonomik yapıya uygun sistemlerin seçimi ve kullanımı oldukça önem kazanmıştır. Bu tez çalışmasında, seralarda ısıtma konusu teknik ve ekonomik boyutlarda incelenerek, mevcut durumun ortaya konulması ve maliyetlerde rol oynayan unsurların saptanarak bu konuda üreticilerin, Balçova (İzmir) yöresinde ele alınan bir sera işletmesi örneği yardımıyla, bilgilendirilmesi hedeflenmiştir.

1.1 Dünya’da ve Türkiye’de Örtüaltı Yetiştiriciliği

Örtüaltı tarımı, yüzey örtüleri, bitki üzerine serilen örtüler, konstrüksiyonlu yada konstrüksiyonsuz alçak plastik tüneller, tüneller ve seralar gibi çeşitli uygulama şekilleri ile bitkilerin, mevsimleri dışında kaydırılarak yada mevsimleri dışında yetiştirilmesine olanak sağlayan yetiştiricilik şeklidir (Web 1).

Dünyadaki örtüaltı alanı 2000 yılı itibari ile 1.7 milyon ha (700 000 ha sera ve yüksek tünel alanı; 1 milyon ha alçak plastik tünel ve bitki üzerine serilen örtüler) olarak bildirilmektedir. Ancak bu değerlerin içinde son birkaç yılda Çin'deki örtüaltı alanlarında kaydedilen önemli artış yoktur. 2002 yılı itibariyle bu ülkedeki örtüaltı alanının 1 963 000 ha olarak verildiği dikkate alınırsa dünyadaki örtüaltı alanının 3 milyon ha'nın üzerinde olduğu tahmin edilebilir (Gül vd., 2005).

Aslında örtüaltı tarımı, eski Romalılar dönemine kadar uzanmaktadır. Plinius (M.S. 77), İmparator Tiberius'un, tüm yıl boyunca tükettiği hıyar meyvelerinin, koşulların uygun olmadığı zamanlarda yarı geçirgen örtülerin altında yetiştirildiğini belirtmektedir. Eski dönemlerde turunçgillerin yetiştirilemediği yörelerde, çok varlıklı kişilerin bahçelerine limonluklar yaptırarak turunçgil yetiştirdiği bilinmektedir (Gül vd., 2005).

Dünyada ilk seralar İngiltere'de kurulmuş ve seralar bina ve duvarların güney taraflarının basit cam çerçevelerle örtülmeleriyle yapılmıştır. İlk modern sera ise A.B.D'de 18. yüzyılın sonlarına doğru kurulmuştur (Gül vd., 2005).

Ticari olarak örtüaltı yetiştiriciliği 19. yüzyılın başlarında Kuzey Avrupa ülkelerinde başlamış ancak 2. Dünya Savaşı'ndan sonra gelişme göstermiştir. 1960'lı yıllarda plastiğin tarımda kullanılmaya başlanmasıyla ılıman (Akdeniz) iklimin hüküm sürdüğü bölgelere kaymış, 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizinden sonra ısıtma giderlerinin yükselmesiyle birlikte örtüaltı yetiştiriciliği Akdeniz iklim kuşağı ülkelerinde daha da hızlı yayılmıştır.

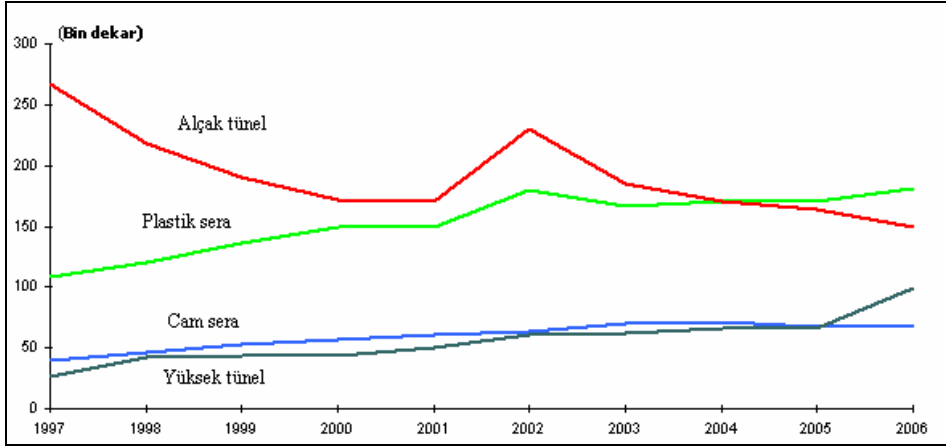
Ülkemizin de içinde bulunduğu Akdeniz havzasında toplam örtüaltı alanının 300 000 ha'dan fazla olduğu; sera ve yüksek tünel alanlarının ise 170 000 ha dolaylarında olduğu bildirilmektedir. Türkiye, bu ülkeler içerisinde alçak plastik tünel alanları bakımından Mısır'dan sonra 2., sera alanları bakımından ise İspanya ve İtalya'dan sonra 3. sırada yer almaktadır (Gül vd., 2005).

Türkiye'de örtüaltı yetiştiriciliği 1940'lı yıllarda Antalya'da kurulan cam seralar ile başlamıştır. 1940-1960 yılları arasında seracılığın gelişimi çok yavaş olmuş ve özellikle Antalya ve İzmir civarında yayılma göstermiştir. Bu yıllardan sonra plastiğin örtü materyali olarak kullanılmaya başlanması ile gerek sera, gerekse alçak tünel alanlarında hızlı bir artış görülmüştür (Web 2).

Toplam örtüaltı alanımız 2006 yılı itibari ile 49 500 ha'dır. Bu alanın % 30'u (14 800 ha) alçak plastik tünel, % 70'i (34 700 ha) ise sera alanlarından oluşmaktadır (TÜİK, 2007). Toplam örtüaltı alanı 1980-2004 yılları arasında 6 kat artmıştır. Örtüaltı tarımının artışıdaki başlıca nedenler, turfanda sebze oluşturan yüksek iç talep; seracılığın hızla arttığı yılların bir yıl öncesinde yatırımcıyı yeni sera kurmaya yönlendiren cazip ürün fiyatları; aile işletmeciliğinin (ort. 1000- 3000 m²) hakim olması; ek iş gücü ihtiyacının ortakçı sistemiyle çözülmüş olması ve bu sistemin işveren-üretici konumuna geçişe olanak sağlaması ve 1990 - 1995 yılları arasında sağlanan % 25'lik kaynak kullanımı ve destek fonu teşvikidir.

Örtüaltı tarım alanlarındaki artış, son yıllarda yavaşlayarak da olsa devam etmektedir (Şekil 1.1). TÜİK'e göre, örtüaltı yetiştiriciliği yapılan

alanlar 2002 yılında 53 603 ha'a yükselmişken, 2004 yılında 47 773 ha'a gerilemiş görülmektedir. Bu değişikliğin önemli bir bölümü, özellikle alçak plastik tünel alanlarındaki azalmalardan kaynaklanmıştır. Alçak plastik tüneller altındaki üretimde özellikle erkencilik amaçlandığı ve üretim alanı bir önceki yılın ürün fiyatlarından etkilenerek yıllara göre farklılık gösterdiğinden yıllar içerisinde örtüaltı alanlarımız da değişebilmektedir. Ancak plastik sera alanlarındaki azalmanın veri toplama ile ilgili bir hatadan kaynaklanabileceği de düşünülebilir (Gül vd., 2005).



Şekil 1.1. Örtüaltı alanlarının 1997 - 2006 yılları arasındaki değişimi (TÜİK, 2007)

Ülkemizdeki sera alanlarının dağılımına bakıldığında, Türkiye’de sera alanlarının yaklaşık değerler olarak %58’inin Antalya’da, %28’inin İçel’de, %11’inin Muğla’da, %2’sinin İzmir’de ve %1’inin İstanbul’da bulunduğu görülmektedir. Ülkenin iklimi uygun başka bölgelerine yayılmış sera alanlarının ise genel toplam içinde söz konusu edilecek önemli bir yer tutmadığı söylenebilir (Yağcıoğlu, 2005).

Örtüaltı yetiştiriciliği özellikle iklimin uygun olduğu sahil kuşağımızda gelişmiştir, ancak pek çok ilimizde de giderek artış göstermektedir. Karadeniz Bölgesinde, özellikle Samsun'da alçak plastik tünel alanlarının artışı dikkat çekicidir.

Ülkemizdeki seraların % 95'inde sebze yetiştiriciliği yapılmaktadır. İkinci sırayı % 4 ile kesme çiçek yetiştiriciliği almaktadır. Meyve yetiştiriciliği ise seralarımızın yalnızca % 1'lik kısmında yapılmaktadır. Yetiştirilen sebzeler arasında % 50 ile domates ilk sırayı almakta, bunu % 25 ile hıyar, % 11 ile sivri biber, %8 ile patlıcan, %3 ile dolmalık biber ve %3 ile kabak izlemektedir (Gül vd., 2005).

1.2 Seralarda Isıtma Uygulamaları

1.2.1 Sıcaklığın Bitki Gelişmesi Üzerindeki Etkileri

Sıcaklık sera içinde oluşturulacak iklimin en önemli unsurlarından birisidir. Sera içi iklimini oluşturan öteki unsurların da uygun değerlerde olması koşulu ve yetiştirilen bitki için izin verilecek en yüksek sıcaklığı aşmamak kaydıyla, sera içi sıcaklık derecesinde her 10 °C'lik artışın, bitki gelişmesini yaklaşık iki kat arttırdığı bilinen bir gerçektir (Yağcıoğlu, 2005). Bu nedenle seraların gece saatlerinde ve hatta güneş ışınlarının etkisiz kalması durumunda gündüz saatlerinde de ısıtılması gerekir.

Bitkilerin gelişmesini sınırlayan sıcaklıklar minimum ve maksimum sıcaklıklardır. Minimum sıcaklık, bitkilerin hayatsal faaliyetlerini yapabilecekleri en düşük sıcaklık derecesidir. Bu sıcaklığın

altında bitkiler yaşamlarını sürdüremezler ve soğuktan zarar görürler. Örneğin hıyar bitkisi ortam havası 5 °C ye düştüğünde üşür ve hasar görür. Maksimum sıcaklık ise bitkilerin hayatsal faaliyetlerini yapabilecekleri en yüksek sıcaklık derecesidir. Bu sıcaklık derecelerinin üstünde bitkiler büyüme ve gelişme faaliyetlerini sürdüremezler. Sıcaklığın artması bitkilerin gerçekleştirdiği fotosentez ve solunum olaylarının hızını arttırır. Sıcaklık arttıkça fotosentezin artmasına karşın, bitki çeşidine göre değişen belirli bir sıcaklık değerinden sonra fotosentez azalır. Buna rağmen solunumdaki artış devam eder, kullanılan karbonhidrat miktarı artar ve depolanan net fotosentez ürünü miktarı azalır. Belirli bir sıcaklık değerinden sonra bitkiler hayatsal işlemlerini sürdüremez duruma gelirler. Örneğin hıyar bitkisinde sıcak hasarının meydana geldiği sıcaklık derecesi 40 - 45 °C dir (Günhan, 1998).

Bitkilerin optimum sıcaklık gereksinimleri bitkiden bitkiye farklılık gösterdiği gibi aynı bitkinin farklı gelişme devrelerinde de (çimlenme, çiçeklenme, erme gibi) farklı olabilmektedir. Bunların yanı sıra aynı bitkinin farklı organlarının büyümesi için gerekli sıcaklık dereceleri de farklı olmaktadır. Genel olarak köklerin büyümesi için gerekli sıcaklıklar, toprak üstü organlarının büyümesi için gerekli sıcaklıktan daha az olmaktadır. Bitkilerin büyümesinde sıcaklık ışık ile birlikte ortaklaşa etkiye bulunmaktadır. Örneğin, sıcaklık yükselmesi fotosentez miktarında belli bir noktaya kadar artış sağlamaktadır. Bu noktadan sonra sıcaklık artışı devam ederse, fotosentezde meydana gelecek artış, ancak ışık şiddetinin yükselmesi ile sağlanabilmektedir (Gençtan, 1989).

Sera içerisindeki hava sıcaklığının uygun değerlerde olmasının yanı sıra bitki yaprak sıcaklığının da uygun değerlerde olması gerekir (Çizelge 1.1). Sera havası ile bitki yaprağı arasında bir ısı

transferi olduğu için, sera havası sıcaklığı yaprak sıcaklığını doğrudan etkileyen bir faktördür. Yaprak sıcaklığı bitkinin fotosentez ve solunum gibi yaşamsal faaliyetlerini etkiler.

1.2.2 Seralarda Isıtmanın Amacı ve Önemi

Seralarda yetiştiriciliğin istenen düzeyde yapılması, sera içerisinde bitkilere istenen koşulları temin etmekle mümkündür. Sera iklimlendirmesinde önemli bir yer tutan ısıtmanın amacı, soğuk zamanlarda bitkilerin istemiş olduğu sıcaklığı serada yaratmak üzere ısıtma sistemlerini başarılı şekilde kullanarak verim ve kalite artışını sağlamaktır.

Çizelge 1.1. Seralarda yetiştirilen bazı sebzelerin en uygun iç ortam sıcaklıkları (Günhan, 1998)

Sebzeler	En uygun hava sıcaklığı (°C)					
	Çimlenme	Gelişme dönemi		Hasat dönemi		Genç bitkiler
		Gündüz	Gece	Gündüz	Gece	
Hıyar	17 - 18	22 - 25	17 - 18	25 - 30	18 - 20	13 - 15
Kavun	17 - 18	22 - 25	17 - 18	25 - 30	18 - 20	13 - 15
Karpuz	17 - 18	22 - 25	17 - 18	25 - 30	18 - 20	13 - 15
Domates	10 - 12	20 - 22	10 - 13	22 - 28	15 - 17	8 - 10
Biber	10 - 12	20 - 22	10 - 13	22 - 28	15 - 17	8 - 10
Fasulye	10 - 12	20 - 22	10 - 13	22 - 28	15 - 17	8 - 10

Serada üretimin en önemli girdilerinden biri ısıtmadır. Isıtma masrafları seradaki tüm masrafların %60'ını oluşturmaktadır. Ülkemizde çok az serada ısıtma yapılmaktadır. Seraların büyük kısmında ise dondan korunma önlemi olarak çok sınırlı bir zamanda ısıtma yapılmaktadır. Seraların ısıtılmaması verimi düşürmekte, ancak fiyatın yüksek olmadığı belli zamanlarda ürün alınması mümkün olmakta, dölleme için hormon kullanımı zorlanmakta ve dolayısıyla sağlıklı ürünler üretilmektedir (Harzadın, 1994).

Seralarda ısıtma uygulamasının sağlayacağı avantajlar :

- * Sera içerisindeki sıcaklık dölleme için gerekli olan sıcaklığın üzerinde olacağından verim artışı sağlanacaktır.
- * İdeal iç sıcaklık nedeniyle hormonsuz üretim mümkün olmaktadır.
- * Sıcaklık artışı bitki veriminin yanı sıra kalitesinde de olumlu etkiler yapmaktadır.
- * Havanın bağıl nemi azalacağından yüksek neme bağlı hastalık oluşumu önlenir.

1.2.3 Sera Isıtma Sistemlerinden Beklenen Özellikler

Sera ısıtma sistemlerinin teknik yönden ve bitki yetiştiriciliği açısından bazı özelliklere sahip olması gerekir. Sera ısıtma sistemlerinin teknik yönden aşağıda verilen özellikleri taşıması gereklidir.

* Isıtma sistemi yörenin tüm iklim koşullarında istenen sıcaklığı sağlayabilmelidir.

* Hava, bitki ve toprak sıcaklıkları mümkün olduğunca tekdüze olmalıdır.

* Seradaki hava hareketi, hava ve bitki arasındaki en uygun konvektif ısı değişimini sağlamalıdır.

* Isıtma düzeninin otomatik kontrolü kolay ve güvenilir olmalıdır.

* Isıtma sistemi serada ışıklanmayı engellememelidir.

* Isıtma düzeni bitkiye zarar vermemelidir.

* Isıtma düzeninin sera klimasının diğer parametreleri üzerine etkisi olumlu olmalıdır.

* Isıtma sisteminin kullanımı ekonomik olmalıdır.

Sera ısıtılmasında bitki yetiştiriciliği yönünden aşağıdaki etkenler göz önünde tutulmalıdır.

* Isıtma sisteminin etkinliğinde kritik faktör, sera içi hava sıcaklığı değil, bitkinin yaprak ve kök sıcaklığıdır.

* Bitkinin fotosentetik aktivitesi sadece yaprak sıcaklığına değil aynı zamanda havanın akış hızı ve yönüne de bağlıdır.

* Bitki örtüsünün ısı dengesi kök sıcaklığına da bağlıdır. Kök sıcaklığı değiştirilerek hava sıcaklığını etkilemek mümkündür (Gül vd., 1994).

2 SERALARDA TEMEL ISITMA UYGULAMALARI

Ülkemizdeki geleneksel sera işletmelerinde iklim kontrolü bulunmamaktadır. Bu durum, diğer Akdeniz ülkelerinde olduğu gibi üretimin dış koşullara bağlı olması nedeniyle, bitki gelişimi, üretim planlaması ve kalite ile ilgili sorunlara yol açmaktadır. Isıtma sadece dondan korumaya yönelik olarak bireysel ısıtıcılar ile yapılmakta, soğuk aylar içinde serin iklim ürünlerinin yer aldığı münavebeli ürün yetiştiriciliği tercih edilmektedir. Akdeniz sahil kesimi dışındaki seralarda, sera çok soğuk aylarda boş bırakılmakta ya da salata-marul, taze soğan gibi serin iklim sebzelerinin yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır. Düzenli ısıtma çoğunlukla jeotermal enerjinin bulunduğu yerlerde kurulan seralarda gerçekleştirilmektedir (Web 1).

Son yıllarda kurulan büyük seralarda ise modern ısıtma sistemleriyle ısıtma yapılarak yüksek verim ve kalite elde edilebilmektedir. Daha çok ihracata yönelik üretimin hedeflendiği bu işletmelerde jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılabilmektedir.

Seralarda kullanılabilecek ısıtma sistemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Yağcıoğlu, 2005).

- 1. Sobalı Isıtma**
- 2. Kaloriferle Isıtma**
- 3. Sıcak Havayla Isıtma**

4. Isı Pompası Yardımıyla Isıtma

5. Güneş Enerjisiyle Isıtma

5.1. Aktif Sistemler

5.2. Pasif Sistemler

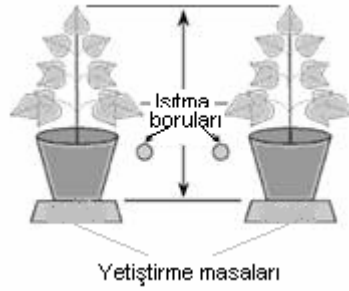
6. Jeotermal Enerjiden Yararlanarak Isıtma

Sera ısıtma sistemlerinde, ısının sıcak akışkan yardımıyla sera içerisine dağıtımı, doğrudan veya borular aracılığıyla sağlanabilir. Her iki dağıtım şeklinde de, ısının sera içerisinde homojen şekilde yayılması sağlanmalıdır.

Herhangi bir ısı kaynağından elde edilen sıcak akışkanın borularla sera içerisinde dolaştırıldığı ısıtma sistemlerinde ısıtma borularının sera içerisine yerleştirilme şekli ısı kaybını en aza indirmek ve ısıtma etkinliğini yükseltmek açısından çok önemlidir. Boruların yerleştirilmesi, serada ihtiyaç duyulan yeterli ısıyı sağlamak için gereken boru miktarına bağlıdır. Bu da sıcak su veya buharın kullanılması ve kullanılan boru tipine göre değişiklik gösterir (Web 7).

Borulu ısıtma sistemlerinde iklim kontrolünü kolaylaştırmanın bir yolu boruların bitkilerin altına veya yakınına yerleştirilmesidir. Boruların bitki seviyesinden aşağıya yerleştirilmesi bitki örtüsü içerisinde hava hareketini teşvik eder. Yükselen sıcak hava bitki örtüsü içerisinden nemi taşıyarak uzaklaştırır ve bitkiler etrafında üniform bir mikroklima meydana getirir (Başçetinçelik ve Öztürk, 1994). Borularla en etkin ışımsal ısıtma, bitki boyunun en altı ve orta yüksekliği arasında, ayrıca sıraların ortasından ziyade her bir sıraya daha yakın olacak şekilde geçirilmesiyle sağlanır (Şekil 2.1).

Yaygın şekilde kullanılan borulu ısıtma sistemlerinden biri de yetiştirme masası veya toprak altından yapılan ısıtmadır (Şekil 2.2). Bu sistemin temel avantajı, geniş zemin yüzeyinden sera içerisine homojen bir ısı dağılımının gerçekleşmesidir. Seranın alttan ısıtılması, daha iyi bir ısı sirkülasyonu sağlayarak ısınan havanın bitki örtüsü içerisinden geçerek yükselmesini sağlar. Ayrıca kök bölgesinin ısıtılması bitki gelişimini olumlu yönde etkiler.

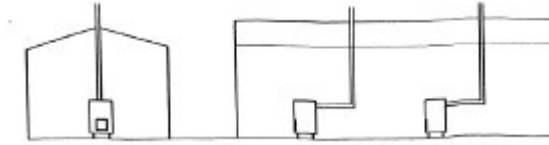


Şekil 2.1. Bitki seviyesinden aşağıya ve sıralara yakın yerleştirilen ısıtma boruları (Web 8)



Şekil 2.2. Yetiştirme masalarının altından geçirilen sıcak su boruları (Prenger and Ling, 2000)

Borulu ısıtma sistemlerinden biri olan **soba ile ısıtmada** daha çok yakıt olarak odun, talaş, kömür, gaz, mazot veya yanmış yağ kullanılan demir ve saç sobalar kullanılır (Şekil 2.3). Bazı yetiştiriciler saç sobaların etrafa yaydığı sıcaklığı azaltmak için tuğladan sobalar yapmaktadır. Soba boruları mümkün olduğu kadar sera içerisinde dolaştırılarak ısıtma kapasitesi arttırılmaya çalışılır. Ancak boruların iyi monte edilmemesi durumunda duman kaçakları meydana gelir. Bu da zehirli gazların sera havasına karışmasıyla bitki zehirlenmelerine sebep olur (Günay, 1999).

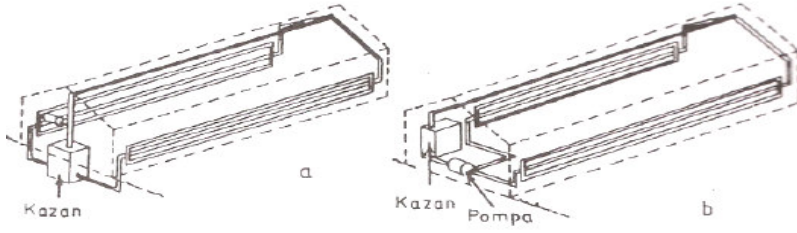


Şekil 2.3. Seralarda sobalı ısıtma sistemi (Günay, 1999)

Bir diğer borulu ısıtma sistemi olan **kaloriferle ısıtmada**, akışkanın boru içerisindeki sıcaklık derecesine bağlı olarak sıcak sulu (basınçsız) ve buharlı (basınçlı) şeklinde iki değişik uygulama bulunmaktadır. Kaloriferli ısıtma sistemleri yüksek maliyetleri nedeniyle 2 - 2.5 dekardan büyük olan sera işletmeleri için uygundur (Yağcıoğlu, 2005).

Seralarda kaloriferli ısıtmanın ilk yapılmaya başlandığı dönemlerde ısıtılan veya buhar haline getirilen suyun, ısınmanın etkisiyle hafiflemesi ve hacminin genişlemesiyle yukarı doğru yükselmesi, daha sonra soğumaya başladığında ağırlaşarak hacminin küçülmesi ve aşağıya doğru inmesi prensibinden yararlanılmıştır (Şekil 2.4.a). Bu şekilde sistem içinde doğal bir dolaşım meydana getirilmiştir. Suyun yükseldiği nokta

ile geriye döndüğü en düşük nokta arasındaki seviye farkı ne kadar fazla olursa, suyun boru içindeki akış hızı o kadar fazlalaşmakta ve su daha uzun mesafeleri kat edebilmektedir. Bunun nedenle suyun ısıtıldığı kazan dairesi toprak altında yapılır. Doğal dolaşımli bu sistemle çok büyük alanların ısıtılması mümkün değildir. Ayrıca kazan dairesinin toprak altında yapılması özellikle katı yakıt yakan kazanlarda yakıt ve kül taşımacılığında sorunlar meydana getirmiştir. Bu nedenle de bu sistem zamanla terk edilerek sisteme bir dolaşım pompası eklenmiştir (Şekil 2.4.b) (Günay, 1999).



a)Doğal dolaşımli

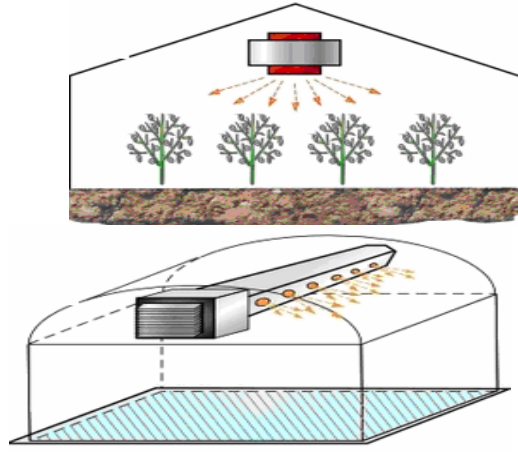
b)Pompalı dolaşımli kalorifer sistemleri

Şekil 2.4. Doğal ve pompalı dolaşımli sıcak sulu kalorifer düzenleri
(Yağcıoğlu, 2005)

Buharlı kalorifer sistemleri sıcak sulu sistemlere göre daha karmaşık yapıya sahip olup, ilk kuruluş masraflarının yüksekliği nedeniyle büyük sera işletmeleri dışında kullanımı yoktur. Ancak en düşük basınçlı buharlı kalorifer sistemlerinde dahi, buhar sıcaklığının 110 °C civarında bulunması daha küçük çaplı boru kullanım olanağını sağlamaktadır (Yağcıoğlu, 2005).

Seralarda **sıcak havayla** yapılan ısıtma uygulamalarında, elde edilen sıcak hava sera içerisinde kanallar aracılığıyla dolaştırılabileceği gibi sera içerisine doğrudan da üflenebilmektedir (Şekil 2.5).

Sıcak havanın dağıtıldığı kanallar genellikle 150 – 200 mm çaplı PE şeffaf ince film borulardan yapılır. Boruların üzerine açılan deliklerin çapları 10 - 40 mm arasındadır. Bu delikler, kanal eksenine paralel, alt teğet noktasından itibaren düşeyle 60° açı yapacak şekilde karşılıklı olarak her iki tarafa açılır. Bu deliklerin toplam alanının, kanalın kesit alanına oranı 1.5 - 2 kadar olmalıdır. Sıcak havayı dağıtmada kullanılan kanalların uzunluğunun 49 m'yi aşmaması önerilmektedir; en uygun değer 30 m'dir (Yağcıoğlu, 2005).



Şekil 2.5. Sıcak havayla ısıtma yöntemleri (Gül vd., 2005)

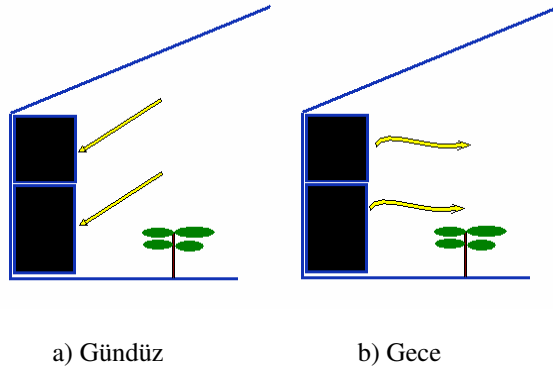
Sera ısıtmasında **güneş enerjisinden** aktif ve pasif olmak üzere iki şekilde yararlanılabilmektedir. Sera ısıtmasında kullanılan aktif sistemlerde, güneş toplaçlarından elde edilen güneş ışınımıyla bir akışkan doğrudan ısıtılır ve bu akışkan sıcak sulu veya havalı ısıtma yöntemlerinde belirtilen şekilde bir boru veya kanal sistemi yardımıyla sera içi sıcaklığını arttırmak için kullanılır.

Güneş toplaçlarından elde edilen ısıнын, güneş enerjisinin bulunduğu saatlerde bir depo ortamında biriktirilmesi ve gerektiği zamanlarda bu depodan alınarak kullanılması gerekir. Isı enerjisini depolamak için aşağıda belirtilen malzemeler kullanılmaktadır (Yağcıoğlu, 2005).

- Su
- Kaya ve çakıl
- Toprak
- Faz değişim malzemeleri

Seralarda güneş enerjisi ile pasif sistemlerle ısıtmada içerisi su dolu PE tüplerle oldukça etkin bir ısıtma yapılabilmekte olup, bunların yatırım giderlerinin de çok ucuz olduğu belirlenmiştir. İçerisi su dolu geçirimli PE film tüpler serada bitki sıraları arasındaki toprak üzerine yerleştirilir. Güneş ışınımının soğurulması ve toprağa doğru olan ısı kayıplarının azaltılması için su tüpleri ve toprak arasında yalıtım malzemesi olarak siyah PE film kullanılır. Bu sistemlerde su kapasitesi 1000 m² sera alanı için 60-100 m³'dür (Başçetinçelik ve Öztürk, 1996).

Güneş enerjisinden pasif yöntemlerle yararlanmanın diğer bir yolu ise sera içerisine siyaha boyanmış variller koymak ve içine su doldurmaktır (Şekil 2.6). Gündüz boyunca varillerin depoladığı ısı enerjisi gece boyunca doğal konveksiyonla ve ısıl ışınlımla sera ortamına verilir.

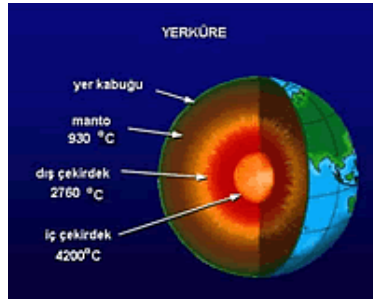


Şekil 2.6. Su varilleriyle yapılan ısıtma uygulaması

3 JEOTERMAL ENERJİDEN YARARLANARAK ISITMA

3.1 Jeotermal Enerjinin Tanımı

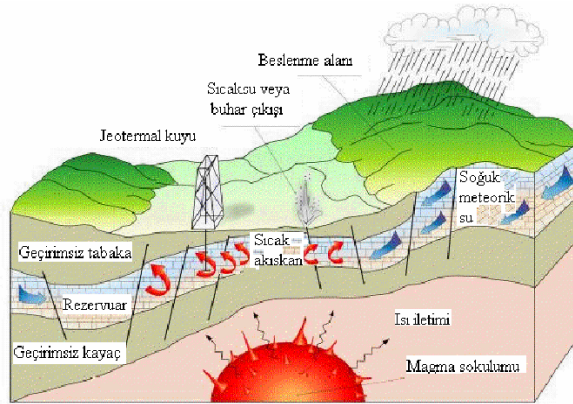
Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş çeşitli mineral, tuz ve gazları içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Bu enerjinin kaynağı olan yerkürede, sıcaklığın katmanlara göre değişimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yerküredeki Sıcaklık Dağılımı (Türkiye Jeotermal Derneği, 2005)

Jeotermal akışkanı oluşturan sular, meteorik ve jüvenil kökenli veya her ikisinin çeşitli oranlarda karışımı ile oluştuklarından, yerkabuğundaki hazneler sürekli olarak beslenmekte ve kaynak yenilenebilmektedir. Beslenmedeki mevsimsel ve yıllık değişimlerin genellikle etkisi olmakla birlikte pratikte, beslenmenin üzerinde bir tüketim olmadıkça jeotermal kaynakların tükenmesi söz konusu değildir.

Jeotermal sistemler üç ana unsurdan oluşmaktadır : Isı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan akışkan (Şekil 3.2). Isı kaynağı, yüksek sıcaklığa sahip ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen (5-10 km) magmatik sokulumlar olabileceği gibi, derinliğe bağlı olarak sıcaklığı artmış (2.5 - 3 °C / 100 m) normal sistemler de olabilir. Rezervuar ise ısıyı taşıyan sıvının devir-daim edebileceği çatlaklı (permeable) kayalardır. Rezervuarların üzerinde genellikle geçirimsiz tabakalar bulunur. Jeotermal akışkanın kaynağı genellikle meteorik sudur ve rezervuardaki sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı halde bulunur. Bu su genellikle bazı kimyasal maddeler ve gazlar (CO₂, H₂S gibi) içerir.



Şekil 3.2. İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi (Web 5)

3.2. Jeotermal Enerji Kullanımının Tarihi Gelişimi

İlk çağlardan beri sağlık amacıyla kullanılan doğal sıcak su kaynakları, günümüzde sanayi ve teknolojideki gelişmelere bağlı olarak bu alanda da enerjiye olan gereksinimin gittikçe artması nedeniyle daha da önem kazanmaya başlamıştır. Jeotermal enerjiden teknik olarak yararlanan ilk ülke İtalya'dır. İtalya'da jeotermal enerji ilk defa 1827 yılında borik asit elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra, 1904 yılında İtalya'da Larderello bölgesinde, jeotermal buhardan elektrik üretimine başlanmış ve 1912 yılında gücü 250 kW olan ilk turbo jeneratör kurulmuştur.

1930'lu yıllarda ise jeotermal enerji, İzlanda'nın Reykjavik kentinde ısıtma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Yeni Zellanda Wairakei sahasında, 1949 yılında turistik bir otele sıcak su temini amacıyla başlanan sığ sondajlara, daha sonra elektrik elde edebilmek amacıyla devam edilmiş ve 1954 yılında 200 MWe kapasiteli bir santral kurulmuştur. Daha sonra A.B.D, Meksika ve Japonya'da da elektrik santralleri kurularak jeotermal enerjinin kullanımı dünya çapında yayılmıştır (DPT, 2001).

Türkiye'de ilk jeotermal sondaj kuyusu 1963 yılında İzmir (Balçova)'da açılmıştır. Japonya'da 1966 yılında ilk jeotermal elektrik santrali kurulurken, Türkiye'de elektrik üretimi amaçlı ilk jeotermal kuyu 1968 yılında Denizli (Kızıldere)'de açılmıştır.

1982 yılında Aydın (Germencik) jeotermal alanı keşfedilmiştir. Bundan 1 yıl sonra yine Türkiye'de kuyu içi eşanjörlü ilk jeotermal

ısıtma sistemi İzmir (Balçova)'da kurulmuştur. Türkiye'nin ilk ve Avrupa'nın İtalya'dan sonra ikinci jeotermal enerji santrali (20.4 MW kapasiteli) Denizli (Kızıldere)'de 1984 yılında hizmete açılmıştır. Jeotermal elektrik santrallerinde 1985 yılında yaklaşık 2000 MW'lık elektrik üretim kapasitesine ulaşılmıştır (Türkiye Jeotermal Derneği, 2005).

Türkiye'nin ilk jeotermal merkezi ısıtma sistemi Balıkesir (Gönen)'de 1987 yılında işletmeye açılmıştır. ABD'de jeotermal elektrik üretimi kurulu kapasitesi 1990 yılında 3000 MW'a yükselmiş ve 1992 yılında, Dünya'da 21 ülkede jeotermal elektrik üretimi yaklaşık 6000 MW'a ulaşmıştır. 2000 yılında tüm Dünya'da jeotermal enerjiden yaklaşık 8000 MWe jeotermal elektrik ve 17 000 MW civarında jeotermal doğrudan kullanım gerçekleştirilmiştir. Türkiye'nin jeotermal kurulu ısıtma gücünün 2001 yılında 493 MW'a ulaşmasıyla, jeotermal elektrik dışı uygulamalarında Dünya'nın 5. büyük ülkesi durumuna gelmiştir (DPT, 2001).

3.3. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

Jeotermal kaynaklar sıcaklık düzeylerine göre düşük, orta ve yüksek sıcaklıklı sahalar olmak üzere 3 ana gruba ayrılabilirler (DPT, 2001).

- 1 – Düşük sıcaklıklı sahalar (20 – 70 °C)
- 2 – Orta sıcaklıklı sahalar (70 – 150 °C)
- 3 – Yüksek sıcaklıklı sahalar (150 °C <)

Düşük ve orta sıcaklıklı sahalar bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında, başta ısıtmacılık olmak üzere (sera, bina, zirai kullanımlar), endüstride (yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayinde, dericilikte, soğutma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, akışkandaki CO₂'den kuru buz eldesinde) kullanılmaktadır.

Yüksek entalpili sahalardan elde edilen akışkan ise elektrik üretiminin yanı sıra entegre olarak diğer alanlarda da kullanılabilir.

Jeotermal akışkanlar yukarıda da belirtildiği gibi sıcaklık derecelerine göre farklı alanlarda kullanım olanağı bulabilmektedir. Bu alanlar Çizelge 3.1'de belirtilen şekilde sıralanabilir (Etemoğlu vd., 2006).

Çizelge 3.1. Jeotermal akışkanların kullanım alanları (Etemoğlu vd., 2006)

Kaynak sıcaklığı (°C)	Kullanım alanı
180	Yüksek konsantrasyon solüsyonunun buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma
170	Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, diatomitlerin kurutulması
160	Kereste kurutulması, balık vb.yiyeceklerin kurutulması
150	Bayer's yoluyla alüminyum eldesi

Çizelge 3.1 (devam)

Kaynak sıcaklığı (°C)	Kullanım alanı
140	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması
130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi
120	Temiz su eldesi, tuzlu oranının artırılması
110	Çimento kurutulması
100	Organik maddelerin kurutulması (Yosun, et, sebze)
90	Balık kurutma
80	Ev ve sera ısıtma
70	Soğutma
60	Kümes ve ahır ısıtma
50	Mantar yetiştirme
40	Toprak ısıtma, kent ısıtması, sağlık tesisleri
30	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma
20	Balık çiftlikleri

3.4. Dünya’da Jeotermal Enerji Kullanımı

2000’den 2005 yılına kadar, dünyada jeotermal elektrik üretiminde %12, jeotermal elektrik dışı uygulamalarda ise % 62 artış olmuştur. 2005 yılı itibariyle, dünyadaki jeotermal elektrik üretimi kurulu gücü 8912 MWe olup, 72.6 milyar kWh/yıl elektrik enerjisi üretilmiştir. Jeotermal enerjinin elektrik dışı kullanımı ise 27 824 MWt olup, bu değer 4.9 milyon konut ısıtma eşdeğeridir. Bazı ülkelerde jeotermal kurulu elektrik

güç kapasitelerinin dağılımı Çizelge 3.2’de görülmektedir (Dağdaş, 2004).

Çizelge 3.2. Jeotermal kurulu elektrik güç kapasitelerinin ülkelere göre dağılımları (Dağdaş, 2004)

Ülke	1995 (MWe)	2000 (MWe)	2005 (MWe tahmini)	1995-2000 arası artış (MWe)	% artış
1. ABD	2816	2228	2376	-588	---
2. Filipinler	1227	1909	2673	682	55.8
3. İtalya	631	784	946	153	24.3
4. Meksika	753	755	1080	2	0.3
5. Endonezya	309	589	1987	280	90.3
6. Japonya	414	547	567	133	32.2
7. Y. Zelanda	286	437	437	151	52.8
8. İzlanda	50	170	186	120	240
9. El Salvador	105	161	200	56	53.3
10. Kosta Rika	55	142	161	87	159
11. Nikaragua	70	70	145	0	0
12. Kenya	45	45	173	0	0
13. Guatemala	0	33	33	33	---
14. Çin	28.78	29.17	---	0.39	1.35
15. Rusya	11	23	125	12	109
16. Türkiye	20.4	20.4	250	0	0

Türkiye, 1995 yılında jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarında dünyada 11'nci sırada iken, 2000 yılında 5'nci sıraya yükselmiş, 2005 yılında ise 5'nciliğini sürdürmüştür. Bazı ülkelerin doğrudan jeotermal enerji kullanımında kapasitelerine göre sıralaması Çizelge 3.3'de belirtilmiştir (Dağdaş, 2004).

Çizelge 3.3. Dünya jeotermal enerji doğrudan kullanım istatistikleri
(Dağdaş, 2004)

Ülke	Debi (kg/s)	Kapasite (MWt)	Kapasite faktörü
1. ABD	4550	3766	0.17
2. Çin	12 677	2282	0.53
3. İzlanda	7619	1469	0.44
4. Japonya	---	1167	0.73
5. Türkiye	700	992	0.61
6. İsviçre	120	547.3	0.14
7. Macaristan	677	472.7	0.27
8. Almanya	371	397	0.13

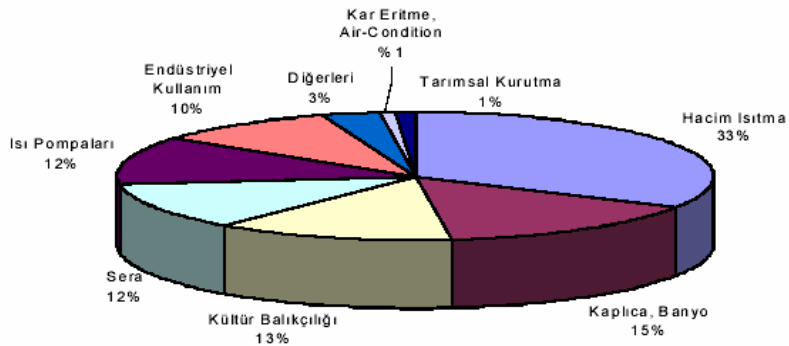
Alp-Himalaya Kuşağı; Hindistan Platosu ile Avrasya Platosu'nun çarpışması sonucu oluşan 150 km genişliğindeki ve 3000 km uzunluğundaki jeotermal kuşak Dünyanın en büyük jeotermal kuşakları arasındadır. Bu kuşak İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet, Yunan (Çin), Myanmar (Burma) ve Tayland'ı kapsamaktadır.

Doğu Afrika Rift Sistemi; aktif olan bu sistem Zambiya, Malavi, Tanzanya, Uganda, Kenya, Etiyopya, Djibuti gibi ülkeleri içine alır. Aktif volkanizma Kenya, Etiyopya ve Tanzanya'dadır.

Karayib Adaları; bu adalarda aktif volkanizmanın hakim olduğu kuşakta önemli potansiyel görülmektedir.

Orta Amerika Volkanik Kuşağı; Guatamela, El Salvador, Nikaragua, Kosta Rika ve Panama'yı etkileyen bu kuşak çok sayıda aktif jeotermal sistemin oluşmasına yol açmıştır. Bunların dışında; Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Doğu Çin, Filipinler, Endonezya, Yeni Zelanda, İzlanda, Meksika, Kuzey ve Doğu Avrupa, Bağımsız Devletler Topluluğu, gibi farklı tektonik oluşumlar nedeniyle verimli jeotermal sahalara sahiptir.

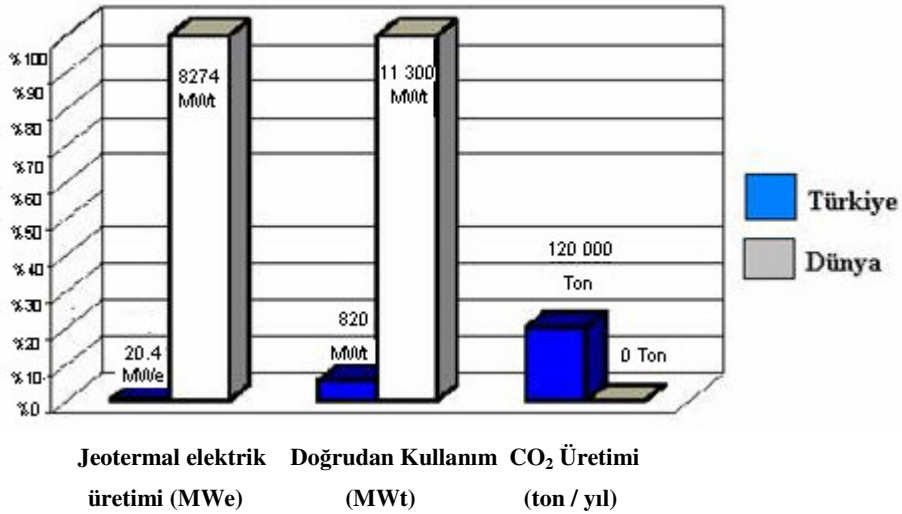
Dünyada jeotermal enerjinin kullanımı ile ilgili yüzdesel dağılım Şekil 3.3'de görülmektedir (DPT, 2001).



Şekil 3.3. Jeotermal enerjinin dünyadaki kullanımı ile ilgili yüzdesel dağılım (DPT, 2001)

3.5. Türkiye’de Jeotermal Enerji Kullanımı

Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli bakımından 31 500 MWt güç ile Avrupa’da 1., dünyada ise 7. sırada bulunmaktadır. 2004 yılı itibariyle bu potansiyelimizin ancak % 3-3.5’undan yararlanabilmekteyiz. Türkiye, bölgesel ısıtma, sera ısıtması ve kaplıcada yararlanma gibi doğrudan kullanım uygulamaları bakımından ise 992 MWt ile dünyada 5. sırada bulunmaktadır (Dağdaş, 2004). Jeotermal enerjinin Türkiye’de ve Dünya’da değerlendirilme şekillerinin karşılaştırılması Şekil 3.4’de görülmektedir (DPT, 2001).



Şekil 3.4. Jeotermal enerjinin Türkiye’de ve Dünya’da değerlendirilmesi ve karşılaştırılması (DPT, 2001)

Türkiye’de 35 °C’nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 170 adet jeotermal alan bulunmaktadır. Bu alanlardan bazıları ve kaynak sıcaklıkları Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Yüksek sıcaklığa sahip bazı jeotermal alanlar (Web 6)

Jeotermal alan	Kaynak sıcaklığı (°C)
Denizli - Kızıldere	200 - 242
Aydın - Germencik	200 - 232
Manisa - Salihli – Göbekli	182
Çanakkale - Tuzla	173
Aydın - Salavatlı	171
Kütahya - Simav	162
Manisa - Salihli	155
İzmir - Seferihisar	153
Aydın - Yılmazköy	142

Dünyada halen 21 ülke jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretebilmektedir. Ülkemiz, Denizli - Kızıldere'deki tek jeotermal güç santralini sahip olduğu 20.4 MWe'lik güç kapasitesi ile dünyada 16. sırada bulunmaktadır. Yapılan analizlere göre toplam güç üretim potansiyelimiz 765 MWe olarak hesaplanmıştır. Bu potansiyelimizin de ancak % 1.5'inden yararlanabilmekteyiz (Dağdaş, 2004).

Türkiye açısından jeotermal enerjinin diğer enerji türlerine göre çeşitli üstünlükleri bulunmaktadır. Bunlar aşağıda belirtildiği gibi sıralanabilir.

* Yerli enerji kaynaklarımızdan olan jeotermal enerjinin, yurdumuzun içinde bulunduğu enerji darboğazı da göz önüne alındığında, enerji açığının karşılanması, petrole olan bağımlılığın azaltılması ve döviz kaybının önlenmesi için öncelikle değerlendirilmesi gerekmektedir.

* Jeotermal enerji hidrolik, güneş, rüzgar vb. enerjiler gibi tükenmez enerji kaynaklarıdır. Bu nedenle tükenirlikleri kesin olan kömür, petrol, doğalgaz, nükleer enerji kaynaklarına oranla çok uzun ömürlü ve yenilenebilir bir kaynaktır.

* Fosil veya nükleer kaynaklı enerji üretimlerine kıyasla, çok daha az ve genellikle kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalan çevre sorunlarına neden olabilir.

* Kaynakların ülkemiz düzeyinde dağılımı da enerji ihtiyacımızın niteliğine uymaktadır.

* Genellikle elektrik açığının fazla olduğu Batı ve Kuzeybatı Anadolu’da elektrik üretimine elverişli yüksek sıcaklıklı kaynaklar, Orta ve Doğu Anadolu’da ise ısıtma amacıyla kullanıma elverişli düşük sıcaklıklı kaynaklar bulunmaktadır.

* Arama sondajları aynı zamanda üretim sondajlı olabildiğinden uygulamaya geçiş süreci kısadır.

* Jeotermal santrallerin yapım süresi diğer santrallere oranla daha kısa olup bu süre ortalama üç yıldır.

Türkiye’de bulunan farklı yatırım modellerine sahip jeotermal enerjili ısıtma sistemlerinin mevcut durumu Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Türkiye’de jeotermal enerjili ısıtma sistemlerinin mevcut durumu (Türkiye Jeotermal Derneği, 2005)

Yer	Isıtılan Konut Sayısı	Devreye Alma Tarihi	Jeotermal Su Sıcaklığı (°C)	Yatırımcı
9 Eylül Üniv. Kampüsü	2500	1983	115 - 60	Valilik+Üniversite Rektörlüğü
Gönen	3400	1987	80	Belediye Ağırlıklı Anonim Şirketi
Simav	4500	1991	137	Belediye
Kırşehir	1800	1994	57	Valilik Ağırlıklı Belediye Anonim Şirketi
Kızılcahamam	2500	1995	80	Belediye Ağırlıklı Anonim Şirketi
Balçova	15000	1996	137	Valilik Ağırlıklı Limited Şirketi
Afyon	4500	1996	95	Valilik Ağırlıklı Belediye Anonim Şirketi
Kozaklı	1200	1996	90	Valilik Ağırlıklı Belediye Anonim Şirketi
Narlıdere	1500	1998	125	Valilik Ağırlıklı Limited Şirketi

Çizelge 3.5 (devam)

Yer	Isıtılan Konut Sayısı	Devreye Alma Tarihi	Jeotermal Su Sıcaklığı (°C)	Yatırımcı
Sandıklı	3200	1998	70	Belediye Ağırlıklı Anonim Şirketi
Diyadin	400	1999	70	Valilik Ağırlıklı Anonim Şirketi
Salihli	3000	2002	94	Belediye
Sarayköy	1500	2002	140	Belediye Ağırlıklı Anonim Şirketi
Edremit	1300	2003	60	Belediye Ağırlıklı Limited Şirketi
Bigadiç	500	2005	96	Belediye
Termal tesis ve 635 dönüm sera ısıtması				Jeotermal sahada yatırım valilik + sera yatırımı özel sektör

3.6. Dünya’da ve Türkiye’de Seracılıkta Jeotermal Enerji Kullanımı

Son yıllarda Dünyada jeotermal enerjinin tarımda kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Seraların ısıtılmasında kullanılan enerjinin pahalılaşması nedeniyle, sera tarımının gelişmesi sadece ılıman iklime

sahip güney ülkelerinde sürdürülmüştür. Günümüzde ise seraların ısıtılmasında alternatif olan jeotermal enerji kullanılmaya başlanmıştır.

Jeotermal kaynakların sera ısıtmasındaki kullanımı konusundaki ilk çalışmalarda, en az 60 °C sıcaklığa sahip akışkanların kullanımı önerilmiştir. Daha sonra bu alt limitin 20 - 25 °C olmasının yeterli olduğu belirlenmiştir. Örneğin İtalya'da 40 °C, Yunanistan'da 34 °C, Çekoslovakya'da 52 °C sıcaklığındaki jeotermal suların kullanıldığı projelerde oldukça başarılı sonuçlar alındığı bilinmektedir. İsrail'de 30 - 60 °C arasında sıcaklığa sahip jeotermal sular kışın sera ısıtmasında kullanıldığı gibi, bu kaynakların bazıları yaz aylarında sulamada da kullanılmaktadır. Sivas'ta kaynak sıcaklığı 46 °C olan sıcak suyun toprak altında ve toprak üstünde bulunan plastik borularda dolaştırılmasıyla yapılan sera ısıtmasının bitkisel üretim için yeterli olduğu ortaya konulmuştur (Kasap vd., 1990).

Dünyada yaklaşık 17 174 MWt karşılığı jeotermal enerjinin turfanda sebzecilik, meyvecilik, çiçekçilik amacıyla kullanıldığı tahmin edilmektedir. Çizelge 3.6'da belirtilen ülkeler, jeotermal enerjiyi sera ve toprak ısıtmada en yoğun şekilde kullanan yerler arasında bulunmaktadır.

Dünyada sera ısıtmasında jeotermal enerji yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bugün Macaristan'da 90 ha'dan fazla sera alanı jeotermal enerjiden yararlanılarak ısıtılmaktadır. Japonya'da 40 ha'lık sera alanında, jeotermal enerji yardımıyla ısıtma yapılarak, sebze ve çiçek yetiştiriciliği yapılmaktadır.

Çizelge 3.6. Dünya jeotermal sera alanları (Lund, 2000)

Yer	Alan (ha)
Tunus	102
Macaristan	90
Çin	69
İtalya	50
A.B.D.	50
Romanya	43
Japonya	40
İzlanda	29
Bulgaristan	22
Türkiye	60

Çiftçiler tarafından işletilen şahıs seraları 70 - 100 °C sıcaklığındaki jeotermal suyu kullanırken, birçok büyük sera görsel amaçlı tropikal bahçe olarak değerlendirilmektedir. Yeni Zelanda'da da jeotermal su ve buharı kullanan birçok sera bulunmaktadır. Yaklaşık 70 yıl önce jeotermal ısı kullanımına başlanan İzlanda'da, bugün jeotermal enerji en önemli doğal kaynak durumundadır. İzlanda'da ki jeotermal enerjiden yararlanılan seralarda domates, hıyar ve fasulyeden muz ve kaktüse kadar birçok bitki yetiştirilmektedir (Lund, 2000). Bu ülkelerde seracılıkta jeotermal enerji kullanımına ilişkin bazı uygulamalar Şekil 3.5 ve 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5. İzlanda Hveragerdi’de jeotermal enerjiyle ısıtılan bir sera



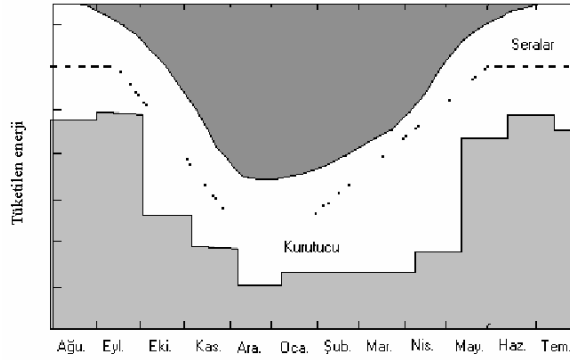
Şekil 3.6. Mokai, Yeni Zelanda’da jeotermal enerjiyle ısıtılan 5 ha’lık sera işletmesi (Web 12)

1988 yılında 21 ha’la başlayıp 10 yıl içinde 80 ha büyüklüğe ulaşan en başarılı jeotermal sera işletmelerinden biri Tunus’ta faaliyet göstermektedir. Bu işletmede bugün 102 ha’lık alanda hıyar, domates, kavun, karpuz ve biber yetiştiriciliği yapılmaktadır (Lund, 2000).

Tunus’un güneyinde Kebili bölgesinde jeotermal enerji farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Jeotermal suyun % 95’inden seraların ısıtılmasında ve arazilerin sulanmasında yararlanılmaktadır. Genel olarak su sıcaklığı 40-45 °C’den daha düşük ise doğrudan sulama amaçlı olarak

kullanılabilse de sıcaklık 45 °C'yi geçtiğinde 16 000 ha'lık alanın sulamasında kullanılmadan önce atmosferik kulelerle soğutulur. Kebili'de seraların ısıtılmasında 22 farklı bölge için 13 kuyu kullanılmaktadır. 45 ha'lık alan sıcaklıkları 45 - 73 °C arasında değişen akışkanla ısıtılmaktadır. Bu kuyuların toplam debisinin üçte biri seraların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Geri kalan kısım ise çoğunlukla sulama amaçlı değerlendirilmektedir. Bölgede soğuk periyot boyunca ısıtma için ihtiyaç 6.45 l / s / ha olarak tahmin edilmekle birlikte bu miktar akışkan sıcaklığı ve iklim koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Web 10).

Dünyadaki büyük sera işletmelerinde biri de İtalya'da Mt. Amiata yakınlarındadır. Burada yaklaşık 22 ha'lık sera alanında saksılı bitki ve çiçek üretimi yapılmaktadır. Seralar, ısıtmanın düşük düzeyde olduğu yaz aylarında çalışan bir deneysel kurutucuyla birlikte işletilmektedir. Bu kombinasyon, Şekil 3.7'de görüldüğü gibi jeotermal ısıdan yararlanımı maksimize eder (Lund, 2000).



Şekil 3.7. Mt. Amiata'da kurutucu ve seralarda jeotermal enerji kullanımı (Lund, 2000)

Önemli jeotermal sahalara sahip A.B.D’de Salt Lake şehrinde 23 da’lık sera alanında 12.6 l / s debi ve 49 °C sıcaklığına sahip jeotermal akışkan kullanılmaktadır. New Mexico’da ki en büyük jeotermal sera işletmesi (130 da) kesme çiçek yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır. Oregon’un 24 km güneyindeki Liskey çiftliğinde 4.6 da’lık sera alanı 82 m derinliğindeki bir kuyudan elde edilen 90 °C sıcaklığındaki suyla ısıtılmaktadır (Lund, 2000).

Bazı ABD eyaletlerinde jeotermal enerji kullanılan sera işletmelerine ilişkin bilgiler Çizelge 3.7’de görülmektedir (Lienau, 1997). Çizelge 3.7’de belirtilen işletmelere ilişkin bazı örnekler Şekil 3.8 ve 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. ABD’de bir jeotermal sera



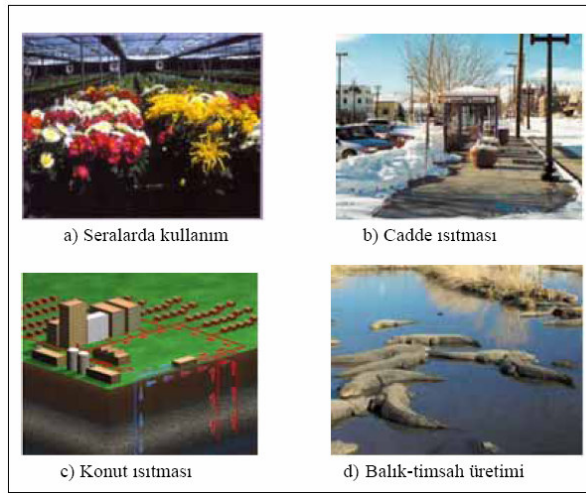
Şekil 3.9. Utah’ta bir jeotermal çiçek serası

Çizelge 3.7. A.B.D’de jeotermal enerjiyi kullanan bazı sera işletmeleri
(Lienau, 1997)

Bölge	Yetiştirilen Ürün	Alan (da)	Kaynak Sıcaklığı (°C)	Kapasite (MWt)	Yıllık Enerji Tüketimi (MWh/yıl)
California	Gül	9.3	48	4.39	3838
New Mexico	Kesme Çiçek	130	118	32.82	61 236
Utah	Saksılı Bitkiler	55	89	11.02	24 114
Utah	Sebze	11.3	95	3.52	8790
Oregon	Ağaç Fidanı	0.8	42	0.21	410
New Mexico	Kesme Çiçek	53	71	13.27	34 867
Idaho	Saksılı Bitkiler	12.1	44	2.67	5831
Idaho	Sebze	0.8	48	0.23	615
Montana	Domates	4	53	1.26	4952
Montana	Gül	8	66	2.46	9698
South Dakota	Sebze ve çiçek	4	68	1.14	2989

Seraların ısıtılması ile turfanda sebzecilik, meyvecilik, çiçekçilik yapılmakta ve dünyadaki jeotermal enerji doğrudan kullanım değerinin önemli bir bölümü sera ısıtma amaçlı kullanılmaktadır.

Macaristan, İtalya, Türkiye, ABD, Japonya, Meksika, Doğu Avrupa Ülkeleri, Yeni Zelanda ve İzlanda'da 30 °C'den fazla sıcaklıktaki akışkan seraların ısıtılması, tropikal bitki (Japonya) ve balık (Japonya'da timsah yetiştiriciliği dahil) yetiştirilmesi, tavuk ve hayvan çiftliklerinin ısıtılması gibi farklı amaçlarla kullanılabilmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Jeotermal enerjinin farklı alanlardaki kullanımı (Cemek vd., 2005)

Türkiye'deki 600 dekar jeotermal sera alanının dağılımı Çizelge 3.8'de verilmiş ve bu alanlara ilişkin çeşitli uygulamalar Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Türkiye’deki jeotermal sera alanları (Dağdaş, 2004)

Yer	Alan (m²)
Simav	120 000
Dikili	120 000
Şanlıurfa	106 000
Balçova	100 000
Tuzla (Ç. Kale)	50 000
Edremit	49 620
Kızıldere	10 750
Gediz	8500
Tekkehamam	8000
Seferihisar	6000
Afyon	5500
Kızılcahamam	5000
Kozaklı	4000
Sındırgı	2000
Bergama	2000
Ezine	1500
Gölemezli	1000
Yalova	600
Niksar	500
Toplam	600 000



Şekil 3.11. İzmir - Balçova'da jeotermal enerjiyle ısıtılan bir sera (Teknoser, 2007)



Şekil 3.12. Bergama'da jeotermal enerjiyle ısıtılan ve ısıtma borularının aynı zamanda ray olarak kullanıldığı seralar (Teknoser, 2007)



Şekil 3.13. Sivas-Çermik jeotermal sera alanı (Teknoser, 2007)

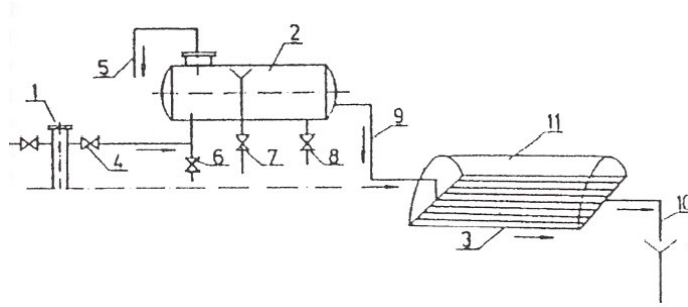
Jeotermal akışkanlar genellikle bitkiler için büyümeyi teşvik edici özelliğe sahip CO₂ içermektedir. Yapılan çalışmalar 300 ppm'lik normal CO₂ düzeyinin 1000 ppm'e çıkarılmasıyla ürün veriminin % 15 oranında arttırılabileceğini göstermiştir. Jeotermal enerji uygulamalarında akışkandaki mevcut CO₂'in kullanımının yeni bir imkan olarak değerlendirilmesi düşünülmektedir. Burada temel sorun jeotermal akışkandaki CO₂ ile belli konsantrasyonda karışan hidrojen sülfüre karşı bitkilerin olumsuz reaksiyon göstermesidir. Bu nedenle böyle bir uygulamada serada hidrojen sülfür seviyesinin yükselmesini önlemek için CO₂'in uygun bir saflaştırma işleminden geçirilmesi gerekir. Tüplere doldurulan karbondioksitin sera kapalıyken ve havalandırma sırasında 300 - 350 ppm konsantrasyonda iken 800 ppm'lik karbondioksit seviyesini sağlayabilmek için günde 50 kg kullanılması gerekir (Boodley, 1981).

Jeotermal akışkanın debisinin sınırlı olduğu durumlarda, ısı pompası kullanımıyla Δt 'yi büyülterek akışkandan daha fazla enerji alınması hedeflenir. Endüstriyel ısı pompaları, 15 ile 55 °C arasındaki sıcaklıkları, tersinmez ısı pompası ilkesi ile yükselterek kullanılabilir seviyeye getirirler. Genellikle sıcaklık yükseltilmesi 44 ile 50 °C arasında (ısıtma suyu sıcaklığı ile atık jeotermal akışkan sıcaklığının farkı) olmaktadır.

3.7. Jeotermal Enerjili Sera Isıtma Sistemleri

3.7.1. Jeotermal Kaynakların Seralara Bağlantı Şekilleri

Jeotermal akışkan kireç, bor gibi tortu bırakan ve H_2S gibi korozyon etkisi olan maddeler içermiyorsa, doğrudan ısıtma düzenindeki boru ve kanallara gönderilir (Şekil 3.14). Ancak tortulaşarak boru ve kanalları tıkayabilecek maddeleri içeren jeotermal sular bir ısı dönüştürücüsünden yararlanılarak kapalı bir sistem içinde dolaşan sera ısıtma düzeni suyunun ısıtılmasında kullanılır.

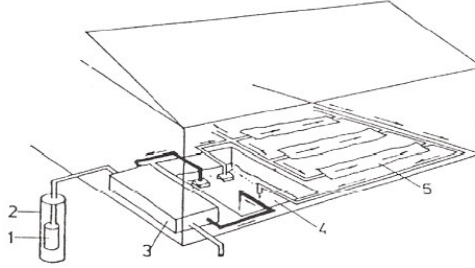


1. Sıcak akışkan çıkış borusu; 2. akışkan deposu; 3. ısıtma tesisatı; 4. ayar vanası; 5. taşma borusu; 6, 8. boşaltma vanaları; 7. taşma vanası; 9. bağlantı boruları; 10. kullanılmış termal akışkan geri dönüşü; 11. sera

Şekil 3.14. Isıtma sistemine doğrudan bağlı sıcak jeotermal suyla sera ısıtma (Yağcıoğlu, 2005)

Seranın jeotermal kuyuya bağlantısının tasarımında, kuyu ve sıcak suyun özellikleri ile bu enerji kaynağının son kullanım olanaklarının yatırım ve işletme giderlerini karşılaması etkilidir. Sera ile jeotermal kaynak arasında doğrudan bağlantı kurulabileceği gibi bir ısı

dönüştürücüsü yardımıyla dolaylı bağlantı da yapılabilir (Şekil 3.15) (Yağcıoğlu, 2005).

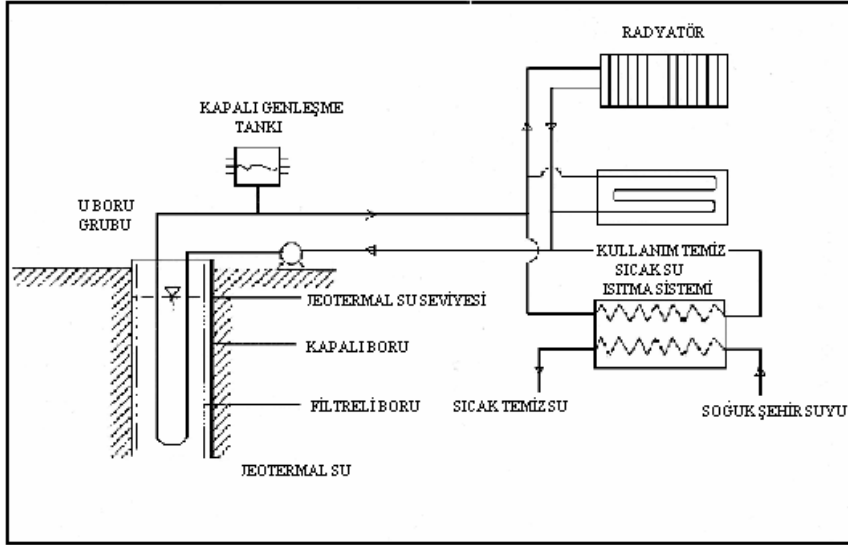


1. Pompa; 2. termal kuyu; 3. ısı pompası; 4. biriktirme deposu; 5. plastik ısı ışınlı yayıcı yüzeyler

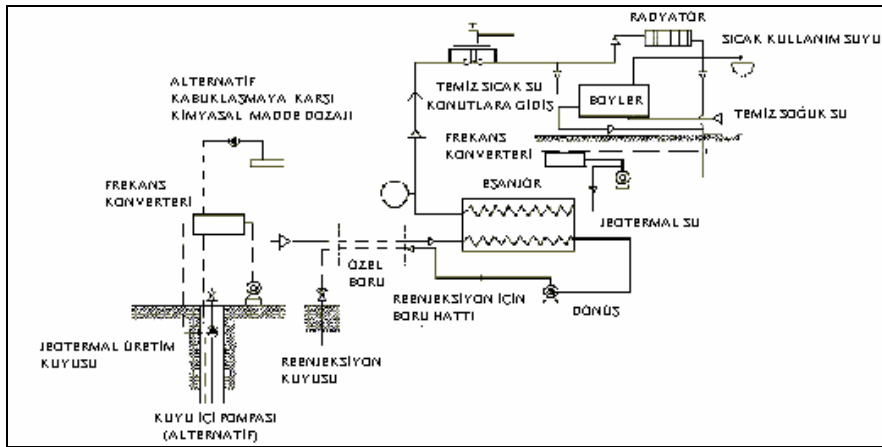
Şekil 3.15. Jeotermal sıcak sudan yararlanarak çalışan ısı pompasıyla sera ısıtılması (Yağcıoğlu, 2005)

3.7.2. Eşanjörler

Jeotermal akışkandaki ısının sera ısıtma düzenindeki akışkana aktarılmasında kuyu içi (Şekil 3.16) ve kuyu başı (Şekil 3.17) olmak üzere iki farklı eşanjör tipi kullanılmaktadır. Kuyu başı eşanjörleri genellikle yüksek basınç ve sıcaklıkta yeryüzüne ulaşan jeotermal sulara uygulanır. Bu sular kimyasal özellikleri nedeniyle sorun yaratan sulardır. Böyle durumlarda jeotermal suyu, ısıtma sistemlerinde dolaştırmaktansa orijinal suyun ısını bir kuyu başı eşanjörü yardımıyla kullanma suyuna aktarma ve serayı bu su ile ısıtma çok daha uygun olmaktadır. Kuyu içi eşanjörleri kimyasal özellikleri nedeniyle sorun yaratan jeotermal sulara uygulanmaktadır. Kuyu başı eşanjöründen farkı normal suyun jeotermal sudan kuyu içerisinde ısı enerjisini alması ve jeotermal suyun kaynak dışına hiç çıkmamasıdır.



Şekil 3.16. Kuyu içi eşanjörlü jeotermal ısıtma sistemi (DPT, 2001)



Şekil 3.17. Kuyu başı eşanjörlü jeotermal ısıtma sistemi (DPT, 2001)

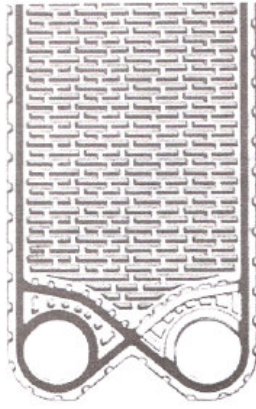
Günümüzde daha çok plakalı tipteki eşanjörler kullanılmaktadır. İlk plakalı ısı eşanjörü için patentler, Almanya’da 1800’lerin sonlarında ortaya çıkmıştır. İlk ticari plakalı ısı eşanjörü 1923 yılında İngiltere’de

Dr. Richard Seligman tarafından, o zamanlar yaygın ve tehlikeli bir hastalık durumunda olan TBC (tüberküloz) ile savaşılabilmek amacıyla sütün çabuk soğutulması için geliştirilmiştir (Şekil 3.18) (Toksoy, 2003).



Şekil 3.18. Richard Seligman ve ilk PHE (plakalı ısı eşanjörü) (Toksoy, 2003)

Preslenerek üretilen ilk plakalar 1930'lu yıllarda geliştirilmiştir. Yıkama tahtası biçimindeki bu plakalar, öncelikle gıda uygulamalarında olmak üzere halen kullanılmaktadır (Şekil 3.19.a). Bu tipteki plakalı ısı eşanjörlerinin temas noktası az olduğundan, mekanik dirençlerini arttırmak için kalın malzemedan (0.9 - 1.2 mm) yapılmaları ve çok yüksek basınç şartlarında kullanılmamaları gerekiyordu.



a) Yıkama tahtası plaka

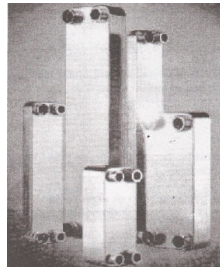


b) Balık kılçığı plaka

Şekil 3.19. Farklı plakalı ısı eşanjörleri (Toksoy, 2003)

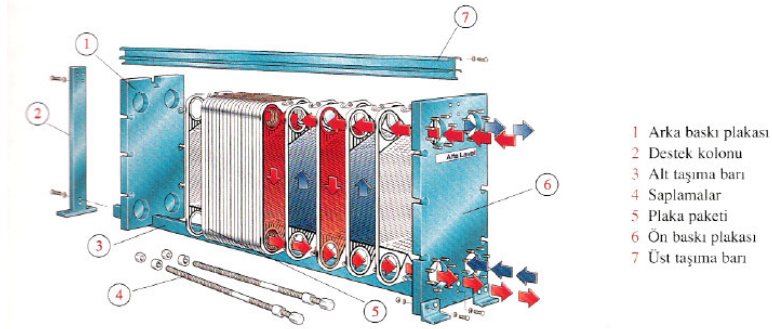
1950’li yılların başlarında İsveç şirketi Rosenblads Patanter, daha çok sayıda temas noktası olan ve dolayısıyla daha iyi mekanik stabilite gösteren balık kılçığı plakaları geliştirmiştir (Şekil 3.19.b). Bu icat ile plakalar daha ince (0.6 mm) yapılabilmiş ve işletme basıncının daha da yükselmesiyle plakalı ısı eşanjörleri (PHE) gıda endüstrisi dışında daha yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur.

1980’li yılların başlarında, balık kılçığı plakaların tüm temas noktalarının pirinç kaynakla bir araya getirilmesiyle plakalı ısı eşanjörleri geliştirilmiştir (Şekil 3.20).



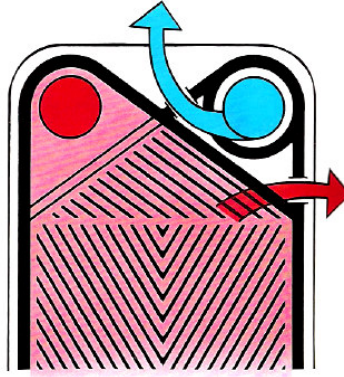
Şekil 3.20. Pirinç kaynaklı plakalı ısı eşanjörü (Toksoy, 2003)

Pratikte yaygın kullanım alanı bulan plakalı ısı eşanjörlerinin ana parçaları Şekil 3.21’de görülmektedir.



Şekil 3.21. Bir plakalı ısı eşanjörünün ana parçaları (Alfa Laval Ürün Kataloğu, 2007)

Plakalı ısı eşanjörlerinin en önemli özelliklerinden birisi conta sistemi sayesinde iki akışkanın birbirine karışmasını tamamen önlemesidir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Plakalı eşanjörlerde conta sistemi (Alfa Laval Ürün Kataloğu, 2007)

3.7.3. Isıtma Boruları

Sera içerisindeki ısıtma düzeninde kullanılacak olan boru malzemesinin seçiminde ekonomik etmenlerle birlikte, jeotermal akışkanın mineral madde içeriği, pH'sı ve sıcaklığı da etkilidir. Akış hattında; çelik, dökme demir, fiberglas, PVC ve PE malzemelerden yapılmış borular kullanılabilir (Şekil 3.23, 3.24) (Başçetinçelik vd., 1994). Sera içerisindeki ısıtma borularında ısı iletim katsayısının yüksek olması istense de, jeotermal akışkanı kaynaktan seralara kadar iletecek olan boru hattında iyi bir ısı izolasyonunun sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla iyi bir izolasyon malzemesi olan poliüretan (PUR) veya cam elyaf borular kullanılabilir.



Şekil 3.23. Poietilen ısıtma borularıyla ısıtılan seralar (Teknoser, 2007)



Şekil 3.24. Metal ısıtma borularıyla ısıtılan seralar (Teknoser, 2007)

3.8. Jeotermal Enerji Kullanımında Karşılaşılan Sorunlar

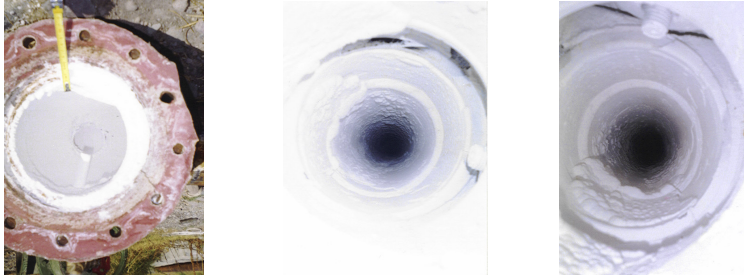
Asit sülfatlı sular farklı kimyasal özellikleri nedeniyle borularda korozyona neden olurlar (Şekil 3.25). Özellikle jeotermal sulardaki NaCl, KCl, H₂S, bor, arsenik, civa, florit, amonyak ve radon gibi kimyasal maddeler korozyon oluşturmaya çok uygundur. Mertoğlu ve ark.'na (1994) göre jeotermal akışkanın üretimi, taşınması ve seperasyonu sırasında serbest hale gelen CO₂ ve H₂S gazlarından ortaya çıkan gaz korozyonu, basınç artırılması, uygun plastik (PE, PVC, PPC), epoxy cam elyaf veya polyester borular, AISI 316 paslanmaz çelik borular, diğer paslanmaz çelik alaşımlarından meydana gelen borular ile paslanmaz çelik veya titanyum plaka tipi eşanjörler kullanılarak önlenabilmektedir (Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, 2003).



Şekil 3.25. Metal borularda korozyon

Bazı jeotermal sularda bulunan yüksek orandaki kalsiyum karbonat, kuyu içindeki ve dağıtımdaki borularda kabuklaşmalara neden olur (Şekil 3.26). Kabuklaşmaya neden olan bileşiklerin tespitinden sonra uygun yöntemler seçilerek kabuklaşma önlenabilmektedir. Örneğin, suyun pH'sı düşürülerek silika ve kalsit çökelmeleri önlenabilmekte ve

bu amaçla hidroklorikasit ve sodyumhidroksit kullanılmaktadır. Ayrıca kalsiyum karbonat çökmesine karşı diğer yöntemler, karbondioksit kısmi basıncını kontrol altında tutmak veya organik fosforik asitler, poliakrilat, polikarbolik asitler gibi kimyasal maddeleri inhibitör enjeksiyonu ile kuyuya vermektir. Bu amaçla kullanılan bazı kimyasal katkı maddeleri Çizelge 3.9’da belirtilmiştir. Kimyasal katkı maddelerinin etkili olmadığı kabuklaşma olaylarında ise üretim kuyusu başında, özel olarak tasarlanmış, içinde kabuk birikimini sağlayacak ekipmanlar kullanılmaktadır (Mertoğlu vd., 1994).



Şekil 3.26. Boru ve kuyularda kabuklaşma

Jeotermal enerjinin sakıncalarından bir başkası da, jeotermal akışkanın içerdiği H_2S , bor, arsenik, amonyak, radon, civa gibi kimyasal maddeler nedeniyle çevre kirliliğine neden olmasıdır. Bu nedenle jeotermal suların kullanıldıktan sonra kaynağına geri gönderilmesi bu çevre kirliliğini önlemenin yanı sıra kaynağın tükenmesini de engelleyecektir. Jeotermal kaynakların tükenmemesi için, jeotermal kaynaktan elde edilen sıcak suyun debisinin, jeotermal kaynağın debisinden fazla olmaması ya da kullanılan suyun kaynağına geri basılması gerekir.

Çizelge 3.9. CaCO₃ Kabuklaşmasını önleyici katkı maddeleri

Katkı Maddeleri	Kimyasal Yapısı
Dequest 2060	Organikfosfanik asit
Dequest 2066	Organikfosfanik asit
Ecostabil 4001	Organikfosfanik asit
Ecostabil 4004	Organikfosfanik asit
Ecostabil EP/85	Organikfosfanik asit
Ecopol4014	Poliakrilat
Ecopol 4022	Poliakrilat
Nadar 4053	Organikfosfanik asit
Nadar 4054	Organikfosfanik asit
Flocon 247	Polikarboksilik asit
Chelone DPNA	Organikfosfanik asit
Sequion 40 Na 32	Organikfosfanik asit
Sodium Fumate	

Ülkemizde temiz ve hiç tükenmeyecek gözüyle bakılan jeotermal kaynakların verimli şekilde işletilemediği takdirde önemli çevresel sorunlara neden olabileceği bir gerçektir. Jeotermal sahalarda oluşan çevre ve rezervuar sorunlarına en iyi örneklerden birisi de, Pamukkale yakınında bulunan Karahayıt kaplıcalarındaki durumdur. Her pansiyon ve otelin kendine ait bir kuyu açarak rezervuardan aşırı su çekmesi sonucu yeraltı su seviyesi her gün düşen bu bölgede, kızıl travertenleri yaratan kaplıca suları yok olmuş ve turizm açısından çok önemli olan bu bölge büyük sorunlarla baş başa kalmıştır. Kızıldere Jeotermal Santralinin 1984 yılında işletmeye alınmasından kısa bir süre sonra üretim boru çaplarında kalsit birikimi nedeniyle meydana gelen kesit daralması sonucu sürekli azalan bir debi düşüşü ile karşılaşmıştır (Ergüden, 1996).

4 LİTERATÜR ÖZETİ

Karytsas vd. (2002), Yunanistan'da Traianoupolis Evros bölgesinde düşük entalpili jeotermal kaynakların sera ve bölgesel ısıtma için kullanım imkanları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Traianoupolis jeotermal alanının termal enerji potansiyeli 10.8 MWt olarak tahminlenmiştir. Jeotermal kuyu başı su sıcaklıkları 53 - 92 °C aralığında değişim göstermektedir. Sonuçlar, bu kapasitedeki jeotermal enerji kaynağının bölgesel ısıtma ve sera ısıtması için kullanımının iyi bir yatırım olacağını göstermiştir.

Adaro vd. (1999), Arjantin'de, seralardaki ısıtma problemine ekonomik bir çözüm seçeneği olarak jeotermal enerji kaynağından yararlanma imkanı üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada jeotermal enerjiyi kullanarak bir ısıtma sistemi dizayn edilmiş ve Arjantin'in güney kısmında bulunan seralardaki kullanımı değerlendirilmiştir. Üç yıl boyunca sürdürülen denemelerin sonuçlarının, sistemin kar-maliyet ilişkisi ve benzer jeotermal kaynakların bölgedeki çiftliklerde kullanım uygunluğu da dikkate alınarak olumlu olduğu görülmüştür.

Kasap ve Erdem (1994), Tokat'ın Sulusaray ilçesinde plastik ve cam seralarda jeotermal kaynakla ısıtma sisteminin diğer bazı ısıtma sistemlerine göre üstünlüklerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, boyutları 30 m x 6 m olan 180 m²'lik 4 adet plastik ve 315 m²'lik bir cam sera tesis etmiştir. Cam seranın boyutları 23.5 m x 13.40 m'dir. Bölgedeki jeotermal suyun ısıtma borularına giriş sıcaklığı 45 °C

olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada, plastik seralarda topraküstü ısıtmasında PVC borular kullanılmıştır. Cam serada ise toprak üstünde döşenen polietilen borularla toprak üstü ısıtma yapılmıştır. Plastik ve cam seralarda ayrıca plastik borularla toprakaltı ısıtma yapılmıştır. Jeotermal kaynakla ısıtma durumunda ısıtma sistemi tesis ve işletme giderleri hesaplandığında cam sera plastik seraya göre % 66.17 daha pahalı olarak ısıtılmaktadır. Jeotermal enerji ile ısıtma sistemi baz alınarak diğer ısıtma sistemlerinin maliyetlerinin karşılaştırılması neticesinde Çizelge 4.1'deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Jeotermal enerji ile ısıtma baz alınarak diğer bazı ısıtma sistemlerinin karşılaştırılması (Kasap ve Erdem, 1994)

Sera Tipi	Isıtma Sistemi	Sabit Masraf	İşletme Masrafı
Plastik	1. Jeotermal enerji ile	100	100
	2. Soba ile		
	linyit	119.94	271.16
	kok kömürü	119.94	222.53
	fuel-oil	119.94	201.58
	odun	119.94	208.45
	3. Kalorifer ile		
	linyit	1028.54	314.03
	kok kömürü	1028.54	252.77
	fuel-oil	1028.54	225.39
	odun	1028.54	234.26

Çizelge 4.1 (devam)

Sera Tipi	Isıtma Sistemi	Sabit Masraf	İşletme Masrafı
Cam	1. Jeotermal enerji ile	100	100
	2. Soba ile		
	linyit	137.06	314.73
	kok kömürü	137.06	234.23
	fuel-oil	137.06	198.52
	odun	137.06	211.68
	3. Kalorifer ile		
	linyit	898.16	387.86
	kok kömürü	898.16	283.21
	fuel-oil	898.16	237.64
	odun	898.16	253.91

Çizelge 4.1'den de anlaşılabileceği gibi jeotermal enerji ile gerek plastik ve gerekse cam seranın ısıtılması diğer yöntemlere göre daha ekonomik olmaktadır.

Amor vd. (1990), Tunus'ta, düşük sıcaklıktaki (22 - 25 °C) jeotermal akışkan yardımıyla seraların ısıtılması hakkında yapılan birkaç deneme ve birkaç nedenden ötürü alınan kötü sonuçlardan sonra yaptıkları bir araştırmada, Tunus'un güney batısında serada domatesi takiben ikinci ürün yetiştiriciliği olarak kavun üzerinde, güneş enerjisiyle

pasif ısıtma sistemini kullanarak bir deneme yapmıştır. Bu denemede 5 adet sera kullanılmış olup, bunlardan ikisi derin bir kuyudan çıkarılan düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkan yardımıyla ve 55 mm çaplı küçük E.V.A. (etil vinil asetat) borularla ısıtılmıştır. Diğer 2 sera gün boyunca güneş enerjisini toplayan ve suyla doldurulan 320 mm çaplı büyük E.V.A. plastik borular kullanılarak pasif güneş enerjisi sistemiyle ısıtılmıştır. 5. sera ise kontrol serası olarak denemede yer almıştır. Sonuçta seralarda, kontrol serasıyla karşılaştırıldığında yaprak ve 0.1 m derinliğindeki toprak sıcaklığında yaklaşık 5-9 °C civarında sıcaklık artışı ile birlikte 2 - 3 haftalık bir erken gelişme ve daha yüksek gelir (0.4 Tunus Dinarı / m² / yıl) sağlanmıştır. Küçük çiftçiler tarafından kullanımı kolay olan güneş enerjisiyle pasif ısıtma sisteminin, çoğunlukla jeotermal akışkanın bulunmadığı Tunus'un tüm güney kesiminde yayılması ve kışın bile güneş ışıınımı ortalama 1004 W / m² değerinde olduğundan güneş enerjisiyle ısıtma sistemlerine ağırlık verilmesi önerilmiştir.

Grafiadellis (1990), Yunanistan'da, seralarda daha etkin ve daha düşük maliyetli jeotermal enerjili ısı dağıtım sistemlerinin geliştirilmesi amacıyla yaptığı çalışmalarda 4 farklı sistem denemiştir. Birinci sistem, içerisinde su ve havanın eş zamanlı olarak dolaştırıldığı iki plastik tüp, bir su pompası ve bir fan dan oluşmaktadır. Bu sistemde sera havası sıcak suyla ısıtılmaktadır. İkinci sistem bir hava - su ısı dönüştürücüsü, bir fan ve bir su pompasından oluşmaktadır. Bu sistemde sera havası bir plastik levha içerisindeki sıcak suyla temas ederken ısınır. Üçüncü sistemde seralardaki ısı dağıtımı bitki sıraları arasında toprak üzerine serilen şeffaf polietilen tüplerde sıcak suyun dolaştırılmasıyla sağlanmaktadır. Dördüncü sistemde ısı dağıtımı, suyun şeffaf polietilen borularda dolaştığı ve havanın daha büyük bir plastik tüp içerisine üflendiği basit bir su - hava ısı dönüştürücüsüyle sağlanmaktadır. Araştırma sonucunda

üçüncü sistemin hava sıcaklığını arttırmada en etkin, en basit ve diğerlerine göre daha ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Nikita (1990), Yunanistan’da düşük entalpili enerji kaynaklarıyla (33 - 34 °C) farklı sera ısıtma sistemlerinin uygunluğunu araştırmak amacıyla bir proje yürütmüştür. Bu projede domates üretiminde ayrı seralarda üç farklı jeotermal ısıtma sisteminin etkinliği incelenmiştir. Geleneksel yakıtlarla ısıtılan dördüncü bir sera kontrol amaçlı olarak kullanılmıştır. Çift katlı polietilen örtüye sahip serada denenen birinci sistemde, su örtü katmanları arasındaki boşluğa püskürtülmüştür. Tek katlı polietilen örtüye sahip serada denenen ikinci sistem, özel olarak kurulan bir hava ısıtıcısı kullanılarak zorlanmış ısı konveksiyonu temeline dayandırılmıştır. Öncekine benzer bir serada kurulan üçüncü bir sistem, her bir bitki sırası boyunca zemin üzerine yerleştirilen siyah oluklu polipropilen borulardan oluşturulmuştur. Çalışma sonunda olumlu sonuçlar alınmış olup iki kış dönemi boyunca her bir sistem tarafından domates bitkisinin ısı ihtiyacını karşılayacak miktarda ısı enerjisi üretilmiş ve yüksek miktarda ürün elde edilmiştir.

5 MATERYAL ve YÖNTEM

5.1 Materyal

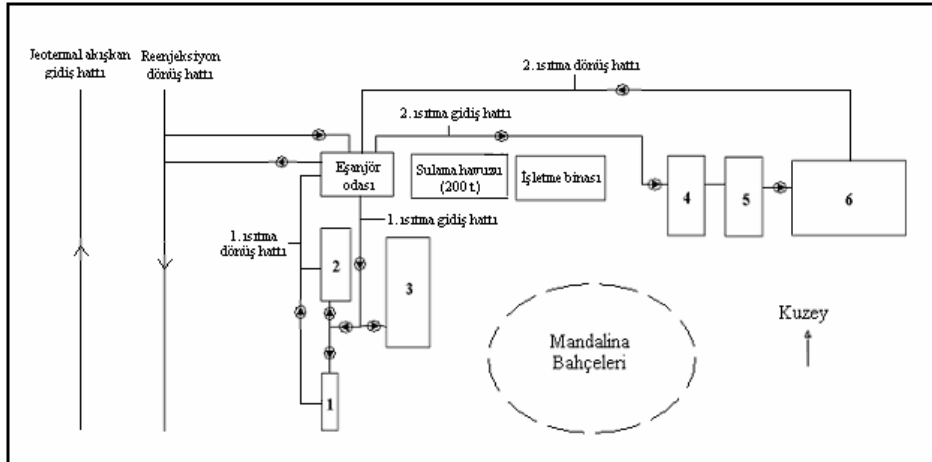
5.1.1 Örnek Seraların Teknik Özellikleri

Bu çalışma, İzmir şehir merkezinin 10 km batısında yer alan ve 3.5 km² genişliğinde zengin bir jeotermal potansiyele sahip olan Balçova'da (Kılıç, 1998), borulu sistemlerle ısıtılan ve 6 adet cam seradan oluşan toplam 12 da'lık alana sahip örnek bir işletmede yürütülmüştür. Örnek seraların teknik özellikleri Çizelge 5.1'de ve konumları Şekil 5.1'de belirtilmiştir.

Seralarda yetiştirme ortamı olarak torf kullanılmakta olup domates yetiştiriciliği yapılmaktadır. Ayrıca bu seralarda, en uygun 23 °C sıcaklık isteğine sahip hıyar, kavun, karpuz gibi sebzeler ile gül gibi süs bitkileri de yetiştirilebilir. Seralar kuzey-güney doğrultusunda kurulmuşlardır. Otel ısıtmasında kullanıldıktan sonra reenjeksiyon hattına basılan ve sıcaklığı 50 °C'ye kadar düşmüş olan jeotermal suyla seraların ısıtılması sağlanmaktadır. Ele alınan örnek seraların mevcut kalorifer sistemlerinde ısıtıcı yüzey olarak, 48 mm dış çap ve 2 mm et kalınlığına sahip çelik borular kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Örnek seraların teknik özellikleri

Sera No	1	2	3	4	5	6
Genişlik (m)	18	24	24	24	24	45
Uzunluk (m)	45	90	99	45	45	118
Yan duvar yüksekliği (m)	2	2	2	2	2	2
Çatı yüksekliği (m)	4.4	4.4	3.4	3.4	3.4	5.5
Taban alanı (m ²)	810	2160	2376	1080	1080	5310
Çatı alanı (m ²)	1026	2736	2614	309.6	309.6	1057.2
Yan duvar alanı (m ²)	295.2	513.6	525.6	1188	1188	7497
Sera hacmi (m ³)	2592	6912	6415	2916	2916	19 794
Örtü malzemesi	Tek kat sera camı	Tek kat sera camı	Tek kat sera camı	Tek kat sera camı	Tek kat sera camı	Tek kat sera camı
Çatı eğimi	15°	11°	7°	7°	7°	9°
Kalorifer ısıtıcı yüzeyleri	Çelik boru; dış çap : 48 mm; et kalınlığı : 2 mm					



Şekil 5.1. Çalışmada ele alınan örnek sera işletmesi ve ısıtma düzeninin planı

5.1.2 Çalışma Alanının İklimi

Genel olarak Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü İzmir ilinde 1938 - 2003 yıllarına ait aylık ortalama iklim değerleri Çizelge 5.2’de yer almaktadır.

Çizelge 5.2. İzmir ilinde (Güzelyalı) 1938 - 2003 yıllarına ait aylık ortalama iklim değerleri*

Ay	Min. Sıcaklık (°C)	Max. Sıcaklık (°C)	Ort. Sıcaklık (°C)	Nispi Nem (%)	Toplam Yağış (mm)
Ocak	5.7	12.3	8.7	71.0	128.7
Şubat	5.9	13.4	9.3	68.4	99.6
Mart	7.3	15.9	11.3	65.8	75.2
Nisan	10.9	20.7	15.6	62.9	45.4
Mayıs	15.2	25.9	20.6	59.8	30.9
Haziran	19.5	30.6	25.3	52.7	7.8
Temmuz	22.1	33.0	27.7	50.5	2.0
Ağustos	21.9	32.7	27.3	51.9	2.6
Eylül	18.4	29.0	23.4	56.6	11.6
Ekim	14.4	23.9	18.6	63.7	38.5
Kasım	10.6	18.4	14.0	69.6	94.4
Aralık	7.4	13.9	10.4	72.1	152.0

* Güzelyalı Meteoroloji İstasyonu kayıtlarından alınmıştır.

5.1.3 Çalışma Alanının Jeolojisi

Balçova jeotermal alanı ve çevresinde, Üst Kretase yaşlı İzmir flişi⁽¹⁾ bulunur. İzmir flişi metakumtaşı, fillit, metakiltaşı, metadiyabaz, serpantinit ve kireçtaşı gibi kayalardan oluşur. Değişik renk ve kalınlıkta olan İzmir flişi, Menderes masifi⁽²⁾ üzerine allokton⁽³⁾ olarak gelir. Bu birimin yayılımı, Seferihisar'dan Kemalpaşa – Manisa'ya kadar uzanan geniş bir alandadır (MTA, 1998).

İzmir flišinin üzerine açılal diskordansla⁽⁴⁾ Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu⁽⁵⁾ gelir. Bu formasyon kumtaşı, kıltaşı, kireçtaşı ve çakıltaşlarından oluşmuş olup, Cumaovası volkanitleri tarafından kesilmiştir. En üstte yamaç molozu, alüvyonlar bulunur.

İzmir flišinin genel tektonik gidişi, kuzeydoğu - güneybatı doğrultusundadır. Agamemnon fayı 1 ve Agamemnon fayı 2 Balçova alanının etkin kırıklarındandır. Bu iki fayın kesim noktasında Balçova kaynağı oluşmuştur. Balçova jeotermal üretim kuyularına ilişkin bazı bilgiler Çizelge 5.3'de belirtilmiştir (MTA, 1998).

¹ Suların yüzüne çıkan, yerkürenin yükselmeye uğrayan kısımlarının dış etkenlerle aşındırılmasıyla oluşan ürünlerin deniz içinde birikmesiyle oluşan depolar

² Katılalım kayalarında yapı türlerinden biri

³ Tektonik olaylara bağılı olarak taşınmış bir oluşum

⁴ Atmosfer etkisinde kalmış eski aşınma veya ayrışma yüzeyi

⁵ Alt ve üst sınırı belirlenmiş bir tabaka topluluğı

Çizelge 5.3. Balçova jeotermal üretim kuyuları (MTA, 1998)

Sondaj No.	Tarihi	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Üretim Eşdeğeri (kJ/h)
S-1	1963	40	124	27.8	34 166 340
S-2	1963	73.5	102	11	9 943 560
S-3A	1963	140	101	1.2	1 088 100
B-1	1982	104	115		4 101 300
B-2	1983	150	113		1 318 275
B-3	1983	160	112		941 625
B-4	1983	125	112	2.3	1 883 250
B-5	1983	108.5	114		2 720 250
B-6	1983	150	93	1.2	418 500
B-7	1983	120	115		2 511 000
B-8	1983	250	93	1.5	732 375
B-9	1983	48.5	122		3 808 350
B-10	1989	125	114		1 674 000
B-11	1989	125	109		1 046 250
BTF-1	1989	121	101.7	1.5-2	1 807 920
BTF-2	1990	116.5	80	2.5	1 883 250
BTF-3	1990	100	98	11(artezyen)	9 943 560
BTF-4	1990	112.5	116	2	2 289 195
Emek-84	1990	80	60	2.8	2 109 240

Çizelge 5.3 (devam)

Sondaj No.	Tarihi	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Üretim Eşdeğeri (kJ/h)
BD-1	1994	564	140	10	15 066 000
BD-2	1995	677	133.5	35	16 133 175
BD-3	1996	750	140	30	30 132 000
ND-1	1996	800	115	5.5	6 214 725
ND-2	1997	150	95	2	1 205 280

5.2 Yöntem

5.2.1 Sera Isı Gereksinimlerinin Belirlenmesi

Çalışmada örnek olarak alınan sera işletmesinde ısı gereksinimi hesapları, domates yetiştiriciliği için gündüz koşullarında 20 °C ve gece koşullarında 15 °C, hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için gündüz koşullarında 23 °C ve gece koşullarında 17 °C'lik optimum sıcaklık istekleri dikkate alınarak yapılmıştır.

Seralarda istenen iç ortam sıcaklık değerinin sağlanabilmesi için gerekli ısı enerjisi miktarı seradan kaybolan ısı miktarından, güneş enerjisiyle kazanılan ısı miktarının çıkarılmasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Yağcıoğlu, 2005).

$$Q = Q_K - Q_G \quad [1]$$

[1] numaralı eşitlikte; yer alan Q , toplam ısı gereksinimini (W); Q_K , seradan kaybolan ısı enerjisi miktarını (W); Q_G , güneşten kazanılan ısı enerjisi miktarını (W) ifade etmektedir.

Güneşten kazanılan ısı enerjisi miktarı her bir ay için ayrı ayrı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Q_G = I_o \cdot A_{\text{ç}} \cdot \eta \quad [2]$$

[2] numaralı eşitlikte; I_o , ortalama günlük ışıyım intensitesini (W/m^2); $A_{\text{ç}}$, sera çatı alanını (m^2); η^* ise seraya gelen güneş enerjisinin sera içine girip faydalı hale dönüşen yüzde değerini (%) belirtmektedir.

Seralarda ısı akışının genellikle örtüden ısı iletimi ve hava sızıntısı yoluyla olmak üzere toplam iki şekilde gerçekleştiği dikkate alınır. Bununla birlikte, çevre duvarlarından kayıplar ile sera içindeki ve kenarındaki toprağa da ısı akışı olacaktır. Bu ısı akışları, içi tamamen bitki ile dolu seralar için dikkate alınmayabilir. Ancak küçük seralarda, sera çevre duvarlarından oluşan ısı kayıpları da önemlidir (Başçetinçelik ve Öztürk, 1996).

Seradan kaybolan toplam ısı enerjisi miktarının hesaplanmasında kullanılan eşitlikler ve bu eşitliklerdeki parametrelerin açıklamaları aşağıda verilmiştir (Yağcıoğlu, 2005).

* η değeri bitki örtüsünün toprak yüzeyini kaplama durumuna göre 0.3 – 0.7 arasında değişmekle birlikte ortalama olarak 0.5 alınabilir (Yağcıoğlu, 2005).

$$Q_K = Q_d + Q_{\text{ç}} \quad [3]$$

[3] numaralı eşitlikte; Q_K , seradan kaybolan toplam ısı enerjisi miktarını (W); Q_d , duvarlardan kaybedilen ısı enerjisi miktarını (W) ve $Q_{\text{ç}}$, çatıdan kaybedilen ısı enerjisi miktarını (W) ifade etmektedir.

Herbir yüzeyden kaybolan ısı enerjisi miktarı [4] numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Q_K = \Sigma A_{\delta} \cdot U \cdot (T_i - T_d) \quad [4]$$

[4] numaralı eşitlikte; ΣA_{δ} , ısıyı dış ortama ileten toplam örtü yüzey alanını (m^2); U , toplam ısı iletim katsayısını (W/m^2K); T_i , sera içi hava sıcaklığını ($^{\circ}C$); T_d , sera dışı hava sıcaklığını ($^{\circ}C$) ifade etmektedir.

Toplam ısı iletim katsayısı [5] numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$U = \Sigma k_y + k_s + k_r \quad [5]$$

[5] numaralı eşitlikte Σk_y , sera örtü yüzeyinden kondüksiyon, konveksiyon ve ışıma yoluyla atmosfere iletilen ısı için toplam ısı geçirgenlik katsayısını (W/m^2K); k_s , sera örtüsünden hava sızmasına bağlı ısı iletim katsayısını (W/m^2K); k_r , sera örtüsünün dış yüzeyinden rüzgar nedeniyle meydana gelen ısı iletimi için ısı iletim katsayısını (W/m^2K) belirtmektedir.

Sera örtü yüzeyinden atmosfere iletilen toplam ısı geçirgenlik katsayısının (Σk_y) hesabı [6] numaralı eşitlik yardımıyla yapılmıştır.

$$\Sigma k_y = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_d}} \quad [6]$$

[6] numaralı eşitlikte; α_i , sera örtüsü iç yüzeyinin toplam ısı geçiş katsayısını ($\text{W/m}^2\text{K}$); δ , sera örtü malzemesinin kalınlığını (m); λ , örtü malzemesinin kondüksiyon yoluyla ısı iletim katsayısını (W/mK); α_d , sera örtüsü dış yüzeyinin konveksiyonla ısı geçiş katsayısını ($\text{W/m}^2\text{K}$) ifade etmektedir.

Sera örtüsünden hava sızmasına bağlı ısı iletim katsayısı (k_s), [7] numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$k_s = \frac{HDS.V.\rho.C_p}{3600.\Sigma A_{\delta}} \quad [7]$$

[7] numaralı eşitlikte HDS^* , sera havasının sızma yoluyla meydana gelen değişim sayısını (h^{-1}); V , seranın hacmini (m^3); ρ , havanın yoğunluğunu (kg/m^3); C_p , sabit basınç şartlarında havanın özgül ısısını (J/kgK); ΣA_{δ} , toplam örtü alanını (m^2) belirtmektedir.

Sera örtüsünün dış yüzeyinden rüzgar nedeniyle meydana gelen ısı iletimi için ısı iletim katsayısı (k_r), [8] numaralı eşitlik ile bulunmuştur.

* HDS değeri cam seralar için 1.2 olarak alınmıştır (Yağcıoğlu, 2005).

$$k_r = 0,19 \cdot u \quad [8]$$

[8] numaralı eşitlikte; u^* , seranın bulunduğu bölgedeki ortalama rüzgar hızını (m/s) ifade etmektedir.

5.2.2 Isıtıcı Yüzey Alanı ve Boru Uzunluklarının Belirlenmesi

Hesaplanan bu ısı gereksinimi değerini sağlayabilmek amacıyla farklı boru malzemelerinde ihtiyaç duyulan ısıtıcı yüzey alanı hesabı (9) numaralı eşitlik yardımıyla yapılmıştır (Yağcıoğlu, 2005).

$$A_B = \frac{Q}{k_B \Delta T_m} \quad [9]$$

[9] numaralı eşitlikte; A_B , ısıtıcı yüzey alanını (m^2); Q , toplam ısı gereksinimini (W); k_B , boru ısı iletim katsayısını (W/m^2K); ΔT_m , logaritmik sıcaklık ortalamasını ifade etmektedir.

Boru ısı iletim katsayısı (k_B) hesabı [10] numaralı eşitlik yardımıyla yapılmıştır.

$$k_B = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad [10]$$

* “u” değeri Güzelyalı Meteoroloji İstasyonu kayıtlarından 3.4 m/s olarak alınmıştır.

[10] numaralı eşitlikte; h_1 , boru içerisindeki akışkandan boru iç yüzeyine konveksiyonla ısı iletimini (zorlanmış konveksiyon) (W/m^2K); δ , boru et kalınlığını (m); k , boru et kalınlığı içerisinde konduksiyonla ısı iletimini (ısıl konduktivite) (W/mK); h_2 , boru yüzeyinden atmosfere konveksiyonla ısı iletimini (serbest konveksiyon) (W/m^2K) ifade etmektedir.

Logaritmik sıcaklık ortalaması (ΔT_m), [11] numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Web 9).

$$\Delta T_m = \frac{(T_{1s} - T_{1H}) - (T_{2s} - T_{2H})}{\ln\left(\frac{(T_{1s} - T_{1H})}{(T_{2s} - T_{2H})}\right)} \quad [11]$$

[11] numaralı eşitlikte; T_{1s} , borulardaki akışkanın ilk sıcaklığını ($^{\circ}C$); T_{2s} , borulardaki akışkanın soğuduğu son sıcaklığı ($^{\circ}C$); T_{1H} , ısıtmayla sera içerisinde sağlanan sıcaklığı ($^{\circ}C$); T_{2H}^* , ısıtma yapılmaması durumunda oluşacak sera iç sıcaklığını ($^{\circ}C$) belirtmektedir.

Hesaplanan ısıtıcı yüzey alanının (A_B) sağlanabilmesi için kullanılması gereken boru uzunluğu (L_B), [12] numaralı eşitlik yardımıyla belirlenmiştir (Yağcıoğlu, 2005).

* T_{2H} değeri Teknoser Seracılık İç ve Dış Tic. Ltd. Şti. teknik bürosu ile yapılan sözlü görüşmeler neticesinde İzmir koşulları için $16^{\circ}C$ olarak kabul edilmiştir.

$$L_B = \frac{A_B}{\pi \times D} \quad [12]$$

[12] numaralı eşitlikte; A_B , ısıtıcı yüzey alanını (m^2); D , boru dış çapını (m) ifade etmektedir.

Hesaplamalar 48 mm dış çap ve 2 mm et kalınlığına sahip çelik borular (DIN 2394), ve 16 cm dış çap ve 7.7 mm et kalınlığına sahip PE borular (TS 418 - 2) için yapılmıştır.

5.2.3 Maliyet Analizi

5.2.3.1 Isıtma Borularının Maliyet Değerlerinin Hesaplanması

Toplam yatırım giderlerinin çok büyük bir kısmını oluşturan ısıtma borularının maliyetleri, [13] numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$C_b = L_B \cdot F_b \quad [13]$$

[13] numaralı eşitlikte; C_b , ısıtma boruları için gerekli toplam yatırım maliyetini (YTL); L_B , ihtiyaç duyulan toplam boru uzunluğunu (m); F_b , birim boru uzunluğu fiyatını (YTL / m) ifade etmektedir.

5.2.3.2 Dolaşım Pompalarının Maliyetinin Hesaplanması

Sistem içerisinde sıcak suyun dolaşımını sağlayacak olan dolaşım pompasının debi değerinin hesabı seralarda ihtiyaç duyulan ısı gereksinimi dikkate alınarak [14] numaralı eşitlikle hesaplanmıştır.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad [14]$$

[14] numaralı eşitlikte; Q, toplam ısı gereksinimini (W); c, suyun özgül ısısını (J / kg .  C); m, sera ısıtma düzeni akışkan debisini (kg / s); Δt , sıcaklık farkını ( C) belirtmektedir.

$$\Delta t = T_{1S} - T_{2S} \quad [15]$$

[15] numaralı eşitlikte T_{1S} , borulardaki akışkanın ilk sıcaklığını ( C); T_{2S} , borulardaki akışkanın soğuduğu son sıcaklığı ( C) ifade etmektedir.

Elde edilen debi (m) değerine göre dolaşım pompasının seçimi yapılmıştır.

Seçilen pompanın elektrik enerjisi tüketim maliyeti [16] numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$C_e = P \cdot T \cdot F_e \quad [16]$$

[16] numaralı eşitlikte; C_e , pompanın elektrik enerjisi tüketim maliyetini (YTL / ay); P , pompanın yuttuğu güç değerini (kW); T , pompanın kullanım süresini (h / ay); F_e , birim elektrik enerjisi maliyetini (YTL / kWh) belirtmektedir.

Eşanjörde jeotermal akışkanın dolaşımını sağlayacak olan dolaşım pompasının kapasitesi aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

Logaritmik sıcaklık farkları ortalaması (LMTD), [17] numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Web 9).

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad [17]$$

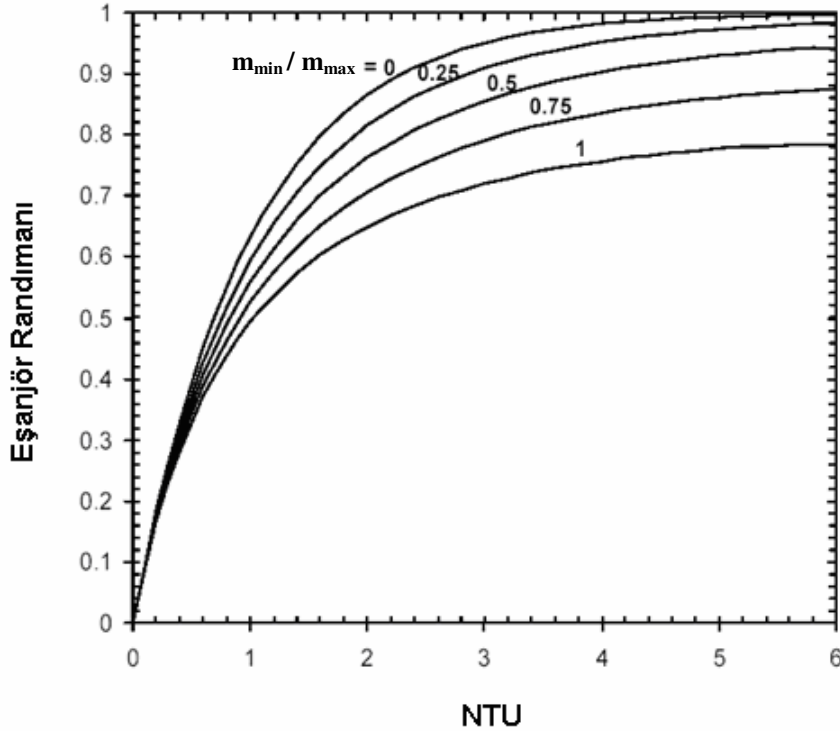
[17] numaralı eşitlikte, ΔT_1 , jeotermal akışkan ile sera içi ısıtma borularında dolaştırılacak olan akışkanın ilk sıcaklıklarının farkını ($^{\circ}\text{C}$) ve ΔT_2 , jeotermal akışkan ile sera içi ısıtma borularında dolaştırılacak olan akışkanın son sıcaklıklarının farkını ($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir.

Kütle akış oranlarının bulunmasında kullanılacak boyutsuz bir terim olan NTU (Transfer Birimleri Sayısı) değeri [18] numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Web 9).

$$NTU = \frac{\Delta T_{\max}}{LMTD} \quad [18]$$

[18] numaralı eşitlikte; $\Delta T_{\max}$, en yüksek sıcaklık farkını ($^{\circ}\text{C}$); LMTD, logaritmik sıcaklık farkları ortalamasını belirtmektedir.

Eşanjör içerisindeki akışkanların en düşük ve en yüksek kütle akış oranları, NTU (Transfer Birimleri Sayısı) ve eşanjör randımanı arasındaki ilişkiyi veren grafik yardımıyla belirlenmiştir (Şekil 5.2). Bu işlem sırasında eşanjörün randıman değeri, kullanılan Alfa Laval marka eşanjör için 0.85 olarak alınmıştır.



Şekil 5.2. NTU – Randıman İlişkisi (Web 11)

$m_{\min}$: Eşanjör içerisindeki en küçük debi değeri (kg / s)

$m_{\max}$: Eşanjör içerisindeki en büyük debi değeri (kg / s)

5.2.3.3 Faiz ve Amortisman Maliyetlerinin Hesabı

Yatırım süresi boyunca her yıl eşit miktarlarda geri ödenen yatırım sermayesinin amortisman ve faiz maliyetleri birlikte ele alınarak [19] numaralı eşitlik yardımıyla belirlenmiştir (Sındır, 1999).

$$C_D = C_0 \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad [19]$$

[19] numaralı eşitlikte; C_D , sermayenin yıllık geri ödentisini (amortisman + faiz) (YTL/yıl); C_0 , tesis maliyetini (YTL); n , ortalama sistem ömrünü (yıl); i , reel faiz oranını ifade etmektedir.

5.2.3.4 Fosil Yakıtlarla Isıtmada Yakıt Maliyetlerinin Hesabı

Bir ısıtma döneminde kullanılması gereken yakıt miktarı, yakıt özellikleri, ısı gereksinimi ve toplam ısıtma süresi göz önünde bulundurularak [20] numaralı eşitlikle hesaplanmıştır (Karamanlıoğlu, 1993).

$$M = \frac{Q}{\omega \cdot \zeta} \times t \quad [20]$$

[20] numaralı eşitlikte; M , gerekli yakıt miktarını (t); Q , toplam ısı gereksinimini (W); ω , yakıtın ısı değeri (J / t); ζ , yakıtın ısı verimini (%); t , ısıtma dönemindeki toplam ısıtma süresini (s) ifade etmektedir.

Hesaplanan miktarlara göre yakıt maliyetlerinin hesabı için [21] numaralı eşitlik kullanılmıştır.

$$C_y = M \cdot F_y \quad [21]$$

[21] numaralı eşitlikte; C_y , yakıt maliyetini (YTL); M , gerekli yakıt miktarını (t); F_y , birim yakıt fiyatını (YTL / t) ifade etmektedir.

5.2.3.5 Bakım-Onarım Maliyetlerinin Hesabı

Bakım-onarım maliyetleri, genel bir yaklaşımla toplam yatırım maliyetinin %5'i alınarak belirlenmiştir*. Toplam yatırım maliyetlerinin büyük bölümünü kaloriferli ısıtma sistemlerinde kalorifer kazanı, ısıtma boruları ve dolaşım pompaları; jeotermal enerjili ısıtma sistemlerinde ise ısı eşanjörü, ısıtma boruları ve yine dolaşım pompaları oluşturmaktadır.

* Bakım-onarım maliyetinin hesabındaki yaklaşım Teknoser Seracılık İç ve Dış Tic. Ltd. Şti. teknik bürosu ile yapılan görüşme ile belirlenmiştir.

6 BULGULAR ve TARTIŞMA

6.1 Sera Isı Gereksinimleri

6.1.1 Güneşten Kazanılan Isı Enerjisi

Çalışma alanındaki seralarda ısıtmanın yapıldığı dönemdeki (Aralık-Mart) herbir ay için hesaplanan güneşten kazanılan ısı enerjisi değerleri (Q_g), Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Örnek seraların güneşten kazandığı ısı enerjisi miktarları

Ay	Sera No	I_o (W/m ²)	$A_ç$ (m ²)	η (%)	Q_g (W)
Aralık	1	175	1026	0.5	89 775
	2		2736		239 400
	3		2614		228 725
	4		1188		103 950
	5		1188		103 950
	6		7497		655 988
Ocak	1	185	1026	0.5	94 905
	2		2736		253 080
	3		2614		241 795
	4		1188		109 890
	5		1188		109 890
	6		7497		693 473

Çizelge 6.1 (devam)

Ay	Sera No	I_o (W/m ²)	$A_ç$ (m ²)	η (%)	Q_g (W)
Şubat	1	245	1026	0.5	125 685
	2		2736		335 160
	3		2614		320 215
	4		1188		145 530
	5		1188		145 530
	6		7497		918 383
Mart	1	314	1026	0.5	161 082
	2		2736		429 552
	3		2614		410 398
	4		1188		186 516
	5		1188		186 516
	6		7497		1 177 029

Seralarda en önemli ısı kazancı doğal güneş ışıdır. Dalga boyu 760 milimikronun üzerinde olan güneş ışınları seranın ısı ihtiyacının bir kısmını karşılarlar. Güneş ışıının en yüksek olduğı Mart ayında güneşten kazanılan ısı enerjisi de maksimum değerine ulaşmaktadır (314 W/m²).

6.1.2 Seralardan Dış Ortama İletilen Isı Miktarları

Seralarda toplam ısı kayıpları, örtü malzemesinin cinsine, iç ve dış hava sıcaklıkları arasındaki farka ve rüzgar hızına bağlı olarak belirlenen toplam ısı iletim katsayısı ile, sera örtü alanının büyüklüğüne ve istek dışı oluşan hava sızmalarına bağlıdır.

İncelenen seralarda Balçova (İzmir) koşullarında ısıtma yapılan Aralık, Ocak, Şubat ve Mart ayları için hesaplanan ısı kayıp değerleri Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3’de belirtilmiştir. Çizelgelerde seraların çatı ($Q_{\text{ç}}$) ve duvarlarından (Q_{d}) meydana gelen ısı kayıpları ile bunların toplamından oluşan toplam ısı kayıpları (Q_{K}) ayrı ayrı gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Örnek seralarda domates yetiştiriciliği için gündüz ve gece koşullarında hesaplanan ısı kayıpları

Ay	Sera No	Isı Kayıpları (W)					
		Gündüz			Gece		
		Q_{d}	$Q_{\text{ç}}$	Q_{K}	Q_{d}	$Q_{\text{ç}}$	Q_{K}
Aralık	1	36 196	97 525	133 721	21 832	58 824	80 656
	2	75 143	260 066	335 209	45 324	156 865	202 189
	3	73 563	247 514	321 077	44 371	149 294	193 665
	4	38 962	112 492	151 454	23 501	67 852	91 353
	5	38 962	112 492	151 454	23 501	67 852	91 353
	6	182 870	716 943	899 813	110 302	432 442	542 744
	Toplam	445 696	1 547 032	1 992 728	268 831	933 129	1 201 960

Çizelge 6.2 (devam)

Ay	Sera No	Isı Kayıpları (W)					
		Gündüz			Gece		
		Q _d	Q _ç	Q _K	Q _d	Q _ç	Q _K
Ocak	1	41 079	110 683	151 762	26 716	71 983	98 699
	2	85 281	295 155	380 436	55 463	191 954	247 417
	3	83 489	280 908	364 397	54 297	182 689	236 986
	4	44 219	127 669	171 888	28 758	83 030	111 788
	5	44 219	127 669	171 888	28 758	83 030	111 788
	6	207 543	813 674	1 021 217	134 975	529 172	664 147
	Toplam	505830	1755758	2 261 588	328 967	1 141 858	1 470 825
Şubat	1	40 505	109 135	149 640	26 141	70 435	96 576
	2	84 089	291 027	375 116	54 270	187 826	242 096
	3	82 321	276 980	359 301	53 129	178 760	231 889
	4	43 600	125 884	169 484	28 139	81 244	109 383
	5	43 600	125 884	169 484	28 139	81 244	109 383
	6	204 640	802 293	1 006 933	132 073	517 792	649 865
	Toplam	498 755	1 731 203	2 229 958	321 891	1 117 301	1 439 192

Çizelge 6.2 (devam)

Ay	Sera No	Isı Kayıpları (W)					
		Gündüz			Gece		
		Q _d	Q _ç	Q _K	Q _d	Q _ç	Q _K
Mart	1	36 483	98 299	134 782	22 119	59 598	81 717
	2	75 739	262 130	337 869	45 921	158 929	204 850
	3	74 147	249 478	323 625	44 955	151 258	196 213
	4	39 271	113 384	152 655	23 810	68 745	92 555
	5	39 271	113 384	152 655	23 810	68 745	92 555
	6	184 321	722 633	906 954	111 754	438 132	549 886
	Toplam	449 232	1 559 308	2 008 540	272 369	945 407	1 217 776

Çizelge 6.3. Örnek seralarda hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için gündüz ve gece koşullarında hesaplanan ısı kayıpları

Ay	Sera No	Isı Kayıpları (W)					
		Gündüz			Gece		
		Q _d	Q _ç	Q _K	Q _d	Q _ç	Q _K
Aralık	1	44 814	120 745	165 559	27 578	74 304	101 882
	2	93 034	321 987	415 021	57 252	198 146	255 398
	3	91 079	306 445	397 524	56 048	188 582	244 630
	4	48 239	139 275	187 514	29 685	85 708	115 393
	5	48 239	139 275	187 514	29 685	85 708	115 393
	6	226 410	887 643	1 114 053	139 329	546 243	685 572
	Toplam	551 815	1 915 370	2 467 185	339 577	1 178 691	1 518 268

Çizelge 6.3 (devam)

Ay	Sera No	Isı Kayıpları (W)					
		Gündüz			Gece		
		Q _d	Q _ç	Q _k	Q _d	Q _ç	Q _k
Ocak	1	49 698	133 903	183 601	32 461	87 463	119 924
	2	103 173	357 075	460 248	67 390	233 234	300 624
	3	101 004	339 840	440 844	65 973	221 977	287 950
	4	53 496	154 453	207 949	34 942	100 886	135 828
	5	53 496	154 453	207 949	34 942	100 886	135 828
	6	251 083	984 374	1 235 457	164 002	642 973	806 975
	Toplam	611 950	2 124 098	2 736 048	399 710	1 387 419	1 787 129
Şubat	1	49 123	132 355	181 478	31 887	85 915	117 802
	2	101 980	352 947	454 927	66 198	229 106	295 304
	3	99 836	335 911	435 747	64 806	218 048	282 854
	4	52 877	152 667	205 544	34 324	99 100	133 424
	5	52 877	152 667	205 544	34 324	99 100	133 424
	6	248 181	972 994	1 221 175	161 099	631 593	792 692
	Toplam	604 874	2 099 541	2 704 415	392 638	1 362 862	1 755 500

Çizelge 6.3 (devam)

Ay	Sera No	Isı Kayıpları (W)					
		Gündüz			Gece		
		Q_d	Q_{ξ}	Q_K	Q_d	Q_{ξ}	Q_K
Mart	1	45 101	121 519	166 620	27 865	75 079	102 944
	2	93 631	324 051	417 682	57 848	200 210	258 058
	3	91 662	308 410	400 072	56 632	190 546	247 178
	4	48 548	140 168	188 716	29 994	86 601	116 595
	5	48 548	140 168	188 716	29 995	86 600	116 595
	6	227 861	893 334	1 121 195	140 781	551 932	692 713
	Toplam	555 351	1 927 650	2 483 001	343 115	1 190 968	1 534 083

6.1.3 Isı Gereksinimi Değerleri

Seradan kaybolan ısı miktarından güneşten kazanılan ısı enerjisi miktarı çıkarıldığında elde edilen net ısı gereksinimi değerleri, bir başka söyleyişle, yapay olarak seraya verilmesi gereken ısı enerjisi miktarları farklı bitkiler için Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Örnek seralarda domates yetiştiriciliğinde gündüz ve gece için hesaplanan aylık ısı gereksinimleri

Ay	Sera No	Isı Gereksinimleri					
		(W)					
		Gündüz			Gece		
		Q _K	Q _G	Q	Q _K	Q _G	Q
Aralık	1	133 721	89 775	43 946	80 656	-	80 656
	2	335 209	239 400	95 809	202 189	-	202 189
	3	321 077	228 725	92 352	193 665	-	193 665
	4	151 454	103 950	47 504	91 353	-	91 353
	5	151 454	103 950	47 504	91 353	-	91 353
	6	899 813	655 987	243 826	542 744	-	542 744
	Toplam	1 992 728	1 421 787	570 941	1 201 960	-	1 201 960
Ocak	1	151 762	94 905	56 857	98 699	-	98 699
	2	380 436	253 080	127 356	247 417	-	247 417
	3	364 397	241 795	122 602	236 986	-	236 986
	4	171 888	109 890	61 998	111 788	-	111 788
	5	171 888	109 890	61 998	111 788	-	111 788
	6	1 021 217	693 472	327 745	664 147	-	664 147
	Toplam	2 261 588	1 503 032	758 556	1 470 825	-	1 470 825

Çizelge 6.4 (devam)

Ay	Sera No	Isı Gereksinimleri					
		(W)					
		Gündüz			Gece		
		Q _K	Q _G	Q	Q _K	Q _G	Q
Şubat	1	149 640	125 685	23 955	96 576	-	96 576
	2	375 116	335 160	39 956	242 096	-	242 096
	3	359 301	320 215	39 086	231 889	-	231 889
	4	169 484	145 530	23 954	109 383	-	109 383
	5	169 484	145 530	23 954	109 383	-	109 383
	6	1 006 933	918 382	88 551	649 865	-	649 865
	Toplam	2 229 958	1 990 502	239 456	1 439 192	-	1 439 192
Mart	1	134 782	161 082	-	81 717	-	81 717
	2	337 869	429 552	-	204 850	-	204 850
	3	323 625	410 398	-	196 213	-	196 213
	4	152 655	186 516	-	92 555	-	92 555
	5	152 655	186 516	-	92 555	-	92 555
	6	906 954	1 177 029	-	549 886	-	549 886
	Toplam	2 008 540	2 551 093	-	1 217 776	-	1 217 776

Isıtma sistemi tasarımında seralarda ihtiyaç duyulan en yüksek ısı enerjisi miktarları dikkate alınmıştır. Çizelge 6.4’de de görüldüğü gibi domates yetiştiriciliğinde en yüksek ısı gereksinimleri, güneşten herhangi bir kazancın olmadığı gece koşullarında ve dış hava sıcaklıklarının en düşük olduğu Ocak ayında 1 470 825 W (5 294 970 kJ / h) olarak ortaya çıkmaktadır.

Tüm ısı kaybı ve ısı gereksinimi ile ilgili hesaplamalar hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için önerilen, gündüz 23 °C ve gece 17 °C sıcaklık koşulları için yapılarak, hesaplanan toplam ısı gereksinimi değerleri Çizelge 6.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliğinde gündüz ve gece için hesaplanan aylık ısı gereksinimleri

Ay	Sera No	Isı Gereksinimleri					
		(W)					
		Gündüz			Gece		
		Q _K	Q _G	Q	Q _K	Q _G	Q
Aralık	1	165 559	89 775	75 784	101 882	-	101 882
	2	415 021	239 400	175 621	255 398	-	255 398
	3	397 524	228 725	168 799	244 630	-	244 630
	4	187 514	103 950	83 564	115 393	-	115 393
	5	187 514	103 950	83 564	115 393	-	115 393
	6	1 114 053	655 987	458 066	685 572	-	685 572
	Toplam	2 467 185	1 421 787	1 045 398	1 518 268	-	1 518 268

Çizelge 6.5 (devam)

Ay	Sera No	Isı Gereksinimleri (W)					
		Gündüz			Gece		
		Q _K	Q _G	Q	Q _K	Q _G	Q
Ocak	1	183 601	94 905	88 696	119 924	-	119 924
	2	460 248	253 080	207 168	300 624	-	300 624
	3	440 844	241 795	199 049	287 950	-	287 950
	4	207 949	109 890	98 059	135 828	-	135 828
	5	207 949	109 890	98 059	135 828	-	135 828
	6	1 235 457	693 472	541 985	806 975	-	806 975
	Toplam	2 736 048	1 503 032	1 233 016	1 787 129	-	1 787 129
Şubat	1	181 478	125 685	55 793	117802	-	117802
	2	454 927	335 160	119 767	295304	-	295304
	3	435 747	320 215	115 532	282854	-	282854
	4	205 544	145 530	60 014	133424	-	133424
	5	205 544	145 530	60 014	133424	-	133424
	6	1 221 175	918 382	302 793	792692	-	792692
	Toplam	2 704 415	1 990 502	713 913	1 755 500	-	1 755 500

Çizelge 6.5 (devam)

Ay	Sera No	Isı Gereksinimleri (W)					
		Gündüz			Gece		
		Q _K	Q _G	Q	Q _K	Q _G	Q
Mart		166 620	161 082	5538	102 944	-	102 944
	2	417 682	429 552	-	258 058	-	258 058
	3	400 072	410 398	-	247 178	-	247 178
	4	188 716	186 516	2200	116 595	-	116 595
	5	188 716	186 516	2200	116 595	-	116 595
	6	1 121 195	1 177 029	-	692 713	-	692 713
	Toplam	2 483 001	2 551 093	-	1 534 083	-	1 534 083

Çizelge 6.5’de de görüldüğü gibi hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliğinde en yüksek ısı gereksinimleri, güneşten herhangi bir kazancın olmadığı gece koşullarında ve dış hava sıcaklıklarının en düşük olduğu Ocak ayında 1 787 129 W (6 433 664 kJ/h) olarak ortaya çıkmaktadır.

6.2 Isıtıcı Yüzey Alanı ve Boru Uzunlukları

Hesaplanan ısı gereksinimlerini karşılayabilmek için gerekli ısıtıcı yüzey alanının hesabında kullanılan ısı iletimiyle ilgili katsayılar Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.6. Konveksiyonla ısı iletim katsayıları (Web 3)

Konveksiyon şekli	Isı iletim katsayısı (h) (W/m ² K)
Zorlanmış konveksiyon (h ₁)	400
Serbest konveksiyon (h ₂)	75

Çizelge 6.7. Kondüksiyonla ısı iletim katsayıları (Web 4)

Malzeme	Isıl kondüktivite (k) (W/mK)
Çelik	50
Polietilen	0.16

Yukarıda belirtilen değerlere göre toplam boru ısı iletim katsayıları (k_B), 10 numaralı eşitlik yardımıyla, 48 mm dış çap ve 2 mm et kalınlığına sahip çelik borular için 62.99 W/m²K; 16 cm çaplı ve 7.7 mm et kalınlığına sahip PE borular için ise 15.63 W/m²K olarak hesaplanmıştır. İncelenen seraların ısıtılmasında, söz konusu boruların sahip olması gereken toplam yüzey alanı ve uzunluk değerleri Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9’da belirtilmiştir.

Isıtıcı yüzey alanı hesabında kullanılan ΔT_m değeri, [11] numaralı eşitlik yardımıyla 20.1 °C olarak hesaplanmıştır.

$$\Delta T_m = \frac{(48-20)-(30-16)}{\ln \left[\frac{48-20}{30-16} \right]} = 20.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Çizelge 6.8. Domates yetiştiriciliği için hesaplanan ısıtıcı yüzey alanı ve boru uzunlukları

Sera No	Isıtıcı Yüzey Alanı (A_B) (m^2)		Isıtıcı Boru Uzunluğu (L_B) (m)	
	PE Isıtma Boruları	Çelik Isıtma Boruları	PE Isıtma Boruları	Çelik Isıtma Boruları
1	312	77	622	514
2	783	194	1559	1290
3	750	186	1493	1235
4	354	88	704	583
5	354	88	704	583
6	2103	522	4185	3463
Toplam	4656	1155	9267	7668

Çizelge 6.9. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için hesaplanan ısıtıcı yüzey alanı ve boru uzunlukları

Sera No	Isıtıcı Yüzey Alanı (A_B) (m^2)		Isıtıcı Boru Uzunluğu (L_B) (m)	
	PE Isıtma Boruları	Çelik Isıtma Boruları	PE Isıtma Boruları	Çelik Isıtma Boruları
1	379	94	755	625
2	951	236	1894	1567
3	911	226	1814	1501
4	430	106	856	708
5	430	106	856	708
6	2555	634	5085	4207
Toplam	5656	1402	11 260	9316

Çizelge 6.8 ve 6.9’da da görüldüğü gibi, çelik borulara göre daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olan PE boruların, aynı miktardaki ısıyı sağlayabilmesi için daha fazla yüzey alanı ve uzunluğa sahip olması gerekmektedir.

6.3 Maliyet Değerleri

Örnek olarak ele alınan sera işletmesinin ısıtma ile ilgili maliyetleri incelenirken maliyet unsurları, tesis ve işletme maliyetleri olarak 2 ana gruba ayrılmıştır. İşletme maliyetleri sabit ve değişken işletme maliyetleri olmak üzere 2 ana başlık altında incelenmiştir. Tesis maliyetleri içerisinde kalorifer kazanı, ısı eşanjörü, ısıtma boruları, dolaşım pompaları ve aşağıda belirtilen diğer sistem elemanları, sabit işletme maliyetleri içerisinde amortisman maliyeti ve değişken işletme maliyetleri içerisinde sıcak su maliyeti, yakıt maliyeti, elektrik enerjisi tüketim maliyeti ve bakım-onarım maliyeti yer almaktadır.

6.3.1 Tesis Maliyetleri

6.3.1.1 Isıtma Borularının Toplam Yatırım Maliyetleri

Uzunlukları hesaplanan boruların yatırım maliyetleri 3 YTL / m birim fiyatına sahip çelik ve 0.90 €* / m birim fiyatına sahip olan PE borular için hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.10 ve Çizelge 6.11’de gösterilmiştir.

* 1 € = 1.84 YTL (04.05.2007 - Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası)

Çizelge 6.10. Domates yetiştiriciliği için gerekli PE ve çelik ısıtma borularının yatırım maliyetleri

Sera No	Boruların Yatırım Maliyeti (C _b) (YTL)	
	PE Isıtma Boruları	Çelik Isıtma Boruları
1	1030	1542
2	2581	3870
3	2473	3705
4	1166	1749
5	1166	1749
6	6931	10 389
Toplam	15 347	23 004

Çizelge 6.11. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için gerekli PE ve çelik ısıtma borularının yatırım maliyetleri

Sera No	Boruların Yatırım Maliyeti (C _b) (YTL)	
	PE Isıtma Boruları	Çelik Isıtma Boruları
1	1250	1875
2	3136	4701
3	3003	4503
4	1417	2124
5	1417	2124
6	8420	12 621
Toplam	18 643	27 948

Çizelge 6.10 ve Çizelge 6.11'den de anlaşılabileceği gibi seralarda PE boruların kullanılması durumunda, daha uzun boru kullanıldığı halde toplam yatırım maliyeti daha düşük olmaktadır.

6.3.1.2 Dolaşım Pompalarının Maliyetleri

Sera içerisindeki borularda sıcak suyun [14] numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanan debi değerine göre dolaşımını sağlayacak olan dolaşım pompasının özellikleri ve maliyeti aşağıda sıralanmıştır.

Pompanın debisi : 19.53 kg/s

Pompa giriş çapı : 100 mm

Pompa çıkış çapı : 80 mm

Pompanın yuttuğu güç : 7.5 kW

Pompanın devir sayısı : 1450 min⁻¹

Pompanın yatırım maliyeti : 1025 YTL

Eşanjör içerisinde dolaştırılacak olan jeotermal akışkanın debi değeri, NTU (Transfer Birimleri Sayısı) ve eşanjör randımanı arasındaki ilişkiyi veren grafik (Şekil 5.2) yardımıyla bulunan kütle akış oranı kullanılarak hesaplanmıştır. Örnek olarak alınan sera işletmesinde, eşanjör odasındaki termometreler yardımıyla akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları okunarak ve bu değerler [18] numaralı eşitlikte yerlerine konularak NTU değeri aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)
Akışkan 1 (Jeotermal)	50	35
Akışkan 2 (Isıtma düzeni)	48	30
ΔT_n (°C)	2	5

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{5 - 2}{\ln\left(\frac{5}{2}\right)} = 3.27 \quad ; \quad NTU = \frac{\Delta T_{\max}}{LMTD} = \frac{18}{3.27} = 5.5$$

% 85 eşanjör randımanı* ve 5.5 NTU değeri dikkate alınarak jeotermal akışkanın ve sera ısıtma düzenindeki borularda dolaşacak olan akışkanın debi değerleri arasındaki oran Şekil 5.2’de verilen grafik yardımıyla 0.75 olarak bulunmuştur. Bu değer kullanılarak jeotermal akışkanın debi değeri aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

$$\frac{m_{\min}}{m_{\max}} = \frac{19.53}{m_{\max}} = 0.75 \Rightarrow m_{\max} = 26 \text{ kg / s}$$

Jeotermal akışkanın eşanjördeki dolaşımı için, 26 kg/s debi değerine ve 4 kW güç değerine sahip dolaşım pompası seçilmiştir.

6.3.1.3 Kazan ve Diğer Sistem Elemanlarının Maliyetleri

Bu çalışmada örnek olarak ele alınan sera işletmesinde, ısıtma sistemlerinde kullanılması gereken kazan, plakalı eşanjör ve diğer sistem elemanlarının 2007 yılı piyasa fiyatları aşağıda verilmiştir.

* Kullanılan Alfa Laval marka plakalı ısı eşanjörünün randıman değeri

Kalorifer sistemiyle yapılacak ısıtma uygulamasında kapasiteye uygun kömür yakıtlı, otomatik besleyicili kazanın fiyatı : 31 000 YTL

Jeotermal enerjiyle ısıtma için gerekli, kapasiteye uygun plakalı eşanjörün piyasa fiyatı : 13 000 YTL

Muhtelif vanalar : 1500 YTL

Pislik tutucu : 300 YTL

Çek valf : 350 YTL

Genleşme tankı (500 l) : 700 YTL

3 yollu otomatik kontrol sistemi : 5000 YTL

Bağlantı (fittings) malzemeleri : 800 YTL

6.3.2 İşletme Maliyetleri

6.3.2.1 Faiz ve Amortisman Maliyetleri

Sabit işletme maliyetleri içerisinde birlikte ele alınan faiz ve amortisman maliyetleri, ortalama 20 yıl sistem ömrü ve % 12’lik reel faiz oranı * dikkate alınarak [19] numaralı eşitlik yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Jeotermal enerjili ısıtma sistemi için;

$$C_D = \frac{43\,350 \times 0.12 \times (1+0.12)^{20}}{(1+0.12)^{20} - 1} = 5803 \text{ YTL / yıl}$$

* Mayıs 2007 – Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası

Kaloriferli ısıtma sistemi için;

$$C_D = \frac{59850 \times 0.12 \times (1 + 0.12)^{20}}{(1 + 0.12)^{20} - 1} = 8013 \text{ YTL / yıl}$$

6.3.2.2 Kalorifer Sistemiyle Isıtmada Yakıt Maliyetleri

Q = Toplam ısı gereksinimi : 5 294 970 kJ / h

Linyit kömürünün ısı değeri : 20 920 kJ / kg*

Fındık kömürünün ısı değeri : 29 288 kJ / kg*

Isıl verim (η) : % 70*

Linyit kömür için;

$$\text{Gerekli yakıt miktarı} = \frac{5\,294\,970}{20\,920 \times 0.7} = 362 \text{ kg / h}$$

Fındık kömür için;

$$\text{Gerekli yakıt miktarı} = \frac{5\,294\,970}{29\,288 \times 0.7} = 258 \text{ kg / h}$$

Günde 10 saat ısıtma yapılan koşullarda 4 aylık ısıtma döneminde toplam ısıtma süresi : 4 x 30 x 10 = 1200 saat

* Karamanlıoğlu (1993)

Yukarıda verilen değerlere göre domates yetiştiriciliği için hesaplanan yakıt maliyetleri Çizelge 6.12’de ve diğer bitkiler için hesaplanan değerler Çizelge 6.13’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.12. Domates yetiştiriciliğinde ısıtma için gerekli yakıt maliyetleri

Yakıt tipi	Gerekli toplam yakıt miktarı (t)	Birim yakıt fiyatı (YTL / t)	Aylık yakıt maliyeti (YTL / ay)	Toplam yakıt maliyeti (YTL)
Linyit kömürü	434.4	200	21 720	86 880
Fındık kömürü *	309.6	300	23 220	92 880

Çizelge 6.13. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliğinde ısıtma için gerekli yakıt maliyetleri

Yakıt tipi	Gerekli toplam yakıt miktarı (t)	Birim yakıt fiyatı (YTL / t)	Aylık yakıt maliyeti (YTL / ay)	Toplam yakıt maliyeti (YTL)
Linyit kömürü	527	200	26 350	105 400
Fındık kömürü	376	300	28 200	112 800

* 10 - 20 mm arasındaki elekten geçmiş ithal linyit kömür

6.3.2.3 Jeotermal Enerjili Isıtma Sisteminde Sıcak Su Bedeli

Balçova’da jeotermal enerjiyle ısıtılan seralarda aylık ısıtma bedelleri Çizelge 6.14’de verilmiştir (Fiyatlar İzmir Jeotermal Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş.’den alınmıştır).

Çizelge 6.14. Balçova’da jeotermal enerjili seralarda aylık sıcak su bedelleri (Mayıs 2007)

Sera alanı (m ²)	Birim alan ısıtma bedeli (YTL/m ²)
< 1000	0.160
1000 - 3000	İlk 1000 m ² si 160 YTL, 1000 m ² nin üzeri 0.130 YTL/m ²
3000 – 10 000	İlk 3000 m ² si 420 YTL, 3000 m ² nin üzeri 0.100 YTL/m ²
> 10 000	İlk 10 000 m ² si 1120 YTL 10 000 m ² nin üzeri 0.085 YTL/m ²

Çizelge 6.14’deki değerlere göre, çalışmada ele alınan 12 da’lık alana sahip sera işletmesinde aylık ısıtma bedeli 1290 YTL olarak hesaplanmıştır.

$$1120 + 2000 \times 0,085 = 1290 \text{ YTL}$$

6.3.2.4 Dolaşım Pompalarının Elektrik Enerjisi Maliyetleri

Dolaşım pompalarının işletme giderlerinin bilinmesi, bir ısıtma sisteminin yıllık işletme giderlerinin belirlenmesi açısından oldukça

önemlidir. Ele alınan sera işletmesinde kullanılacak olan dolaşım pompalarının elektrik enerjisi tüketim bedeli aşağıdaki gibidir.

Elektrik enerjisi birim fiyatı : 0.14 YTL / kWh*

Sera içerisindeki borularda sıcak akışkanın dolaşımını sağlayacak olan dolaşım pompasının elektrik enerjisi tüketim maliyeti [16] numaralı eşitlik yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Elektrik enerjisi maliyeti : $7.5 \text{ (kW)} \times 300 \text{ (saat/ay)} \times 0.14 \text{ (YTL/kWh)} = 315 \text{ YTL / ay}$

Jeotermal akışkanın eşanjörde dolaşımını sağlayacak olan dolaşım pompasının elektrik enerjisi tüketim maliyeti [16] numaralı eşitlik yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Elektrik enerjisi maliyeti : $4 \text{ (kW)} \times 300 \text{ (saat/ay)} \times 0.14 \text{ (YTL/kWh)} = 168 \text{ YTL / ay}$

6.3.2.5 Bakım-Onarım Maliyetleri

Toplam yatırım maliyetlerinin %5'i alındığında, bakım - onarım maliyetleri aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

* Jeotermal enerjili ısıtma sisteminde : $(43\ 350 \times 0.05) / 12 = 180 \text{ YTL / ay}$

* Mart 2007 – Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ)

* Kaloriferli ısıtma sisteminde : $(59\ 850 \times 0.05) / 12 = 250 \text{ YTL} / \text{ay}$

6.3.2.6 Tesis ve İşletme Maliyetleri

Örnek sera işletmesinde ısıtma sistemlerinin tesis ve işletme maliyetleri ile ilgili olarak yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu olarak domates yetiştiriciliği için Çizelge 6.15’de, hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için Çizelge 6.16’da belirtilmiştir. Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16’da belirtilen maliyet değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.15. Domates yetiştiriciliği için kurulacak ısıtma sistemlerindeki tesis ve işletme maliyetleri

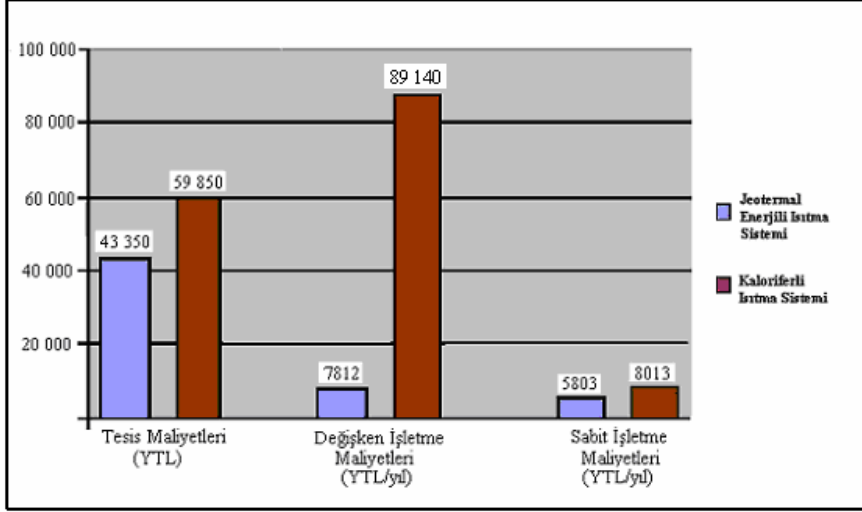
Isıtma Sistemi	Tesis Maliyetleri (YTL)		İşletme Maliyetleri (YTL / yıl)			
			Sabit İşletme Maliyetleri		Değişken İşletme Maliyetleri	
Jeotermal Enerjili Isıtma Sistemi	Isı eşanjörü	13 000	Amortisman + Faiz	5803	Sıcak su bedeli	5160
	Isıtma Boruları	19 175			Elektrik enerjisi tüketim maliyeti	1932
	Dolaşım Pompaları	2525			Bakım-onarım maliyeti	720
	Diğer Sistem Unsurları	8650			TOPLAM	7812
	TOPLAM	43 350				
Kaloriferli Isıtma Sistemi	Kalorifer kazanı	31 000	Amortisman + Faiz	8013	Yakıt maliyeti	86 880
	Isıtma Boruları	19 175			Elektrik enerjisi tüketim maliyeti	1260
	Dolaşım Pompası	1025			Bakım-onarım maliyeti	1000
	Diğer Sistem Unsurları	8650			TOPLAM	89 140
	TOPLAM	59 850				

Çizelge 6.16. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için kurulacak ısıtma sistemlerindeki tesis ve işletme maliyetleri

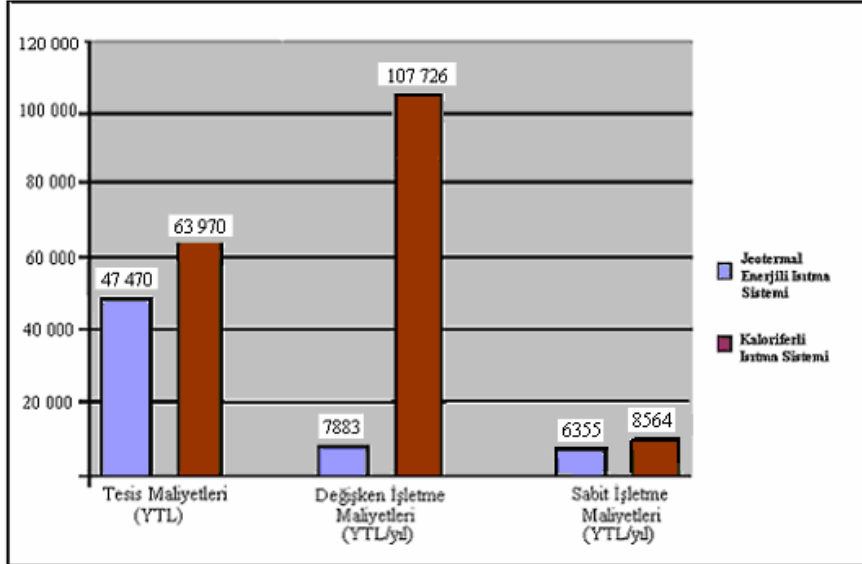
Isıtma Sistemi	Tesis Maliyetleri (YTL)		İşletme Maliyetleri (YTL / yıl)			
			Sabit İşletme Maliyetleri		Değişken İşletme Maliyetleri	
Jeotermal Enerjili Isıtma Sistemi	Isı eşanjörü	13 000	Amortisman + Faiz	6355	Sıcak su bedeli	5160
	Isıtma Boruları	23 295			Elektrik enerjisi tüketim maliyeti	1932
	Dolaşım Pompaları	2525			Bakım-onarım maliyeti	791
	Diğer Sistem Unsurları	8650			TOPLAM	7883
	TOPLAM	47 470				
Kaloriferli Isıtma Sistemi	Kalorifer kazanı	31 000	Amortisman + Faiz	8564	Yakıt maliyeti	105 400
	Isıtma Boruları	23 295			Elektrik enerjisi tüketim maliyeti	1260
	Dolaşım Pompası	1025			Bakım-onarım maliyeti	1066
	Diğer Sistem Unsurları	8650			TOPLAM	107 726
	TOPLAM	63 970				

Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16 incelendiğinde piyasadaki standart malzeme ve ekipman alımı da göz önünde bulundurulduğunda, domates ve diğer bitkilerin yetiştiriciliği için kurulacak ısıtma sistemlerinde, yakıt

ve ısıtma borularının dışındaki maliyet değerlerinde önemli farklılıklar görülmektedir.



Şekil 6.1. Domates yetiştiriciliği için kurulacak ısıtma sistemlerinde tesis ve işletme maliyetlerinin değişimi



Şekil 6.2. Hıyar, kavun, karpuz ve gül yetiştiriciliği için kurulacak ısıtma sistemlerinde tesis ve işletme maliyetlerinin değişimi

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilen grafiklerden de anlaşılabileceği gibi, özellikle değişken işletme maliyetleri yönünden jeotermal enerjili ısıtma sistemlerinin kullanımı ekonomik açıdan önemli avantaj sağlamaktadır. Tesis maliyetleri linyit kömürlü kaloriferli ısıtma sisteminde, jeotermal sıcak sulu ısıtma sistemine göre domates yetiştirilmesi durumunda % 27, ele alınan diğer bitkilerin yetiştirilmesi durumunda ise % 25 daha yüksektir. Toplam işletme maliyetleri ise jeotermal sıcak sulu ısıtma sistemlerinde domates yetiştirilmesi durumunda % 86, ele alınan diğer bitkilerin yetiştirilmesi durumunda ise % 88 daha düşüktür.

7 SONUÇ ve ÖNERİLER

Jeotermal enerji ile ısıtmada toplam yatırım maliyetinin büyük kısmını ısıtma boruları, ısı eşanjörü, kullanılan dolaşım pompaları; fosil yakıtlı sistemlerde ise ısıyı üretecek birim olan kazan ile yine ısıtma boruları ve dolaşım pompaları oluşturmaktadır. Sistemde kullanılacak boru malzemesinin seçiminde ekonomik etmenlerle birlikte, jeotermal akışkanın mineral madde içeriği, pH değeri ve sıcaklığı da etkilidir. Sera içerisindeki akış hattında çelik, dökme demir, asbestli çimento, fiberglas, PVC ve PE malzemelerden yapılmış borular kullanılabilse de uygulamada daha çok metal ve PE ısıtma boruları kullanılmaktadır. PE borular tercih edildiğinde, kullanılması gereken boru yüzey alanı ve uzunluğu metal borulara göre daha fazla olmakta, ancak ekonomik yönden daha avantajlı bir durum ortaya çıkmaktadır. Plastik boru kullanımında, bunların sera içerisinde fazla yer kaplaması yetiştiricilik açısından sakınca oluşturmaktadır.

Isıtma sisteminde sıcak suyun borularda dolaşımının sağlanması ve akışın sürekliliğinin sağlanması amacıyla kullanılan dolaşım pompalarının da ısı yükünü sağlayacak kapasitede seçilmesi son derece önemlidir. Ele alınan sera işletmesinde sera içerisindeki ısıtma borularında sıcak suyun dolaşımını sağlayacak olan dolaşım pompası ile reenjeksiyon hattından gelen jeotermal akışkanın eşanjöre çekilmesini sağlayan bir dolaşım pompası kullanılmaktadır. Bu pompaların yatırım maliyetlerinin dışında, enerji tüketimleri de dikkate alındığında toplam işletme giderleri içerisindeki payları da hayli yüksektir. Bir anlamda bu pompaların işletme giderlerinin saptanması jeotermal ısıtma sisteminin yıllık işletme giderlerinin büyük ölçüde belirlenmesini sağlamaktadır.

İzmir Jeotermal A.Ş. tarafından satışı yapılan sıcak suyun aylık bedeli ile fosil yakıtlarla yapılan ısıtma uygulamasında aylık yakıt maliyeti arasında büyük farklılıklar göze çarpmaktadır. Rezerv ve özelliği itibariyle Dünya'daki önemli ilk 7 jeotermal sahadan biri olan ve yeni kaynak araştırmalarının devam ettiği Balçova'da sıcak su için aylık olarak ödenen bedel, fosil yakıtlar için ödenen bedelin 16 kat kadar altındadır.

Jeotermal enerji potansiyeli açısından bölgesel avantaja sahip olan Balçova'da tüm ısıtma yükünün bu enerjiyle karşılanabildiği görülmüştür. Sabit ve işletme masrafları bir bütün halinde değerlendirildiğinde, jeotermal enerji ile yapılacak ısıtmanın fosil yakıtlarla yapılacak ısıtmadan daha ekonomik olduğu da ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıtlarla yapılacak ısıtma uygulamalarında ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliğinin yanında yakıt maliyetlerinin yüksekliği sera yetiştiriciliğinde ısıtmanın rantabl şekilde yapılmasını engellemektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları her ülkenin kendi öz kaynağı durumunda olup bu kaynakların enerji tüketiminde bir an önce yer alması ülke ekonomisi ve özellikle çevre kirliliğinin azaltılması ve önlenmesi bakımından önem taşımaktadır. Jeotermal enerji gibi doğal kaynaklarımızın kullanımı ve düşük maliyetlerle ısıtmanın yapılması, seracılığın çok daha karlı bir üretim şekli haline gelmesini sağlayacaktır. Bu şekilde kalite ve verimde sağlanacak artışlarla, uluslararası standartlara uygun üretimin yapılması ve toplam ihracat potansiyeli içerisinde tarımın payının artması da mümkün olacaktır. İçerisinde bulunduğumuz rekabet ortamı da, teknoloji ve tarımın bulunduğu seralarda ısıtma, havalandırma gibi mühendislik uygulamalarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

8 KAYNAK DİZİNİ

Adaro, J. A., Galimberti, P. D., Lema, A. I., Fasulo, A., Barral, J. R., 1999, Geothermal Contribution To Greenhouse Heating, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

Alfa Laval, 2007, Değişim Isı Teknik, Ege Bölgesi Distribütörü, İzmir.

Amor, H. B., Salhi, M., Zid, A. B., Verlodt, H., 1990, First Results of Heating Greenhouses By A Passive Solar System In Gafsa (South-West Of Tunisia), International Symposium on Simple Ventilation and Heating Methods for Greenhouses in Mild Winter Climates, Acta Hort. (ISHS) 263:131-138, Tunisia.

Başçetinçelik, A., Öztürk, H. H., 1994, Sera Isıtılmasında Jeotermal Enerji Uygulamaları. Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu, Bildiri Kitabı, Denizli, 534 s.

Başçetinçelik, A., Öztürk, H. H., 1996, Seralarda Isıtma, Reur Teknik Yayınları : 3, Adana.

Başçetinçelik, A., Öztürk, H.H., Çaylaklı, R., 1994, Jeotermal Enerjide Sera Isıtma Ekonomisi, Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu, Bildiri Kitabı, Denizli, 534 s.

Boodley, J. W., 1981, The Commercial Greenhouse, Delmar Publishers Inc, USA.

Cemek, M., Aydınözü, M., Konuk, M., 2005, Jeotermal Enerji ve Afyon Bölgesinin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:2, Sayı:1, Afyon.

Dağdaş, A., 2004, Jeotermal Enerjiden Yararlanmada Türkiye'nin Dünyadaki Konumu ve Potansiyeli, TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi, No : 78.

DPT, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu, Jeotermal Enerji Çalışma Grubu, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

Ergüden, Z. Ş., 1996, Seferihisar-Balçova Jeotermal Kaynaklarının Konut ve Sera Isıtılmasına Yönelik Projelerin Değerlendirilmesi Üzerine İncelemeler, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 46 s. (Basılmamış).

Etemoğlu, A. B., İşman, M. K., Can, M., 2006, Bursa ve Çevresinde Jeotermal Enerjinin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt : 11., Sayı : 1., Bursa.

Gençtan, T., 1989, Tarımsal Ekoloji, Tekirdağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No : 88.

Grafiadellis, M., 1990, Development of Simple Systems For Distribution of Geothermal Energy in Greenhouses, Acta Hort. (ISHS) 263:375-382.

Gül, A., Sevgican, A., Tüzel, Y., 1994, Jeotermal Enerjinin Sera Isıtılmasında Kullanımı, Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu, Bildiri Kitabı, Denizli, 534 s.

Gül, A., Tüzel, Y., Tüzel, İ. H., 2005, Örtüaltı Sebze Yetiştiriciliği, İyi Tarım Uygulamaları Ders Notları, Ege Üniversitesi, İzmir.

Günay, A., 1999, Ser Kliması, Bergama Meslek Yüksek Okulu Yayınları: 2, Bergama.

Günhan, T., 1998, Seraların Düşük Sıcaklıktaki Akışkanlarla Isıtılma Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 151 s. (Basılmamış).

Harzadın, G., 1994, Jeotermal Enerjinin Sera Isıtılmasında Kullanılma Olanakları Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu, Bildiri Kitabı, Denizli, 534 s.

Karamanlioğlu, S., 1993, Akdeniz İklim Kuşağı İçerisinde Bulunan Yörelerde (İzmir ve Civarı) Değişik Isıtma Sistemlerinin Etkileri ve Ekonomik Analizi Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 61 s. (Basılmamış).

Karytsas, C., Mendrinou, D., Goldbrunner, J., 2002, Low Enthalpy Geothermal Energy Utilisation Schemes For Greenhouse And District Heating at Traianoupolis Evros, Journal Geothermics. Vol:32, Issue : 1, Centre for Renewable Energy Sources, Greece.

Kasap, A., Erdem, G., 1994, Plastik ve Cam Serada Jeotermal Kaynakla Isıtma Sisteminin Diğer Bazı Isıtma Sistemlerine Göre Üstünlüklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu, Bildiri Kitabı, Denizli, 534 s.

Kasap, A., Erdem, G., Ergüneş, G., 1990, Sivas Sıcak Çermik'te Jeotermal Enerjiden Yararlanılarak Sera Isıtma Olanakları Üzerine Bir Araştırma, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.

Kılıç, N., 1998, Dünyada ve Türkiye'de Enerji Sektörüne Bakış ve Jeotermal Enerji Potansiyelinin İrdelenmesi, İzmir Ticaret Odası Yayını No: 56, İzmir.

Lienau, P. J., 1997, Geothermal Greenhouse Development Update, Geo - Heat Center, Quarterly Bulletin, USA, p : 5-7.

- Lund, J. W., 2000, Introduction to Geothermal Greenhouse Design, International Course On District Heating, Agricultural And Agro-Industrial Uses of Geothermal Energy, International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy And Aristotle University of Thessaloniki, Greece.
- MTA, 1998, Ege Bölge Müdürlüğü Raporu, Maden Tetkik Arama ve Genel Müdürlüğü, İzmir.
- Mertoğlu, O., Mertoğlu, M., Başarır, N., 1994, Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemlerinin Çevreye Müsbet Katkısı, Teknolojisi ve Ekonomik Değerlendirilmesi, Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu, Bildiri Kitabı, Denizli, 534 s.
- Nikita, C., 1990, Greenhouse Heating Systems With Geothermal Energy of Low Enthalpy in Greece, International Symposium on Simple Ventilation and Heating Methods for Greenhouses in Mild Winter Climates, Acta Hort. (ISHS) 263:183-190, Greece.
- Prenger, J., Ling, P., 2000, Bottom Heating And Between-Row Heating, Ohio State University, Columbus.
- Sındır, K. O., 1999, Tarımda Makina Seçimi ve Ortak Kullanım Modelleri, Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü, Yayın No : 110, Ankara.

Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı İzmir İl Müdürlüğü, 2003, Teknik Tarım, Yayın No : 356, 4. Basım, İzmir.

Teknoser Seracılık Ltd. Şti., 2007, Kısıkköy Sanayi Sitesi Metal İşleri Bölümü, 2. Cadde No: 174, İzmir.

Toksoy, M., 2003, Doğrudan Isıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı Semineri, Seminer Kitabı, MMO Yayın No : MMO/2003/328-4, İzmir, 540 s.

TÜİK, 2007, Türkiye Örtüaltı Tarım Alanları İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.

Türkiye Jeotermal Derneği, 2005, Jeotermalin Türkiye İçin Önemi ve 2005 İçin Yeni Stratejiler, Ankara, 43 s.

Yağcıoğlu, A. K., 2005, Sera Mekanizasyonu, E.Ü.Z.F. Yayınları No:562, Bornova, 363 s.

Web Kaynakları :

1) Tüzel, Y., Gül, A., Daşgan, H.Y., Özgür, M., Özçelik, N., Boyacı, H.F., Ersoy, A., Örtüaltı Yetiştiriciliğinde Gelişmeler, Erişim Tarihi:15.07.2007.

www.zmo.org.tr/etkinlikler/6tk05/029yükseltuzel.pdf

2) Sevgican, A., Gül, A., Tüzel, Y., Eltez, R.Z., Türkiye’de Örtüaltı Yetiştiriciliği, Erişim Tarihi : 15.07.2007

www.zmo.org.tr/etkinlikler/5tk02/27.pdf

3) Anonim, Heat Transfer Mechanisms, Erişim Tarihi : 20.08.2007.

http://www.engr.colostate.edu/~allan/heat_trans/page4/page4.html

4) Anonim, Thermal Conductivity of Some Common Materials, Erişim Tarihi:20.08.2007.

http://www.engineeringtoolbox.com/overall-heat-transfer-coefficients-d_284.html

5) Toka, B., Jeotermal Enerji, Erişim Tarihi : 10.09.2007.

http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/20ad4d76fe97759_ek.pdf

6) Arslan, S., Darıcı, M., Karahan, Ç., Türkiye’nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Erişim Tarihi : 10.09.2007.

http://geocen.iyte.edu.tr/teskon/2001/teskon2001_02.pdf

7) Evans, M. R., 2005, Greenhouse Heating Systems, Erişim Tarihi:15.10.2007.

http://uark.edu/~mrevans/4703/learning_units/unit_05/unit_05.html

8) Anonim, Greenhouse Condensation Control, Ohio State University, Food, Agricultural and Biological Engineering, Erişim Tarihi:15.10.2007.

<http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0801.html>

9) Rafferty, K. D., Culver, G., Heat Exchangers, Geo-Heat Center, Oregon, Erişim Tarihi : 02.11.2007.

<http://geoheat.oit.edu/pdf/tp54.pdf>

10) Mohamed, M. B., Geothermal Utilization in Agriculture in Kebili Region, Southern Tunisia, Erişim Tarihi : 02.11.2007.

<http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull23-2/art6.pdf>

11) McNeill, V. F., Colton, C. K., Theory for Performance of the Flat Plate Heat Exchanger, Department of Chemical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Erişim Tarihi : 02.11.2007.

http://heatex.mit.edu/Theory_Files/FlatPlateHeatExTheory.pdf

12) White, B., 2006, An Assessment of Geothermal Direct Heat Use in New Zealand, New Zealand Geothermal Association, Erişim Tarihi:06.11.2007

http://www.nzgeothermal.org.nz/publications/Reports/NZGADirectHeatAssessmentReport_2006.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Ersin KARACABEY 1982 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir’de tamamladı. 1999 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi’ne girdi ve 2004 yılında Tarım Makinaları Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladıktan sonra, 2006 yılında bu bölüme Araştırma Görevlisi olarak atandı.