

T.C
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİNİN SÜREKLİ KULLANILABİLİRLİK
KOŞULU ALTINDA MADDELERİN SPESİFİK ISI KAPASİTELERİNİN
KULLANILARAK DEPOLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Mak. Yük. Müh. Berrin KARAÇAVUŞ

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Ana bilim Dalı

Tez Yöneticisi: Prof. Dr.-Ing. Ahmet CAN

EDİRNE-2006


T.C
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİNİN SÜREKLİ KULLANILABİLİRLİK KOŞULU ALTINDA
MADDELERİN SPESİFİK ISI KAPASİTELERİNİN KULLANILARAK
DEPOLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Mak. Yük. Müh. Berrin KARAÇAVUŞ

DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI


Bu Tez30/06/2006.....Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

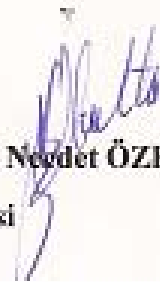

Prof. Dr.-Ing. Ahmet CAN

Tez Danışmanı

Jüri Üyesi, Tez İzleme Komitesi Üyesi


Prof. Dr. Şükran DİLMAÇ
Jüri Üyesi, Tez İzleme Komitesi Üyesi


Prof. Dr. Nurdil ESKİN
Jüri Üyesi


Prof. Dr. Nurdet ÖZBALTA
Jüri Üyesi


Yrd. Doç. Dr. Semiha ÖZTUNA
Jüri Üyesi, Tez İzleme Komitesi Üyesi

ÖZET

Bu çalışmada, Edirne iklim şartlarında, hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su temini için güneş enerjisinin mevsimlik depolandığı bir ısıtma sistemi tasarlanarak kurulmuş ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemi, ısı toplama ve ısı depolama ünitesi olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Isı toplama ünitesi, güneş enerjisi toplayıcılarından oluşmaktadır. Isı depolama ünitesi, silindirik güneş enerjisi deposu ve etrafındaki kum hacminden oluşmaktadır. Silindirik ısı depolama ünitesi yeraltına yerleştirilmiştir. Mevsimlik depolama dönemi içinde ısı toplama ünitesinden ısı depolama ünitesine aktarılan enerjinin bir bölümü kullanım amaçlı sıcak su ile çekilmiş geri kalan kısmı ise ısı depolama ünitesi ve civarında depolanmıştır.

Deneysel esnasında yapılan ölçümler üç grupta toplanmaktadır. Birinci grup ölçümler ısı toplama ünitesi ile ilgili ölçümlerdir. İkinci grup ölçümler, yatay birim yüzeye gelen anlık global güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, rüzgâr hızı değerleri ile ilgili ölçümlerdir. Üçüncü grup ölçümler ise silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresindeki toprak sıcaklık değerleri ile ilgilidir. Ölçüm değerleri, Temmuz 2005- Mayıs 2006 arasında, bilgisayar bağlantılı bir kaydedici ile saatlik olarak alınmıştır.

Saatlik sıcaklık ölçüm sonuçları yardımı ile yeraltında bulunan silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresindeki aylık ortalama sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. QuickField Transient Thermal yazılımı kullanılarak belirlenen teorik sıcaklık dağılımları ile deneysel sıcaklık dağılımları mukayese edilmiştir.

Isı toplama ünitesi ve ısı depolama ünitesi için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Isı toplama ünitesinin enerji ve ekserji etkenliğinin aylara göre değişimi belirlenmiştir. Isı depolama ünitesine, ısı taşıyıcı akışkan ile aktarılan aylık toplam enerji değerleri hesaplanmıştır. Isı depolama ünitesinden hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su ile çekilen aylık toplam enerjiler belirlenmiştir. Hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su ile enerji çekilmesi durumunda, topraktan sağlanan toplam enerji kazancının aylara göre değişimi belirlenmiştir. Isı depolama ünitesinin enerji ve ekserji etkenliğinin aylara göre değişimi hesaplanmıştır. Kurulan ısıtma sisteminde, enerji etkenliğini etkileyen etmenler incelenmiştir.

Edirne ilinde kurulan, mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin ekonomik analizi, $P_1 - P_2$ yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kurulan ısıtma sisteminde, Temmuz 2005 – Mayıs 2006 ölçüm sonuçları ve hesaplanan değerler yardımı ile ısıtma sisteminden aylık faydalanma oranları ve yıllık faydalanma oranı belirlenmiştir. Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemi için optimum toplayıcı alanı hesaplanmıştır.

Deneysel sonuçlar ile Edirne ili için, güneş enerjisinin depolanabileceği, depolanan enerjiden kullanım amaçlı sıcak su teminin yanı sıra hacim ısıtmasında da verimli şekilde faydalanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Mevsimlik Enerji Depolama, Sıcaklık Dağılımı, Enerji ve Ekserji Analizi, Ekonomik Analiz, Faydalanma Oranı.

SUMMARY

In this research a heating system which is designed to store solar energy seasonally, set up in order to heat buildings and to supply hot water for houses according to the weather conditions in Edirne and an experimental study is carried out.

The heating system with seasonal solar energy storage has two units; namely, heat collecting unit and heat storage unit. The heat collecting unit consists of the collectors of solar energy. The heat storage unit consists of a cylindrical solar energy tank and the sand around. The cylindrical solar energy tank is located under the ground. In the period of seasonal storage some of the energy transferred from the collecting unit to the heat storage unit is taken out by the water for usage and the rest of the energy is stored in and around the heat storage unit.

The measurements taken during the experiments are put into three groups. The first group measurements are related with the heat collecting unit. The second ones are related with the instant global solar radiation coming to unit horizontal surface area, exterior weather temperature and the values of the wind velocity. The third and last ones are related with those of the cylindrical heat storage unit and the earth temperature values around it. The measurement values are recorded hourly between July 2005 and May 2006 by use of a recorder connected to a computer.

By the help of hourly temperature measurement results, the monthly average temperature distributions are determined in and around the cylindrical heat storage unit. The theoretical temperature distributions determined by using Quick Field Transient Thermal are compared with experimental temperature distributions.

The energy analysis and the exergy analysis are applied to the heat collecting unit and the heat storage unit. The changes of the efficiencies of the energy and the exergy of the heat collecting unit are determined according to the months. Total monthly energy values transferred by fluid carrying heat to the heat storage unit are calculated. Total monthly energies spent for the heating building and supplying hot water from heat storage unit are determined. In the case of heating building and supplying hot water, the variation of total energy saving, provided from the ground are determined with respect to the months. The monthly changes of energy and exergy efficiencies of the heat storage unit are calculated. The factors affecting energy efficiency are evaluated in the system set up.

The economic analysis of the heating system with seasonal solar energy storage is performed by using the $P_1 - P_2$ methods. By using the measurements taken between July 2005 – May 2006 and the calculated values, the monthly and yearly solar fractions of heating system are determined in the heating system set up. The optimum collector area for the heating system with seasonal solar energy storage is calculated.

In conclusion, it is found that the solar energy can be stored and the energy stored can be used efficiently in heating the building and providing the hot water in Edirne as a result of the experimental research.

Keywords: Solar Energy, Seasonal Energy Storage, Temperature Distribution, Energy and Exergy Analysis, Economic Analysis, Solar Fraction.

ÖNSÖZ

Fosil kökenli yakıt kaynaklarının azalması ile yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır. Çevre bilinci ile hareket ederek, güneş enerjisi sistemlerini sadece kullanım suyu ısıtmasında değil, aynı zamanda ısıtmaya destek olarak da planlamak gerekmektedir. Yazın bol bulunan güneş enerjisini mevsimlik depolayarak, ihtiyaç olduğunda binaların ısıtılması için kullanmak büyük enerji tasarrufu sağlayabilir.

Güneş enerjisi yeryüzündeki çukurlarda ve çelik tanklarda, mağaralarda, kayalara açılmış dikey kuyularda, yeraltında çelik tanklarda, toprağa gömülü dikey ve yatay borularda, akü ferlerde, yeraltında beton tanklarda depolanmaktadır.

Türkiye’de son 10-15 yıl içinde mevsimlik depolama üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Yapılan çalışmalar teorik düzeyde bulunmaktadır. Sunulan tezde, Edirne İli’nde kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemi kurulmuş, denenmiş ve elde edilen deneysel sonuçlar verilmiştir.

Bu önemli konuda, araştırma yapmam için beni yönlendiren ve deneysel çalışmanın gerektirdiği zorlukların bilincinde olan Sayın Hocam Prof. Dr.-Ing. Ahmet CAN’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım

Tez çalışmam süresince olumlu fikirleri ile beni yönlendiren, Tez İzleme Komitesi üyelerinden Sayın Prof. Dr. Şükran DİLMAÇ ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Semiha ÖZTUNA’ya teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmam süresince desteğini esirgemeyen, kızım Aydenur KARAÇAVUŞ ve eşim Yrd. Doç. Dr. Kenan KARAÇAVUŞ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmama maddi destek veren Trakya Üniversitesi Araştırma Projeleri Komisyonuna teşekkürlerimi sunarım.

Berrin Karaçavuş

İÇİNDEKİLER

ÖZET

SUMMARY

ÖNSÖZ

ÇİZELGE LİSTESİ

ŞEKİL LİSTESİ

1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Güneş Enerjisinin Isı Şeklinde Depolanması	3
2.2. Güneş Enerjisi Depolama Yöntemleri	4
2.3. Literatür Araştırması	7
2.4. Tezin Amacı Ve Kapsamı	12
3. DENEY TESİSATININ TASARIMI	15
3.1. Isı Yükü Hesabı	16
3.2. Isı Toplama Ünitesinin Tasarımı İçin Kullanılan Yöntem	20
3.2.1. Isı toplama ünitesi hesabında kullanılan parametreler	27
3.3. Isı Depolama Ünitesinin Teorik Modellenmesi	28
3.3.1. Isı depolama ünitesi hacmi ve geometrisinin belirlenmesi	28
3.3.2. Isı aktarımını sağlayacak ısı değiştiricilerinin tasarlanması	29
3.3.3. Isı depolama ünitesinin yeraltındaki konumu	36
4. DENEY TESİSATININ TANITIMI	40
4.1. Güneş Enerjisi Toplama Ünitesi	42
4.2. Isı Depolama Ünitesi	43

4.2.1. Silindirik Enerji Deposunun Yeraltına Yerleştirilmesi	46
4.3. Isıtma sisteminde Kullanılan Pompalar	47
4.4. Hacim Isıtmasında Kullanılan Isıtıcı	48
4.5. Sistemin Otomatik Kontrol Ünitesi	48
4.6. Deney Tesisatında Kullanılan Diğer Elemanlar	50
4.7. Ölçüm Cihazları Ve Ölçümler	52
4.7.1. Ölçüm noktaları	52
4.7.2. Ölçüm Cihazları	54
5. SICAKLIK DAĞILIMLARI	57
5.1. Isı Depolama Ünitesi İçindeki Sıcaklıklar	57
5.2. Isı Depolama Ünitesi Çevresindeki Toprak Sıcaklıkları	59
5.3. Deneysel Sıcaklık Değerleri ile Teorik Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması	68
6. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ	71
6.1. Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Isıtma Sisteminin Enerji Ve Ekserji Analizi	72
6.1.1. Isı toplama ünitesinin enerji ve ekserji analizi	73
6.1.2. Isı depolama ünitesinin enerji analizi	75
6.1.3. Isı depolama ünitesinde depolanan toplam ısı miktarının hesaplanması	79
6.1.4. Isı depolama ünitesi için ekserji analizi	81
6.2. Enerji Ve Ekserji Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	83
6.2.1. Isı toplama ünitesi için enerji ve ekserji analizi sonuçları	83
6.2.2. Isı depolama ünitesi için enerji ve ekserji analizi sonuçları	85
7. EKONOMİK ANALİZ	89
7.1. Güneş Enerjisi Sistemlerinin Maliyeti	89
7.2. Güneş Enerjili Isıtma Sisteminden Faydalanma Oranları	91
7.3. Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Isıtma Sistemi İçin Ekonomik Analiz	95

7.4. Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Isıtma Sistemi İçin Optimum Toplayıcı Alanı	97
7.5. Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Isıtma Sistemi İçin Geri Ödeme Süresi	98
7.6. Kurulan Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Isıtma Sistemi İçin Ekonomik Analiz Sonuçları	99
8. HATA ANALİZİ	103
8.1. Kurulan Isıtma Sistemi İçin Hata Analizi	103
9. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	106
10. SONUÇLAR	115
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	123
EKLER	124
EK A. 2005 Yılı Ölçüm Sonuçları	125
EK B. 2006 Yılı Ölçüm Sonuçları	157
EK C 2005 Yılı'nın Bazı Günlerine Ait Isı Depolama ünitesi Su Sıcaklıkları Ve Değişik enerjileri	171

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Yapı elemanlarına ait U değerleri ve artırım sayıları	18
Çizelge 3.2. 2002 yılına ait en düşük dış hava sıcaklık ve ortalama şebeke suyu sıcaklık değerleri	19
Çizelge 3.3. Edirne İline ait, yatay birim yüzeye gelen aylık ortalama ışınım değerleri	27
Çizelge 3.4. Isı değiştiricileri tasarım parametreleri	31
Çizelge 3.5. Film sıcaklığına bağlı olarak, 1 ve 3 numaralı ısı değiştiricileri için depo tarafındaki hesaplama sonuçları	35
Çizelge 3.6. Isı değiştiricileri hesaplama sonuçları	35
Çizelge 4.1. Isı toplama ünitesine ait özellikler	42
Çizelge 4.2. Silindirik enerji deposunda yer alan ısı değiştiricilerine ait özellikler	44
Çizelge 4.3. Pompa karakteristik özellikleri	47
Çizelge 4.4. Ölçüm noktalarının koordinatları	53
Çizelge 7.1. Ekonomik analizde kullanılan parametreler	99

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin şeması	15
Şekil 3.2. Isıtma sistemi enerjileri	16
Şekil 3.3. Toplam ısı yükünün aylara göre değişimi	20
Şekil 3. 4. Silindirik güneş enerjisi deposu ve ısı değiştiricileri	30
Şekil 3. 5. Yeraltındaki silindirik ısı depolama ünitesi	37
Şekil 3. 6. Sayısal çözümlemede kullanılan ısı depolama ünitesi ve çevresindeki toprağın sonlu elemanlar modeli	37
Şekil 3. 7. Kum kalınlığına bağlı olarak ısı depolama ünitesi civarındaki toprak sıcaklığı	38
Şekil 3. 8. Isı depolama ünitesi üst yüzeyinin yeryüzüne olan mesafesine bağlı olarak depo merkezindeki su sıcaklık değeri	39
Şekil 4.1. Sistemin tesisat şeması	41
Şekil 4.2. Güneş enerjisi toplayıcıları	42
Şekil 4.3. Silindirik güneş enerjisi deposu ve elemanları	43
Şekil 4.4. Silindirik güneş enerjisi deposu ve elemanlarının imalat aşamaları	45
Şekil 4.5. Silindirik güneş enerjisi deposunun yeraltına yerleştirilmesi	46
Şekil 4.6. Tesisatta kullanılan pompaların bağlantı şekilleri	47
Şekil 4.7. Hacim ısıtması için kullanılan ısıtıcı	48
Şekil 4.8. Otomatik kontrol ünitesi panoları ve bağlantıları	49
Şekil 4.9. Kapalı genişleme tankı	50
Şekil 4.10. Tesisatta kullanılan ara elemanlar	51
Şekil 4.11. Silindirik depolama ünitesi ve çevresindeki ölçüm noktaları	53
Şekil 4.12. Sistemde kullanılan kaydedici	54
Şekil 4.13. Işınımölçer	55
Şekil 4.14. Diğer ölçüm cihazları	56
Şekil 5.1. Isı depolama ünitesi sıcaklıklarının aylara göre değişimi	57
Şekil 5.2. Isı depolama ünitesi civarındaki toprak sıcaklık değerleri	59
Şekil 5.3. Gelen ışınım ve su, kum, toprak, dış hava sıcaklıkları ortalama değerleri	60
Şekil 5.4. Depolama ünitesi içindeki su sıcaklık değerlerinin kullanım amaçlı sıcak	

su ile çekilen ısıya bağlı olarak değişimi	61
Şekil 5.5. Isı depolama ünitesi ve civarındaki 2005 yılı ölçüm sonuçlarına göre sıcaklık dağılımları	63
Şekil 5.6. Isı depolama ünitesi ve civarındaki 2005 yılı ölçüm sonuçlarına göre sıcaklık dağılımları	64
Şekil 5.7. Isı depolama ünitesi ve civarındaki 2005 yılı ölçüm sonuçlarına göre sıcaklık dağılımları	65
Şekil 5.8. Isı depolama ünitesi ve civarındaki 2006 yılı ölçüm sonuçlarına göre sıcaklık dağılımları	66
Şekil 5.9. Isı depolama ünitesi ve civarındaki 2006 yılı ölçüm sonuçlarına göre sıcaklık dağılımları	67
Şekil 5.10. 2005 yılına ait teorik ve deneysel sıcaklıklar	68
Şekil 5.11. 2006 yılına ait teorik ve deneysel sıcaklıklar	69
Şekil 5.12. Kum ve toprak ortalama sıcaklıklarının teorik ve deneysel sonuçları	70
Şekil 6.1. Isı depolama ünitesinin enerjileri	76
Şekil 6.2. Isı toplama ünitesinin η enerji ve Ψ ekserji etkenliğinin aylara göre değişimi	83
Şekil 6.3. Isı toplama ünitesinin enerji etkenliği- İşletme noktası parametresi	85
Şekil 6.4. Isı depolama ünitesinde farklı enerjilerin aylara göre değişimi	86
Şekil 6.5. Isı depolama ünitesinin enerji etkenlikleri	87
Şekil 6.6. Isı depolama ünitesinin net enerji ve ekserji etkenlikleri	87
Şekil 7.1. Gerekli ısı yükü ve kurulan sistemden sağlanan ısı yükünün aylara göre değişimi	93
Şekil 7.2. Kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminden faydalanma oranlarının aylara göre değişimi	93
Şekil 7.3. Hacim ısıtması için sistemden faydalanma oranları	94
Şekil 7.4. Kullanım amaçlı sıcak su ısıtması için sistemden faydalanma oranları	95
Şekil 7.5. Ekonomik görünüş sonuçları	100
Şekil 7.6. Kurulan ısıtma sistemi için optimum toplayıcı alanı	101
Şekil 8.1. Isı depolama ünitesi içinde, 1, 2, 3, 4 numaralı ölçüm noktalarındaki relatif hatalar	104
Şekil 9.1. Kum, toprak ve dış hava aylık ortalama sıcaklık değerleri	107

Şekil 9.2. Saat 23 ⁰⁰ 'deki kum, toprak ve dış hava aylık ortalama sıcaklık değerleri	108
Şekil 9.3. Edirne ilinde kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde gerekli ısı yüklerinin ve sistemden sağlanan ısı yüklerinin aylara göre değişimi	110
Şekil 9.4. Toplayıcı alanının gerekli ısı yüküne bağlı olarak değişimi	111
Şekil 9.5. Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin toplam maliyetinin gerekli ısı yüküne bağlı değişimi	112
Şekil 9.6. Değişik toplayıcı alanına sahip mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde, 40 yıllık ömür periyodu içinde sağlanan fayda	112

SİMGELER

α	Isıl yayılma sayısı, m^2/s
A	Yüzey, m^2
β	Toplayıcı eğim açısı, $^\circ$
β	Isıl genleşme sayısı, K^{-1}
$C_{p,a}$	Toplayıcıda dolaşan ısı taşıyıcı akışkanın sabit basınçtaki özgül ısı kapasitesi, kJ/kgK
$C_{p,KS}$	Kullanım amaçlı sıcak suyun sabit basınçtaki özgül ısı kapasitesi, kJ/kgK
$C_{p,ıs}$	Isıtıcıda dolaşan suyun sabit basınçtaki özgül ısı kapasitesi, kJ/kgK
C_S	Toplam maliyet, TL
C_A	Alana bağlı toplam maliyet, TL/m^2
C_E	Alandan bağımsız toplam maliyet, TL
C_y	Yakıt birim maliyeti, TL/kWh
d	Çap, m
d	İskonto oranı, %
D	Sarım çapı, m
δ	Denklinasyon açısı, $^\circ$
ΔT	Sıcaklık farkı, $^\circ C$
ΔT_{tm}	Ortalama logaritmik sıcaklık farkı, $^\circ C$
\dot{E}	Anlık ekserji, kW
E	Ekserji, kWh
E	Enlem açısı, $^\circ$
η	Enerji verimi, %
η_{op}	Toplayıcı optik verimi, %
F	Yıllık faydalanma oranı, %
f	Aylık faydalanma oranı, %
ϕ	Aylık ortalama saatlik kullanılabilirlik

$\bar{\phi}$	Aylık ortalama günlük kullanılabilirlik
G_{SC}	Güneş sabiti, W/m ²
h	Isı taşınım sayısı, W/ m ² K
\bar{H}	Yatay yüzeye gelen günlük ışınımın aylık ortalaması, kWh/ m ² -gün
\bar{H}_T	Toplayıcı yüzeyine gelen günlük ışınımın aylık ortalaması, kWh/ m ² -gün
\bar{H}_d	Aylık ortalama günlük yayılı ışınım, kWh/ m ² -gün
\bar{H}_0	Yatay birim düzleme gelen günlük atmosfer dışı güneş ışınımının aylık ortalaması, kWh/ m ² -gün
H_0	Yatay birim düzleme gün boyunca gelen atmosfer dışı güneş ışınımı, kWh/ m ² -gün
I	Akım, A
I	Yatay birim yüzeye gelen anlık global güneş ışınımı, W/ m ²
I_c	Toplayıcı birim yüzeyine gelen anlık global güneş ışınımı, W/ m ²
I_{Tc}	Toplayıcı birim yüzeyine gelen kritik güneş ışınımı, W/ m ²
i	Genel enflasyon oranı, %
i_y	Yakıt için enflasyon oranı, %
j	Yıl içindeki ay sayısı
k	Isı iletim sayısı, W/mK
\bar{K}_T	Aylık ortalama açıklık indeksi
Ψ	Ekserji verimi, %
L	Isı depolama ünitesinin yeryüzüne olan mesafesi, m
LCS	Ekonomik analiz periyodu içinde güneş enerjisinden sağlanan fayda, TL
\dot{m}_a	Toplayıcıda dolaşan ısı taşıyıcı akışkanın kütleli debisi, kg/s
\dot{m}_{is}	Isıtıcıda dolaşan suyun kütleli debisi, kg/s
\dot{m}_{KS}	Kullanım amaçlı sıcak suyun kütleli debisi, kg/s
M_S	Isıtma sisteminin performansında düşme oranı
μ	Dinamik viskozite, Pa.s
n	Yıl içindeki gün sayısı

N	Ay içindeki gün sayısı
Nu	Nusselt Sayısı
N_e	Ekonomik analiz periyodu, yıl
N_p	Geri ödeme periyodu, yıl
N_L	İpoteği kaldırma periyodu, yıl
P	Basınç, bar
P_1	İlk yılda yakıt maliyetinde sağlanan faydanın, sistemin tüm yaşamı boyunca yakıt maliyetinde sağlanan faydaya oranı
P_1	İlk yatırımın, sistemin tüm yaşamı boyunca ek kapital yatırımlarına oranı
Pr	Prandtl Sayısı
PWF	Şimdiki değer faktörü
q	Birim yüzey için ısı, kWh/m ²
\dot{Q}	Anlık ısı, kW
Q	Isı, kWh
R_v	Hurda değer oranı
Re	Reynolds Sayısı
\bar{R}	Eğik yüzeye gelen aylık ortalama güneş ışınımının yatay yüzeye gelen aylık ortalama güneş ışınımına oranı
\bar{R}_b	Eğik yüzeye gelen direkt ışınımın aylık ortalamasının yatay yüzeye gelen direkt ışınımın aylık ortalamasına oranı
R_n	Öğle vakti eğik yüzeye gelen aylık ortalama günlük ışınımın yatay yüzeye gelen ışınımına oranı
$R_{b,n}$	Öğle vakti eğik yüzeye gelen direkt güneş ışınımın yatay yüzeye gelen ışınımına oranı
$r_{d,n}$	Öğle vakti gelen yayılı ışınım miktarının günlük toplam ışınım miktarına oranı
$r_{t,n}$	Öğle vakti eğik yüzeye gelen ışınımın günlük toplam ışınımına oranı.
ρ	Yoğunluk, kg/m ³
ρ	Çevrenin yansıtma oranı
S	Işınımölçer hassasiyeti, $\mu V/Wm^{-2}$

s	Sarım sayısı
t	Zaman, s
T	Sıcaklık, °C
$\overline{X_c}$	Aylık ortalama kritik ışınlım oranı
U	Gerilim, μV
U	Isı geçiş sayısı, W/ m ² K
U ₁	Toplayıcı için ısı geçiş sayısı, W/ m ² K
U ₂	Toplayıcı için ısı geçiş sayısı, W/ m ² K ²
V _d	Depo hacmi, m ³
V _R	Rüzgâr hızı, m/s
w	Sarım adım aralığı, m
W	Pompa işletiminde tüketilen enerji, kWh
w	Saat açısı, °
w _s	Gün batış açısı, °
w' _s	Eğik yüzey için gün batış açısı, °
Z	Toplam artırım sayısı
Z _D	Birleştirilmiş artırım sayısı
Z _H	Yön artırım sayısı
Z _W	Kat yüksekliği artırım sayısı

İNDİSLER

0	Çevre (ölü durum)
1	1 numaralı ısı değiştirici
2	2 numaralı ısı değiştirici
3	3 numaralı ısı değiştirici
a	Dış hava
Ac	Toplayıcı yüzey
a,ort	Dış hava ortalama
c	Toplayıcı
cg	Toplayıcı giriş
cç	Toplayıcı çıkış
c,ort	Toplayıcı giriş-çıkış ortalama
d	Dış
d	Depolama ünitesi
dç	Depolama ünitesi çıkış
dg	Depolama ünitesi giriş
ds	Depolama ünitesi su
ds,max	Depolama ünitesi su maksimum
ds, ort	Depolama ünitesi su ortalama
dk	Depolama ünitesi kum
d,ort	Depolama ünitesi giriş-çıkış ortalaması
de,tem	Deneysel Temmuz
de,ağ	Deneysel Ağustos
de,ey	Deneysel Eylül
de,ek	Deneysel Ekim
de,ka	Deneysel Kasım
de,ar	Deneysel Aralık

de,oc	Deneysel Ocak
de,şu	Deneysel Şubat
de,ma	Deneysel Mart
de,ni	Deneysel Nisan
de,my	Deneysel Mayıs
de,k,ort	Deneysel kum ortalama
ds,ort	Depolama ünitesi su ortalama
de,t,ort	Deneysel toprak ortalama
dd	Depo dış
di	Depo iç
dg	Depolama ünitesi giriş
dç	Depolama ünitesi çıkış
d,net	Depolama ünitesi net
f	Faydalı
g	Giren
gel	Gelen
h	Hidrolik
ha	Konfor
h1	Hacim ısıtması
h1,grk	Gerekli hacim ısıtması
h1,ss	Sistemden sağlanan hacim ısıtması
ı	Isıtıcı
ı,ort	Isıtıcı giriş-çıkış ortalaması
i	İç
ıg	Isıtıcı giriş
ıç	Isıtıcı çıkış
i1	1.durum iç
i2	2.durum iç
k	Kum

kd	Kum dış
ki	Kum iç
k,ort	Kum ortalama
KS	Kullanım suyu
KS,ort	Kullanım suyu ortalama
KS,grk	Gerekli kullanım suyu
KS,ss	Sistemden sağlanan kullanım suyu
kzç,t	Topraktan kazanç
L	Aylık toplam
max	Maksimum
o	Artırımsız
on	Açma
off	Kapama
s	Su
S	Etkin güneş
sp	Spiral
ş	Şebeke
T	Taban
TK	Toplam kayıp
TKY	Yan yüzey toplam kayıp
TKT	Taban yüzeyi toplam kayıp
TKY1	1.durum yan yüzey toplam kayıp
TKY2	2.durum yan yüzey toplam kayıp
te,tem	Teorik Temmuz
te,ağ	Teorik Ağustos
te,ey	Teorik Eylül
te,ek	Teorik Ekim
te,ka	Teorik Kasım
te,ar	Teorik Aralık

te,oc	Teorik Ocak
te,şu	Teorik Şubat
te,ma	Teorik Mart
te,ni	Teorik Nisan
te,my	Teorik Mayıs
t,ort	Toprak ortalama
te,k,ort	Teorik kum ortalama
te,t,ort	Teorik toprak ortalama
y	Yalıtım
Y	Yan yüzey
Y1	Sıcak su kullanımını olduğu durum (1.durum)
Y2	Sıcak su kullanımını olmadığı durum (2.durum)
yi	Yalıtım iç
yd	Yalıtım dış
w	Boru yüzey
∞	Sonsuz

1. GİRİŞ

Günümüzde artan enerji tüketimine karşılık fosil kökenli enerji kaynaklarının azalması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi giderek artmaktadır. Fosil yakıtlara bağlı enerji kaynaklarının azalması, enerji tüketim maliyeti ve yakıt fiyatlarının artması, fosil yakıtların yanması sonucu oluşan hava kirliliği yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakları kullanan sistemler üzerinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarının hızlanmasını sağlamıştır. Yakıt fiyatlarının artması hem insanlarımızın hem de ülkemizin milli gelirini olumsuz yönde etkilemektedir. Düzenli ve konforlu bir yaşamın sürdürülebilmesi öncelikle ekonomik yönden güvenilir ve çevre ile uyumlu bir enerji altyapısının oluşturulmasına bağlıdır. Enerji altyapısında meydana gelebilecek aksaklıklar insanların yaşam düzeyini olumsuz yönde etkiler. Bu sebeple güvenilir ve ekonomik bir altyapının oluşturulması gerekir.

1970'li yıllarda yaşanan Dünya enerji krizi ile beraber tüm dünyada güneş enerjisi ile ısıtma ve soğutma çalışmaları başlatılmıştır. Dünya enerji krizi ile birlikte Türk ekonomisinin düzensiz ve ekonomik olmayan enerji altyapısı ile kalkınmışlık düzeyine ulaşmanın çok güç olacağı gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Ülke kaynaklarının ağırlıklı biçimde enerji yatırımlarına kaydırılması ile Türkiye'nin enerji dengesi son yıllarda hızlı bir gelişme sürecine girmiştir. Bu gelişmelerin arasında, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, enerji altyapısının yeni kaynaklara açılması, enerjinin daha verimli bir şekilde kullanılması, çevre kirliliğini önleyici ve enerji sektöründe verimliliği arttıran yeni teknolojilerin kullanılması sayılabilir.

Endüstriyel tesislerde ve konutlarda enerji ihtiyacı kullanıma bağlı olarak zaman içinde değişim göstermektedir. Bina sektöründe enerjinin yaklaşık % 50 değerinde kullanıldığı günümüzde, enerji ihtiyacını sınırlamak, binalarda enerji ihtiyacını azaltmak ve yenilenebilir enerjilerinin kullanım oranını arttırmak üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisi yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde alternatif bir enerji kaynağı durumundadır.

Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam

güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) değerindedir. Marmara Bölgesi için ise yıllık toplam güneşlenme süresi 2409 saat, ortalama toplam ışınım şiddeti 1168 kWh/m²-yıl değerindedir (EİE, 2006).

Güneş enerjisinin kullanılmasında yani, düşük sıcaklıklı ısı üretiminde depolama üzerine geliştirilmiş bilginin bugünkü düzeyi yönünden özgül ısı kapasitesinin ve dönüşüm ısısının kullanılması yöntemleri ağırlıklı olarak öne çıkmaktadır. Çevre bilinci ile hareket ederek, güneş enerjisi sistemlerini sadece kullanım suyu ısıtmasında değil, aynı zamanda ısıtmaya destek olarak da planlamak gerekmektedir. Yazın bol ve ucuz bulunan güneş enerjisinin kışın kullanılabilmesi için uygun ortamlarda mevsimlik depolanması gerekir. Güneş enerjisini mevsimlik depolayarak, ihtiyaç olduğunda binaların ısıtılması için kullanmak büyük enerji tasarrufu sağlayabilir. Mevsimlik depolamalı güneş ısıtma sistemleri özellikle toplu konut sitelerinin ısıtılmasında kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, güneş enerjisinin toprak altında depolanarak, ihtiyaç duyulduğunda hacim ısıtılmasında veya sıcak su ihtiyacının karşılanmasında kullanılması deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla toplayıcılarla toplanan güneş enerjisinin toprağın altına yerleştirilmiş silindirik su tankında depolandığı bir ısıtma sistemi tesis edilmiştir. Deneysel çalışma esnasında, ısı depolama ünitesi ve çevresi toprak içinde sıcaklıklar ölçülmüştür. Sıcaklık ölçüm sonuçları yardımı ile ısı depolama ünitesi ve çevresindeki aylık ortalama sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Isı depolama ünitesi ve çevresi toprak içerisindeki teorik sıcaklık dağılımları, QuickField Transient Thermal yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Aylık ortalama teorik sıcaklık değerleri ile ölçüm sonuçları ile belirlenen aylık ortalama sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Isı toplama ve ısı depolama ünitesinin enerji ve ekserji etkenliklerinin aylara göre değişimi verilmiştir. Kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Güneş Enerjisinin Isı Şeklinde Depolanması

Güneş enerjisi zamana bağlı bir enerji kaynağıdır. Gündüz var gece yoktur ve gün içinde zamana bağlı olarak değişim gösterir. Yazın çok kışın ise azdır. Buna rağmen enerji tüketimi sürekli dir. Hatta güneş ışınımının olmadığı ve az olduğu zamanlarda, enerji tüketimi daha fazladır. Bu nedenle güneş enerjisinin depolanması gereklidir.

Hacim ısıtma, konut ve işyerleri için sıcak su temini ve bina havasının iklimlendirilmesi gibi düşük sıcaklıktaki uygulamalar için güneş enerjisinin ısı şeklinde depolanması önemlidir. Düşük sıcaklıktaki güneş enerjisi uygulama sistemleri genelde çalışma sıcaklığının 1 bar basınçtaki suyun kaynama noktası 100 °C'yi geçmeyen sistemler olarak tanımlanırlar. Prensi p olarak, düşük sıcaklıkta enerjinin depolanabilmesi, güneş enerjisinin gündüz ve gece veya yaz ve kış kullanılmasına imkân verir.

Genel olarak güneş enerjisi depolama sistemlerinin en önemli yapısal elemanları ısı depolama ünitesi, ısı toplama ünitesi, ısı de ğiştiricileri, depolanan ısının kullanılabil ece ği ortam, kontrol sistemi ve yardımcı ısı kaynağıdır.

Bir ısı depolama sisteminde kullanılan ısı depolama maddesinde aranılan özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Kaygusuz, 1992):

- 1- Isı depolama maddesinin birim kütle veya hacmi için ısı depolama kapasitesi yüksek olmalıdır.
- 2- Çalışma sıcaklık aralığında maddenin özellikleri uygun olmalıdır.
- 3- Üniform sıcaklığa sahip olmalıdır.
- 4- Sıcaklık farklılıkları olmadan fazla miktarda ısıyı yükleyip boşaltabilmelidir.
- 5- Yükleme esnasında aldığı enerjinin tamamını boşaltma esnasında geri verebilmelidir.
- 6- Performans ve depolama kapasitesinde azalma olmaksızın pek çok sayıda yükleme ve boşaltma yapabilmelidir.
- 7- Yükleme ve boşaltma esnasında çevreye çok az ısı kaybı olmalıdır.

- 8- Isı depolama ömrü uzun olmalıdır.
- 9- Ucuz olmalıdır.
- 10- Korrozif, yanıcı ve zehirleyici olmamalıdır.

2.2. Güneş Enerjisi Depolama Yöntemleri

Isı enerjisi ısı depolama maddesinin iç enerjisindeki değişim sonucunda; duyulur ısı, gizli ısı ve termokimyasal depolama şeklinde tanımlanır. Genel olarak, birim hacimdeki iç enerji değişiminin fazla olduğu ısı depolama maddesi kullanılması durumunda istenilen ısı miktarını depolamak için gereken hacim azalır. Güneş enerjisinin 0- 90 °C gibi düşük sıcaklıkta depolama sistemleri, aşağıda sırası ile tanıtılmıştır.

Duyulur Isı Depolaması: Isı depolama maddesinin sıcaklığındaki değişim sonunda ortaya çıkan ısıdır. Isı; katı, sıvı ve ikili (katı-sıvı) ortamda depolanabilir. Duyulur ısı depolayan maddelerden en çok kullanılanları su ve çakıl taşlarıdır. Her iki depolama maddesi de ucuz ve bol bulunurlar. Kullanım teknolojileri iyi bilinmektedir. Duyulur ısı depolamada, depoya ısı yükleme ve ısı çekme esnasında depolama maddesinin sıcaklığı değişir.

Duyulur ısı depolama sistemlerinin etkili olması kullanılan depolama maddesinin özgül ısısına ve hacim önemli ise yoğunluğuna bağlıdır. Duyulur ısı depolama sistemlerinin en cazip özelliklerinden birisi de yüklediği ısıyı boşaltabilmesidir. Duyulur ısı depolama maddelerinin ısıyı depolama ve boşaltma özellikleri sistemin ömrü boyunca devam eder.

Duyulur ısı depolama sistemlerinin genel işletme problemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1- Isı depolama esnasında depolama sıcaklığı sürekli olarak arttığından sistemdeki ısı kayıpları fazladır. Bu nedenle sistemde iyi bir yalıtım gereklidir ve bu da sistemin maliyetini arttırmaktadır.

- 2- Sistemden ısı çekilmesi yani boşaltma durumunda depolama sıcaklığı sürekli olarak düştüğünden ısı akış dağılımı oldukça küçüktür.

Pratikte depolama tankında duyulur ısı depolama maddesi su kullanılması durumunda, su sıcaklığı özellikle dikey boyutta üniform olmayacaktır. Soğuk su deponun alt tarafında, sıcak su ise deponun üst tarafında olacağından bir tabakalaşma oluşur.

Duyulur ısı depolama maddesi olarak kum, beton ve çeşitli metaller de kullanılabilir. Ekonomik özelliklerinden dolayı en çok çakıl taşları kullanılmaktadır. Havalı ısıtma sistemlerinde ve seralarda güneş enerjisinin depolanması, daha ziyade çakıl taşları ile yapılır. Hacimsel özgül ısı düşük olduğundan belli bir miktarda ısı enerjisinin depolanabilmesi için suya göre daha büyük hacim gerektirmektedirler.

Gizli Isı Depolaması: Maddelerin, faz değişimi sırasında iç enerjilerindeki artış ile sabit sıcaklıkta ısı depolamasıdır. Gizli ısı depolama maddeleri, anorganik ve organik bileşiklerdir. Gizli ısı depolama sistemlerinde gerekli depo hacmi, duyulur ısı depolama sistemlerindeki gerekli depo hacminden daha küçüktür. Diğer bir avantajı da, depodan ısı çekilmesi sırasında depo sıcaklığının yaklaşık sabit değerde kalmasıdır.

Gizli ısı depolamasında en çok katı- sıvı faz değişiminden yararlanılır. Su düşük sıcaklıkta eridiğinden, gizli ısı depolamasında pek kullanılmaz.

Kimyasal Isı Depolama: Isının kimyasal olarak depolanması termokimyasal ve elektrokimyasal şekilde gerçekleştirilir. Termokimyasal depolama sistemleri, endotermik kimyasal bir reaksiyon meydana getirmek için dışarıdan ısı alırlar ve daha sonra oluşan bu reaksiyon aldığı ısıdan daha fazla bir ısıyı reaksiyon sonunda ortama verir ve tersinir olarak sürekli bir şekilde meydana gelir. Isının bataryalarla depolanması elektrokimyasal depolamadır.

Mevsimlik Depolama: Büyük ölçekli güneş enerjili ısıtma sistemlerinde, binalar için bölgesel ısıtma ve sıcak su ihtiyacını karşılamak üzere, geniş boyutlu depolama tesislerine gerek vardır. Bu depolama üniteleri toprakta bulunan kutular olabilir. Büyük ölçekli depolama tesisleri, yazın depolanmış güneş enerjisinin kışın kullanılmasına olanak verir. Zaman aralıklarında, depodan kayıplar meydana gelmektedir.

Isı depolama üniteleri, büyük yeraltı su depolama tankları, mağaralar ve toprak içinde dolgulu su kuyularıdır. Toprakta, kumda, kilde ve kayalarda ısı enerjisi depolanabilir. Bu yöntem ile enerji ısı depolama ortamına eklenebilir ve ısı depolama ortamından taşınabilir. Isı aktarımları, yeraltına yerleştirilmiş borulardan ısı taşıyıcı akışkanın dolaştırılması ile gerçekleştirilir. Bu borular, kuyuların içine belirli aralıklarla dikey ve yatay yerleştirilmiş U borulardır. Isı enerjisi doldurma ve boşaltma oranları yeraltına yerleştirilmiş boruların alanlarına ve çevresi toprak ile olan ısı transferine bağlıdır. Eğer depolama ortamı gözenekli ise enerji aktarımı, buharlaşma ve yoğuşma ile ve oluklardaki suyun hareketi ile olur. Tam bir analiz için ısı ve kütle transferinin her ikisi birden göz önünde bulundurulmalıdır. Depolama üniteleri çoğunlukla yalıtılmazlar.

Bir diğer mevsimlik güneş enerjisi depolamada kullanılan yöntem akü ferli sistemlerdir. Akü ferler, toprak altında, hidrolik geçirgenliği yüksek yeraltı suyu ile kaplı, geniş boyutlu kum, kaya, çakıl, kumtaşı veya kireçtaşı tabakalarından oluşmaktadır. Akü fer içinde herhangi bir bölgede bulunan, su geçirmez tabakanın altında veya üstünde su akışının düşük olduğu ortam, birincil ısı depolama ortamı olarak kabul edilir. Bu durumda, yeraltı suyunun emilmesi veya basılması için akü fer içerisine iki veya daha fazla kuyu grupları açılır. Soğuk yeraltı suyu, doldurma dönemleri esnasında, soğuk kuyudan çekilmektedir. Güneş enerjisi ile ısıtılır ve sıcak kuyuya basılır. Isı boşaltma dönemlerinde ise akış yönü ters çevrilir. Kuyularda farklı akış yönlendirmeleri, enjeksiyon boruları ile donatılmış pompalar aracılığı ile yapılmaktadır (Schmidt vd., 2003).

Pratikteki sorun, akü ferli sistemlerin yalıtım gerektirmesidir. Depolama alanındaki oluklarda suyun akış hızı daha ziyade toprak maddesi ile ısıtıcı suyun kimyasal tepkimesi ile sınırlıdır (Duffie ve Beckmann, 1991).

2.3. Literatür Araştırması

Toprak kaynaklı ısı pompaları ile toprak enerjisinin kullanılmasına ek olarak güneş enerjisinin toprakta depolanması düşüncesi yeni değildir. 1960'lı yıllarda başlayan projeler 1970'li yıllarda dünya enerji krizi ile hızlanmıştır. Uluslar arası Enerji Ajansı, 1979'da güneş enerjisi ile ısıtma ve soğutma programları başlatmıştır. 1979'dan bu yana birçok proje gerçekleştirilmiştir.

Shelton, 1975, bir konutun altında bulunan yarı küresel izole edilmemiş ısı deposu ile jeolojik yapı arasındaki ilişkiyi teorik olarak incelemiştir. Yeraltında bulunan yarı küresel enerji deposu problemi analitik ve nümerik yoldan çözmüştür.

Kakaç ve Yener, 1979, güneş enerjisinin ısı şeklinde depolama yöntemlerinin mukayeselerini yapmışlardır. Güneş enerjisinin gerek duyulur ısı gerekse gizli ısı olarak depolanmasında kullanılmak üzere çeşitli verileri içeren tabloları vermişlerdir.

Lund ve Kangas, 1983, Finlandiya iklim şartlarında mevsimlik enerji depolu güneş enerjisi destekli bir ısıtma sisteminin net enerji analizini yapmışlardır. Isıtma sistemi elemanları, güneş toplayıcıları, ısı depolama ünitesi, ısı pompası, ısıtılacak ortam ve sisteme ek ısı sağlayan ısı kaynağından oluşmaktadır. Tek camsız düz plakalı ve parabolik olmak üzere iki farklı tipte güneş toplayıcısı kullanmışlardır. Toplayıcılar evlerin çatılarına güneye dönük olarak yerleştirilmiştir. Kullanılan toplayıcı alanı 500-3000 m² arasında, ısı depolama hacmi ise kayalara açılmış olup 500- 3000 m³ arasında değişmektedir. Depoların enerji kapasiteleri su sıcaklığına bağlı olarak 40 ve 800 GJ arasında değişmektedir. Toprağa ve çevreye ısı kayıplarını azaltmak için silindirik depo çevresine dikey 22 m derinliğinde 36 tane delik açılmıştır. Isı pompasının evaporatöründen soğuyarak geri dönen su bu deliklere aktarılmıştır. Isı depolama ünitesinden çevreye kaybolan ısının % 10- 20'sini bu deliklerdeki su tutmaktadır. Depo su sıcaklığı 50 °C'nin üstüne çıktığı zamanlarda su direkt olarak ısıtılacak mahalde dolaştırılır. Daha düşük sıcaklıklarda ise ısı pompası ve konvansiyonel ısıtma kazanı kullanılır. Konutların ısı ihtiyacı, bina ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su ile birlikte 1800 GJ olup, 100 m² bir dairenin yıllık ısı ihtiyacı 40 GJ'dür. Isıtma sisteminin enerji analizi, ısı pompasız düz plakalı toplayıcılar, ısı pompalı düz plakalı toplayıcılar, ısı pompasız parabolik toplayıcılar ve ısı pompalı parabolik toplayıcılar için

hesaplanmıştır. Isı pompasız düz plakalı ısıtma sisteminin üç farklı depo hacmi için geri ödeme süresi en az hesaplanmıştır.

Lund ve Östmann, 1985, güneş enerjisinin toprak altına yerleştirilmiş bulunan silindirik bir ısı değiştiricisine aktarılması ve ısıtma mevsimlerinde ısı pompası desteği ile konutların ısıtılmasında ısı depolama tesisatının performansının hesaplanması için sayısal bir model geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonunda 35 m²/konut toplayıcı alanı, 550 m³/konut depo hacmi ve 500 konutluk bir sitenin toplam ısı yükünün % 70'i güneş enerjisinden karşılandığı hesaplanmıştır.

Brunström ve Larson, 1986, güneş toplayıcıları, kaya mağaralar, konutlar ve yardımcı ısıtma sisteminden oluşan bir ısıtma sistemini İsveç-Lykebo' da 1983'te kurmuş ve kurduğu sistem üzerinde ölçümler yapmıştır. Bu sistem bina ısıtması ve sıcak su kullanımı için tasarlanmıştır. Toplayıcı alanı 4320 m², mağaraların mevsimlik depolama kapasitesi 100000 m³'tür. Sistemde yalıtım kullanılmamıştır. Özellikle mağaranın etrafındaki kayanın depolama kapasitesinden faydalanılmıştır. Su içinde, üstten aşağıya doğru yaklaşık 80 °C ile 30 °C arasında tabakalaşma oluşmuştur. Isınan suyun yoğunluk değerinin düşmesi ile depo hacmi içinde yukarıya doğru hareket etmektedir. Bu sistem güneş enerjisi desteğinde kaya mağaraların mevsimlik enerji depoları olarak kullanımı sonucu, diğer ısıtma sistemlerine alternatif olduğu gözlemlenmiştir.

Lund ve Peltola, 1987, Helsinki'de 1981- 1982'de kurulan Kerava güneş köyünde bulunan ısıtma sisteminde bir yıl boyunca ölçümler yapmışlardır. Ölçümler Eylül 1983-Ağustos 1984 arasında yapılmıştır. Güneş köyünün enerji ihtiyacı 550 MWh değerindedir. Isıtma sistemi, kayalara açılmış 1500 m³'lük su dolu silindirik bir enerji deposu, bu depo etrafına açılmış toplam 11000 m³'lük boru şeklinde enerji deposu, 240 kW'lık elektrikle çalışan ısı pompası ve 200 kW'lık elektrikle çalışan ısıtma kazanı ve evlerin çatılarına yerleştirilmiş toplayıcılardan oluşmaktadır. Deneysel sonuçlar KERKONT benzeşim programı çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Toprak sıcaklık dağılımı, saatlik güneş ışınımı değerleri ve dış hava sıcaklığı program girdileri olarak kullanılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçların karşılaştırılması sonucunda elektrik ihtiyacında en yüksek farklılık aralık ve ocak aylarında olduğu gözlenmiştir.

Bankston, 1988, mevsimlik depolamalı güneş enerjili ısıtma sistemlerinde bulunan depolama ünitelerinin tasarım ve performansını çok yönlü olarak araştırmıştır. İsveç'te

sondaj kuyulu depolama sistemleri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Toprak içinde 2- 6 m arasında yatay olarak duran kaya tabanı içinde, 65 m derinliğinde 120 sondaj kuyusu açtırmıştır. Kayanın toplam hacmi 10^5 m^3 'tür. Binanın gerekli ısı yükünün % 60'ı bu sistem ile karşılanmıştır.

Metz, 1984, New York'da bulunan Brokhaven Ulusal Labaratuvarında güneş enerjisi destekli toprakaltı enerji depolu bir ısıtma sisteminin performansını araştırmışlardır. Araştırma programında, 5 farklı alana 5 farklı tipte serpantin boru toprakaltına yerleştirilmiştir. Sistemin deneysel verileri GROCS isimli bilgisayar benzeşim programı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Isıtma sistemi için 140 m^2 'lik bir ev yapılmış, evin ısı yükü TRNSYS benzeşim programı kullanılarak $19 \times 10^6 \text{ J/}^\circ\text{C}$ - gün olarak hesaplanmıştır. Düşük sıcaklıkta çalışan tek camlı düz toplayıcılar kullanılmıştır.

İnallı ve Ünsal, 1991, güneş toplayıcılarında toplanan ısıyı toprak içerisine açılmış deliklere yerleştirilen uzun borulardan akışkan dolaştırılması esasına dayalı ısı deposunun davranışını belirleyen geçici rejim ısı iletimi probleminin formülasyonunu yapmışlardır. Probleme sonlu farklar yöntemi uygulanarak boru cidar sıcaklığı ile toprak içerisinde sıcaklık dağılımı elde edilmiştir.

Ishikava vd., 1992, yeraltında bulunan tüp şeklindeki bir ısı deposunun ısı performansını araştırmak için üç boyutlu problemin diferansiyel denklemini yazmışlar, yazılan denklemleri sonlu farklar yöntemi kullanarak bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelde, toprak yüzeyinin dış hava ile ısı alışverişini incelemişlerdir.

İnallı, 1998, yeraltında bulunan silindirik depo ile güneş enerjili ısıtma sisteminin teorik analizini yapmıştır. Depo çevresinde sıcaklık dağılımı iki boyutlu olarak alınmıştır. Isı transferi probleminin, sonlu kompleks fourier dönüşüm tekniği ve sonlu farklar metodu uygulanarak çözümünü yapmıştır. Çalışmada, ısı yükü 25- 100 ev olarak değiştirilmiştir. Toplayıcı alanının etkisini, depo hacmini, ev sayısını ve deponun yeryüzüne olan mesafesini İstanbul ili için araştırmıştır. Deponun yeryüzüne olan mesafesi 0- 2 m arasında depo içindeki su sıcaklık değerinin artış gösterdiğini, deponun yeryüzüne olan mesafesi 2 m'den yukarı olunca depo içi su sıcaklık değerlerinin eşit kaldığını belirlemiştir.

Chung vd., 1998, TRNSYS simülasyon programından faydalanarak Kore iklim şartları için merkezi güneşli ısıtma sisteminin ekonomik ve performans analizini

yapmışlardır. 184 m² toplayıcı alanı ve 600 m³ depo hacminde toplam ısı yükünün % 39'dan fazlası güneşten karşılanmıştır. Isı depolama ünitesi yeryüzündedir. Sistemin geri ödeme süresi 25 -30 yıl arasında belirlenmiştir.

Kaygusuz, 2000, Karadeniz Bölgesi için ısı pompalı güneşli ısıtma sisteminin deneysel ve teorik araştırmasını yapmıştır. Güneş enerjisini gizli ısı olarak depolayarak ısı pompası desteği ile bina ısıtması için kullanmıştır. Isı pompasız sistemin, Karadeniz Bölgesi için bina ısıtmasında faydalanma oranının düşük olduğunu, Isı pompalı sistemde faydalanma oranının artış gösterdiğini tespit etmiştir.

Eskin, 2000, İzmir'de kurulan, silindirik parabolik toplayıcı, ısı depolama tankı, yardımcı ısıtıcı ve ısıtılacak ortamdan oluşan bir güneş enerjili ısıtma sisteminde elde edilen deneysel sonuçlar yardımı ile simülasyon çalışması yapmıştır. Toplayıcı ve ısı depolama tankı için enerji ve ekserji analizi geçici rejimde düşünülmüştür. Toplayıcı ve yükün kütleli debisi ve sıcaklık dağılımının sistem performansı üzerine etkisi tartışılmıştır.

Yumrutaş ve Ünsal, 2000, Yeraltına yerleştirilmiş yarı küresel bir tank içerisinde mevsimlik enerji depolamalı güneş destekli ısı pompalı bir hacim ısıtma sisteminin periyodik performans ortalaması analitik ve bilgisayar metotları kullanılarak araştırmışlardır. Gaziantep ili için yarı küresel tanktaki su sıcaklıklarını ve aylık toplanan güneş enerjilerini belirlemişlerdir.

Nordell ve Hellström, 2000, düşük sıcaklıktaki bir binayı ısıtmak için kullanılan güneş enerjili mevsimlik depolamalı bir sistemin performansını araştırmışlardır. Bu amaçla TRNSYS ve MINSUN paket bilgisayar programları kullanmışlardır. Bu çalışmayı, Anneberg'te 1080 MWh yıllık ısı yükü olan 90 müstakil planlanmış ev için uygulamışlardır. Isı yükünün % 42'si güneş enerjisinden sağlanmıştır.

Melis ve Spate, 2000, Jülich güneş yerleşkesinde, 136 öğrenci yataklı inşa edilen 23 ev için bilimsel araştırma yapmışlardır. Isıtma sistemi 1200 m²'lik düzlem toplayıcılardan ve yeraltında bulunan yalıtılmış 2500 m³'lük depolama tankından oluşmaktadır. Toplam ısı yükünün % 50- 60'ı bu sistem ile sağlanmıştır.

Singh vd., 2000, parabolik toplayıcı/alıcı ve Rankin ısı makinesinden oluşan sistemde enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Parabolik toplayıcı için ekserji verimi % 29,03 ve enerji verimi % 67,35 belirlemişlerdir. Depolama ünitesine ait ısı

değiştiricilerinin ekserji etkenliklerini % 96,424 ve ekserji kayıplarını % 3,577 olarak belirlemiştir.

Dinçer, 2002, binalarda ısı enerji depolama sistemlerini tanıtmıştır. Isıl enerji depolama sistemleri ve uygulamaları için farklı teknik durumları ve ölçütleri tartışmıştır. Depolama sistemlerinin enerji ve ekserji analizi denklemlerini vermiştir.

Koroneos vd., 2003, yenilenebilir enerjili ısı güç sistemlerinde ekserji analizi yapmıştır. Güneş enerjili, rüzgâr enerjili ve jeotermal enerjili ısı güç sistemleri için ekserji denklemlerini vermiştir. Toplayıcı için ekserji etkenliğini %29 olarak belirlemiştir. Toplayıcı giriş sıcaklığı 230 °C ve çıkış sıcaklığı 288,5 °C'dir. Dış hava sıcaklığı 30 °C olarak alınmıştır.

Luminosu ve Fara, 2004, düzlemsel güneş toplayıcıları için ekserji analizi ile optimum işletme durumlarını belirlemiştir. Enerji etkenliğini ısı taşıyıcı akışkanın kütsel debisinin, toplayıcı çıkış sıcaklığını ise toplayıcı alanının fonksiyonu olarak düzlemsel toplayıcılarda optimum işletme durumlarını belirlemiştir. Toplayıcının enerji verimini % 43, ekserji verimini % 3,6 olarak belirlemiştir.

Schmidt vd., 2004, 1995 yılında Hamburg'ta mevsimlik güneş enerjisi depolamalı merkezi ısıtma sistemi planlamış ve uygulamaya koymuşlardır. Yıllık hacim ısıtması ve sıcak su ihtiyacının % 50'den daha çok kısmı güneş enerjisinin mevsimlik depolanması ile sağlanmıştır.

Uçar ve İnallı, 2005, Adana, Elazığ, İstanbul ve Trabzon iklim şartlarında, silindirik ve trapez olmak üzere yeraltına yerleştirilmiş iki depo tipi için mevsimlik güneş enerjisi depolamalı merkezi ısıtma sisteminin simülasyonunu yapmışlardır. 1, 50, 500 ev için ısı yükü büyüklüğü değiştirilmiştir. Isıtma sisteminin geri ödeme süresi 25 - 30 yıl arasında belirlenmiştir. Her iki depo tipi ve toplayıcı alanına göre güneşten faydalanma oranları ve güneşten sağlanan faydanın ekonomik değeri belirlenmiştir. Trapez depo tipinde bu değerlerin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En büyük güneşten faydalanma oranına, Adana ilinde ulaşılmıştır.

2.4. Tezin Amacı ve Kapsamı

Fosil kökenli yakıt kaynaklarının azalması ile yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır. Çevre bilinci ile hareket ederek, güneş enerjisi sistemlerini sadece kullanım suyu ısıtmasında değil, aynı zamanda ısıtmaya destek olarak da planlamak gerekmektedir. Yazın bol bulunan güneş enerjisinin mevsimlik depolanarak, ihtiyaç olduğunda binaların ısıtılması için kullanmak büyük enerji tasarrufu sağlayabilir.

Güneş enerjisi yüzündeki çukurlarda ve çelik tanklarda, mağaralarda, kayalara açılmış dikey kuyularda, yeraltında çelik tanklarda, toprağa gömülü dikey ve yatay borularda, akü ferlerde, yeraltında beton tanklarda depolanmaktadır. Güneş enerjisinin yeryüzünde depolanması durumunda kış mevsimi boyunca dış hava sıcaklığının düşük olması, gece ve gündüz sıcaklıklarının ani olarak değişmesi kayıpların artmasına, kayıpların artması ise depo verimini düşürmektedir. Yeraltı toprak sıcaklığının dış hava şartlarından az etkilenmesi ve ısıtma mevsiminde depo sıcaklığının depo çevresindeki jeolojik yapının sıcaklığından düşük olması durumunda jeolojik yapının depoyu ısıtması yeraltında depolamayı cazip hale getirmektedir.

Türkiye’de son 10- 15 yıl içinde mevsimlik güneş enerjisi depolama üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Yapılan çalışmalar genelde teorik düzeyde bulunmaktadır. Ayrıca depolama ünitesinin yeryüzünde olduğu durumlarda, çeşitli toplayıcı firmaları bazı iller için hem bina hem de kullanım için sıcak su ısıtması olmak üzere toplam ısı ihtiyacını karşılama yüzdelerini vermektedirler. Edirne iklim şartları için böyle bir çalışma mevcut değildir.

Bu çalışmada, güneş enerjisinin toprak altında depolanarak, ihtiyaç duyulduğunda bina ısıtılmasında veya sıcak su ihtiyacının karşılanmasında kullanılması deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla toplayıcılarla toplanan güneş enerjisinin toprağın altına yerleştirilmiş silindirik ısı depolama ünitesinde mevsimlik depolandığı bir ısıtma sistemi tesis edilmiştir. Deneysel çalışma esnasında, ısı depolama ünitesi ve çevresi toprak içinde sıcaklıklar, dış hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve ışıınım değeri ölçülmüştür. Saatlik ölçüm sonuçları yardımı ile yeraltında bulunan silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresindeki sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Isı toplama

ünitesinde ısı toplayıcı akışkan ile toplanan enerjilerin aylara göre değişimi belirlenmiştir. Isı toplama ünitesinin enerji ve ekserji etkenliğinin aylara göre değişimi hesaplanmıştır. Isı depolama ünitesine, ısı taşıyıcı akışkan ile aktarılan aylık toplam enerji değerleri hesaplanmıştır. Isı depolama ünitesinden hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su ile çekilen aylık toplam enerjiler belirlenmiştir. Silindirik enerji deposu ve etrafındaki kum hacminden oluşan silindirik ısı depolama ünitesinde depolanan toplam enerjilerin aylara göre değişimi belirlenmiştir. Hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su ile enerji çekilmesi durumunda, topraktan sağlanan toplam enerji kazancının aylara göre değişimi belirlenmiştir. Isı depolama ünitesine ait enerji ve ekserji etkenliklerinin aylara göre değişimi belirlenmiştir. Kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu çalışma on bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, tez için genel bir giriş yapılmıştır. İkinci bölümde, güneş enerjisinin depolaması üzerine kuramsal bilgiler ve mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemleri için literatür araştırması verilmiştir.

Üçüncü bölümde, binada hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su temini için gerekli toplam ısı yükü, ısı toplama ve ısı depolama ünitesinin tasarım hesapları verilmiştir. Geçici rejimde toprak içersinde bulunan silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresindeki sıcaklık dağılımı için QuickField Transient Thermal yazılımı kullanılarak sayısal çözümlenme yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin tesisat elemanları tanıtılmıştır. Otomatik kontrol üniteleri ve ölçüm cihazları açıklanmıştır. Yeraltında bulunan silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresindeki ölçüm noktalarının koordinatları verilmiştir.

Beşinci bölümde, saatlik ölçüm sonuçları yardımı ile yeraltında bulunan silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresindeki aylık ortalama sıcaklık dağılımları ve aylık ortalama dış hava sıcaklıkları verilmiştir. Üçüncü bölümde verilen başlangıç ve sınır şartlarına göre QuickField Transient Thermal yazılımı kullanılarak belirlenen teorik sıcaklık dağılımları ile deneysel sıcaklık dağılımları mukayese edilmiştir.

Altıncı bölümde, kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde enerji ve ekserji etkenlikleri için teorik denklemler verilmiştir. Saatlik ölçüm sonuçları ve verilen denklemler yardımı ile hem ısı toplama ünitesinin hem de ısı depolama

ünitesinin enerji ve ekserji etkenliğinin aylara göre değişimi belirlenmiştir. Kurulan ısıtma sisteminde, enerji etkenliğini etkileyen etmenler incelenmiştir.

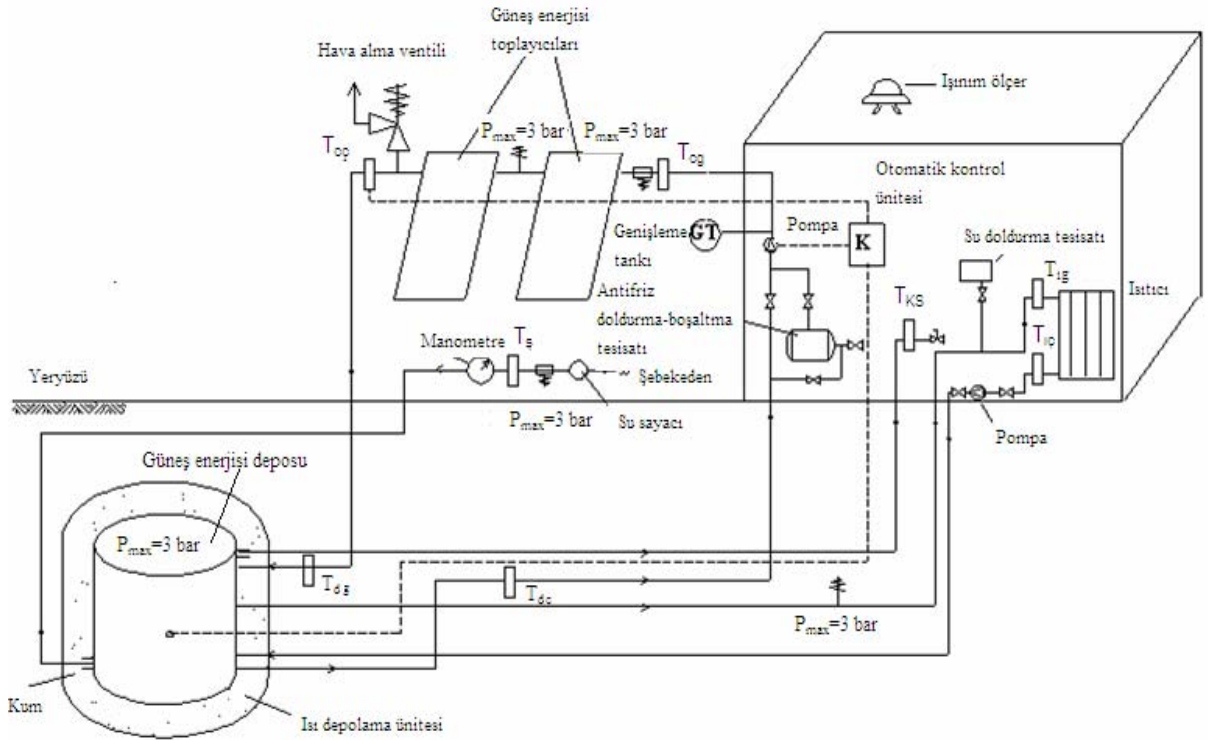
Yedinci bölümde, kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır. Ekonomik analiz, $P_1 - P_2$ yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kurulan ısıtma sisteminden aylık faydalanma oranları ve yıllık faydalanma oranı belirlenmiştir. Kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemi için optimum toplayıcı alanı hesaplanmıştır.

Sekizinci bölümde, ölçmelerde karşılaşılan hata türlerinden bahsedilmiştir. Kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde kullanılan ölçme aletlerinin hassasiyetleri verilmiştir. Isı depolama ünitesi içinde bulunan ölçüm noktalarındaki deneysel ve teorik su sıcaklıklar için relatif hata hesaplanmıştır.

Dokuzuncu bölümde, kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemi için elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Kurulan ısıtma sisteminde, Temmuz 2005 – Mayıs 2006 ölçüm sonuçları ve hesaplanan değerler yardımı ile Edirne ili için genel bir yaklaşımda bulunulmuştur. Ayrıca bu çalışmada incelenmeyen fakat araştırmaya değer konular ve öneriler yer almaktadır. Onuncu bölümde ise genel sonuçlar verilmiştir.

3. DENEY TESİSATININ TASARIMI

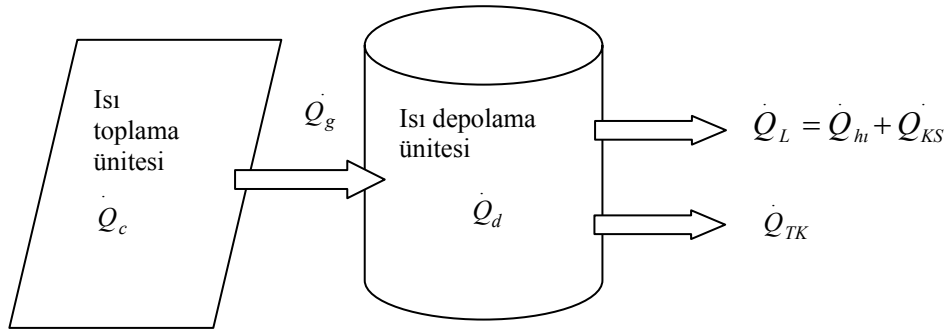
Hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını karşılamak üzere mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemi ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel tesisatı iki ana bölüme ayrılmıştır. Birinci bölüm ısı toplama ünitesidir. İkinci bölüm ise silindirik ısı depolama ünitesidir. Silindirik ısı depolama ünitesi yeraltına yerleştirilmiştir. Silindirik ısı depolama ünitesi, içinde ısı değiştiricilerinin yer aldığı silindirik güneş enerjisi deposu ve etrafındaki kum hacminden oluşmaktadır. Şekil 3.1.'de mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin tesisat elemanları verilmiştir.



Şekil 3.1. Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin şeması

3.1. Isı Yüğü Hesabı

Hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını karşılamak üzere güneş enerjisinin mevsimlik depolandığı bir ısıtma sisteminin teorik modellenmesi yapılmıştır. Bu amaç ile toplayıcılarda ısı taşıyıcı akışkan ile toplanan güneş enerjisi yeraltında bulunan silindirik ısı depolama ünitesine aktarılmıştır. Hacim ısıtmasının gerekli olmadığı dönemde, ısı depolama ünitesine aktarılan enerjinin bir kısmı sadece kullanım amaçlı sıcak su için tüketilmiş geri kalan kısmı ise ısı depolama ünitesi ve civarında depolanmıştır. Genel olarak, sistem tasarımında kullanılan enerjiler Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Isıtma sistemi enerjileri

Sistem tasarımında, ısı depolama ünitesine giren ısı \dot{Q}_g , gerekli ısı yükü \dot{Q}_L , depolanan ısı \dot{Q}_d ve ısı depolama ünitesinden toprağa olan ısı kaybı \dot{Q}_{TK} olmak üzere aşağıdaki eşitlik göz önünde bulundurulmuştur.

$$\dot{Q}_g = \dot{Q}_d + \dot{Q}_L + \dot{Q}_{TK} \quad (3.1)$$

Toplam ısı yükü \dot{Q}_L , hacim ısıtması için gerekli ısı yükü \dot{Q}_{hi} ve kullanım amaçlı sıcak su için gerekli ısı yükü \dot{Q}_{KS} 'den oluşmaktadır.

Hacim ısıtması için gerekli anlık ısı yükü \dot{Q}_{hi} , artırımsız ısı kaybı \dot{Q}_o ve toplam artırım sayısı Z 'e bağlı olarak aşağıdaki gibi verilir.

$$\dot{Q}_{hi}(t) = Z \dot{Q}_o(t) \quad (3.2)$$

Artırımsız ısı kaybı \dot{Q}_o , yapı bileşeninin toplam ısı geçiş sayısı U , yapı bileşeninin alanı ve yapı bileşeninin iki tarafındaki ortam sıcaklıklarının farkına bağlı olarak (3.3) eşitliği ile verilmiştir (MMO, 2004).

$$\dot{Q}_o(t) = U A \Delta T(t) \quad (3.3)$$

Toplam artırım sayısı Z , birleştirilmiş artırım sayısı Z_D , yön artırım sayısı Z_H ve kat yüksekliği artırım sayısı Z_W 'ye bağlı olarak aşağıdaki ifade ile verilmiştir.

$$Z = 1 + Z_D + Z_H + Z_W \quad (3.4)$$

Hacmi oluşturan yapı elemanlarına ait U değerleri ve artırım sayıları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yapı elemanlarına ait U değerleri ve artırım sayıları (MMO,2004)

a) yapı elemanlarına ait U değerleri		b) artırım sayıları		
Yapı elemanı	U W/m ² K	Z _D	Z _H	
			GB	KB
Dış duvar	0,6	7	-5	+5
Tavan	0,4			
Taban	0,6			
Kapı	5,5			

Hacim ısıtması için gerekli anlık ısı güç, ısıtıcı için toplam ısı geçiş sayısı U_i , ısıtıcı alanı A_i ve konfor sıcaklığı ile dış hava sıcaklık farkına bağlı olarak (3.5) eşitliği ile verilir.

$$\dot{Q}_{hi}(t) = U_i A_i (T_{ha}(t) - T_a(t)) \quad (3.5)$$

Hacim ısıtması için gerekli aylık ısı yükü Q_{hi} aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$Q_{hi} = \int_{ay} (UA)_i \Delta T dt \quad (3.6)$$

Kullanım amaçlı sıcak su için gerekli anlık ısı yükü, \dot{Q}_{KS} , su debisi \dot{m}_{KS} , suyun ortalama sıcaklığında özgül ısı kapasitesi $C_{p,Ks}$ ve kullanım suyu sıcaklığı T_{KS} , aylık ortalama şebeke suyu sıcaklığı T_s 'ye bağlı olarak (3.7) eşitliği ile belirlenir.

$$\dot{Q}_{KS} = \dot{m}_{KS} C_{p,Ks} (T_{KS}(t) - T_s(t)) \quad (3.7)$$

Aylık kullanım suyu için gerekli ısı yükü Q_{KS} için (3.8) eşitliği geçerlidir.

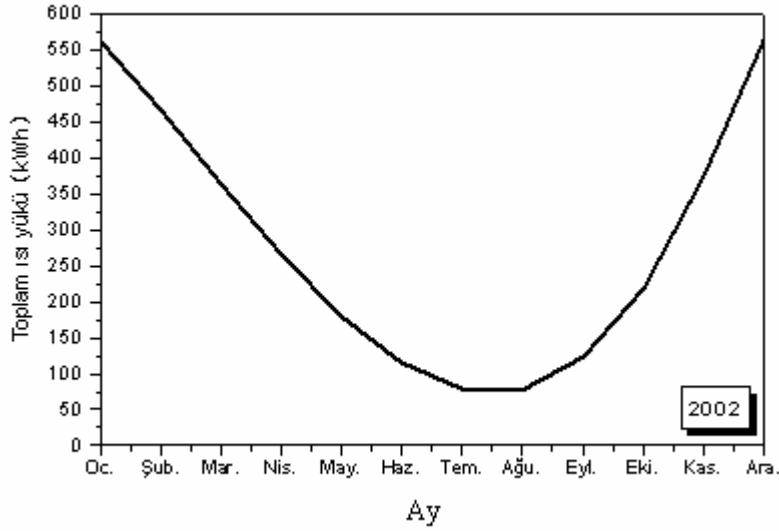
$$Q_{KS} = \int_{ay} \dot{Q}_{KS} dt \quad (3.8)$$

Kullanım amaçlı sıcak su için ısıtma yükü hesabında kişi sayısı 1 olarak alınmıştır. Kullanım amaçlı sıcak su tüketimi 60 lt/gün ve kullanım suyu sıcaklığı 60°C alınarak hesaplamalar yapılmıştır. 2002 yılı için toplam ısı yükü hesabında kullanılan, en düşük dış hava sıcaklıklarının ve ortalama şebeke suyu sıcaklıklarının aylara göre değişimi Çizelge 3.2.'de verilmiştir. 1 m derinlikteki toprak sıcaklığı şebeke suyu sıcaklığına eşit olarak alınmıştır.

Çizelge 3.2. 2002 yılına ait en düşük dış hava sıcaklık ve ortalama şebeke suyu sıcaklık değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İstasyon No: 17050)

Aylar	En düşük dış hava sıcaklığı , °C	Ortalama şebeke suyu sıcaklığı, °C
Ocak	-5,0	5,21
Şubat	2,1	6,91
Mart	4,2	9,86
Nisan	5,4	11,15
Mayıs	15,7	16,23
Haziran	16,9	20,08
Temmuz	22,0	23,71
Ağustos	21,0	24,74
Eylül	12,7	22,72
Ekim	8,9	18,96
Kasım	4,1	14,39
Aralık	-5,9	10,46

Toplam ısı yükü, 2,5×2,5×2 m boyutlarında hacim için ısıtma yükü ve 1 kişilik kullanım amaçlı sıcak su için ısıtma yükünden oluşmaktadır. Toplam ısı yükünün aylara göre değişimi Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Toplam ısı yükünün aylara göre değişimi

Kurulacak sistemde ısı aktarımları ısı değiştiricileri aracılığı ile olacağından, ısı değiştiricilerinin etkenlikleri de göz önünde bulundurulmuştur. Böylece sistem, 2002 yılının Aralık ayı esas alınarak, güneş toplayıcıları ile toplanması gerekli toplam ısı miktarı 625,7604 kWh/ay olarak tasarlanmıştır.

3.2. Isı Toplama Ünitesinin Tasarımı İçin Kullanılan Yöntem

Sürekli kullanılabilirlik koşulu altında ısı toplama ünitesinin tasarımı için, 2002 yılına ait aylık ortalama ışınlam değerleri belirlenmiş ve en düşük aylık ortalama ışınlam değeri esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Hesaplamalarda, 2002 yılının en yüksek ısı ihtiyacı ve en düşük ışınlam değerinin olduğu Aralık ayı göz önünde bulundurulmuştur. Birim m² toplayıcı absorber yüzeyi başına aylık kullanılabilir toplam enerji hesaplanarak, gerekli ısı ihtiyacı için net toplayıcı yüzeyi belirlenmiştir.

Güneş toplayıcıları yüzeyine gelen faydalı güneş ışınımı $\bar{\phi}$ yöntemi ile hesaplanacaktır. $\bar{\phi}$, aylık kullanılabilirlik olarak bilinmektedir. $\bar{\phi}$, ay boyunca toplayıcı yüzeyine gelen kritik ışınımın üzerindeki ışınımın toplamının, bu yüzeye gelen ışınım oranı olarak tanımlanmaktadır.

Whiller, 1953, ile Hottel ve Whiller, 1958, ilk defa aylık ortalama saatlik kullanılabilirlik kavramı ϕ 'nin tanımını yapmışlardır. Lui ve Jordan, 1963, Whillers'in ϕ eğimlerini genelleştirmişlerdir. Klein, 1978, saatlik kullanılabilirlik tanımını kullanarak aylık ortalama günlük kullanılabilirlik tanımı $\bar{\phi}$ 'yi geliştirmiştir. Collares-Pereira ve Rabl, 1979b, günlük kullanılabilirlik tanımını, saatlik kullanılabilirlik tanımından bağımsız olarak genişletmişlerdir. Evans vd., 1982, aylık ortalama günlük kullanılabilirliğinin hesabı için daha basit çözümler geliştirmişlerdir. Collares-Pereira ve Rabl, 1979b, $\bar{\phi}$ yönteminin yoğunlaştırılmış toplayıcılar için de kullanılacağını göstermişlerdir. Klein ve Beckmann, 1979, güneşli ısıtma sistemlerinde $\bar{\phi}$ tanımının genel tasarım metodu olarak kullanmışlardır. Birim m^2 başına aylık kullanılabilir toplam enerji, ay içindeki gün sayısı N, toplayıcı yüzeyine gelen günlük ışınımın aylık ortalaması \bar{H}_T 'ye bağlı olarak (3.9) eşitliğinde verilmiştir.

$$q_c = \bar{H}_T N \bar{\phi} \quad (3.9)$$

(3.9) numaralı eşitlikte \bar{H}_T toplayıcı yüzeyine gelen günlük ışınımın aylık ortalaması olup, (3.10) eşitliği ile hesaplanır.

$$\bar{H}_T = \bar{R} \bar{H} \quad (3.10)$$

(3.10) eşitliğinde yer alan \bar{H} yatay yüzeye gelen günlük ışınımın aylık ortalamasını ifade etmektedir. \bar{R} Parametresi eğik yüzeye gelen aylık ortalama güneş ışınımının yatay yüzeye gelen aylık ortalama güneş ışınımına oranı olup, üç ayrı ışınım bileşeninden oluşmaktadır. Bu ışınım bileşenleri direkt, yayılı ve yansıyan olmak üzere aşağıdaki eşitlik ile verilebilir.

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{\bar{H}} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \bar{R}_b + \left(\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad (3.11)$$

(3.11) eşitliğinde \bar{H}_d / \bar{H} aylık ortalama günlük yayılı ışınımın aylık ortalama günlük toplam ışınımına oranıdır. Collares-Pereira ve Rabl, 1979a, \bar{H}_d / \bar{H} 'ın hesabı için \bar{K}_T aylık ortalama açıklık indeksi ve gün batış açısı w_s 'ye bağlı olarak bir korrelasyon önermişlerdir.

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 0.775 + 0.00606(w_s - 90) - [0.505 + 0.00455(w_s - 90)] \cos(115\bar{K}_T - 103) \quad (3.12)$$

eşitliği geçerlidir. (3.12) eşitliğinde w_s yatay yüzey için gün batış açısı olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$w_s = \arccos(-\tan E \tan \delta) \quad (3.13)$$

(3.13) eşitliğinde δ denklinasyon açısıdır. n , 1 ocaktan itibaren gün sayısı olmak üzere aşağıdaki eşitlik ile verilir (Cooper, 1969).

$$\delta = 23,45 \sin \left[360 \frac{284 + n}{365} \right] \quad (3.14)$$

\bar{K}_T Yatay bir düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımının aylık ortalamasının yatay bir düzleme gelen günlük atmosfer dışı güneş ışınımının aylık ortalamasına oranı olup (3.15) eşitliği ile verilebilir (Lui ve Jordan, 1960).

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (3.15)$$

Yatay birim düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımının aylık ortalaması, N ay içindeki gün sayısı olmak üzere (3.16) eşitliği ile hesaplanır.

$$\overline{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \overline{H} \quad (3.16)$$

Yatay birim düzleme gelen günlük atmosfer dışı güneş ışınımının aylık ortalaması, N ay içindeki gün sayısı olmak üzere (3.17) eşitliği ile hesaplanır.

$$\overline{H}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} H_0 \quad (3.17)$$

Duffie ve Beckmann, 1991, yatay birim düzleme gün boyunca gelen atmosfer dışı güneş ışınımı, n yıl içindeki gün sayısı olmak üzere (3.20) eşitliği ile vermişlerdir.

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 G_{SC}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \times \left(\cos E \cos \delta \sin w_s + \frac{\pi w_s}{180} \sin E \sin \delta \right) \quad (3.18)$$

Eşitlikte yer alan G_{SC} güneş sabiti olup 1367 W/m^2 değerindedir.

(3.11) eşitliğinde \overline{R}_b , eğik yüzeye gelen direkt ışınımın aylık ortalamasının yatay yüzeye gelen direkt ışınımın aylık ortalamasına oranıdır. Lui ve Jordan, 1962, ise eğik yüzeye gelen atmosfer yüzeyi ışınımın yatay yüzeye gelen ışınımına oranı olarak, güneşe dönük yüzeyler için (3.19) eşitliğinde tanımlamıştır.

$$\overline{R}_b = \frac{\cos(E - \beta) \cos \delta \sin w'_s + (\pi/180) w'_s \sin(E - \beta) \sin \delta}{\cos E \cos \delta \sin w_s + (\pi/180) w_s \sin E \sin \delta} \quad (3.19)$$

(3.19) eşitlikte yer alan w'_s eğik yüzey için gün batış açısı olup aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$w'_s = \min \left[\begin{array}{l} \arccos(-\tan E \tan \delta) \\ \arccos(-\tan(E - \beta) \tan \delta) \end{array} \right] \quad (3.20)$$

(3.9) eşitliğinde verilen $\bar{\phi}$, güneş enerjisinin günlük kullanılabilirliğini göstermektedir. $\bar{\phi}$ 'nin değeri bir aydaki saatlik güneş ışınımının değerlerine bağlıdır. Klein, 1978, $\bar{\phi}$ 'nin hesabı için aylık ortalama açıklık indeksi \bar{K}_T , aylık ortalama geometri faktörü \bar{R}/\bar{R}_n ve aylık ortalama kritik ışınım oranı \bar{X}_c 'ye bağlı olmak üzere (3.21) eşitliğini önermişlerdir.

$$\bar{\phi} = \exp \left\{ \left[A + B \left(\frac{R_n}{\bar{R}} \right) \right] (\bar{X}_c + C\bar{X}_c^2) \right\} \quad (3.21)$$

Klein, 1978, (3.21) eşitliğindeki A, B ve C değerlerini aylık ortama açıklık indeksinin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde ifade etmiştir.

$$\begin{aligned} A &= 2,943 - 9,271\bar{K}_T + 4,031\bar{K}_T^2 \\ B &= -4,345 + 8,853\bar{K}_T - 3,602\bar{K}_T^2 \\ C &= -0,170 - 0,306\bar{K}_T + 2,936\bar{K}_T^2 \end{aligned} \quad (3.22)$$

(3.21) eşitliğinde yer alan R_n , öğle vakti eğik yüzeye gelen aylık ortalama günlük ışınımın yatay yüzeye gelen ışınımına oranıdır. Öğle vakti ise saat açısının "0°" olduğu an olarak tanımlanmaktadır. R_n 'in direkt, yayılı ve yansıyan olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır (Klein, 1978).

$$R_n = \left(1 - \frac{r_{d,n}}{r_{t,n}} \frac{H_d}{H} \right) R_{b,n} + \left(\frac{r_{d,n}}{r_{t,n}} \frac{H_d}{H} \right) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.23)$$

(3.23) eşitliğinde bulunan $r_{d,n}$, Öğle vakti gelen yayılı ışınım miktarının günlük toplam ışınım miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Lui ve Jordan, 1960, $r_{d,n}$ değerini hesaplamak için (3.24) eşitliğini önermişlerdir.

$$r_{d,n} = \frac{\pi}{24} \frac{\cos w - \cos w_s}{\sin w_s - \frac{\pi}{180} w_s \cos w_s} \quad (3.24)$$

(3.23) eşitliğinde yer alan $r_{t,n}$ ise öğle vakti eğik yüzeye gelen ışınımın günlük toplam ışınımına oranıdır. Collares-Pereira ve Rabl, 1979a, $r_{t,n}$ değerini aşağıdaki şekilde tarif etmişlerdir.

$$r_{t,n} = \frac{\pi}{24} (a + b \cos w) \frac{\cos w - \cos w_s}{\sin w_s - (\pi w_s / 180) \cos w_s} \quad (3.25)$$

(3.25) eşitliğindeki a ve b katsayıları aşağıdaki şekilde belirlenir (Collares-Pereira ve Rabl, 1979a).

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(w_s - 60) \quad (3.26a)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin(w_s - 60) \quad (3.26b)$$

(3.23) eşitliğinde verilen $R_{b,n}$ öğle vakti eğik yüzeye gelen direkt güneş ışınımının yatay yüzeye gelen ışınımına oranıdır. Güneye bakan toplayıcı yüzeyler için $R_{b,n}$ aşağıdaki şekilde verilir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

$$R_{b,n} = \frac{\cos(E - \beta) \cos \delta \cos w + \sin(E - \beta) \sin \delta}{\cos E \cos \delta \cos w + \sin E \sin \delta} \quad (3.27)$$

Collares-Pereira ve Rabl, 1979a, (3.23) eşitliğinde yer alan H_d / H 'ı hesaplamak için günlük açıklık indeksi K_T 'ye bağlı olarak aşağıdaki korelasyonu önermişlerdir.

$$\frac{H_d}{H} = \left. \begin{array}{l} = 0,99 \\ = 1,188 - 2,272K_T + 9,473K_T^2 - 21,865K_T^3 + 14,648K_T^4 \\ = -0,54K_T + 0,632 \\ = 0,2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} K_T \leq 0,17 \\ 0,17 \leq K_T \leq 0,75 \\ 0,75 \leq K_T \leq 0,8 \\ K_T \geq 0,8 \end{array} \quad (3.28)$$

K_T , yatay yüzeye gelen günlük toplam güneş ışınımının yatay yüzeye gelen günlük toplam atmosfer dışı güneş ışınımına oranıdır. Ay ortası için yapılan hesaplamalarda (3.28) eşitliğinde \bar{K}_T kullanılabilir (Klein 1978).

(3.21) eşitliğinde verilen \bar{X}_c aylık ortalama kritik ışınım oranını göstermektedir ve (3.29) eşitliği ile belirlenir (Duffie ve Beckmann, 1991).

$$\bar{X}_c = \frac{I_{Tc}}{r_{i,n} R_n \bar{H}} \quad (3.29)$$

Eşitlikte yer alan I_{Tc} kritik ışınım değeridir. Toplayıcıya ait optik verim η_{op} , ve ısı kayıp sayılarına bağlı olarak (3.30) eşitliği ile verilir.

$$I_{Tc} = \frac{U_1(T_{cg} - T_a) - U_2(T_{cg} - T_a)^2}{\eta_{op}} \quad (3.30)$$

(3.32) eşitliğinde T_{cg} akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklığını, T_a dış hava sıcaklığını ifade etmektedir.

3.2.1. Isı toplama ünitesi hesabında kullanılan parametreler

Isı toplama ünitesinin ısıl performansını etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametreler, meteorolojik değerler, çevre yansıtma katsayısı, dış hava sıcaklığı ve toplayıcıya ait parametreleridir.

Tasarım hesaplarında kullanılmak üzere, Edirne İli için 2002 yılına ait, yatay birim yüzeye gelen aylık ortalama ışıınım değerleri Çizelge 3. 3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Edirne İline ait, yatay birim yüzeye gelen aylık ortalama ışıınım değerleri
(Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İstasyon No: 17050)

Aylar	Yatay birim yüzeye gelen ortalama günlük ışıınım değeri (kWh/m ² -gün)
Ocak	1,1937
Şubat	1,8712
Mart	2,6115
Nisan	3,3897
Mayıs	5,3643
Haziran	5,4916
Temmuz	5,5052
Ağustos	4,2893
Eylül	3,2265
Ekim	2,2318
Kasım	1,0984
Aralık	0,8571

Hesaplamalarda kullanılan çevre yansıtma katsayısı ρ , çevrenin bitki örtüsüne, topoğrafik yapıya, karlı veya açık olma durumuna bağlı olarak 0,2 ile 0,7 arasında değişmektedir (Lui ve Jordan, 1977). Çevre yansıtma katsayısı, çevrenin karlı olması durumunda yüksek değerler, açık olması durumunda ise düşük değerler almaktadır.

Güneş toplayıcılarından sürekli yararlanma koşulu altında toplayıcı eğim açısı β , enlem açısı E değerine eşit alınmıştır.

Isı toplama ünitesi için, vakum borulu toplayıcı tipi seçilmiştir. Vakum borulu toplayıcılar için, optik verim 0,83 ve ısı kayıp sayıları $U_1 = 1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_2 = 0,008 \text{ W/m}^2\text{K}^2$ olarak alınmıştır. Toplayıcılar ısındıkları zaman; iletim, taşınım ve ışıyım yolu ile ortama ısı verirler. Bu kayıplar ise ısı kayıp sayıları U_1 ve U_2 tarafından göz önünde bulundurulur.

3.3. Isı Depolama Ünitesinin Teorik Modellenmesi

Isı toplama ünitesinde toplanan güneş enerjisi yeraltında bulunan ısı depolama ünitesine aktarılmaktadır. Şekil 3.1.'de verildiği üzere, ısı depolama ünitesi, silindirik güneş enerjisi deposu ve etrafındaki kum hacminden oluşmaktadır. Silindirik güneş enerjisi deposu içinde ısı depolama maddesi su bulunmaktadır.

3.3.1. Isı depolama ünitesi hacmi ve geometrisinin belirlenmesi

Sıcak su depolarının büyüklüğü, deponun kullanıldığı sisteme ve iklim durumuna bağlıdır. Sıcak su deposu hacmi büyüdükçe, depolama maddesi suyun sıcaklığı daha düşük olacaktır. Böylelikle ısı taşıyıcı akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklığı düşecektir. Toplayıcı giriş sıcaklığının düşmesi ile toplayıcıda toplanan enerji miktarı ve toplayıcı verimi artacaktır. Teorik olarak, depo hacminin büyük seçilmesiyle toplayıcı verimi artırılabilir de, sıcak su sistemlerinde faydalanılabilecek su sıcaklığı $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde istenildiğinden depo hacminin toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak seçilmesi gerekir (Kılıç ve Öztürk, 1983). Depo hacmi büyüdükçe toplanan aylık ortalama güneş ışıyım miktarı artmasına rağmen, maksimum depo su sıcaklığı küçülmektedir.

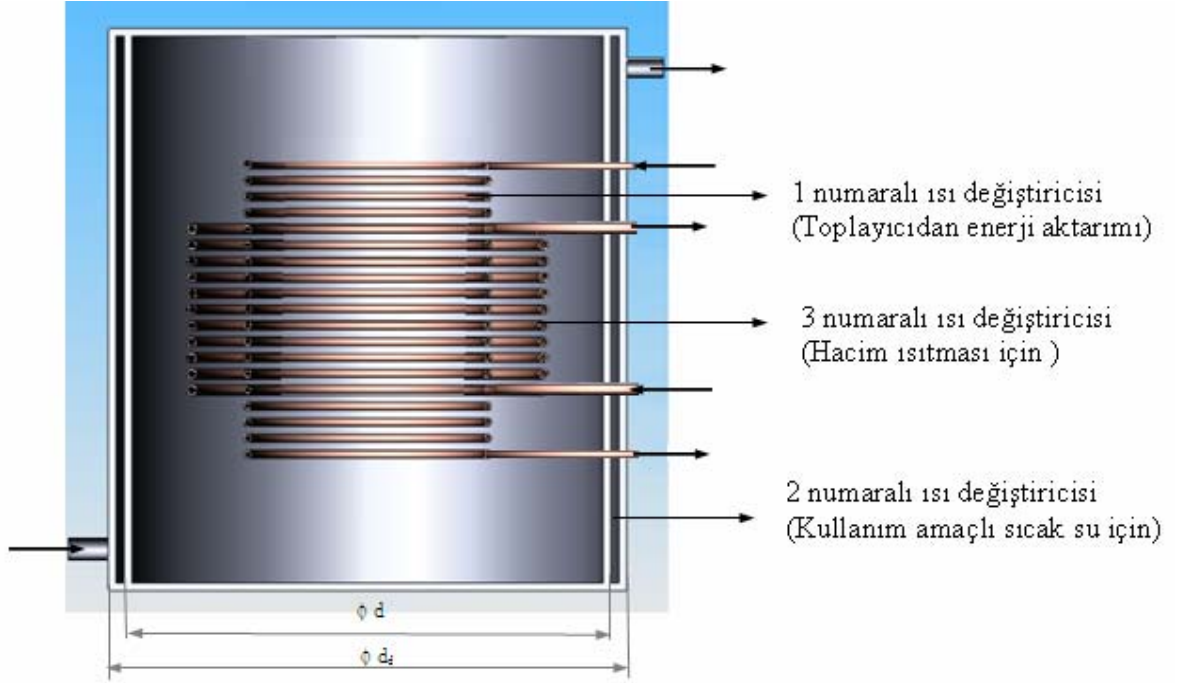
Güneş enerjisi deposu içindeki depolama maddesi sudan ısı değiştiricileri aracılığı ile hem hacim ısıtması hem de kullanım amaçlı sıcak su ile enerji çekilmesi düşünölmüştür. Yüksek depo su sıcaklıklarında çekilen enerji miktarı artacağından, ısı değiştiricilerinin hacmi de dâhil olmak üzere depo hacmi için $(V_d/A_c) = 55$ m oranı alınmıştır (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Sıcak su depolarının geometrisinin seçiminde imalat kolaylığı ve birim hacimdeki ısı geçiş yüzeyi göz önüne alınır. Aynı hacimdeki, küresel bir deponun ısı geçiş yüzeyi, kübik ve silindirik depolara göre daha küçüktür. Yüksekliği çapına eşit olan silindirik bir deponun dış yüzey alanı, aynı hacimdeki küresel bir deponun yüzey alanından % 17 daha büyük ve kübik deponun yüzey alanından % 3 daha küçüktür. Yüksekliği çapına göre büyük depolarda, dış çevre ile ısı geçişi yüzeyi artar, deponun alt ve üst noktaları arasındaki sıcaklık farkı yükselir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Deney tesisatı için güneş enerjisi deposu, hem içine ısı değiştiricileri yerleştirileceğinden hem de imalatı göz önünde bulundurularak silindirik seçilmiştir.

3.3.2. Isı aktarımını sağlayacak ısı değiştiricilerinin tasarlanması

Silindirik güneş enerjisi deposunda yer alan ısı değiştiricileri Şekil 3.4.'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3. 4. Silindirik güneş enerjisi deposu ve ısı değiştiricileri

1 numaralı ısı değiştiricisi aracılığı ile ısı toplama ünitesinde ısı taşıyıcı akışkan ile toplanan enerji depo içindeki depolama maddesi suya aktarılmaktadır. Isı taşıyıcı akışkan % 25 Etilen Glikol-% 75 Su karışımıdır.

2 numaralı ısı değiştiricisi kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır. Depo etrafında yer alan depolama maddesi kumda depolanan enerjiden faydalanılmak üzere ısı değiştiricisi deponun yanal yüzlerini çevreleyecek şekilde düzenlenmiştir. Su şebekesi ile bağlantılıdır.

3 numaralı ısı değiştiricisinde hacim ısıtmasının gerekli olduğu durumda ısıtıcı suyu dolaştırılmaktadır. Isı değiştiricilerine ait tasarım parametreleri Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Isı değiştiricileri tasarım parametreleri

Tasarım parametreleri	1 numaralı ısı değiştiricisi	2 numaralı ısı değiştiricisi	3 numaralı ısı değiştiricisi
Isı taşıyıcı akışkan	% 25 Etilen Glikol- %75 Su	su	su
Depo giriş Sıc., °C	76	15	35
Depo çıkış Sıc., °C	35	60	55
Özgöl ısı kapasitesi, kJ/kg.K	3,821	4,178	4,180
Dinamik viskozite, Pa.s	89,788*10 ⁻⁶	695*10 ⁻⁶	594*10 ⁻⁶
Prandtl sayısı	59,65	4,62	3,93
Isı iletim sayısı, W/m.K	0,509	0,628	0,638
Boru çapı, mm	d = 8 *1	d _h = 20	d = 10 *1
Sarım çapı, mm	D = 300	----	D = 440

Silindirik güneş enerjisi deposu içinde yer alan ısı değiştiricileri ters akışlı olarak düzenlenmiştir. Türbölanslı akış olacak şekilde boru çapları seçilmiştir. 1 ve 3 numaralı ısı değiştiricileri spiral çok sarımlıdır.

1 numaralı ısı değiştiricisi ile depodaki suya aktarılan anlık enerji; karışım şeklindeki ısı taşıyıcı akışkanın kütleli debisi, özgül ısı kapasitesi ve depo giriş-çıkış sıcaklık farklarının çarpımına eşittir.

$$\dot{Q}_1(t) = \dot{Q}_g(t) = \dot{m}_a C_{p,a} (T_{dg}(t) - T_{dç}(t)) \quad (3.31)$$

Aynı zamanda 1 numaralı ısı değiştiricisi ile aktarılan enerji; ısı değiştiricisi toplam ısı geçiş sayısı, ısı değiştiricisi yzeyi ve ortalama logaritmik sıcaklık farkının çarpımına eşitir.

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_a C_{p,a} (T_{dg} - T_{d})(t) = U_1 A_1 \Delta T_{m1} \quad (3.32)$$

3 numaralı ısı değiştiricisi ile depodaki sudan çekilen enerji; ısıtıcıda dolaşan su debisi, zgl ısı kapasitesi ve depo çıkış-giriş sıcaklık farkının çarpımına eşitir.

$$\dot{Q}_3 = \dot{m}_{is} C_{p,is} (T_{i}(t) - T_{ig}(t)) \quad (3.33)$$

3 numaralı ısı değiştiricisi ile çekilen enerji; ısı değiştiricisi toplam ısı geçiş sayısı, ısı değiştiricisi yzeyi ve ortalama logaritmik sıcaklık farkına bağlı olarak (3.34) eşitliği ile verilebilir.

$$\dot{Q}_3 = \dot{m}_{is} C_{p,is} (T_{i}(t) - T_{ig}(t)) = U_3 A_3 \Delta T_{m3} \quad (3.34)$$

Spiral sarılmış boru içinde akış halinde merkezkaç kuvvetleri sebebi ile ısı taşınım sayısı daha büyük olmaktadır. Spiral boru halindeki ısı taşınım sayısı h_{sp} , düz boru halindeki ısı taşınım sayısı h , sarım apı D ve boru iç çapı d_i 'ye bağlı olarak (3.35) eşitliği ile verilebilir (Dağsöz, 1990).

$$h_{sp} = h \left(1 + 3,54 \frac{d_i}{D} \right) \quad (3.35)$$

Her iki ısı değiştiricisi için öncelikle düz boru durumu için ısı taşınım sayıları hesaplanmıştır.

Düz boru halinde ısı taşınım sayısı; Nusselt Sayısı Nu , ısı iletim sayısı k ve boru iç çapı d_i 'ye bağlı olarak (3.36) eşitliği ile verilir.

$$h = \frac{Nuk}{d_i} \quad (3.36)$$

Türbölanslı akış halinde Nu sayısı, Reynolds Sayısı Re ve Prandtl Sayısı Pr değerlerine bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir (Kakaç, 1987).

$$Nu = 0.024 (Re)^{0.8} (Pr)^{0.4} \quad (3.37)$$

Reynolds Sayısı, ısı taşıyıcı akışkanın kütleel debisi \dot{m} , dinamik viskozitesi μ ve boru iç çapı d_i 'ye bağlı olarak (3.38) eşitliği ile verilmiştir.

$$Re = \frac{4 \dot{m}}{\pi d_i \mu} \quad (3.38)$$

Depo tarafında doğal taşınım meydana gelecektir. 1 ve 3 numaralı ısı değiştiricilerinin dış yüzeyindeki ısı taşınım sayıları, film sıcaklığına bağlı olarak belirlenir. Her iki ısı değiştiricisine ait film sıcaklığındaki suyun madde fiziki değerleri için Grashof Sayısı Gr , (3.39) eşitliği ile hesaplanmıştır (Kakaç, 1987).

$$Gr = \frac{d_d^2 \rho^2 \beta (T_w - T_{ds})}{\mu^2} \quad (3.39)$$

Eşitlikte, d_d boru dış çapı, ρ yoğunluk, β ısıl genleşme sayısı, μ dinamik viskozite, T_w boru yüzey sıcaklığı ve T_{ds} depolama ünitesi içindeki su sıcaklığı anlamındadır.

Nusselt Sayısı Nu , Grashof Sayısı Gr ve Prandtl Sayısı Pr değerlerine bağlı olarak (3.40) eşitliği ile belirlenmiştir (Kakaç, 1987).

$$Nu = 0,47 (Gr Pr)^{0,25} \quad (3.40)$$

(3.36) eşitliği ile boruların dış yüzeyinde ısı taşınım sayısı h belirlenmiştir. 1 ve 3 numaralı ısı değiştiricileri için toplam ısı geçiş sayısı U ve ortalama logaritmik sıcaklık farkı ΔT_m hesaplanmıştır. (3.32) ve (3.34) eşitlikleri yardımı ile her iki ısı değiştiricisi için ısı geçiş yüzeyi belirlenmiştir.

Isı geçiş yüzeyi, sarım çapı D , sarım sayısı s ve boru dış çapı d_d cinsinden aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$A = \pi^2 D s d_d \quad (3.41)$$

(3.41) eşitliği yardımı ile her iki ısı değiştiricisi için sarım sayısı ve boru uzunluğu belirlenmiştir.

2 numaralı ısı değiştiricisi Şekil 3.3.'de görüldüğü üzere depo yanal yüzlerini çevrelemektedir. d_h , çapları d_d ve d olan iki boru arasındaki akış için hidrolik çap olmak üzere (3.42) eşitliği ile belirlenir (Dağsöz, 1990).

$$d_h = \frac{4(\pi/4)(d_d^2 - d^2)}{\pi d_d + \pi d} = d_d - d \quad (3.42)$$

2 numaralı ısı değiştiricisinde dolaşan suyun taşınım sayısı için öncelikle Reynolds ve Nusselt Sayılarının belirlenmesi gerekir.

$$Re = \frac{4 \dot{m}}{\pi d_h \mu} \quad (3.43)$$

$$Nu = 0.024 (Re)^{0.8} (Pr)^{0.4} \quad (3.44)$$

ısı taşınım sayısı h_2 hesabı için (3.45) eşitliği kullanılmıştır.

$$h_2 = \frac{Nu k}{d_h} \quad (3.45)$$

Çizelge 3.5. ve Çizelge 3.6.'da ısı değiştiricilerine ait hesaplama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.5. Film sıcaklığına bağlı olarak, 1 ve 3 numaralı ısı değiştiricileri için depo tarafındaki hesaplama sonuçları

Hesaplanan değer	1 numaralı ısı değiştiricisi	3 numaralı ısı değiştiricisi
Film sıcaklığı, °C	48	45
Grashof Sayısı	$3,5 \times 10^5$	$3,62 \times 10^5$
Nusselt Sayısı	16	16,24
Isı taşınım sayısı, W/m ² K	997	876,64

Çizelge 3. 6. Isı değiştiricileri hesaplama sonuçları

Hesaplanan değer	1 numaralı ısı değiştiricisi	2 numaralı ısı değiştiricisi	3 numaralı ısı değiştiricisi
Debi m , kg/s	0,03	0,033	0,044
Reynolds Sayısı Re	5317,67	3022,7989	9431,400
Nusselt Sayısı Nu	117,7694	26,9399	62,7522
Isı taşınım sayısı h , W/m ² .K	7493,0791	845,9118	4003,5925
Sarım sayısı s	42 sarım	----	26 sarım

3.3.3. Isı depolama ünitesinin yeraltındaki konumu

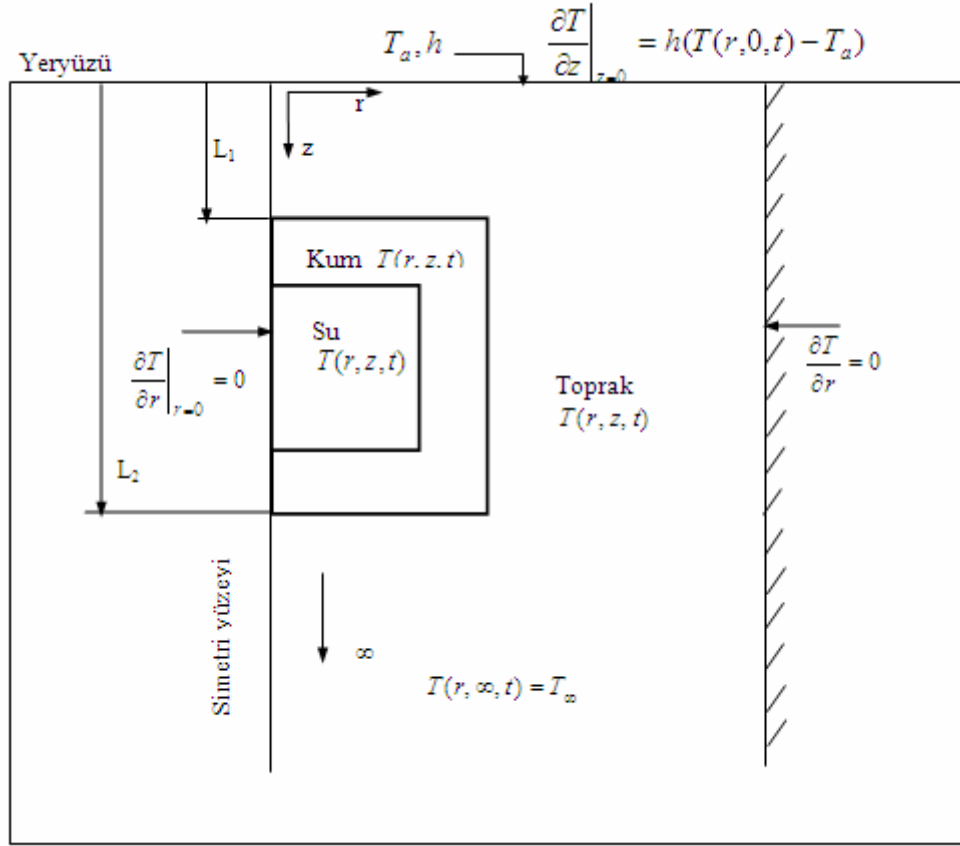
Geçici rejimde toprak içerisinde bulunan silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresindeki sıcaklık dağılımını bulmak için gerekli olan denklem aşağıdaki gibidir.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.46)$$

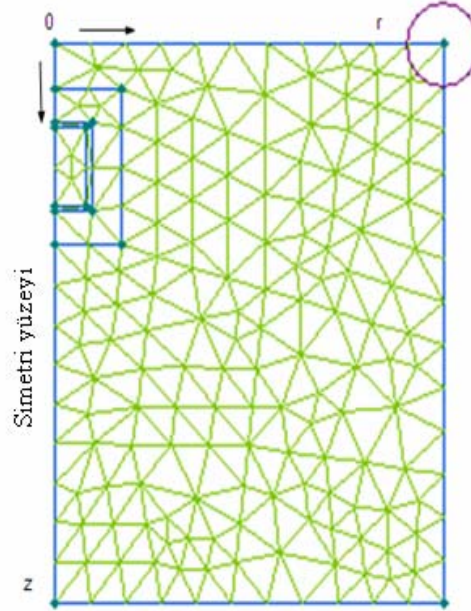
QuickField Transient Thermal yazılımı kullanılarak aşağıdaki başlangıç ve sınır şartı kabulleri ile sayısal çözümleme yapılmıştır:

- 1- Depo içerisindeki sıcaklık dağılımı $T(r, z, t)$ şeklindedir.
- 2- Toprak içerisindeki sıcaklık dağılımı (r, z, t) olarak kabul edilmiştir.
- 3- Toprak yüzeyinden dış havaya doğal taşınım ile ısı transferi olmaktadır. Dış hava ile toprak arasındaki taşınım katsayısı $h = 5,7 + 3,8 V_R$ bağıntısı ile belirlenmiştir (McAdams, 1954).
- 4- Başlangıç şartı olarak depo su sıcaklığı derin toprak sıcaklığına eşit olup $10 \text{ }^\circ\text{C}$ alınmıştır.
- 5- $r = 0$ simetri yüzeyinde sıcaklığın sabit olduğu kabul edilmiştir ($\frac{\partial T}{\partial r} = 0$).
- 6- Depodan r yönünde daha uzaklara gidildikçe toprak sıcaklığının sabit olduğu kabul edilmiştir ($\frac{\partial T}{\partial r} = 0$).
- 7- Toprağın derinlere doğru uzaklaştıkça sıcaklığı sabit kalmaktadır ($T_\infty = 10^\circ\text{C}$) (Uçar ve İnallı 2005).
- 8- Kum ve toprağa ait madde fiziki değerleri sabittir.

Toprak içerisinde bulunan silindirik ısı depolama ünitesinin geometrik şekli ve sayısal çözümlemede kullanılan sınır şartları Şekil 3.5.'de şematik olarak verilmiştir.

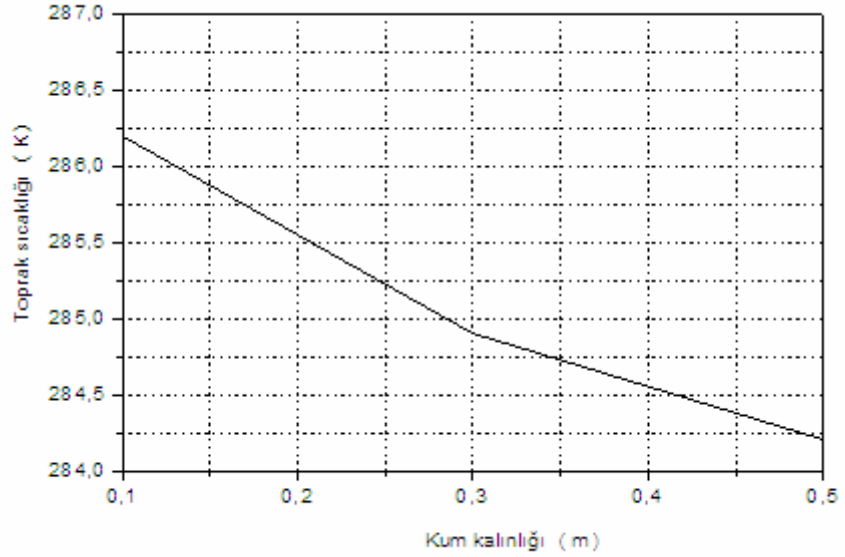


Şekil 3. 5. Yeraltındaki silindirik ısı depolama ünitesi



Şekil 3. 6. Sayısal çözümlemede kullanılan ısı depolama ünitesi ve çevresindeki toprağın sonlu elemanlar modeli

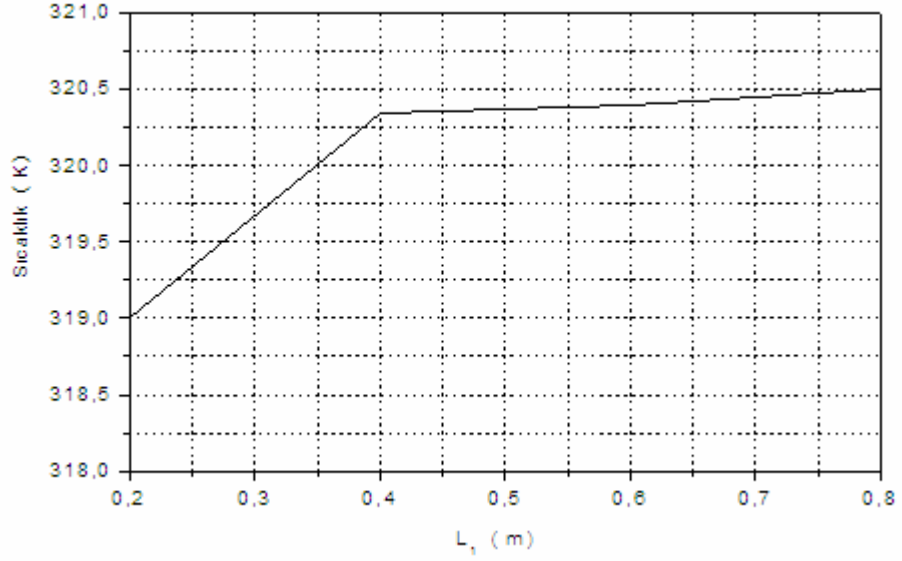
Toprak altında bulunan silindirik güneş enerjisi deposu etrafında oluşturulacak kum hacminin öncelikle belirlenmesi gerekir. Isı depolama ünitesinin yeryüzüne olan mesafesi 0.5 m alınarak değişik kum kalınlıkları için sayısal çözümleme yapılmıştır. Silindirik ısı depolama ünitesinin yanal yüzlerinden daha fazla ısı kaybı olması sebebi ile z yönünde depo merkezinde ve r yönünde kumun bittiği noktada toprak sıcaklıkları, değişik kum kalınlıklarına bağlı olarak Şekil 3. 7.'de verilmiştir. Kum kalınlığına bağlı olarak toprağa geçen ısı miktarı düşmesine rağmen ekonomiklik ve işletmeye ait parametreler de göz önünde bulundurularak güneş enerjisi deposu etrafındaki kum kalınlığı 0,3 m olarak seçilmiştir.



Şekil 3. 7. Kum kalınlığına bağlı olarak ısı depolama ünitesi civarındaki toprak sıcaklığı

Yeraltında bulunan, silindirik güneş enerjisi deposu ve etrafındaki kum hacminden oluşan ısı depolama ünitesinin yeryüzüne olan mesafesi değiştirilerek sayısal çözümleme yapılmıştır. Deneysel çalışma söz konusu olduğundan, ekonomiklik ve işletme parametreleri de göz önünde bulundurularak ısı depolama ünitesinin yeryüzüne olan mesafesi L_1 ' in küçük değerleri için sayısal çözümleme yapılmıştır.

z ve r yönünde depo merkezinde depo su sıcaklık değerleri Şekil 3. 8.'de verilmiştir.

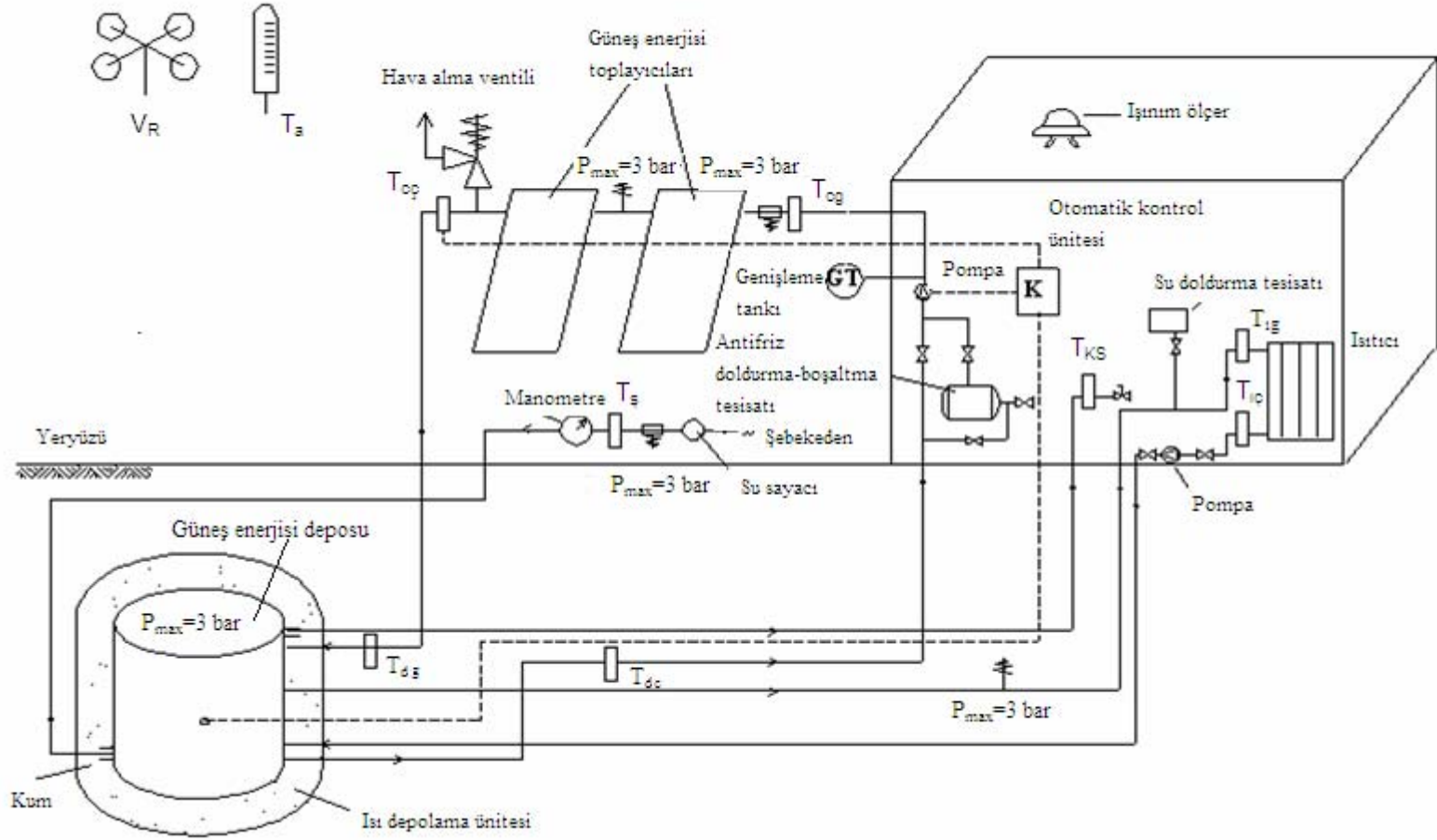


Şekil 3. 8. Isı depolama ünitesi üst yüzeyinin yeryüzüne olan mesafesine bağlı olarak depo merkezindeki su sıcaklık değeri

Silindirik güneş enerjisi deposu içinde su sıcaklık değerleri, ısı depolama ünitesinin yeryüzüne olan mesafesi L_1 'e bağlı olarak yükselmektedir. $L_1 = 0,4$ m değerinden itibaren depo su sıcaklık değerlerindeki artış daha yavaş olmaktadır. Deney tesisatında; silindirik güneş enerjisi deposu ve etrafındaki kum hacminden oluşan ısı depolama ünitesinin yeryüzüne olan mesafesi $L_1 = 0,4$ m alınmıştır.

4. DENEY TESİSATI

Deney tesisatı güneş enerjisi toplama ünitesi ve ısı depolama ünitesi olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Güneş enerjisi toplama ünitesi vakum borulu toplayıcılardan oluşmaktadır. Isı depolama ünitesi; yeraltına yerleştirilmiş silindirik güneş enerjisi deposu ve etrafındaki kum hacminden oluşmaktadır. Güneş enerjisi toplama ünitesinde toplanan güneş enerjisi yeraltında bulunan silindirik ısı depolama ünitesine aktarılmaktadır. Sisteme ait tesisat şeması Şekil 4. 1.'de verilmiştir.



Şekil 4. 1. Sistemin tesisat şeması

4.1. Güneş Enerjisi Toplama Ünitesi

Isı toplama ünitesi, toplam absorber yüzeyi 4 m^2 olan vakum borulu güneş toplayıcılarından oluşmaktadır. Isı toplama ünitesine ait özellikler Çizelge 4. 1.'de verilmiştir. Sürekli kullanım söz konusu olduğu için kolektör eğim açısı enlem açısına eşit alınmıştır. Edirne İli $41^\circ 39' 54''$ N enleminde bulunmaktadır. Deney tesisatında bulunan güneş toplayıcılarına ait resim Şekil 4. 2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Güneş enerjisi toplama ünitesine ait özellikler

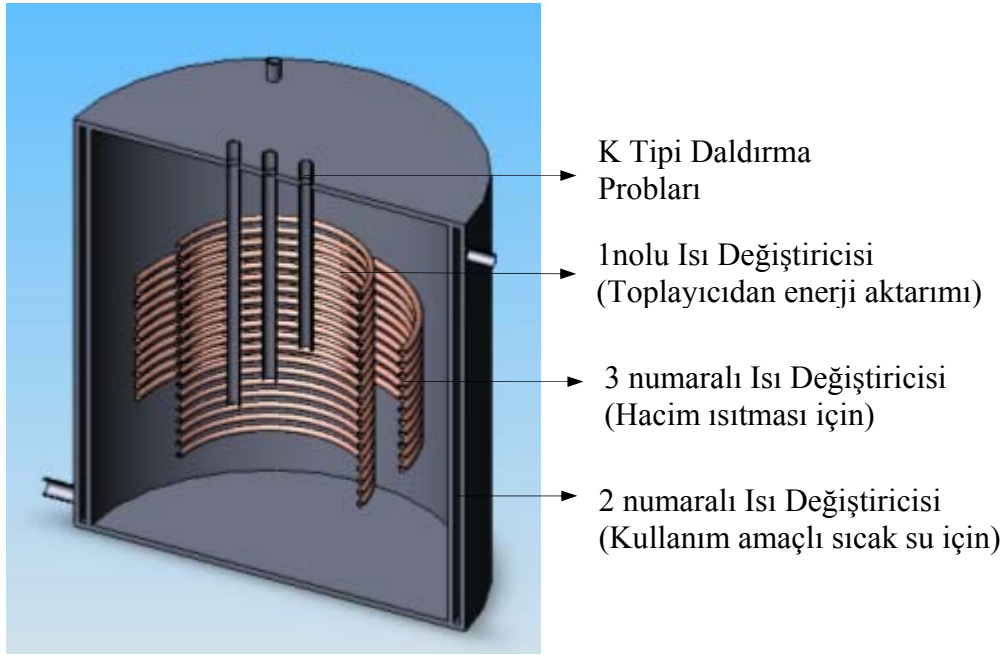
Yer	Edirne
Toplayıcı eğimi	41°
Toplayıcı tipi	Vakum Borulu
Absorber yüzeyi	$A_c=4 \text{ m}^2$
Optik verim	$\eta_{op} = \% 83,7$
Isı kayıp sayıları	$U_1=1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_2=0,008 \text{ W/ m}^2\text{K}^2$
Isı taşıyıcı akışkan	Etilen Glikol- Su
Yoğunlaştırma oranı	$\% 25$, $\%75$
Toplayıcı işletiminin kontrolü	$\Delta T_{on} = 4 \text{ K}$, $\Delta T_{off} = 2 \text{ K}$



Şekil 4. 2. Güneş enerjisi toplayıcıları

4. 2. Isı Depolama Ünitesi

Isı depolama ünitesi silindirik güneş enerjisi deposu ve etrafındaki kum hacminden oluşmaktadır. Şekil 4. 3.'de silindirik güneş enerjisi deposu ve elemanları verilmiştir.



Şekil 4. 3. Silindirik güneş enerjisi deposu ve elemanları

Silindirik depo çift cidarlı olup galvanizli sacdan imal edilmiştir. Yüksekliği 0,70 m ve çapı 0,65 m 'dir. İçinde enerji aktarımını sağlayacak ısı değiştiricileri yer almaktadır.

1 numaralı ısı değiştiricisi aracılığı ile ısı toplama ünitesinde ısı taşıyıcı akışkan ile toplanan enerji depo içindeki depolama maddesi suya aktarılmaktadır. Isı taşıyıcı akışkan % 25 Etilen Glikol- %75 Su karışımıdır.

2 numaralı ısı değiştiricisi kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır. Depo etrafında yer alan depolama maddesi kumun enerjisinden faydalanılmak üzere ısı

değiştiricisi deponun yanal yüzlerini çevreleyecek şekilde düzenlenmiştir. Su şebekesi ile bağlantılıdır.

Hacim ısıtmasının gerekli olduğu durumda 3 numaralı ısı değiştiricisi kullanılmaktadır. Isıtıcı ile bağlantılıdır. Isı taşıyıcı akışkan olarak su kullanılmaktadır. Isıtıcı çıkış sıcaklığı ile depo merkezindeki suyun sıcaklık farkına göre otomatik olarak devreye girmektedir. Depo içinde yer alan ısı değiştiricilerine ait özellikler Çizelge 4. 2.'de verilmiştir.

Çizelge 4. 2. Silindirik enerji deposunda yer alan ısı değiştiricilerine ait özellikler

	1 Nolu Isı Değiştiricisi	2 Nolu Isı Değiştiricisi	3 Nolu Isı Değiştiricisi
Malzeme	Bakır	Depo malzemesinden (galvanizli saç)	Bakır
Tipi	d= 8 mm, Eksenel D= 300 mm, 42 sarım, w = 5,7 mm	Çift cidar d _h =20 mm	d= 10 mm, Eksenel D= 440mm, 26 sarım, w = 5,2 mm
Isı Taşıyıcı Akışkan	% 25 Etilen Glikol-% 75 Su	Su	Su
Akışkan Debisi	0,03 kg/s	0,07 kg/s	0,044 kg/s
Özgöl ısı kapasitesi	C _p =3,821 (kJ/kgK)*	C _p =4,18 (kJ/kgK)*	C _p =4,179 (kJ/kgK)*

* Hesaplamalarda, ısı taşıyıcı akışkanların özgöl ısı kapasiteleri sıcaklığa bağlı olarak belirlenmiştir.

Silindirik güneş enerjisi deposunun yalıtımında 50 mm kalınlığında elestomerik kauçuk köpüğü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. şekil 4. 4.'de silindirik güneş enerjisi deposunun imalat aşamaları verilmiştir.



a) 1 numaralı ısı değiştiricisi

b) 2 numaralı ısı değiştiricisi



c) Silindirik güneş enerjisi deposu

şekil 4. 4. Silindirik güneş enerjisi deposu ve elemanlarının imalat aşamaları

4.2.1. Silindirik güneş enerjisi deposunun yeraltına yerleştirilmesi

Isı depolama ünitesi içinde yer alan silindirik güneş enerjisi deposunun yeryüzüne olan mesafesi 0,70 m' dir. Etrafına 0,30 m kalınlığında kum atılmıştır. Böylece; silindirik güneş enerjisi deposu ve etrafında kum hacminden oluşan ısı depolama ünitesinin yeryüzüne olan mesafesi 0,4 m'dir. Şekil 4.5.'de güneş enerjisi deposunun yeraltına yerleştirilme aşamaları verilmiştir.



Şekil 4. 5. Silindirik güneş enerjisi deposunun yeraltına yerleştirilmesi

4.3. Isıtma Sisteminde Kullanılan Pompalar

Deney tesisatında iki adet santrifüj pompa kullanılmıştır. Pompalardan ilki, bina ısıtmasının gerekli olduğu dönemde ısıtıcı suyunun sirkülasyonunu sağlamamıştır. İkinci pompa ise toplayıcı ile silindirik güneş enerjisi deposu arasında ısı taşıyıcı akışkanın sirkülasyonu için kullanılmıştır. Pompalara ait karakteristik değerler Çizelge 4. 3.'de verilmiştir. Pompalar 3- 4 mSS basma özelliğinde olup 3/4" boru ile bağlantılıdır. Her iki pompanın çektiği güç elektrik sayacı ile ölçülmüştür. Şekil 4. 6'da tesisatta kullanılan pompaların bağlantı şekli verilmiştir.

Çizelge 4. 3. Pompaların karakteristikleri

Kademe	n (min ⁻¹)	P (W)	I(A)
3	2330	82	0,36
2	1815	64	0,29
1	1330	45	0,20



Şekil 4. 6. Tesisatta kullanılan pompaların bağlantı şekilleri

4.4. Hacim Isıtılmasında Kullanılan Isıtıcı

Düşük sıcaklıkta hacim ısıtması için geniş ısıtma yüzeyli bir ısıtıcı kullanılmıştır. Şekil 4.7’de tesisatta kullanılan ısıtıcıya ait resim verilmiştir. Isıtıcı Alüminyum malzemedendir olup 24 dilimlidir.



Şekil 4. 7. Hacim ısıtması için kullanılan ısıtıcı

4.5. Sistemin Otomatik Kontrol Ünitesi

Deney tesisatında iki adet otomatik kontrol ünitesi kullanılmıştır. Bunlardan ilki güneş enerjisi toplama ünitesi ve ısı depolama ünitesi ile bağlantılıdır. Otomatik kontrol için güneş enerjisi deposunun alt ve üst noktalarına ve güneş enerjisi toplama ünitesi çıkışına birer adet sensör yerleştirilmiştir. Güneş enerjisi deposu içindeki ortalama su sıcaklığı ile toplayıcı çıkış sıcaklığı arasındaki farka göre sistemi otomatik olarak açar ve kapatır. Aradaki sıcaklık farkı 2 °C olduğu zaman toplayıcılar ile ısı depolama ünitesi arasındaki sirkülasyon pompası kapanır. Aradaki sıcaklık farkı 4 °C olduğunda sirkülasyon pompası tekrar devreye girer. Bu durumda; ısı toplama ünitesinde toplanan enerji ve dolayısı ile toplayıcı çıkış sıcaklık değeri artmıştır. Ayrıca otomatik kontrol

ünitesinin tatil durumu ve antifriz durumu özellikleri de bulunmaktadır. Gerek hacim ısıtması gerekse kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacı olmadığı durumda, otomatik kontrol ünitesi tatil durumuna ayarlanır. Böylece pompa hiç çalışmaz. Dış hava sıcaklıklarının negatif değerlerde olması durumunda, otomatik kontrol ünitesi antifriz durumuna ayarlanır. Böylece ısı taşıyıcı akışkanın buz tutmaması için pompayı periyodik aralıklarla açıp-kapatır. Otomatik kontrol ünitesinde kullanılan sensörler PT1000 tipindedir. Şekil 4.8' de otomatik kontrol ünitesi kontrol panosu verilmiştir.

İkinci otomatik kontrol ünitesi ise hacim ısıtması için kullanılan ısıtıcı ve ısı depolama ünitesi ile bağlantılıdır. Isıtıcı çıkış sıcaklığı ile silindirik güneş enerjisi deposu merkezindeki sıcaklık farkına göre sistemi açar ve kapatır. Aradaki sıcaklık farkı 2 °C olduğunda sirkülasyon pompası kapanır. Sirkülasyon pompasının açılması için aradaki sıcaklık farkının 4 °C olması gerekmektedir.



a) panolar



b) devre bağlantıları

Şekil 4. 8. Otomatik kontrol ünitesi panoları ve bağlantıları

4.6. Deney Tesisatında Kullanılan Diğer Elemanlar

Deney tesisatında 25 lt hacminde kapalı genişleme tankı kullanılmıştır. Genişleme tankı için maksimum basınç 6 bar'dır. Şekil 4.9'da kapalı genişleme tankına ait resim verilmiştir.



Şekil 4. 9. Kapalı genişleme tankı

Deney tesisatında kullanılan basınç regülatörleri 0- 3 bar basınç aralığında G1/2" bağlantılıdır. Sistemde 3 bar basınç ve 1/2" boru bağlantılı membranlı emniyet ventilleri kullanılmıştır. Otomatik hava tahliye cihazları 3 bar basınç ve 1/2" boru bağlantılıdır. Şekil 4.10'da tesisat elemanlarının resimleri verilmiştir.



a) Basınç regülatörü



b) Hava tahliye cihazı



c) Emniyet ventili

Şekil 4. 10. Tesisatta kullanılan elemanlar

Tesisattaki bağlantı için 25 mm çapında plastik borular kullanılmıştır. Borular 9 mm kalınlığında aliminyum folyolu elastomerik kauçuk köpüğü ile yalıtılmıştır.

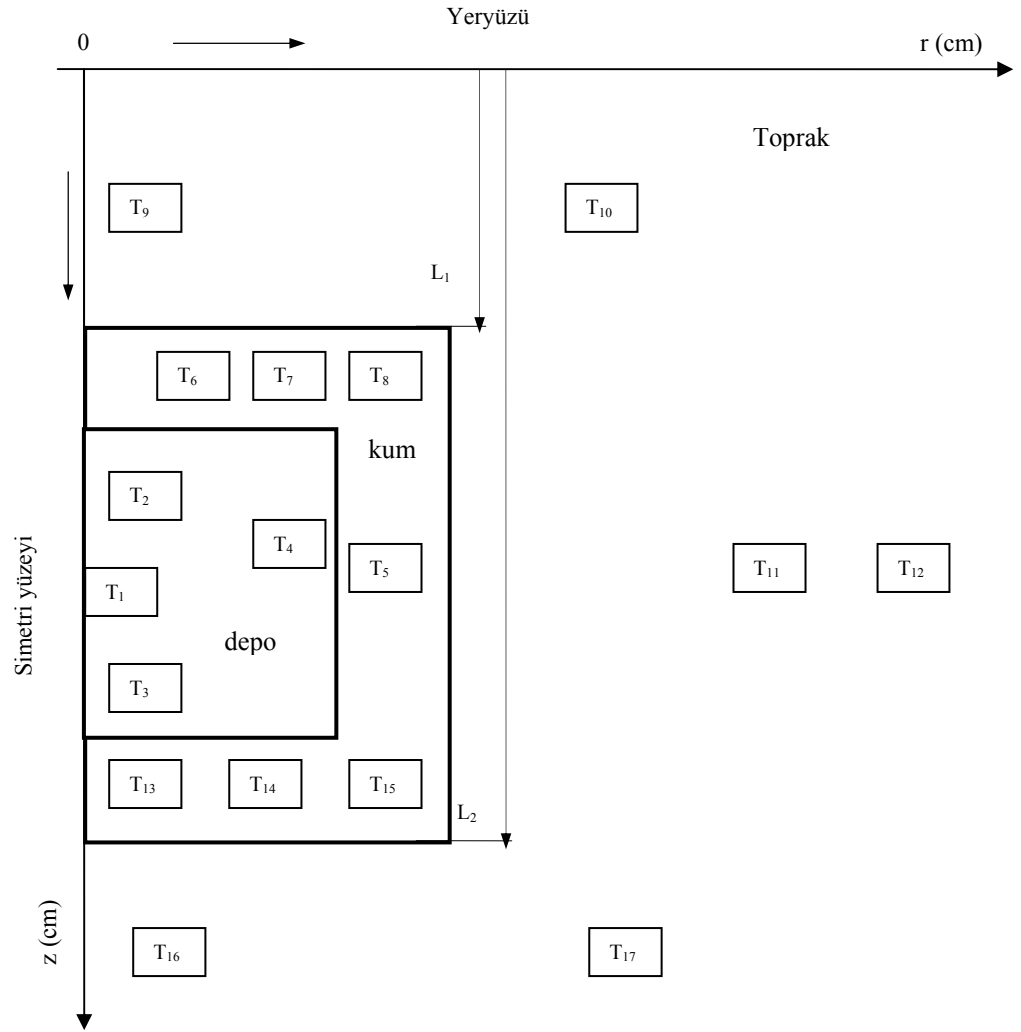
4.7. Ölçüm Cihazları Ve Ölçümler

4.7.1. Ölçüm noktaları

Deneyle esnasında yapılan ölçümler üç grupta toplanmaktadır. Birinci grup ölçümler güneş enerjisi toplama ünitesi ile ilgili ölçümlerdir. Sırası ile toplayıcı çıkış sıcaklığı $T_{cç}$, toplayıcı giriş sıcaklığı T_{cg} ölçülmüştür.

İkinci grup ölçümler ise, yatay yüzeye gelen anlık güneş ışınımı I , dış hava sıcaklığı T_a , rüzgâr hızı V_R değerleri ile ilgili ölçümlerdir.

Üçüncü grup ölçümler, silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresindeki toprak sıcaklık değerleri ile ilgilidir. Öncelikle ısı depolama ünitesi giriş sıcaklığı T_{dg} ve ısı depolama ünitesi çıkış sıcaklığı $T_{dç}$ ölçülmüştür. Çizelge 4.3'de koordinatları verilen ölçüm noktalarının şematik resmi Şekil 4. 11.'de verilmiştir.



Şekil 4. 11. Silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresindeki ölçüm noktaları

Çizelge 4. 4. Ölçüm noktalarının koordinatları

T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
r (cm)	0	6	6	29	52	20	30	55	6	75	85	100	20	30	55	6	75
z (cm)	110	95	117	104	110	55	55	55	25	25	110	110	165	165	165	195	195

4.7.2. Ölçüm Cihazları

Deney tesisatında sıcaklık ve ışınım değerlerini ölçmek için kaydedici kullanılmıştır. Kaydedici ile 5'i analog, 5'i dijital olmak üzere 10 kanaldan ölçüm yapabilmektedir. Bilgisayar ile bağlantılıdır. Kaydedicinin ölçüm sahası ve hassasiyeti kullanılan problemlerin tipine göre değişmektedir. Sistemde sıcaklık ölçümü için K tipi problemler kullanılmıştır. K tipi problemlerde ölçüm sahası (-200)- (1250) °C ve hassasiyeti \pm % 0,1 değerindedir. Sistemde kullanılan kaydedicinin resmi Şekil 4. 12'de verilmiştir.



Şekil 4. 12. Sistemde kullanılan kaydedici

Yatay yüzeye gelen global ışınımı ölçmek için ışınımölçer kullanılmıştır. Şekil 4. 13'de deney tesisatında kullanılan ışınımölçerin resmi verilmiştir. Işınımölçer

kaydedici ile bağlantılıdır ve mV cinsinden gerilim okunur. Kaydedicinin gerilim okuma durumunda hassasiyeti $\pm 4\mu\text{V}$ değerindedir. Işınımölçer ile okunan gerilim değerinin, cihazı üreten firmanın tanımladığı kullanım koşuluna göre ışınım değerine dönüştürülmesi gerekir.

$$I = \frac{U}{S} \quad (4.1)$$

Burada;

I Global güneş ışınımı (W/m^2)

U Ölçülen gerilim (μV)

S Işınım ölçerin hassasiyeti ($11, 47 \cdot 10^{-3} \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$) anlamındadır.



Şekil 4. 13. Işınımölçer

Dış ortamdaki rüzgâr hızını ölçmek için TA2 Anemometre kullanılmıştır. Aynı ölçme aleti termometre olarak da kullanılmaktadır. Ölçüm sahası hız için 0 -15 m/s, sıcaklık için 0- 80 °C değerindedir. Ayrıca sıcaklık ölçümü için çift kanal ve fark sıcaklığı da gösteren dijital termometreler kullanılmıştır. Ölçüm sahası (-50) – (1300)

°C olup hassasiyeti $\% 0,3(\pm 1)$ °C değerindedir. Şekil 4. 14 'de anemometre ve dijital termometrelere ait resim verilmiştir.



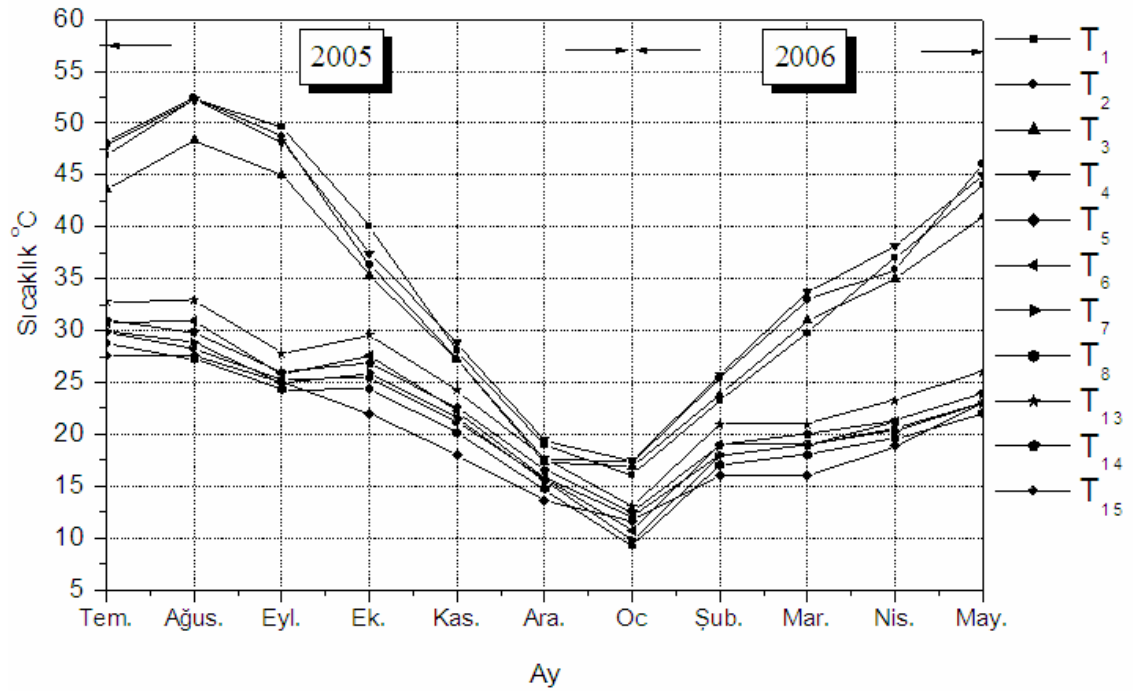
Şekil 4. 14. Diğer ölçüm cihazları

Isı depolama ünitesi ve çevresindeki sıcaklıkların ölçümünde K tipi daldırma ve uç problemleri kullanılmıştır. Kullanılan problemler sırası ile 100cm, 50cm ve 7cm uzunluklarındadır.

5. SICAKLIK DAĞILIMLARI

5.1. Isı Depolama Ünitesi İçindeki Sıcaklıklar

Haziran 2005’de deney tesisatının kurulması tamamlanmıştır. Deney tesisatında ölçümlere Temmuz 2005’den itibaren başlanmıştır. 2005 yılındaki aylara ait değişik günlerdeki ölçüm sonuçları EK A’da verilmiştir. 2006 yılındaki aylara ait değişik günlerdeki ölçüm sonuçları EK B’de verilmiştir. Hacim ısıtmasının gerekli olmadığı durumda, toplayıcılarla toplanan güneş enerjisinin bir bölümü sadece kullanım amaçlı sıcak su için faydalanılmış geri kalanı ise silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresi toprakta depolanmıştır. Isı depolama ünitesinin değişik noktalarına ait sıcaklıkların aylara göre değişimi Şekil 5.1.’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Isı depolama ünitesi sıcaklıklarının aylara göre değişimi

Genel olarak mevsimlik depolama döneminde, ısı depolama ünitesi içindeki su sıcaklıkları T_1 , T_2 , T_4 en yüksek değerlerdedir. Depo yan yüzünde yer alan T_5 ölçüm noktasındaki kum sıcaklığı en düşük değerdedir.

Özel olarak ısı depolama ünitesi içindeki en yüksek su sıcaklığı $52\text{ }^\circ\text{C}$ olarak Ağustos ayında kaydedilmiştir. En düşük su sıcaklığı ise Ocak ayında $19\text{ }^\circ\text{C}$ olarak kaydedilmiştir.

En yüksek depo su ve kum sıcaklık değerlerine Ağustos ayında ulaşılmıştır. Ekim 15'den itibaren bina ısıtması için sistemden enerji çekilmiştir. Genelde depo içinde 3 numaralı ölçüm noktasındaki sıcaklık değeri en düşük değerdedir. Bu durum hem ısınan suyun doğal taşınım ile yukarıya çıkması hem de ısı taşıyıcı akışkanın ısı depolama ünitesine yukarıdan girip alttan çıkmasından kaynaklanmaktadır.

Hacim ısıtması için kullanılan ısı değiştiricisi ve depoya enerji aktarımını sağlayan ısı değiştiricisi z ve r yönünde depo merkezindedir. Sistemden hacim ısıtması ile enerji çekilmesi ile r ve z yönünde silindirik depo eksenindeki (1 numaralı) ölçüm noktasındaki sıcaklık değeri düşmüştür.

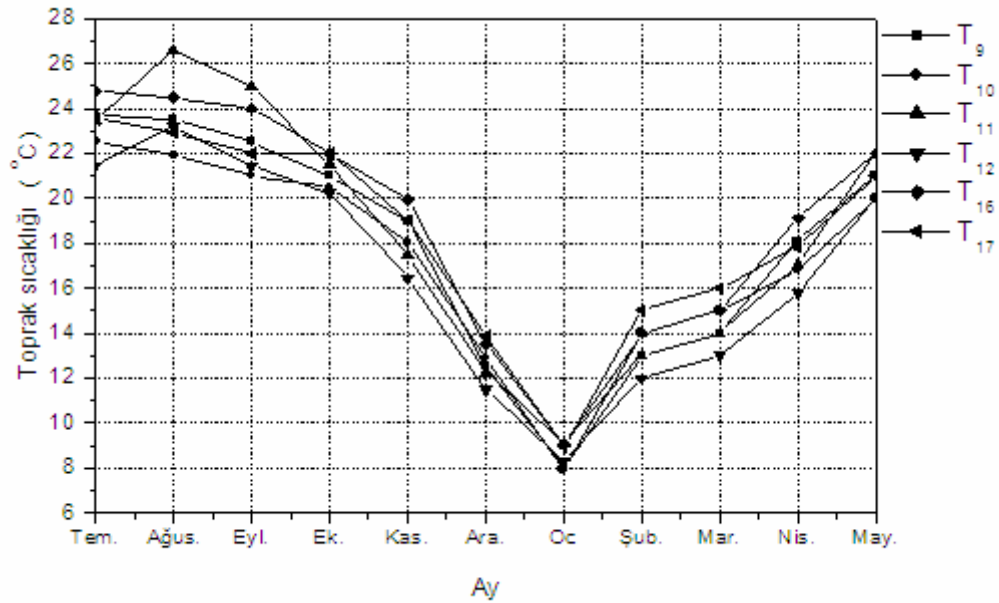
Yan yüzlerdeki kum sıcaklık değerleri depo su sıcaklık değerleri ile beraber artış göstermiştir. Depo merkezine r yönünde daha yakın alt ve üst yüz kum sıcaklıkları daha yüksek değerler almaktadır. Bunun sebebi ise hem yan yüzlerden daha fazla ısı kaybı olması hem de dış gömlek şeklindeki ısı değiştiricisine daha uzak olmasıdır. Depo su sıcaklığının artması ile merkeze r yönünde daha yakın noktadaki kum sıcaklık değerleri artış göstermektedir. Ayrıca depo üst yüzdeki kum sıcaklık değerleri alt yüzdeki kum sıcaklık değerlerinden daha düşüktür. Bunun sebebi dış ortamdaki rüzgâr hızına bağlı olarak taşınım ile topraktan ve dolayısı ile kum üst yüzlerinden dış havaya ısı geçişi oluşmaktadır.

Depo merkezine r yönünde daha yakın noktalardaki yan yüz kum sıcaklık değerleri genel olarak alt ve üst yüz kum sıcaklık değerlerinden daha düşüktür. Isı depolama ünitesinden, kullanım amaçlı sıcak su ile enerji çekilmesi durumundan en çok yan yüz kum sıcaklık değerleri etkilenmektedir. Bunun sebebi ise sıcak su kullanımı için düzenlenen ısı değiştiricisinin depo dışında gömlek şeklinde yer almasıdır. Ocak 2006 ayında oluşan en düşük dış hava sıcaklık değerlerinden ötürü depo su ve kum sıcaklıkları en düşük değerlerde ölçülmüştür. Dış havaya olan ısı kaybından, depo üst

yüzlerdeki kum sıcaklık değerleri düşmüş ve yan yüzlerdeki kum sıcaklık değerleri bu ay içinde depo üst yüzlerdeki kum sıcaklık değerlerine ulaşmıştır.

5.2. Isı Depolama Ünitesi Çevresindeki Toprak Sıcaklıkları

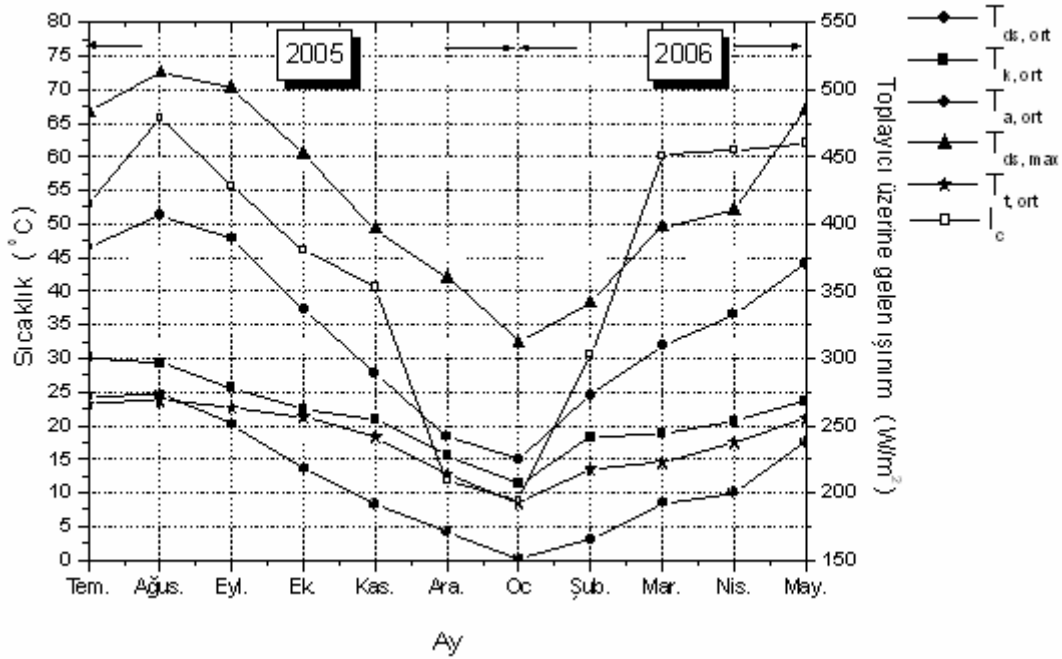
Isı depolama ünitesi civarındaki toprak sıcaklıklarının aylara göre değişimleri Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Isı depolama ünitesi civarındaki toprak sıcaklık değerleri

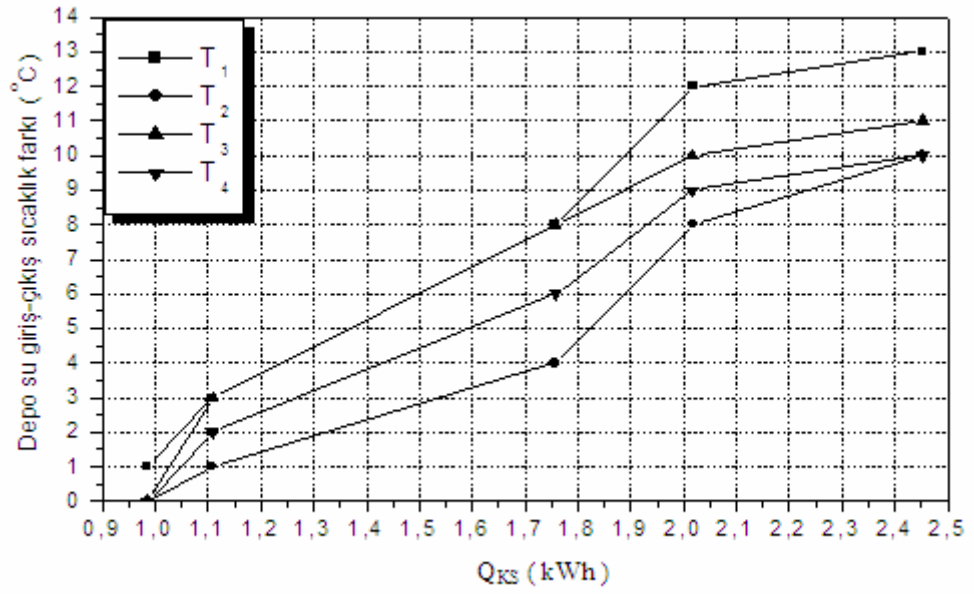
Genel olarak mevsimlik depolama periyodu içinde deponun yanal yüzlerindeki toprak sıcaklıkları daha yüksek değerlerdedir. Özellikle Ağustos 2005 ayı içinde en yüksek depo su sıcaklık değerlerine ulaşılması ile artan ısı kaybından dolayı yan yüzlerdeki toprak sıcaklıkları en yüksek değerlere ulaşmıştır. Isıtma sezonunda hacim ısıtması ile sistemden enerji çekilmesi ile beraber yanal yüzlerdeki toprak sıcak değerleri düşmektedir. Bu duruma topraktan da enerji çekilmesi sebebiyet vermektedir. Isıtma mevsiminde, dış hava şartlarından daha az etkilenmesi nedeni ile en yüksek toprak sıcaklık değerlerine depolama ünitesinin alt yüzünde ulaşılmıştır. Özellikle Ocak

ayında, dış hava sıcaklıklarının düşmesi ile üst toprak sıcaklıkları en düşük değerdedir. Şekil 5.3.'de toplayıcı üzerine gelen ortalama ışınım değerinin ve su, kum, toprak, dış hava sıcaklık ortalamalarının aylara göre değişimi verilmiştir.

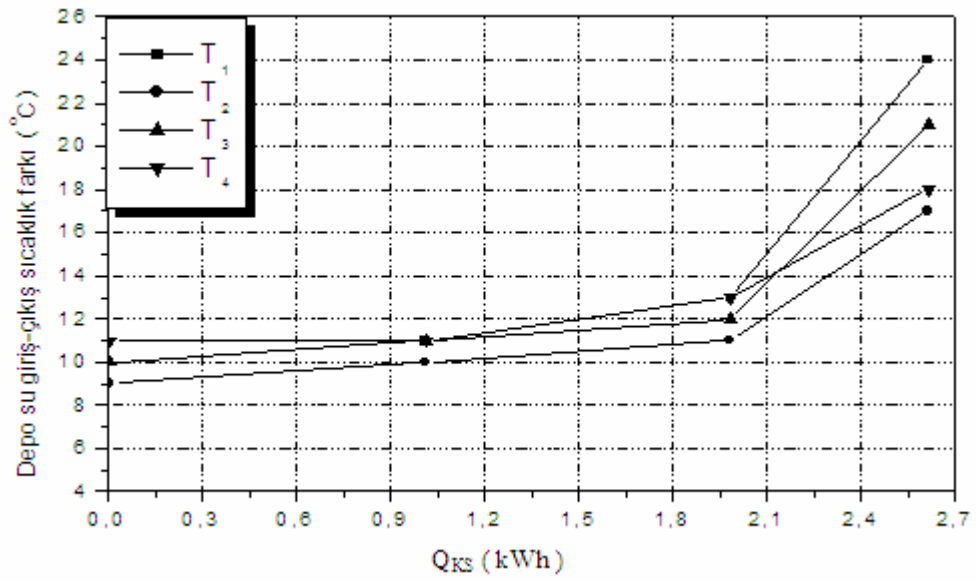


Şekil 5.3. Gelen ışınım ve su, kum, toprak, dış hava sıcaklıkları ortalama değerleri

Isı depolama ünitesinin sıcaklık değerlerini etkileyen en önemli etmenlerden birisi ısı depolama ünitesine aktarılan enerji değeridir. Dış hava sıcaklık değerlerinin ve toplayıcı üzerine gelen güneş ışınımı değerlerinin düşmesine bağlı olarak ısı toplama ünitesinde toplanan enerji miktarı azalmaktadır. Böylelikle ısı taşıyıcı akışkan ile ısı depolama ünitesine aktarılan enerji miktarı düşmektedir. Ayrıca ısı depolama ünitesinin sıcaklık değerlerini etkileyen diğer etmenler sırası ile hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su ile çekilen enerjinin miktarı, toprağa olan ısı kaybıdır. Şekil 5.4.'de ısı depolama ünitesi içinde su sıcaklıklarının kullanım amaçlı sıcak su ile çekilen ısıya bağlı olarak değişimi verilmiştir.



a) ısı depolama ünitesine enerji girişi olduğu durum



b) ısı depolama ünitesine enerji girişi olmadığı durum

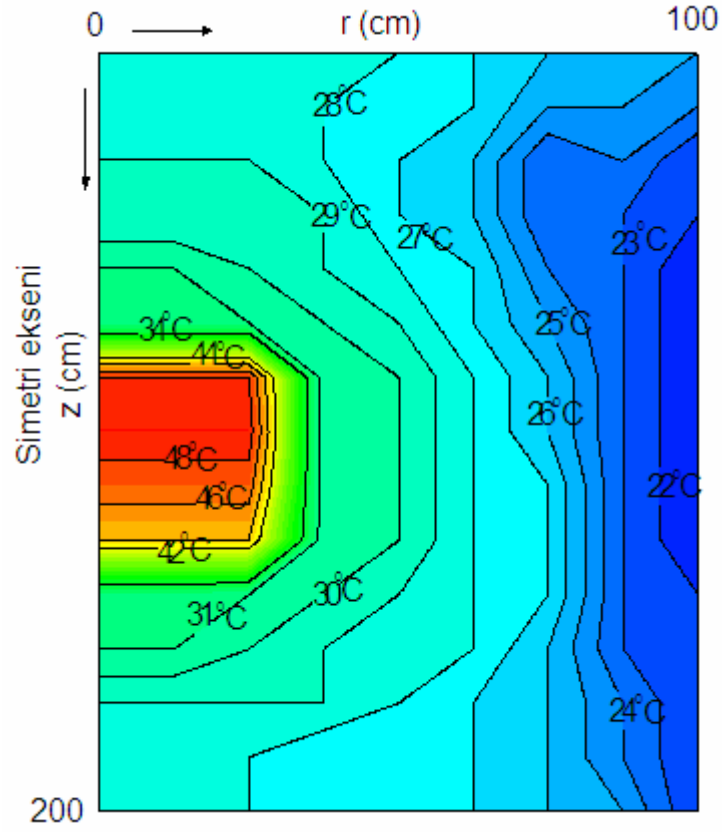
Şekil 5.4. Depolama ünitesi içindeki su sıcaklık değerlerinin kullanım amaçlı sıcak su ile çekilen ısıya bağlı olarak değişimi

Isı depolama ünitesine enerji girişı olduğu durumda, kullanım için sıcak su ile çekilen ısının küçük değerler alması ile depo içindeki ölçüm noktalarında 1 numaralı ölçüm noktası dışında sıcaklık farkı sıfır olmaktadır. Çekilen ısının artması durumunda en yüksek sıcaklık farkı r ve z yönünde depo merkezinde bulunan 1 numaralı ölçüm noktasında kaydedilmiştir.

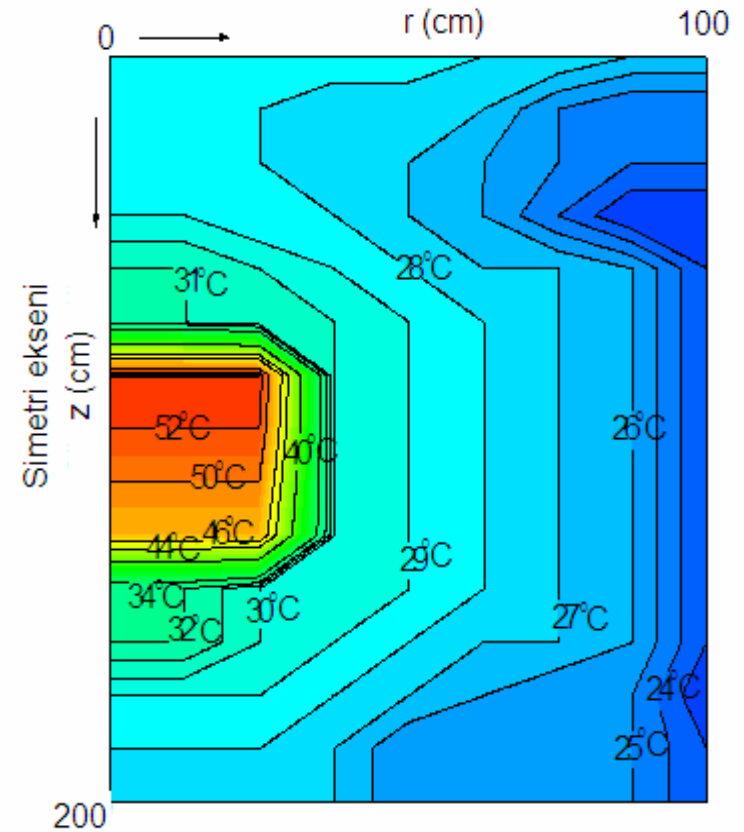
Isı depolama ünitesine enerji girişı olmadığı durumda, genel olarak her ölçüm noktasında sıcak su kullanımının başı ile sonu arasında çekilen ısının artması ile sıcaklık farkı yükselmektedir. En yüksek sıcaklık düşmesi 1 numaralı ölçüm noktasında meydana gelmektedir.

Her iki durum için sıcak su kullanımının başı ve sonu arasında, en büyük sıcaklık farkı 1 numaralı ölçüm noktasında gerçekleşmektedir.

Sıcaklık ölçüm sonuçları yardımı ile z simetri ekseni olmak üzere silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresindeki sıcaklık dağılımları iki boyutlu olarak ölçüm yapılan her ay için 5.5., 5.6, 5.7., 5.8. ve 5.9. şekilleri ile verilmiştir.

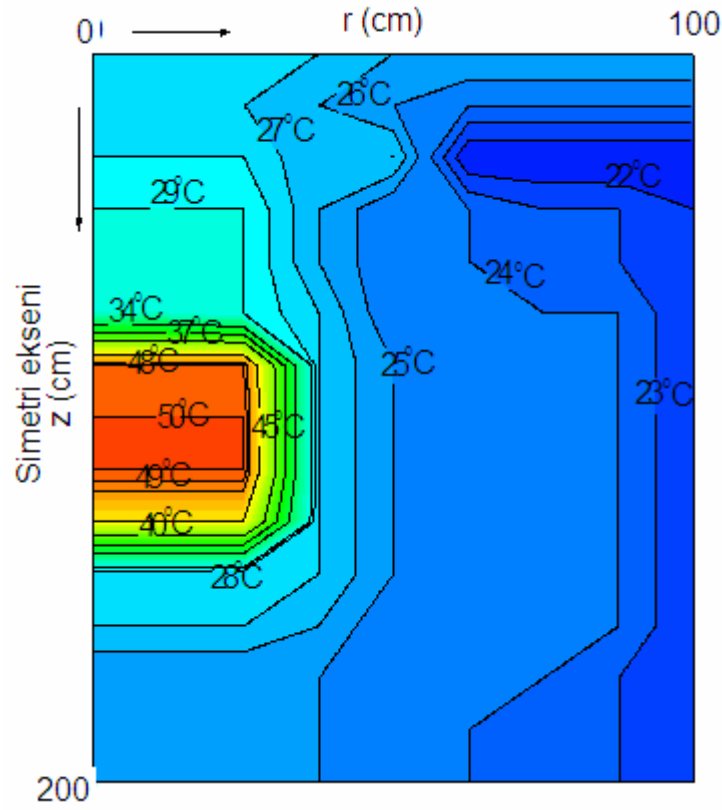


a) temmuz

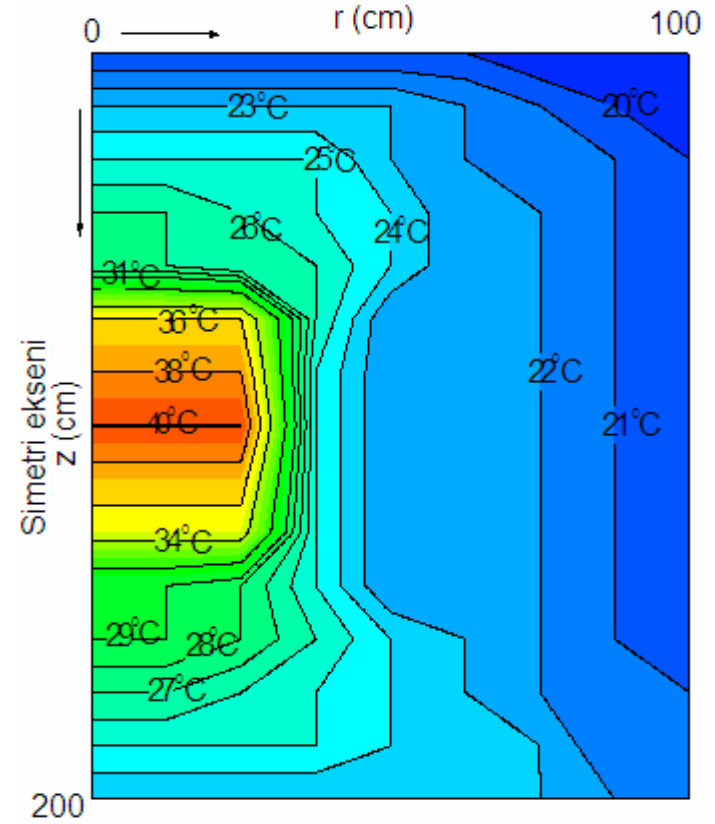


b) ağustos

Şekil 5.5. Isı depolama ünitesi ve civarındaki 2005 yılı ölçüm sonuçlarına göre sıcaklık dağılımları

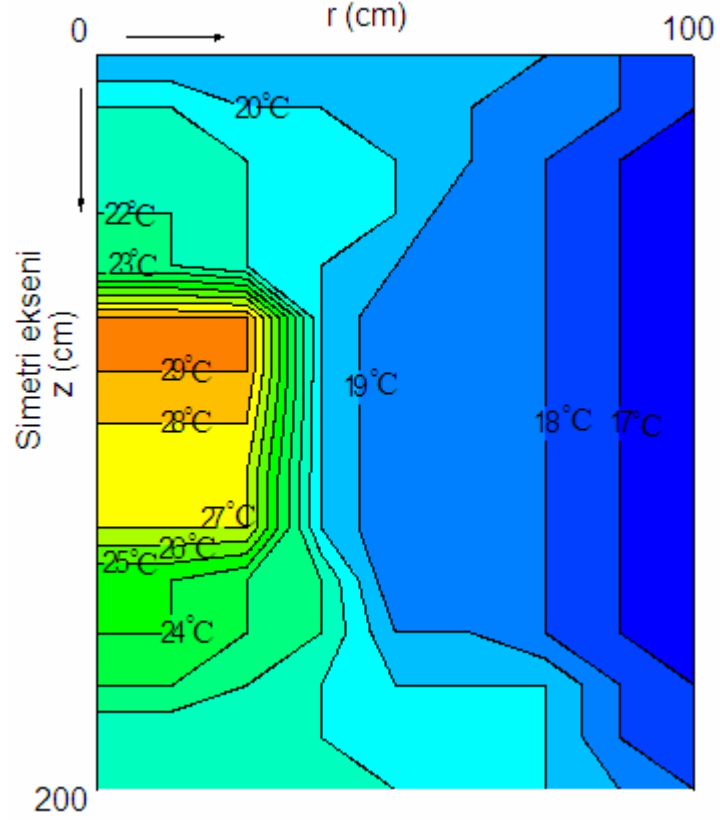


a) eylül

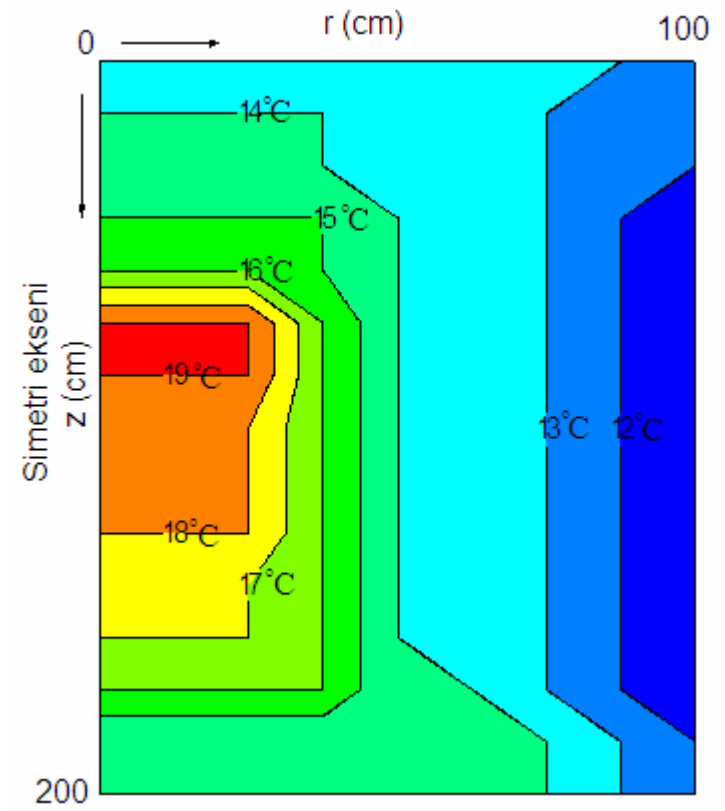


b) ekim

Şekil 5.6. Isı depolama ünitesi ve civarındaki 2005 yılı ölçüm sonuçlarına göre sıcaklık dağılımları

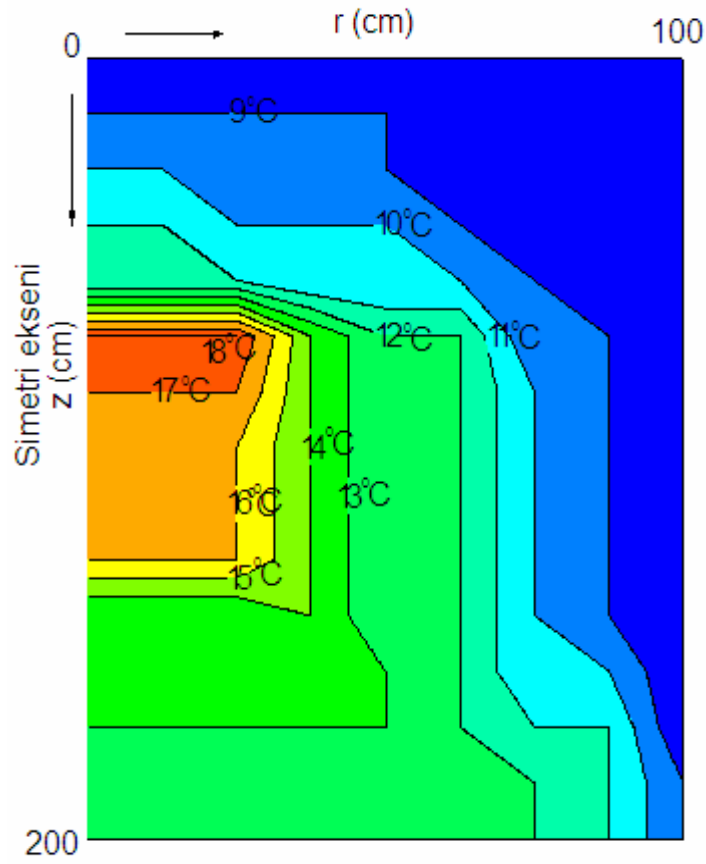


a) kasım

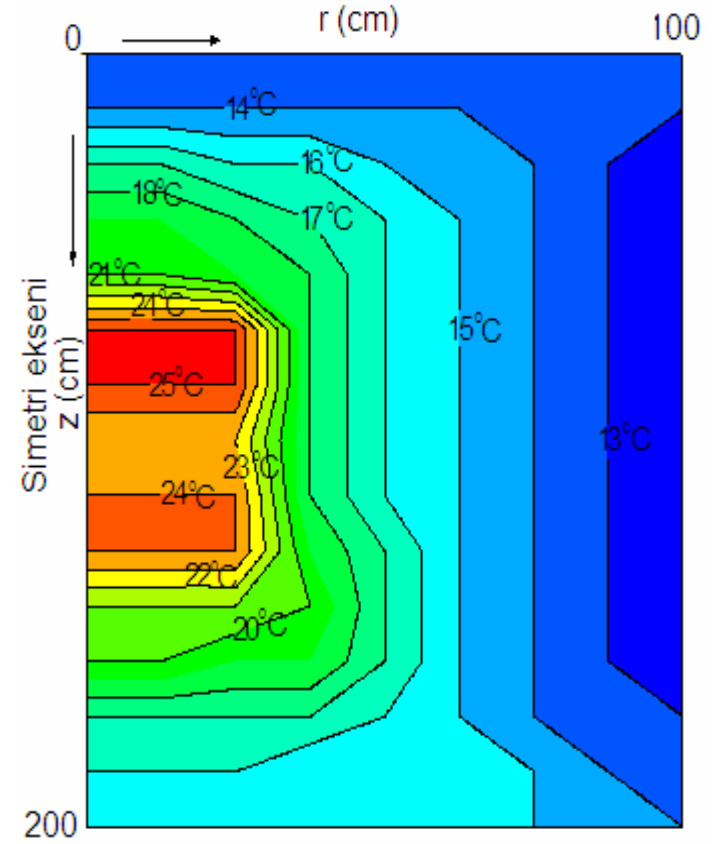


b) aralık

Şekil 5.7. Isı depolama ünitesi ve civarındaki 2005 yılı ölçüm sonuçlarına göre sıcaklık dağılımları

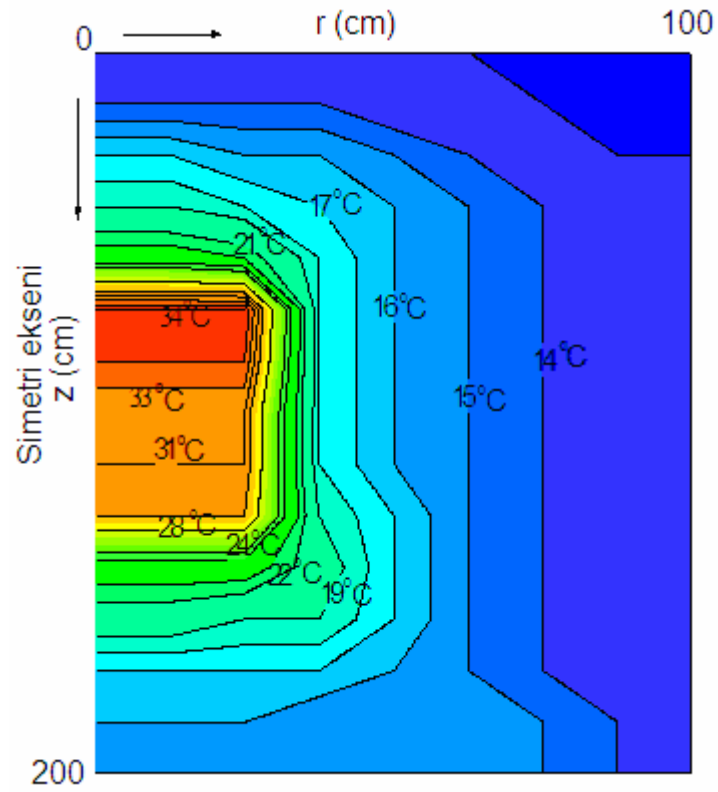


a) ocak

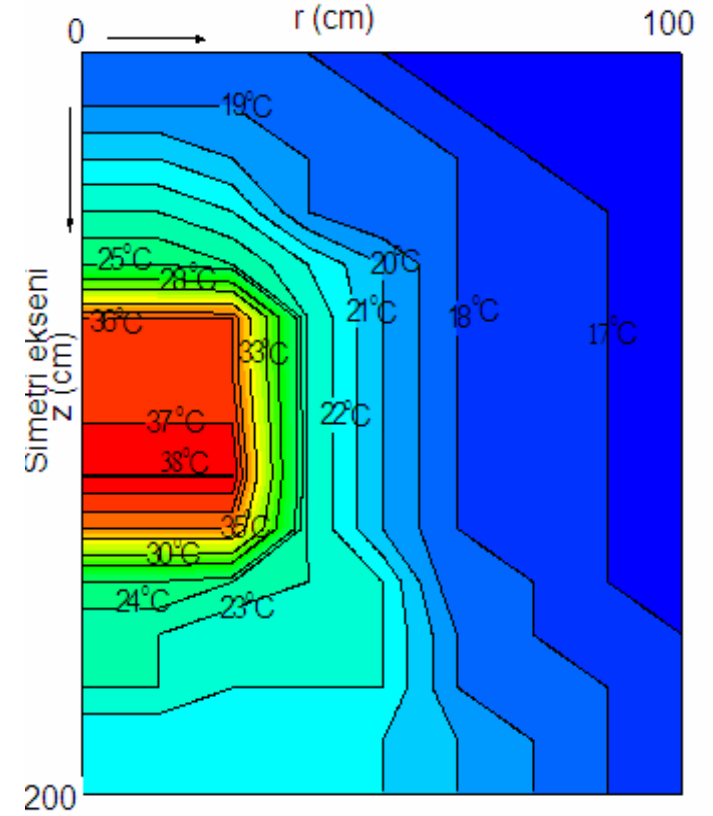


b) şubat

Şekil 5.8. Isı depolama ünitesi ve civarındaki 2006 yılı ölçüm sonuçlarına göre sıcaklık dağılımları



a) mart

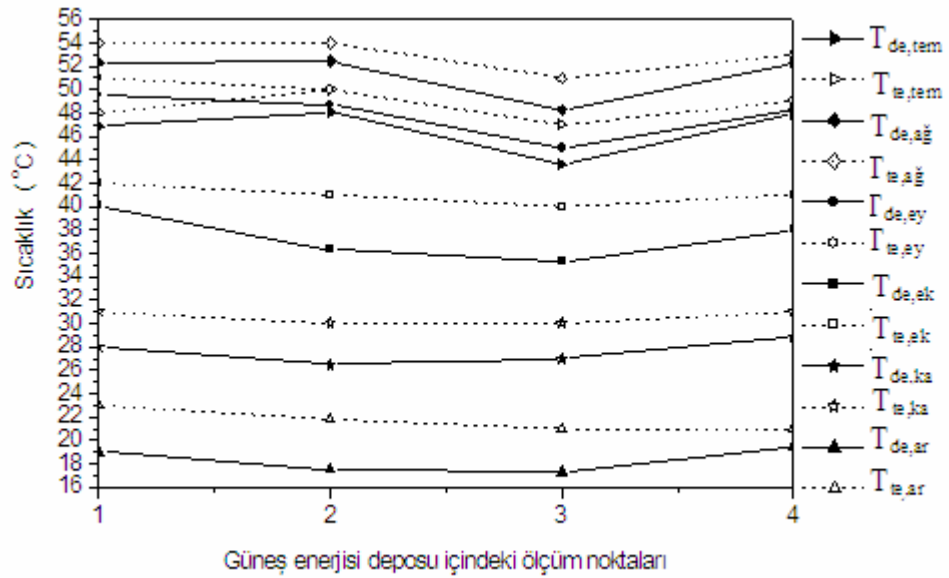


b) nisan

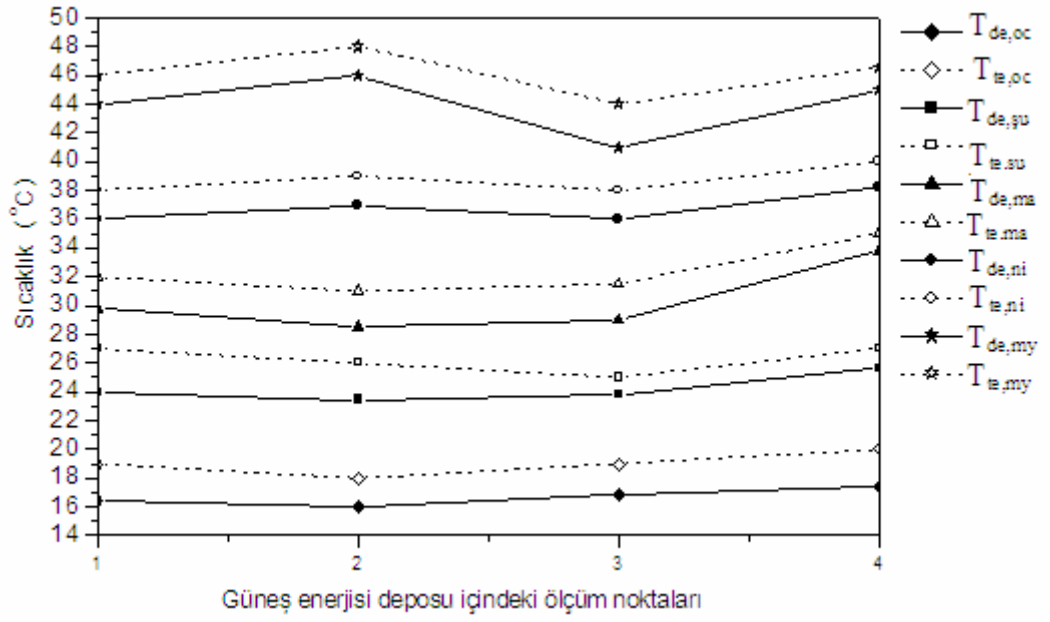
Şekil 5.9. Isı depolama ünitesi ve civarındaki 2006 yılı ölçüm sonuçlarına göre sıcaklık dağılımları

5.3. Deneysel Sıcaklık Değerleri İle Teorik Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması

Ölçüm yapılan her ay için aylık ortalama sıcaklıklar sırası ile ısı depolama ünitesi, su, kum ve toprak içindeki ölçüm noktaları için teorik sıcaklıklar ile karşılaştırılmıştır. Bölüm 3.2.3.'de verilen başlangıç ve sınır şartlarında QuickField Transient Thermal yazılımı kullanılarak teorik sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Silindirik güneş enerjisi deposu içinde ölçüm noktalarındaki teorik ve deneysel su sıcaklıkları Şekil 5.10. ve 5.11.'de verilmiştir.



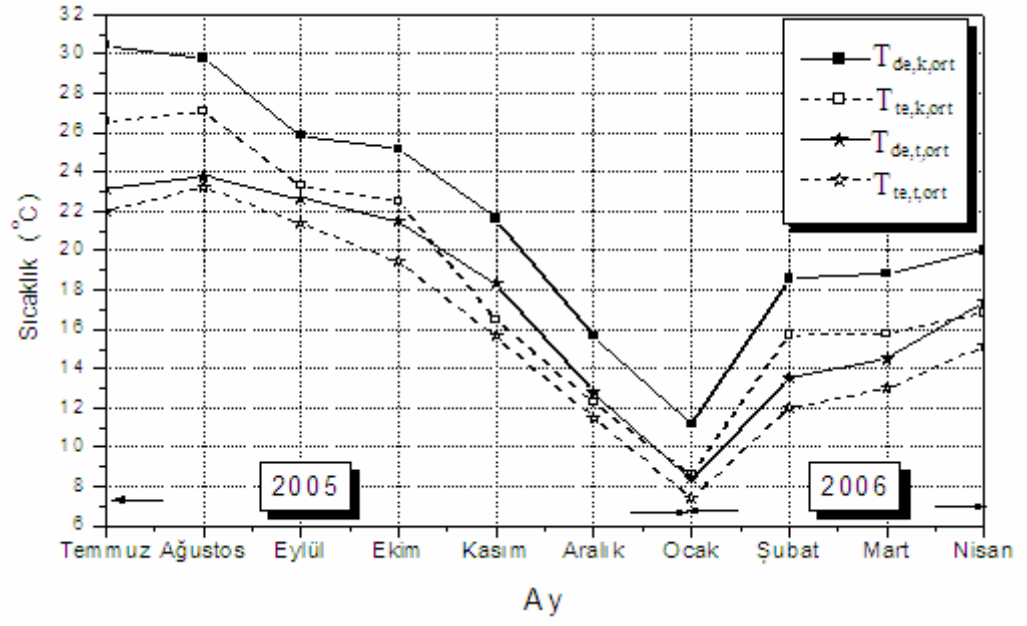
Şekil 5.10. 2005 yılına ait teorik ve deneysel sıcaklıklar



Şekil 5.11. 2006 yılına ait teorik ve deneysel sıcaklıklar

Mevsimlik depolama dönemi içinde teorik değerler ile deneysel değerler arasında en büyük fark 3 numaralı ölçüm noktasındadır. Bu nokta depo içinde yeryüzüne z yönünde en uzak noktadır. Isınan suyun doğal taşınım ile yukarıya çıkmasından kaynaklanır. Hacim ısıtmasının olduğu dönemde genel olarak 2 ve 3 numaralı ölçüm noktaları arasında fark daha yüksektir.

Aylık kum ve toprak ortalama sıcaklıklarının deneysel ve teorik sonuçları Şekil 5.12.'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Kum ve toprak ortalama sıcaklıklarının teorik ve deneysel sonuçları

Kum ve toprak sıcaklık ortalamalarında deneysel ve teorik sonuçlar arasında en büyük sapmalar ısıtma mevsimi içinde olmaktadır.

6. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin korunumu ilkesidir ve toplam enerjinin termodinamik bir özellik olduğunu vurgular. Enerjinin niceliği ile ilgili olan bu yasa, enerjinin var veya yok edilemeyeceğini sadece biçim değiştirebileceğini belirtir.

Potansiyel, kinetik, elektrik enerjisi gibi enerjiler, tersinir bir hal değişimine uğratıldıklarında tamamen başka bir enerji türüne ve işe dönüştürülebilmektedir. Buna karşın; iç enerji, kimyasal enerji ve ısı enerjisi tersinir bir hal değişimine uğratıldıklarında, son konumda çevre koşulları ile denge durumuna gelirler. Bu denge durumunda hala belirli bir enerjide oldukları halde, enerjilerinin tamamını işe dönüştürmek mümkün olmamaktadır (Onat, 1990).

Genel olarak enerji analizinde; enerjinin korunumu ile ilgili olan termodinamiğin birinci yasası dikkate alınır. Kullanılan enerjinin miktarı ve enerji işleminin etkinliği incelenir.

Enerji analizi ile enerji kaynağının seçimi ve alternatiflerin değerlendirilmesi konusunda yararlanılmaktadır. Yararlanma etkinliğinin sadece enerji miktarına bağlı olduğu uygulamaların incelenmesi ve boyutlandırılması mümkündür.

Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin niceliği üzerinde durur ve enerjinin bir biçimden diğerine dönüşümü sırasındaki değişimleri sayısal değerlerle ifade eder. Sayısal değer olarak eşit, fakat biçim ve kaynak bakımından farklı enerjiler arasında ayırım gözetmez. Termodinamiğin ikinci yasası, hal değişimlerinin hangi yönde gerçekleşebileceklerini belirler ve enerjinin niceliği yanında niteliği de ön plana çıkarır. İkinci yasa bir hal değişimi sırasında enerjinin niteliğinin nasıl azaldığını hesaplamak için somut yöntemler ortaya koyar.

Termodinamiğin ikinci yasası, bir hal değişimi sırasında enerjinin niteliğinin azalması, entropi üretimi, iş yapma olanağının değerlendirilmesine yarar. Böylelikle ikinci yasa, yararlı (kullanılabilir) enerjiyi ve tersinmezlik değerini ortaya koyar. Bununla birlikte, enerjinin hangi ünitelerde ne kadarlık bir kısmının verimli kullanıldığını ortaya koyar. Değişik mühendislik uygulamaları için enerji değerlerini belirleyen esas etmen, iş yapabilme kapasitesidir ve bunun bir ölçütü de enerji

kaynağının ekserjisidir. Ekserji; mevcut çevre koşullarında ısı kaynağı ile ideal koşullardaki efektif çalışma sırasında değiştirilebilen yararlı enerjiyi belirtir ve verilen koşullardaki bir sistemin çevresiyle (ölü durum ile) aynı koşullara getirilmesinde elde edilen en büyük iştir (Onat, 1990).

Ekserji analizi, ekserji veya yararlılık olarak adlandırılan kullanılabilir enerji ve tersinmezlik olarak adlandırılan kullanılamayan enerjinin belirlenmesine dayanır.

Ekserji analizinde;

- termodinamiğin birinci ve ikinci yasası kütle korunumu ile birlikte dikkate alınır,
- enerji kullanımının daha etkin olarak değerlendirilmesine olanak sağlayan enerjinin niteliği esas alınır,
- ısı enerjisi, mekanik enerji, elektrik enerjisi ve kimyasal enerjinin etkinliklerindeki belirli farklılıklar incelenir,
- sıcaklık düzeyi ve basınç kaybındaki değişiklikler ile ilgili olan tersinmezlik artışı dikkate alınır (Öztürk ve Baştañçelik, 2003).

6.1. Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Isıtma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi

Genel olarak, güneş enerjili ısıtma sistemlerinin en önemli elemanları toplayıcılar, depolama üniteleri ve yardımcı ısı kaynaklarıdır. Güneş enerjili ısıtma sistemlerinin işletiminde aşağıda belirtilen temel durumlar söz konusudur.

1.durum: Güneş enerjisinin mevcut olduğu ve binada ısıtmanın gerekli olmadığı durumda (kullanım için sıcak su da dâhil olmak üzere), toplayıcılardan sağlanan enerji kazancı ısı depolama ünitesine aktarılır ve depolanır.

2.durum: Güneş enerjisinin mevcut olmadığı ve binada ısıtmanın gerekli olduğu durumda, depolama ünitesinde depolanan enerji kullanılarak ısıtma yapılır.

3.durum: Güneş enerjisini mevcut olduğu ve binada ısıtmanın gerekli olduğu durumda, güneşten sağlanan enerji yeterli değil ise aynı anda eksik olan enerji kadar ısı depolama ünitesinden çekilir.

4.durum: Güneş enerjisinin mevcut olmadığı ve binada ısıtmanın gerekli olduğu durumda, ısı depolama ünitesindeki enerji yeterli değil ise bina ısıtmasında yardımcı ısı kaynağı kullanılır (Duffie ve Beckmann, 1991).

Tüm bu alternatiflere göre, bütün sistemin otomasyonu gerçekleştirilmiştir.

6.1.1. Isı toplama ünitesinin enerji ve ekserji analizi

Isı toplama ünitesinde toplanılan anlık enerji kazancı; güneş enerjisi toplama ünitesine giren akışkanın kütleli debisi, özgül ısı ve giriş-çıkış sıcaklık farkına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten belirlenir.

$$\dot{Q}_c(t) = \dot{m}_a C_{p,a} [T_{cç}(t) - T_{cg}(t)] \quad (6.1)$$

Işınımölçer ile yatay birim düzleme gelen anlık global güneş ışınımı I , mV cinsinden kaydediciden okunmuştur. Okunan değerler Bölüm 4.7.2.'de verilen (4.1) eşitliği ile W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Toplayıcılar üzerine gelen anlık global ışınım I_c , W/m^2 olarak Bölüm 3.2.'de verilen denklemler ile belirlenmiştir. Belirli toplayıcı alanı ile güneş ışınımından kazanılan anlık ısı güç (6.2) eşitliği ile verilmiştir.

$$\dot{Q}_{gel} = A_c I_c(t) \quad (6.2)$$

Isı toplama ünitesinin toplam enerji etkinliği; toplama ünitesinden toplanan anlık ısı gücün, toplama ünitesine gelen güneş ışınımından kazanılan anlık ısı güce oranı olarak tanımlanır (Viesmann, 2005).

$$\eta_c(t) = \frac{\dot{Q}_c(t)}{\dot{Q}_{gel}(t)} \times 100 = \eta_{op} - U_1 \frac{\Delta T}{I_c} - U_2 \frac{\Delta T^2}{I_c} \quad (6.3)$$

Eşitlikte U_1 ve U_2 toplayıcıya ait ısı kayıp sayılarını, η_{op} toplayıcı optik verimini, ΔT ise toplayıcı giriş sıcaklığı ile dış hava sıcaklığı arasındaki farkı ifade etmektedir.

Isı toplama ünitesine aktarılan toplam enerji (6.4) eşitliği ile verilir.

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} \dot{Q}_c = \int_{t_0}^t [\dot{Q}_c(t)] dt \quad (6.4)$$

Isı toplama ünitesinden toplanılan ısıl gücün ekserjisi, çevre (ölü durum) sıcaklığı T_0 , toplayıcı giriş sıcaklığı- çıkış sıcaklığı ortalaması $T_{c,ort}$ olmak üzere aşağıdaki eşitlik ile verilmiştir.

$$\dot{E}_c(t) = \dot{Q}_c(t) \left(1 - \frac{T_0}{T_{c,ort}(t)} \right) \quad (6.5)$$

Güneş ışınımından kazanılan anlık ısıl gücün ekserjisi, çevre (ölü durum) sıcaklığı T_0 ve toplayıcı yüzey sıcaklığı T_{Ac} 'ya bağlı olarak aşağıdaki ifade ile verilmiştir.

$$\dot{E}_{gel}(t) = \dot{Q}_{gel}(t) \left(1 - \frac{T_0}{T_{Ac}(t)} \right) \quad (6.6)$$

Güneş ışınımından kazanılan maksimum ekserji akışı; toplayıcı alanı A_c , anlık toplam güneş ışınımı I_c , çevre (ölü durum) sıcaklığı T_0 ve etkin güneş sıcaklığı T_S bağlı olarak (6.7) eşitliği ile verilebilir (Suzuki, 1988).

$$\dot{E}_{gel}(t) = A_c I_c(t) \left[1 - \frac{T_o}{T_s} \right] \quad (6.7)$$

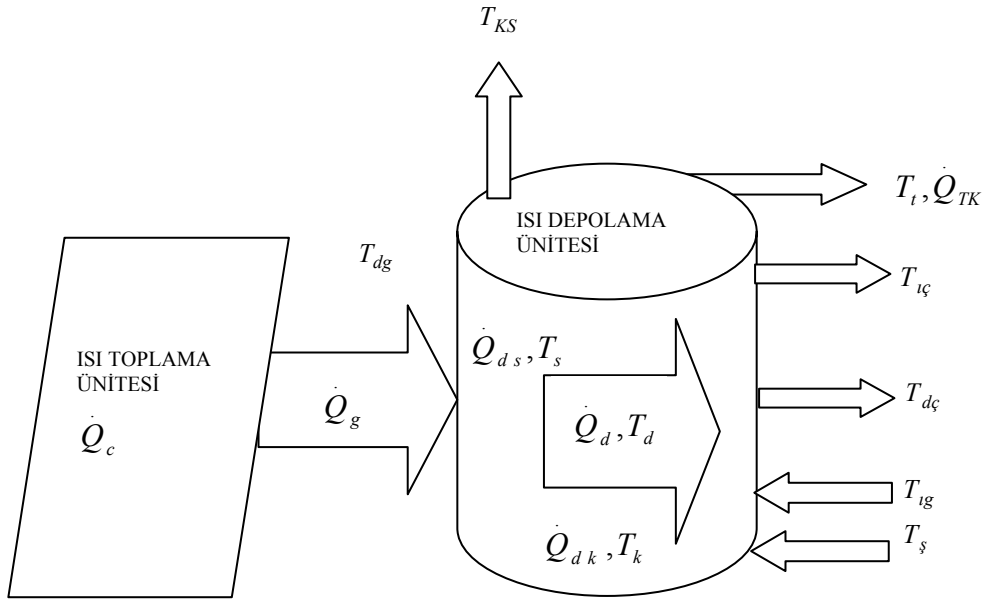
Isı toplama ünitesinin ekserji etkenliği (6.8) eşitliği ile verilebilir.

$$\Psi(t) = \frac{\dot{E}_c(t)}{\dot{E}_{gel}(t)} \times 100 \quad (6.8)$$

Isı toplama ünitesinin ekserji analizinde, çevre (ölü durum) sıcaklığı $T_0=298,15$ K ve çevre (ölü durum) basıncı $P_0= 1$ bar değerinde alınmıştır. Etkin güneş sıcaklığı ise $T_s=5762$ K olarak alınmıştır (Kreith ve Kreider, 1978).

6.1.2. Isı depolama ünitesinin enerji analizi

Sıcaklık ölçüm sonuçları yardımı ile ısı depolama ünitesi için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Isı depolama ünitesinin enerji analizi Şekil 6.1.'de tanımlanan modele göre yapılmıştır.



Şekil 6.1. Isı depolama ünitesinin enerjileri

Genel olarak ısı depolama dönemi için ısı depolama ünitesinin enerji dengesi aşağıdaki eşitlik şeklinde yazılabilir.

$$\text{Verilen ısı güç} = \text{Depolanan ısı güç} + \text{Toplam kayıp ısı güç} \quad (6.9)$$

$$\dot{Q}_g(t) = \dot{Q}_d(t) + \dot{Q}_{TK}(t) \quad (6.10)$$

Hacim ısıtmasının gerekli olmadığı durum yani mevsimlik depolama döneminde, ısı toplama ünitesinden ısı taşıyıcı akışkan ile ısı depolama ünitesine verilen ısının bir bölümü kullanım için sıcak su ile alınmış geri kalan kısmı ise depolama ünitesi ve çevresinde depolanmıştır. İlgili dönem için ısı depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisi (6.11) eşitliğinde verilmiştir.

$$\dot{Q}_d(t) = \dot{Q}_{ds}(t) + \dot{Q}_{dk}(t) + \dot{Q}_{KS}(t) \quad (6.11)$$

Mevsimlik depolama dönemi için ısı depolama ünitesinin enerji eşitliği ise aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\dot{Q}_g(t) = \dot{Q}_{ds}(t) + \dot{Q}_{dk}(t) + \dot{Q}_{KS}(t) + \dot{Q}_{TK}(t) \quad (6.12)$$

Isı toplama ünitesinden çıkan ısı taşıyıcı akışkan ile ısı depolama ünitesine verilen ısı güç için (6.13) eşitliği geçerlidir.

$$\dot{Q}_g(t) = \dot{m}_a C_{p,a} [T_{dg}(t) - T_{dç}(t)] \quad (6.13)$$

Isı depolama ünitesinden sıcak su kullanımı ile çekilen ısı güç için (6.14) eşitliği geçerlidir.

$$\dot{Q}_{KS} = \dot{m}_{KS} C_{p,KS} [T_{KS}(t) - T_s(t)] \quad (6.14)$$

Isı depolama ünitesinin yan ve taban yüzeylerinden toprağa olan toplam kayıp ısı güç kaybı (6.15) eşitliğinden belirlenir.

$$\sum \dot{Q}_{TK}(t) = \dot{Q}_{TKY}(t) + \dot{Q}_{TKT}(t) \quad (6.15)$$

Isı depolama ünitesinin tabanlarından toprağa olan kayıp ısı güç için (6.16) eşitliği geçerlidir.

$$\dot{Q}_{TK}(t) = 2U_T A_T [T_{ds}(t) - T_t(t)] \quad (6.16)$$

Isı depolama ünitesinin yan yüzeylerinden toprağa olan kayıp ısı güç hesabında, depo için toplam ısı geçiş sayısı, sıcak su kullanımı olduğu zaman ve sıcak su kullanımı olmadığı zaman olmak üzere iki durumda incelenmelidir.

Sıcak su kullanımı olduğu zaman, ısı depolama ünitesinin yan yüzeylerinden toprağa olan kayıp ısı güç için;

$$\dot{Q}_{TKY1}(t) = U_{Y1} A_Y [T_{ds}(t) - T_t(t)] \quad (6.17)$$

eşitliği geçerlidir.

Eşitlikte yer alan U_{Y1} sıcak su kullanımı olduğu zaman depo yan yüzeyi için toplam ısı geçiş sayısıdır ve (6.18) eşitliği ile belirlenir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

$$\frac{1}{U_{Y1}} = \frac{1}{h_{i1}} + \frac{d_{dd} \ln(d_{dd} / d_{di})}{k_d} + \frac{d_{yd} \ln(d_{yd} / d_{yi})}{k_y} + \frac{d_{kd} \ln(d_{kd} / d_{ki})}{k_k} + \frac{1}{h_t} \quad (6.18)$$

Sıcak su kullanımı olmadığı zaman, ısı depolama ünitesinin yan yüzeylerinden toprağa olan kayıp ısı güç için;

$$\dot{Q}_{TKY2} = U_{Y2} A_Y [T_{ds}(t) - T_t(t)] \quad (6.19)$$

şeklindeki eşitlik geçerlidir.

Eşitlikte yer alan U_{Y2} sıcak su kullanımı olmadığı zaman depo yan yüzeyi için toplam ısı geçiş sayısıdır ve (6.20) eşitliği ile belirlenir.

$$\frac{1}{U_{Y2}} = \frac{1}{h_{i2}} + \frac{d_{dd} \ln(d_{dd} / d_{di})}{k_d} + \frac{d_{yd} \ln(d_{yd} / d_{yi})}{k_y} + \frac{d_{kd} \ln(d_{kd} / d_{ki})}{k_k} + \frac{1}{h_t} \quad (6.20)$$

(6.11) eşitliği, hacim ısıtmasının gerekli olduğu durum için aşağıdaki şekilde verilir.

$$\dot{Q}_d(t) = \dot{Q}_{ds}(t) + \dot{Q}_{dk}(t) + \dot{Q}_{KS}(t) + \dot{Q}_{ht} \quad (6.21)$$

Isıtıcıda dolaşan ısı taşıyıcı akışkan ile ısı depolama ünitesinden alınan ısı güç için (6.22) eşitliği geçerlidir.

$$\dot{Q}_{hi}(t) = \dot{m}_{is} C_{p,is} [T_{iç}(t) - T_{ig}(t)] \quad (6.22)$$

Isı depolama ünitesinin enerji etkinliği, depolama ünitesinde depolanan ısı güç miktarının, ısı toplama ünitesinden depolama ünitesine verilen ısı güç miktarına oranı olarak (6.23) eşitliği ile verilmiştir.

$$\eta_d(t) = \frac{\dot{Q}_d(t)}{\dot{Q}_g(t)} \times 100 \quad (6.23)$$

Isı toplama ve depolama üniteleri arasında ısı taşıyıcı akışkanın sirkülasyonu için pompanın kullandığı enerji tüketimi W dikkate alındığında, ısı depolama ünitesinin net enerji etkinliği aşağıdaki eşitlikten belirlenir.

$$\eta_{d,net}(t) = \frac{\dot{Q}_d(t)}{\dot{Q}_g(t) + W} \times 100 \quad (6.24)$$

6.1.3. Isı depolama ünitesinde depolanan toplam ısı miktarının hesaplanması

Isı depolama dönemleri süresince depolanan toplam ısı miktarı, depolama ünitesine verilen toplam ısı miktarı, depolama ünitesinden oluşan toplam ısı kaybına göre belirlenir. Belirli bir zaman aralığında depolanan toplam ısı miktarı aşağıdaki eşitlikten belirlenebilir.

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} \dot{Q}_d = \sum_{t=t_0}^{t=t} \left[\dot{Q}_{ds}(t) + \dot{Q}_{dk}(t) + \dot{Q}_{KS}(t) + \dot{Q}_{ht}(t) \right] = \int_{t_0}^t \left[\dot{Q}_g(t) - \dot{Q}_{TK}(t) \right] dt \quad (6.25)$$

Depolama ünitesine verilen toplam ısı miktarı için;

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} \dot{Q}_g = \int_{t_0}^t \dot{m}_a C_{p,a} [T_{dg}(t) - T_{dç}(t)] dt \quad (6.26)$$

eşitliği geçerlidir.

Depolama ünitesinden kullanım amaçlı sıcak su ile çekilen toplam ısı miktarı (6.27) eşitliğinde verilmiştir.

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} \dot{Q}_{KS} = \int_{t_0}^t \dot{m}_{KS} C_{p,KS} [T_{KS}(t) - T_{ş}(t)] dt \quad (6.27)$$

Depolama ünitesinden hacim ısıtması ile çekilen toplam ısı miktarı (6.28) eşitliğinde verilmiştir

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} \dot{Q}_{ht} = \int_{t_0}^t \dot{m}_{is} C_{p,is} [T_{iç}(t) - T_{ig}(t)] dt \quad (6.28)$$

Depolama ünitesinden toprağa olan toplam kayıp ise (6.29) eşitliğinde verilmiştir.

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} \dot{Q}_{TK} = \int_{t_0}^t \left[\dot{Q}_{TKY}(t) + \dot{Q}_{TKT}(t) \right] dt \quad (6.29)$$

6.1.4. Isı depolama ünitesi için ekserji analizi

Sistemlerin termodinamik tasarımı, sistemlerin maddenin korunumu, enerjinin korunumu ve termodinamiğin ikinci yasası yönünden analizini ifade eder.

Ekserji, belirli bir başlangıç halinden çevre şartlarına (ölü hale) ulaşmaya kadar, bir sistemden elde edilebilecek en fazla teorik yararlı iş olarak tanımlanmaktadır. Ölü durumda, $T = T_0$ ve $P = P_0$ olur.

Isı depolama ünitesinin, ısı depolama dönemi için ekserji dengesi; Isı toplama ünitesinden çıkan ısı taşıyıcı akışkan ile ısı depolama ünitesine verilen ekserji, depolama ünitesinde depolanan ekserji ve ekserji kaybına bağlı olarak aşağıdaki eşitlik ile verilebilir.

$$\text{Verilen ekserji} = \text{Depolanan ekserji} + \text{Toplam ekserji kaybı} \quad (6.30)$$

$$\dot{E}_g(t) = \dot{E}_d(t) + \dot{E}_{TK}(t) \quad (6.31)$$

Genel olarak, ısı depolama ünitesi için depolanan ekserji (6.33) eşitliği ile verilebilir.

$$\dot{E}_d(t) = \dot{E}_{ds}(t) + \dot{E}_{dk}(t) + \dot{E}_{KS}(t) + \dot{E}_{h1}(t) \quad (6.33)$$

Isı toplama ünitesinden çıkan ısı taşıyıcı akışkan ile depolama ünitesine aktarılan anlık ısı \dot{Q}_g 'nin ekserji eşdeğeri, çevre (ölü durum) sıcaklığı T_0 ve ısı taşıyıcı akışkanın ısı depolama ünitesine giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması $T_{d,ort}$ 'na göre (6.34) eşitliği ile verilir (Can, .2005).

$$\dot{E}_g(t) = \dot{Q}_g(t) \left[1 - \frac{T_0}{T_{d,ort}(t)} \right] \quad (6.34)$$

Isı depolama ünitesinden kullanım amaçlı sıcak su ile çekilen ısı \dot{Q}_{KS} 'nin ekserji eşdeğeri, çevre (ölü durum) sıcaklığı T_0 ve T_{KS} ve T_{ϕ} sıcaklıklarının ortalaması $T_{KS,ort}$ 'na göre (6.35) eşitliği ile verilmiştir.

$$\dot{E}_{KS}(t) = \dot{Q}_{KS}(t) \left[1 - \frac{T_0}{T_{KS,ort}(t)} \right] \quad (6.35)$$

Isı depolama ünitesinden hacim ısıtması için çekilen anlık ısı \dot{Q}_{hi} 'nin ekserji eşdeğeri, çevre (ölü durum) sıcaklığı T_0 ve ısıtıcı giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması $T_{i,ort}$ 'na göre (6.36) eşitliği ile verilmiştir

$$\dot{E}_{hi}(t) = \dot{Q}_{hi}(t) \left[1 - \frac{T_0}{T_{i,ort}(t)} \right] \quad (6.36)$$

Isı depolama ünitesinden çevresi toprağa olan anlık toplam kayıp ısı \dot{Q}_{TK} 'nin ekserji eşdeğeri, çevre (ölü durum) sıcaklığı T_0 ve depolama ünitesi içindeki depolama maddesi suyun ortalama sıcaklığına bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$\dot{E}_{TK}(t) = \dot{Q}_{TK}(t) \left[1 - \frac{T_0}{T_{ds,ort}(t)} \right] \quad (6.37)$$

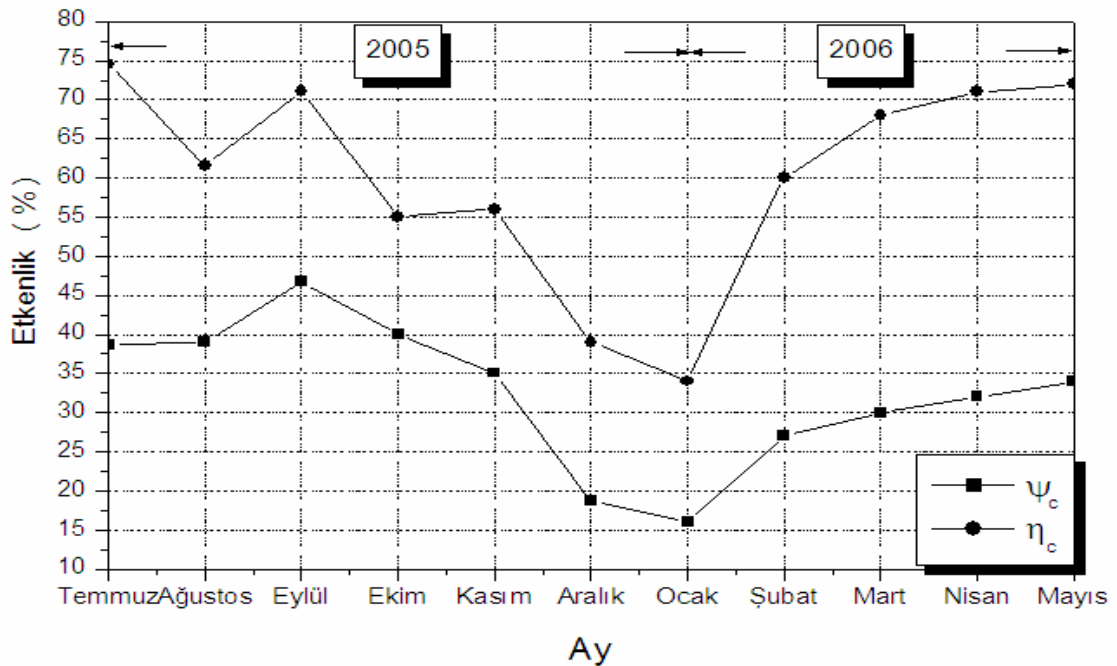
Isı depolama ünitesinin net ekserji etkinliği, depolama ünitesinde depolanan anlık ekserji miktarının, toplama ünitesinden depolama ünitesine verilen anlık ekserji miktarına ve ısı toplama ve depolama üniteleri arasında ısı taşıyıcı akışkan sirkülasyonu için gerekli enerji tüketimi W 'ye bağlı olarak aşağıdaki eşitlik ile verilebilir.

$$\Psi_{d,net}(t) = \frac{E_d(t)}{E_g(t) + W} \times 100 \quad (6.38)$$

6.2. Enerji Ve Ekserji Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

6.2.1. Isı toplama ünitesi için enerji ve ekserji analizi sonuçları

Ölçüm sonuçları yardımı ile ısı toplama ünitesinin enerji ve ekserji etkenlikleri hesaplanmıştır. Şekil 6.2.'de ısı toplama ünitesi enerji ve ekserji etkenliklerinin aylara göre değişimi verilmiştir.



Şekil 6.2. Isı toplama ünitesinin η enerji ve Ψ ekserji etkenliğinin aylara göre değişimi

Mevsimlik depolama dönemi içinde ısı toplama ünitesinden ısı depolama ünitesine aktarılan enerjinin bir bölümü kullanım sıcak suyu ile çekilmiş geri kalan

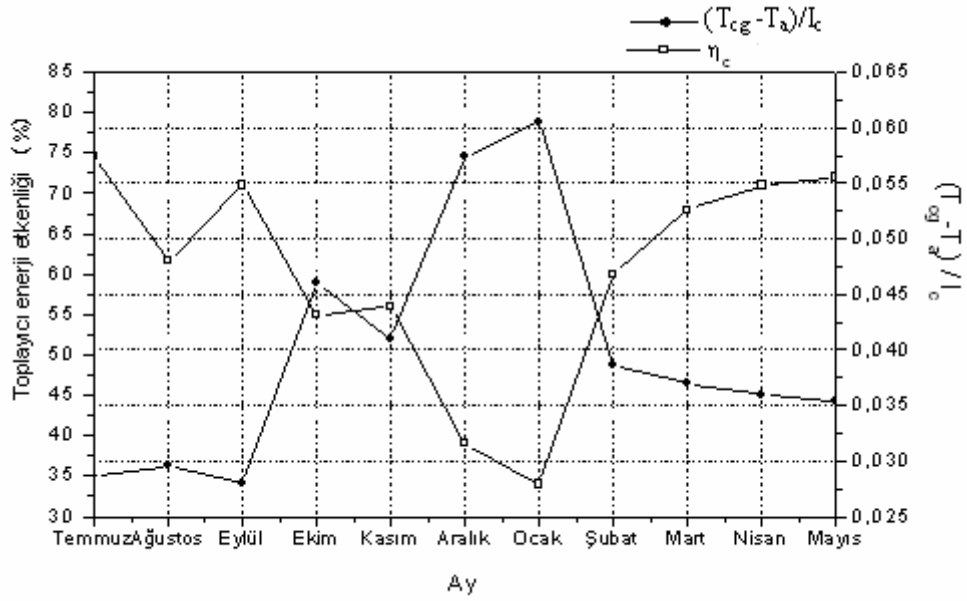
kısmı ise ısı depolama ünitesi ve civarında depolanmıştır. Bu dönemde ısı depolama ünitesinde daha yüksek su sıcaklık değerlerine ulaşıldığı için ısı taşıyıcı akışkanın ısı depolama ünitesinden çıkış sıcaklık değeri artmaktadır. Bu durum ise ısı taşıyıcı akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklık değerinin artmasına sebebiyet vermektedir. Dolayısı ile ısı toplama ünitesinin enerji verimi mevsimlik depolama dönemi içinde beklenilenden daha düşük değerlerdedir. Şekil 6.2.'de görüldüğü üzere, ısı toplama ünitesinin enerji etkenliği % 33 -75, ekserji etkenliği ise % 17 -40 değerleri arasında değişmektedir.

Şekil 6.2.'de görüldüğü üzere, ısı toplama ünitesinde en düşük enerji ve ekserji etkenliğine Ocak 2006 ayı içinde ulaşılmıştır. Düşük dış hava sıcaklık değerinin ve toplayıcı üzerine gelen ışıınım değerinin düşük olması sebebi ile toplayıcılarda toplanan ısı gücü ve dolayısı ile toplanan ısı gücünün ekserji değeri düşmüştür.

Toplayıcı enerji etkenliğinin işletme noktası parametresine bağlı olarak incelenmiştir. $T_{cg}-T_a / I_c$ işletme noktası parametresi olarak tarif edilir.

$$\eta_c(t) = \frac{\dot{Q}_c(t)}{\dot{Q}_{gel}(t)} \times 100 = \eta_{op} - U_1 \frac{T_{cg} - T_a}{I_c} - U_2 \frac{(T_{cg} - T_a)^2}{I_c} \quad (6.39)$$

(6.39) eşitliği ile verilen enerji etkenliğinde yer alan toplayıcıya ait ısı kayıp sayıları U_1 , U_2 ve optik verim η_{op} , genel olarak toplayıcı tipine bağlıdır. İşletme noktası parametresi olarak tarif edilen $T_{cg}-T_a / I_c$ değeri tamamen iklim durumuna bağlıdır. Şekil 6.3.'de görüldüğü üzere, $T_{cg}-T_a / I_c$ değerinin artması toplayıcı verimini düşürmektedir.



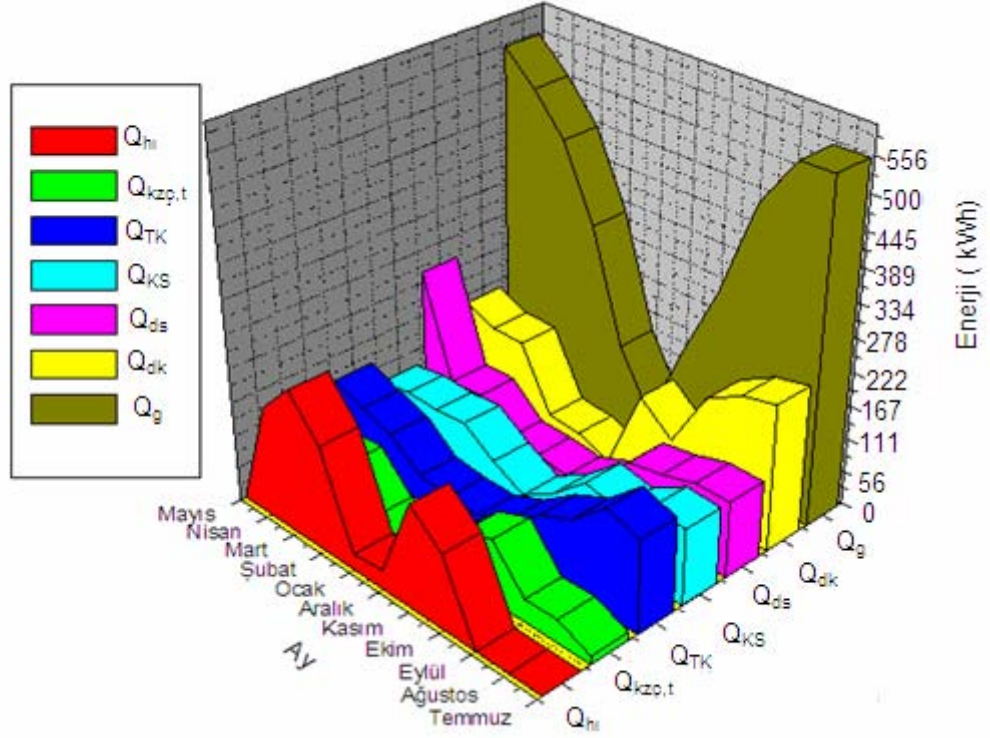
Şekil 6.3. Isı toplama ünitesinin enerji etkinliği- İşletme noktası parametresi

Enerji etkinliğini etkileyen toplayıcı giriş sıcaklığı; ısı taşıyıcı akışkanın kütleli debisine, kimyasal karakteristiğine, gün içerisinde zamana, güneş ışınımını yoğunluğuna ve ısı depolama ünitesi içinde depolama maddesinin ulaştığı sıcaklığa bağlı olarak değişiklikler gösterir.

Isı toplama ünitesinde ekserji kayıplarının fazla olması sebebi ile ekserji etkinliği düşük değerlerdedir. Enerji etkinliğinin ve ısı taşıyıcı akışkanın ortalama sıcaklığının artırılması ile toplayıcıya ait ekserji etkinliği iyileştirilebilir (Szargut vd., 1998).

6.2.2. Isı depolama ünitesi için enerji ve ekserji analizi sonuçları

Ölçüm sonuçları yardımı ile ısı depolama ünitesinin aylık toplam enerjileri ve aylık ortalama enerji etkinliği hesaplanmıştır. Şekil 6.4.'de ısı depolama ünitesinin enerjileri verilmiştir.

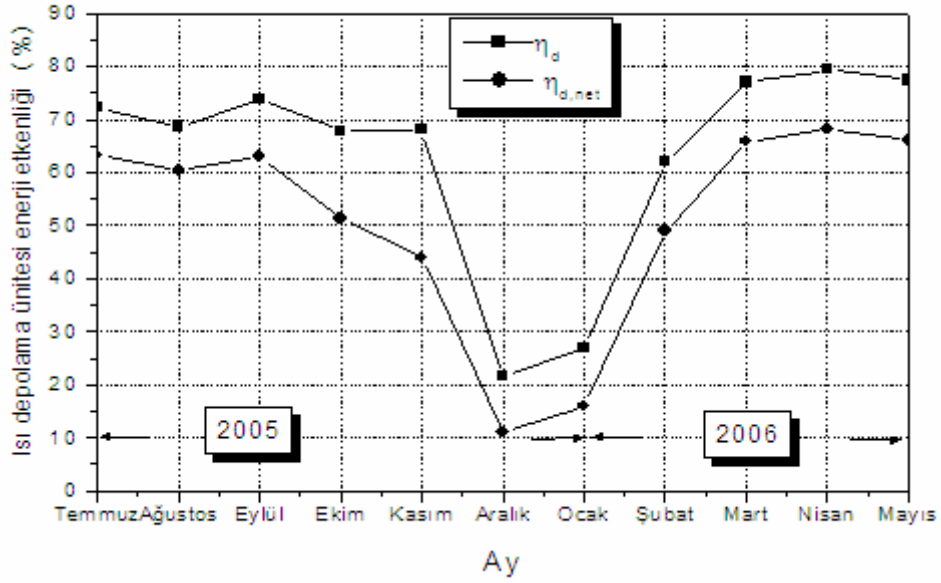


Şekil 6.4. Isı depolama ünitesinde farklı enerjilerin aylara göre değişimi

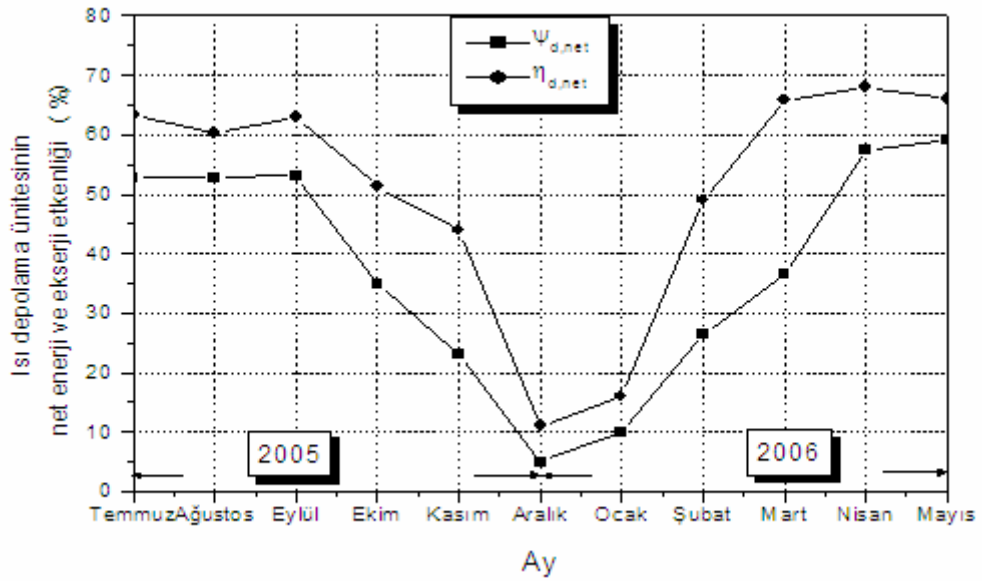
Özellikle depo su sıcaklığının yüksek değerlerinde, kum ve toprağa geçen ısı miktarı artmaktadır. Mevsimlik depolama dönemi içinde sitemden, kullanım amaçlı sıcak su ile enerji çekilmesi durumunda kumun yanı sıra topraktan da ısı kazancı olmuştur. Bunun nedeni deponun çift cidarlı olmasıdır. Isı depolama ünitesine giren enerji, 2005 Ağustos ayında en yüksek değerdedir. Doğal olarak yükselen su sıcaklık değerlerine bağlı olarak toprağa olan ısı kaybı artmıştır.

15 Ekim 2005'den itibaren ısı depolama ünitesinden bina ısıtması için enerji çekilmeye başlanmıştır. Aralık 2005 ve Ocak 2006 ayları içinde düşük dış hava sıcaklıkları ve kar yağışı nedeni ile ısı depolama ünitesinde en düşük enerji değerleri belirlenmiştir. Şubat 2006 ayında dış hava sıcaklık ve ışınım değerlerinin artması sebebi ile ısı depolama ünitesinin enerji değerlerinde artış kaydedilmiştir. Nisan 2006 ayında gerekli ısı ihtiyacı değeri düştüğü için ısı depolama ünitesi içinde yer alan ısı depolama maddesi suyun depoladığı enerji değeri yükselmiştir. Bu durum ise ısı depolama ünitesinden çevresi toprağa olan ısı kaybını arttırmıştır.

Isı depolama ünitesine ait enerji etkenliklerinin aylara göre değişimi Şekil 6.5.'de verilmiştir. Isı depolama ünitesinin net enerji ve ekserji etkenliklerinin aylara göre değişimi ise Şekil 6.6.'da verilmiştir.



Şekil 6.5. Isı depolama ünitesinin enerji etkenlikleri



Şekil 6.6. Isı depolama ünitesinin net enerji ve ekserji etkenlikleri

Isı depolama ünitesinin enerji etkenliği % 21 -79, net enerji etkenliği % 10 -68, net ekserji etkenliği % 5 -59 arasında değerler almaktadır. Net enerji ve ekserji etkenliği hesabında, ısı toplama ve depolama üniteleri arasında ısı taşıyıcı akışkan dolaşımı için pompanın enerji tüketimi W dikkate alınmıştır. Yağan kar yağışı ve dış hava sıcaklık değerlerinin düşük olması nedeni ile ısı depolama ünitesine giren enerji ve ekserji değeri azalmıştır. En düşük net enerji ve ekserji etkenliği Aralık 2005 ve Ocak 2006 aylarında elde edilmiştir.

7. EKONOMİK ANALİZ

Bir ısı sistemini ekonomik analizi, yatırım, bakım, işletme ve yakıt maliyetlerinden oluşan toplam maliyetinin parasal olarak değerlendirilmesidir. Genel olarak bir sistemin maliyeti, işçilik giderleri, zaman tarifeli satın alma, sistemin kurulması, işletim ve bakım giderleri, sigorta giderleri, faizler ve bunun gibi pek çok faktöre bağlıdır. Çeşitli yaklaşımlar/yöntemler ile bir ısı sisteminin maliyetinin belirlenmesi veya tahmini bir değer biçilmesi mümkündür.

Günümüzde ısı sistem imalatçıları, bilimsel araştırma enstitüleri, devlet kuruluşları ve bunun gibi kurumların, maliyet belirlenmesine ilişkin çalışmaları, yayınları ve maliyet indeksleri bulunmaktadır. Isı sistemlerinde kullanılan teçhizatların ekonomik değerleri, rekabetçi piyasa ortamında kurumlar arası farklılıklar göstermesine rağmen, teçhizatın maliyetinin belirlenmesinde kullanılan yaklaşımların genelde pek farklı olduğu söylenemez (Eryener, 2003).

Genel olarak bir teçhizatın toplam maliyeti, sabit ve değişken giderler olmak üzere iki grupta toplanır. Vergiler, sigortalar, faiz ve bakım gibi teçhizatın yapısına bağlı olarak bir farklılık göstermeyen giderler sabit maliyetlerdir. Değişken maliyetler ise doğrudan teçhizatın yapısına bağlı olarak ortaya çıkan maliyetlerdir.

Herhangi bir teçhizat maliyetinin gerçekçi bir tahmini, maliyete etki eden parametrenin doğru olarak seçilmesi ile mümkündür. Bu parametre, örneğin bir kompresör ya da pompada güç, bir depoda hacim, ısı değiştiricisi ve toplayıcılarda ise yüzey olarak alınmaktadır (Bejan vd., 1996).

7.1. Güneş Enerjisi Sistemlerinin Maliyeti

Güneş enerjisi tesislerinin tasarlanmasında, düşük sistem maliyetlerinin belirlenmesi önemli bir ekonomik problemdir. Prensip, sistemdeki bileşenlerin tümü ile ve ısı veriminin bazı etkilerini içeren sistem şekli ile çözülmesi gereken çok

değişkenli bir problemdir. Sistemin optimum tasarımı için sistem yükü iyi belirlenmelidir. Pratikte, gerekli ısı yükü için toplayıcı alanına bağlı değişmez parametreler ve depo kapasitesi ile basit bir güneş enerjisi sistem boyutlarının belirlenmesi dahi çözülmesi gereken önemli bir problemdir, (Balcomb, 1986).

Edirne ilinde bulunan, boyutları, yapı elemanı özellikleri ve içinde yaşayan insan sayısı belirli binanın ısı ihtiyacı için tasarım, 2002 yılının en düşük aylık ortalama ışıınım değeri ve en düşük dış hava sıcaklığı için yapılmıştır. Gerekli sıcak su ihtiyacı için kişi sayısı 1 olarak seçilmiştir. Dış hava ve şebeke suyu sıcaklığındaki değişimlere göre dinamik bir yapılanma söz konusu olduğundan sistemin otomasyonu yapılmıştır. Yardımcı ısı kaynağı olarak elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır.

Güneş enerjisi sistemlerinin maliyetinde, güneş enerjisi teçhizatlarının satın alınması ve kurulması önemli faktörlerdendir. Toplayıcılar, depolama ünitesi, pompa ve vantilatörler, boru ve kanallar, ısı değiştiricileri, kontrol üniteleri ve diğer bütün güneş enerjisi tesisatı içinde yer alan teçhizatların maliyetlerini kapsamaktadır.

Güneş enerjisi sistemlerinin tesisat maliyeti, toplayıcı alanına bağımlı ve toplayıcı alanından bağımsız iki terimden oluşmaktadır. Duffie ve Beckmann, 1991, güneş enerjisi sistemlerinin maliyetini (7.1) eşitliği ile ifade etmişlerdir.

$$C_S = C_A A_C + C_E \quad (7.1)$$

Eşitlikte yer alan terimlerin anlamları sırası ile aşağıdaki gibidir.

C_S = güneş enerjisi tesisatının toplam maliyeti

C_A = toplayıcı alanına bağlı toplam maliyet

A_C = toplayıcı alanı

C_E = toplayıcı alanından bağımsız teçhizatın toplam maliyeti

Alana bağlı maliyet C_A , depo ve toplayıcıların satın alınma ve donanım maliyetlerini kapsar. Alandan bağımsız maliyetler C_E , teçhizatın kurulması veya imalatın getirdiği ve kontrol elemanları gibi toplayıcı alanından bağımsız tüm maliyetleri kapsar. İşletim maliyetleri ise sistemdeki pompa ve fanların çektiği enerji

maliyetleridir. İyi tasarlanmış sistemlerde işletim maliyetlerini minimize etmek mümkündür.

Mevsimlik depolamalı güneş enerjili ısıtma sisteminin ekonomik analizi, P_1 - P_2 yöntemi kullanılarak yapılmıştır. P_1 (7.2) eşitliğinde verildiği üzere, ilk yılda yakıtta sağlanan faydanın sistemin tüm ömrü boyunca yakıt maliyetinde sağlanan faydaya oranını ifade eder. P_2 , ilk yatırımın, sistemin tüm ömrü boyunca giderler söz konusu olduğu için kapital yatırımlarına oranı olarak (7.3) eşitliğinde verilmiştir.

$$P_1 = \frac{\text{İlk yıl yakıtta sağlanan fayda}}{\text{Sistemin tüm ömrü boyunca yakıt maliyetinde sağladığı fayda}} \quad (7.2)$$

$$P_2 = \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistemin tüm ömrü boyunca kapital yatırımları}} \quad (7.3)$$

Yöntemin tanıtılmasına geçmeden önce kurulan güneş enerjili ısıtma sisteminden faydalanma oranlarının belirlenmesi gerekir.

7.2. Güneş Enerjili Isıtma Sisteminden Faydalanma Oranı

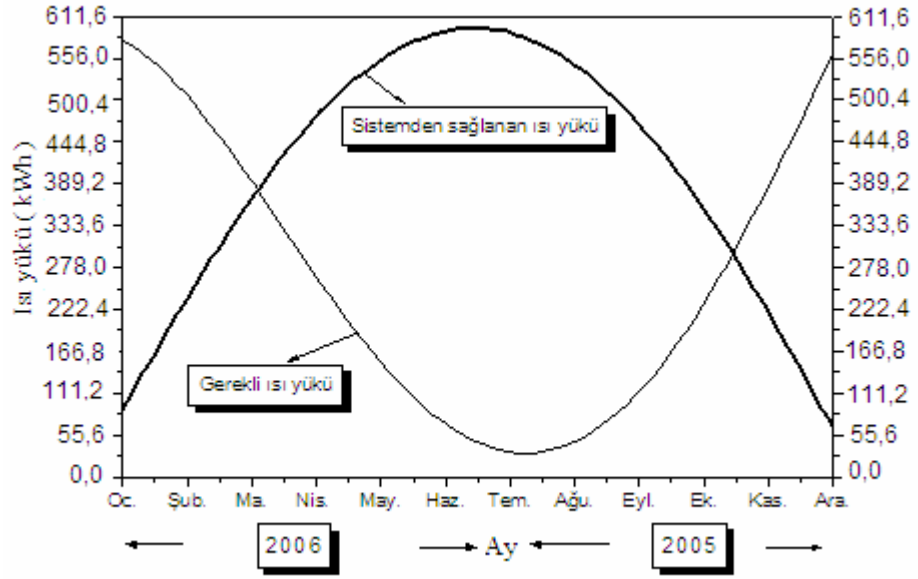
Güneş enerjili ısıtma sistemlerinde aylık faydalanma oranı; güneş enerjisi ile sağlanan aylık toplam faydalı ısı Q_f ve binanın aylık toplam ısı yükü Q_L olmak üzere aşağıdaki eşitlik ile verilir (Duffie ve Beckmann, 1991).

$$f_j = \frac{Q_{f,j}}{Q_{L,j}} = \frac{(Q_{KS} + Q_h)_j}{Q_{L,j}} \quad (7.4)$$

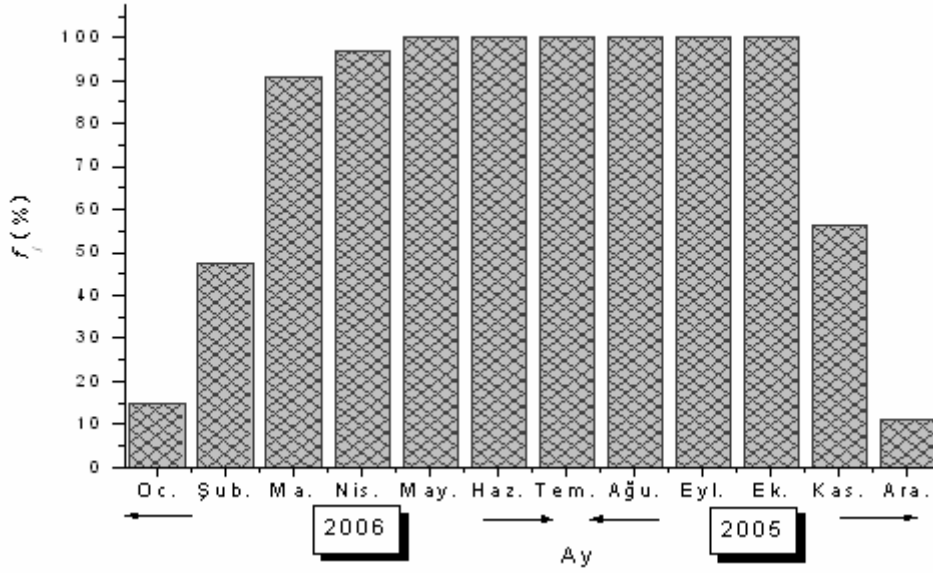
Kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde, ısı depolama ünitesinden kullanım amaçlı sıcak su ile ve hacim ısıtması ile çekilen enerji faydalı enerjiye eşit olmaktadır. Yıllık faydalanma oranı F , $j = 1, 2, \dots, 12$ olmak üzere (7.5) eşitliği ile verilmiştir.

$$F = \frac{\sum_{j=1}^{12} f_j Q_{L,j}}{\sum_{j=1}^{12} Q_{L,j}} \quad (7.5)$$

Kurulan ısıtma sisteminde binanın toplam ısı yükü, hacim ısıtması için ve kullanım amaçlı sıcak su için gerekli ısı yüklerinden oluşmaktadır. Edirne ilinde bulunan, boyutları, yapı elemanı özellikleri ve içinde yaşayan insan sayısı belirli binanın ısı ihtiyacı için tasarım, 2002 yılının en düşük aylık dış hava sıcaklığı ve en düşük aylık ortalama ışıma değeri için yapılmıştır. Gerekli sıcak su ihtiyacı için kişi sayısı 1 olarak seçilmiştir. Gerekli ısı yükünün aylara göre değişimi Şekil 7.1.'de verilmiştir. Eşitlik (7.4) ile hesaplanan aylık faydalanma oranları Şekil 7.2.'de verilmiştir.



Şekil 7.1. Gerekli ısı yükü ve kurulan sistemden sağlanan ısı yükünün aylara göre değişimi

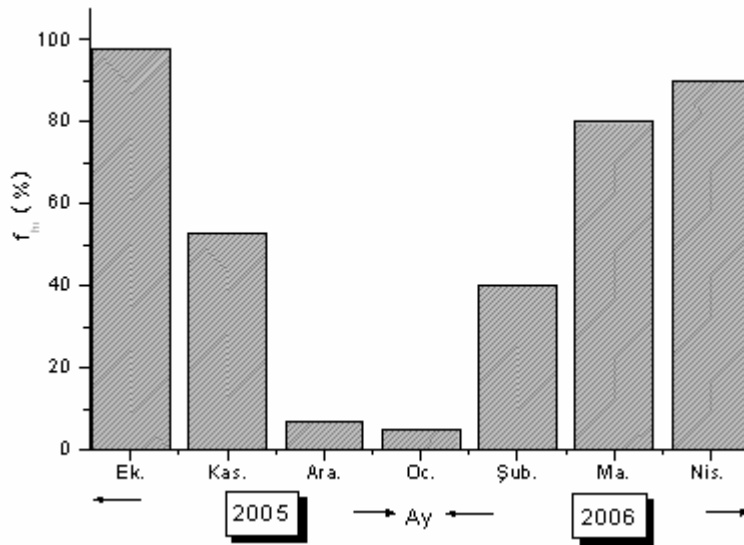


Şekil 7.2. Kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminden faydalanma oranlarının aylara göre değişimi

Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminden faydalanma oranı Mayıs ile Ekim ayları arasında % 100 değerindedir. Bu aylar içinde, Şekil 7.1.'de görüldüğü üzere, gerekli ısı yükünden fazlası silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresinde depolanmıştır. Diğer aylarda, düşük dış hava sıcaklıkları ve düşük ışıyım değerleri sebebi ile sistemden faydalanma oranı düşüktür. Bina için gerekli ısı yükünün eksik kısmı için elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Şekil 7.1.'de görüldüğü üzere gerekli ısı yükü Ocak 2006 ayında düşük dış hava sıcaklıkları sebebi ile en yüksek değerdedir

Isıtma sisteminden faydalanma oranı Şekil 7.2.'de görüldüğü üzere Aralık 2005- Ocak 2006 aylarında düşük değerlerdedir. Aralık 2005 ayı için gerekli ısı yükü Ocak 2006 ayına nazaran daha düşük, dış hava sıcaklığı biraz daha yüksek olmasına karşılık yağan kar nedeni ile ısıtma sisteminden faydalanma oranı daha düşük değerdedir.

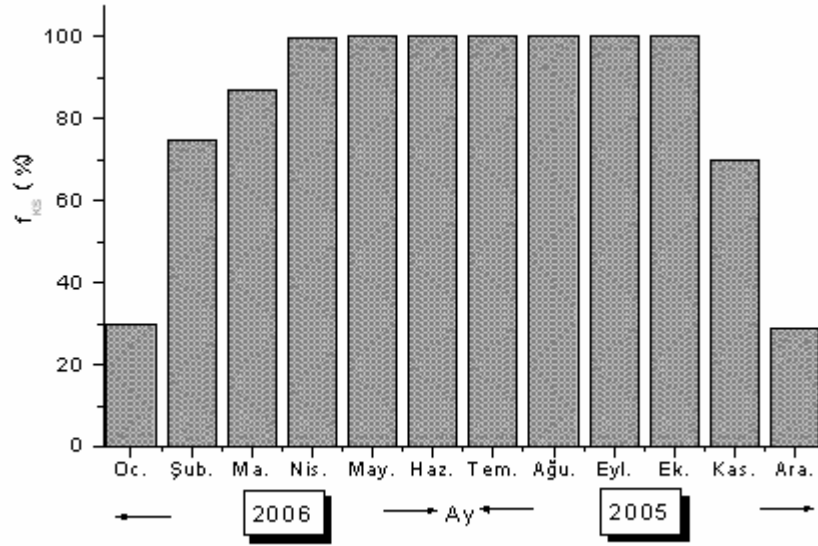
Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminden, hacim ısıtması için faydalanma oranlarının aylara göre değişimi Şekil 7.3.'de verilmiştir.



Şekil 7.3. Hacim ısıtması için sistemden faydalanma oranları

Hacim ısıtması için ısıtma sisteminden faydalanma oranı Şekil 7.3.'de görüldüğü üzere Aralık 2005- Ocak 2006 aylarında düşük değerlerdedir. Mevsimlik güneş enerjisi

depolamalı ısıtma sisteminden, kullanım amaçlı sıcak su ısıtması için faydalanma oranlarının aylara göre değişimi Şekil 7.4.'de verilmiştir.



Şekil 7.4. Kullanım amaçlı sıcak su ısıtması için sistemden faydalanma oranları

Kullanım amaçlı sıcak su ısıtması için sistemden faydalanma oranı Şekil 7.4.'de görüldüğü üzere Aralık 2005- Ocak 2006 aylarında en düşük değerlerdedir.

7.3. Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Isıtma Sistemi İçin Ekonomik Analiz

Güneş enerjisi sistemlerinin maliyet analizinde kullanılan yöntem, her şeyden önce sistemin tüm yaşamı boyunca yaratacağı faydaları göz önünde bulundurmalıdır. Bu tarz sistemlerinin maliyet hesabında iki faktör önemlidir. Bunlardan birincisi, ilk yılda yapılan yakıt tasarrufu ile direkt orantılı olan faktör, ikincisi ise sistem için ilk yatırım, bakım ve işletim gibi artan bakiye ile direkt orantılı olan faktördür. Brandemuehl ve Beckmann, 1979, güneş enerjili ısıtma sisteminden tüm yaşamı

boyunca sağlanan fayda için, bu faktörleri net şimdiki değerlerymiş gibi kullanarak aşağıdaki formülde basit bir kombinasyon yapmışlardır.

$$LCS = P_1 C_y Q_L F - P_2 C_s \quad (7.6)$$

Burada P_1 , ilk yılda yakıt maliyetinde sağlanan faydanın sistemin tüm yaşamı boyunca yakıt maliyetinde sağlanan faydaya oranıdır. P_2 , ilk yatırımın, sistemin tüm yaşamı boyunca giderlere maruz kaldığı için ek kapital yatırımlarına oranıdır. Burada P_1 ilk yılda yakıtta sağlanan fayda ile orantılı maliyeti, P_2 ise yatırımlarla orantılı maliyeti içermektedir. P_1 ve P_2 oranları sırası ile aşağıdaki gibi verilir (Duffie ve Beckmann, 1991).

$$P_1 = PWF(N_e, i_y, d) \quad (7.7)$$

$$P_2 = 1 + PWF(N_e, i, d) M_s - R_v (1 + d)^{-N_e} \quad (7.8)$$

Her iki eşitlikte yer alan $PWF(N_e, i, d)$ terimi bugünkü değer faktörü olup aşağıdaki ifade ile tarif edilir.

$$PWF(N_e, i, d) = \sum_{j=1}^{N_e} \frac{(1+i)^{j-1}}{(1+d)^j} = \begin{cases} \frac{1}{(d-i)} \left[1 - \left(\frac{(1+i)}{(1+d)} \right)^{N_e} \right] & i \neq d \\ N_e / (1+i) & i = d \end{cases} \quad (7.9)$$

Eşitliklerde yer alan sembollerin anlamları aşağıdaki gibi verilebilir:

- i_y yakıt enflasyon oranı
- i genel enflasyon oranı
- N_e ekonomik analiz periyodu
- d iskonto oranı

M_s güneşli sistemin performansındaki düşme oranı

R_v ilk yatırım maliyetinin ekonomik analiz periyodu sonunda ilk yatırım maliyetine oranı (hurda değer oranı)

C_y yakıt birim fiyatı

7.4. Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Isıtma Sistemi İçin Optimum Toplayıcı Alanı

Bölüm 7.3.'de verildiği üzere P_1 ve P_2 ; sistemde bugünkü değer faktörleri ve ilk yatırım ödemelerinin oranlarını içermektedir. Öyleki P_1 ve P_2 , toplayıcı alanından ve güneşten faydalanma oranından bağımsızdır. Güneş enerjili ısıtma sistemlerinde temel tasarım değişkeni toplayıcı alanıdır ve (7.6) eşitliğinden yararlanılarak optimize edilebilir. (6.4) eşitliğinde toplayıcı alanına bağlı türev alınıp sıfıra eşitlenirse (7.10) eşitliği elde edilir.

$$\frac{\partial LCS}{\partial A_c} = 0 = P_1 C_y Q_L \frac{\partial F}{\partial A_c} - P_2 C_A \quad (7.10)$$

(7.10) eşitliği toplayıcı alanına ve güneşten faydalanma oranına göre yeniden düzenlenirse (7.11) eşitliği elde edilir.

$$\frac{\partial F}{\partial A_c} = \frac{P_2 C_A}{P_1 C_y Q_L} \quad (7.12)$$

Eşitlik (7.12)'da elde edilen bağıntı, yıllık ısı performansının eğimidir ve optimum toplayıcı için elde edilir (Brandemuehl ve Beckmann, 1979). Kurulan güneş enerjili ısıtma sistemi için optimum toplayıcı alanı belirlenmiştir. Şekil 7.6.'da verilmiş

grafiklerden görüldüğü üzere kurulan sistem için optimum toplayıcı alanı 3,8 m² olarak belirlenmiştir.

7.5. Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Isıtma Sistemi İçin Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi bir yatırımın ekonomik değerini ölçmede en çok kullanılan ve çok basit olan bir yöntemdir. Temel ilke, sistem için yapılacak yatırımın, bu sistemin sağlayacağı fayda ile tamamen ödeneceği yıl sayısının bulunmasıdır. Güneş enerjili ısıtma sistemlerinde geri ödeme süresi, sağlanacak faydanın bugünkü değerine ve ilk yatırım maliyetine bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilebilir (Duffie ve Beckmann, 1991).

$$PWF(N_p, i_y, d) FQ_L C_y = C_s \quad (7.13)$$

Böylece sistemin geri ödeme süresi $i \neq d$ olduğu durum için (7.14) eşitliği ile verilir.

$$N_p = \frac{\ln \left[\frac{C_s (i_y - d)}{FQ_L C_y} + 1 \right]}{\ln \left[\frac{(1 + i_y)}{(1 + d)} \right]} \quad (7.14)$$

$i = d$ olduğu durum için (7.15) eşitliği ile verilir (Duffie ve Beckmann, 1991).

$$N_p = \frac{C_s (1 + i_y)}{FQ_L C_y} \quad (7.15)$$

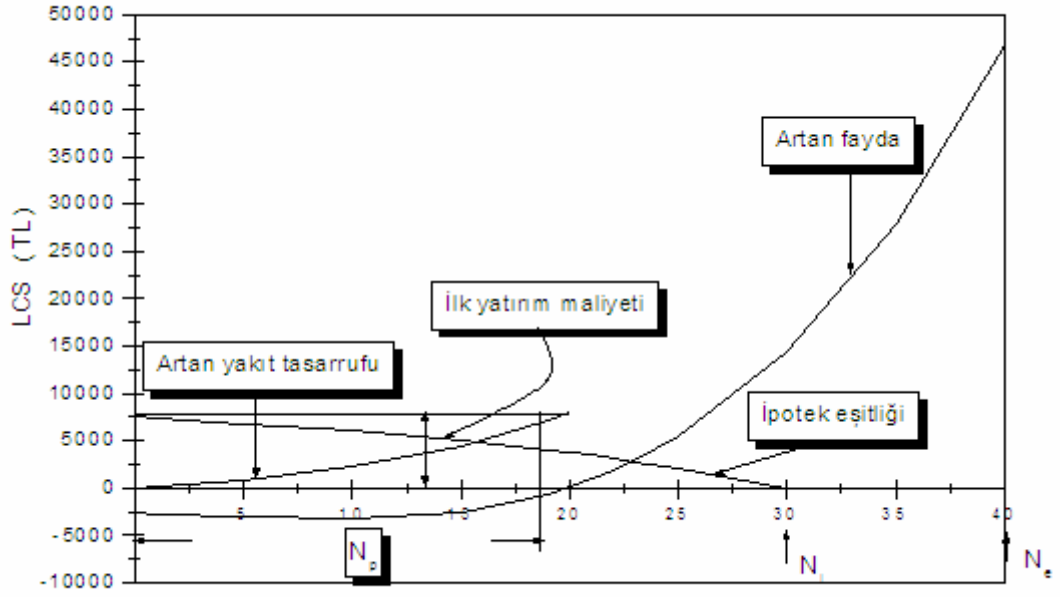
7.6. Kurulan Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Isıtma Sistemi İçin Ekonomik Analiz Sonuçları

Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin ekonomik analizinde kullanılan parametreler Çizelge 7.1.'de verilmiştir. Doğal gazlı konvansiyonel ısıtma sistemine göre karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 7.1. Ekonomik analizde kullanılan parametreler

Parametre	Değer
C_S	7880(TL)
C_y	$4,289*10^{-3}$ (TL / kWh)
i_y	% 16
i	% 5
d	% 5
M_S	% 1
R_v	% 20
F	% 69
$\sum_{y=1}^{30} Q_{L,j}$	3407,168 kWh
	30 yıl
N_L	50 yıl
N_e	

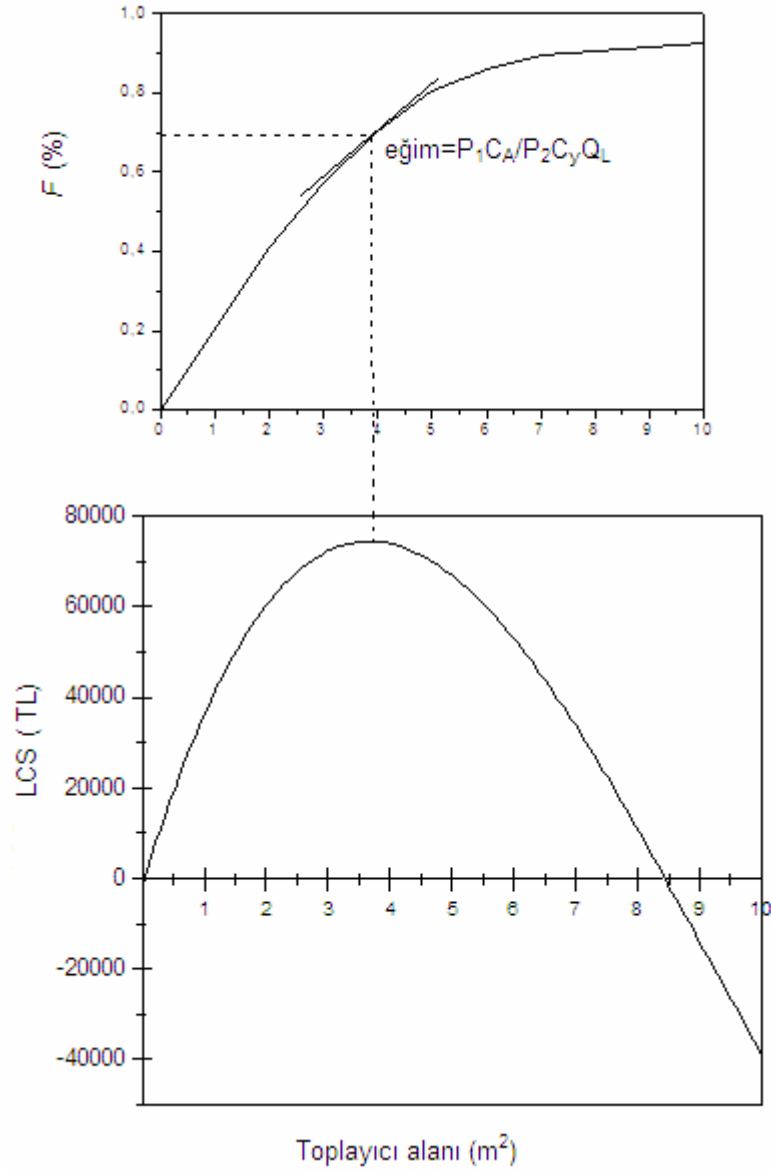
Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin ekonomik analiz periyodu içinde sağlayacağı fayda Şekil 7.5.'de verilmiştir.



Şekil 7.5. Ekonomik görünüş sonuçları

Şekil 7.5.'de Edirne ilinde kurulan güneş enerjili ısıtma sisteminin geri ödeme süresinin 19,8 yıl olduğu görülmektedir.

Kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemi için, toplayıcı alanına bağlı olarak ekonomik analiz periyodu içinde, güneşten sağlanan fayda LCS ve güneşten yıllık faydalanma oranları F Şekil 7.6.'de verilmiştir. (7.12) eşitliği yardımı ile optimum toplayıcı alanı $3,8 \text{ m}^2$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.6. Kurulan ısıtma sistemi için optimum toplayıcı alanı

Edirne ilinde kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde yapılan ekonomik değerlendirme ile geri ödeme süresi 19,8 yıl, güneşten faydalanma oranı % 69, güneşten sağlanan fayda (TL olarak) 4 m² toplayıcı alanında itibaren azalmakta ve 8-9 m² toplayıcı alanından itibaren negatif değerler almaktadır. LSC sistemin ekonomik analiz periyodu boyuca güneşten sağlayacağı fayda, ilk yılda yapılan yakıt tasarrufu ve sistem için ilk yatırım, bakım ve işletim gibi artan bakiye ile

orantılıdır. Ekonomik analiz periyodu boyuca 8-9 m² toplayıcı alanından itibaren; sistem için ilk yatırım, bakım ve işletim maliyetleri ilk yılda yakıt maliyetinde yapılan tasarruftan daha büyük değerler almaktadır.

8. HATA ANALİZİ

Her ölçme az veya çok hata içerir. Bunun sebebi, bazı durumlarda ölçme aleti, bazı durumlarda ölçmeyi yapan şahıs, bazen de çevrenin etkisi olabilir. Genel olarak hata, aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir (Can, 1999).

$$\text{Hata} = \text{Yanlış} - \text{Doğru} \quad (8.1)$$

Hatalar, sistematik hatalar ve tesadüfi hatalar olmak üzere iki gruba ayrılır

Sistematik Hatalar: Sistematik hatalar, ölçme yönteminin ve ölçme aletinin değişmeyen eksikliğinden oluşurlar. Ölçme olayının tam olarak tekrarında daima aynı büyüklükte dirler. Belirli bir ön işarete sahiptirler. Bu tür hatalar, düzeltme (kalibrasyon) sayesinde ortadan kalkabilirler.

Tesadüfi Hatalar: Tesadüfi hatalar, ölçme esnasında tespit edilemeyen, ya ölçü cihazlarının, ölçü standının ve çevrenin değişimlerinden veya deney yapan şahıstan meydana gelen hatalardır. Bu tür hatalar, ön işaret ve değer olarak her ölçümde değişik olurlar. Bunların etkisi, ölçmelerin çok defa tekrarlanması ve ortalama değer oluşturulması sayesinde azaltılabilir.

8.1. Kurulan Isıtma Sistemi İçin Hata Analizi

Kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde kullanılan ölçme aletlerinin hassasiyetleri aşağıda verilmiştir.

Deney tesisatında sıcaklık ve ışınım değerlerini ölçmek için kaydedici kullanılmıştır. Sistemde sıcaklık ölçümü için K tipi problemler kullanılmıştır. Kaydedicinin, K tipi problemlerde hassasiyeti $\pm \% 0,1$ değerindedir. Kaydedicinin gerilim okuma durumunda hassasiyeti $\pm 4\mu\text{V}$ değerindedir. Ayrıca sıcaklık ölçümü için çift kanal ve

fark sıcaklığı da gösteren dijital termometreler kullanılmıştır. Dijital termometrelerin hassasiyeti $\pm 0,3 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

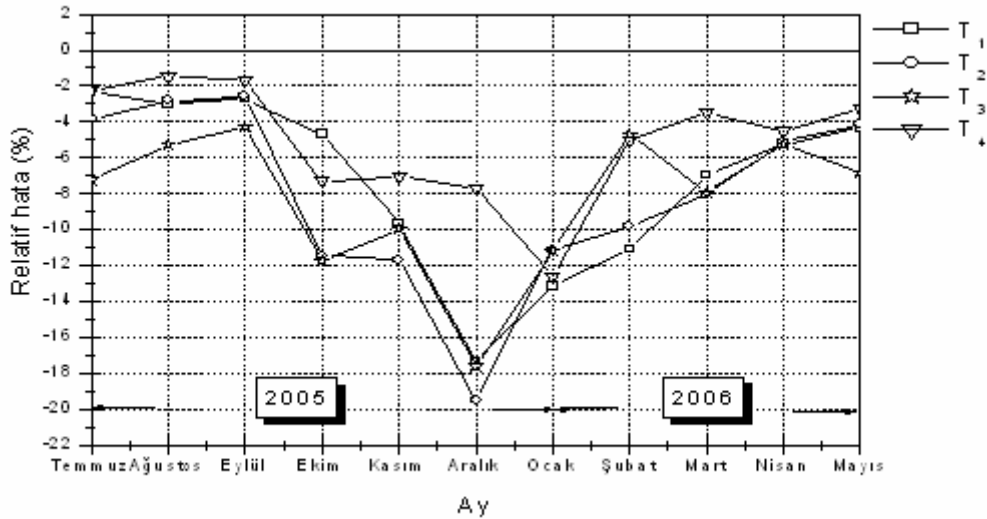
Yatay yüzeye gelen global ışınımı ölçmek için ışınımölçer kullanılmıştır. Işınım ölçerin hassasiyeti $11,47 \cdot 10^{-3} \mu\text{V/W/m}^2$ değerindedir.

Isı depolama ünitesi ve çevresi toprak içinde, deneysel olarak belirlenen saatlik sıcaklık ölçümü sonuçları yardımı ile aylık ortalama sıcaklıklar hesaplanmıştır. Bölüm 3.2.3.'de verilen başlangıç ve sınır şartlarında, QuickField Transient Thermal yazılımı kullanılarak, ısı depolama ünitesi ve çevresi toprak içinde, aylık ortalama teorik sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Ölçüm noktalarındaki deneysel ve teorik sıcaklıklar için relatif hata hesaplanmıştır.

Relatif hata (8.2) eşitliği ile verilebilir (Can, 1999).

$$\text{Relatif Hata} = \frac{\text{Ölçülen Değer} - \text{Teorik Değer}}{\text{Teorik Değer}} \quad (8.2.)$$

Isı depolama ünitesi içinde yer alan, silindirik güneş enerjisi deposu içindeki 1, 2, 3, 4 numaralı ölçüm noktalarındaki su sıcaklık değerleri için relatif hatalar hesaplanmıştır. Hesaplanan relatif hata değerlerinin aylara göre değişimi Şekil 8.1.'de verilmiştir.



Şekil 8.1. Isı depolama ünitesi içinde, 1, 2, 3, 4 numaralı ölçüm noktalarındaki relatif hatalar

Isı depolama ünitesi içinde, 1, 2, 3, 4 numaralı ölçüm noktalarındaki ölçülen sıcaklık değerleri teorik sıcaklık değerlerinden küçüktür. En çok hata mertebesi, 2005-Aralık ayı için tespit edilmiştir.

9. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Edirne iklim şartlarında, bina ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su temini için güneş enerjisinin mevsimlik depolandığı bir ısıtma sistemi ile deneysel çalışmalar yapıldı. Türkiye’de son 10- 15 yıl içinde mevsimlik depolama üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Yapılan çalışmalar genelde teorik düzeyde bulunmaktadır. Çeşitli toplayıcı firmaları bazı iller için hem bina hem de kullanım için sıcak su ısıtması olmak üzere toplam ısı ihtiyacını karşılama yüzdelerini vermektedir. Edirne iklim şartları için böyle bir çalışma mevcut değildir.

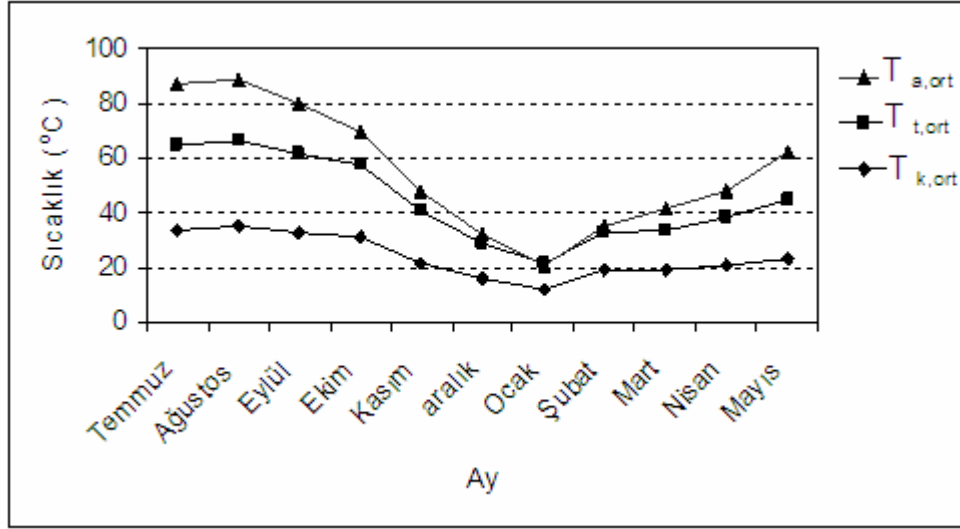
Kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde, ölçüm sonuçları yardımı ile yeraltında bulunan silindirik ısı depolama ünitesi ve civarındaki sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Ölçümler Temmuz 2005- Mayıs 2006 arasında yapılmıştır. En yüksek depo su ve kum sıcaklık değerlerine Ağustos 2005 ayında ulaşılmıştır. Ocak 2006 ayında oluşan en düşük dış hava sıcaklık değerleri sebebiyle depo su ve kum sıcaklıkları en düşük değerlerde ölçülmüştür.

Ölçüm yapılan her ay için aylık ortalama sıcaklıklar sırası ile ısı depolama ünitesi, su, kum ve toprak içindeki ölçüm noktaları için teorik sıcaklıklar ile karşılaştırılmıştır. Bölüm 3.3.3.’de verilen başlangıç ve sınır şartlarında QuickField Transient Thermal yazılımı kullanılarak teorik sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Mevsimlik depolama dönemi içinde teorik değerler ile deneysel değerler arasında en büyük farkın 3 numaralı ölçüm noktasında olduğu görülmüştür. Bu nokta depo içinde yeryüzüne z yönünde en uzak noktadır. Isınan suyun doğal taşınım ile yukarıya çıkmasından kaynaklanır. Bina ısıtmasının olduğu dönemde genel olarak 2 ve 3 numaralı ölçüm noktaları arasında fark daha yüksektir. Kum ve toprak sıcaklık ortalamalarında deneysel ve teorik sonuçlar arasında en büyük sapmalar ısıtma mevsimi içinde olmaktadır.

Bu sistemde, bina ısıtması için düşük işletme sıcaklıklarına göre tasarlanmış geniş ısıtma yüzeyli ısıtıcı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, güneş enerjisi deposunun yeraltında bulunması ve etrafında kum olması sebebi ile sistemden faydalanma oranlarında % 40’lık bir artış sağlanmıştır. Yıllık toplam ısı ihtiyacının % 70 oranı kurulan sistem ile sağlanmaktadır. Çeşitli toplayıcı satıcılarının verdiği bu

değerler % 30 civarındadır. Faydalanma oranını düşüren en büyük etmen 2005 -2006 yılları Aralık ve Ocak aylarındaki ani hava değişimleri ve çok düşük dış hava sıcaklıklarıdır (TUBAP 655,2006).

Şekil 9.1.'de güneş enerjisi deposu etrafındaki ortalama kum ve toprak sıcaklıkları ile ortalama dış hava sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi verilmiştir.



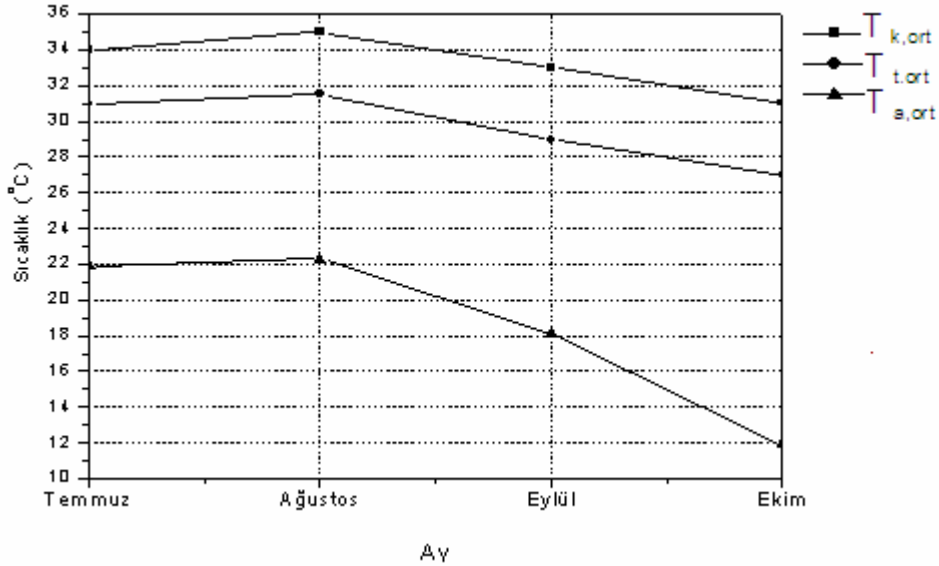
Şekil 9.1. Kum, toprak ve dış hava aylık ortalama sıcaklık değerleri

En düşük aylık ortalama dış hava sıcaklıkları Ocak ayında kaydedilmiştir. Bu durumda dahi depo etrafındaki ortalama toprak sıcaklıkları 10°C civarındadır. Ocak ayında, 23- 29 günleri arasında en düşük dış hava sıcaklıkları kaydedilmiştir. Bu dönem içinde depoya enerji girişi olmamıştır. Örneğin 23 ve 24 Ocak günlerinde dış hava sıcaklığı (-10) ÷ (-13,5) °C olmasına rağmen depo içindeki su sıcaklık değeri günlerce 13°C olarak kalmıştır. Bu durumda depo civarındaki toprak sıcaklık ortalaması 4°C 'dir. Depo çok iyi bir yalıtım malzemesi ile yalıtılsa da, yeryüzünde olduğu durumda bu sıcaklık değerini koruyamaz.

Sistemin sadece kullanım suyu ısıtması için tasarlandığı varsayılınsın; kış aylarında yukarıda anlatılan durum yine geçerlidir. Sistem yaz ayları için irdelensin. Deponun yeraltında bulunması ve yüksek sıcaklıklarda problem oluşturmaması için

depo üstüne emniyet ventili konulmasına rağmen maksimum depo su sıcaklığı 75-80 °C ayarlanmıştır. Bunun sebebi ise depo içinde ısı depolama maddesi suyun sabit durmasıdır. Güneş enerjisi deposu içinde su sıcaklık değerleri 60- 80°C arasında değişmektedir. Özellikle gece saatlerinde yüksek depo su sıcaklıklarında etraftaki kuma ve toprağa ısı geçişi artmaktadır. Depo dışında gömlek şeklinde düzenlenen ısı değiştiricisinden kullanım suyu dolaştırılarak toprağın ve kumun enerjisinden verimli şekilde faydalanılmıştır. Böylelikle sirkülasyon pompasının sabahın daha erken saatlerinde devreye girdiği tespit edilmiştir (Can ve Karaçavuş, 2006).

Gece saat 23⁰⁰'de olan ortalama toprak, kum ve dış hava sıcaklıklarının aylara göre değişimi Şekil 9.2.'de verilmiştir.



Şekil 9.2. Saat 23⁰⁰'deki kum, toprak ve dış hava aylık ortalama sıcaklık değerleri

Silindirik güneş enerjisi deposunun yeryüzünde olduğu durumda geceleri dış hava sıcaklık değerlerinin düşmesi sebebi ile daha fazla ısı kaybı olacaktır. Kurulan sistemde, özellikle gece saatlerinde sıcak su kullanımı ile enerji çekilmesi durumunda, depodan kum ve toprağa olan ısı kaybı da bir ölçüde değerlendirilmiş olur.

Edirne ilinde kurulan güneş enerjili ısıtma sistemi için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Mevsimlik depolama dönemi içinde ısı toplama ünitesinden ısı depolama ünitesine aktarılan enerjinin bir bölümü kullanım için sıcak su ile çekilmiş geri kalan

kısmı ise ısı depolama ünitesi ve civarında depolanmıştır. Bu dönemde ısı depolama ünitesinde daha yüksek su sıcaklık değerlerine ulaşıldığı için ısı taşıyıcı akışkanın ısı depolama ünitesinden çıkış sıcaklık değeri artmıştır. Bu durum ise ısı taşıyıcı akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklık değerinin artmasına sebebiyet vermektedir. Dolayısı ile ısı toplama ünitesinin enerji verimi mevsimlik depolama dönemi içinde beklenilenden daha düşük değerlerdedir. Genel olarak ısı toplama ünitesinin enerji etkenliği % 33 -75, ekserji etkenliği ise % 17 -40 değerleri arasında değişmektedir.

Isı toplama ünitesinin enerji etkenliğini etkileyen etmenlerden toplayıcı giriş sıcaklığı; ısı taşıyıcı akışkanın kütleli debisine, kimyasal karakteristiğine, gün içerisinde zamana, güneş ışınımını yoğunluğuna ve ısı depolama ünitesi içinde depolama maddesinin ulaştığı sıcaklığa bağlı olarak değişiklikler göstermektedir.

Isı toplama ünitesinde en düşük enerji etkenliğine Ocak 2006 ayı içinde ulaşılmıştır. Düşük ışınım değerleri ve dış hava sıcaklığının çok zaman sıfır altı değerlerde olması bu duruma neden olmuştur.

Isı toplama ünitesinde ekserji kayıplarının fazla olması sebebi ile ekserji etkenliği düşük değerlerdedir. Enerji etkenliğinin ve ısı taşıyıcı akışkanın ortalama sıcaklığının artırılması ile toplayıcıya ait ekserji etkenliği iyileştirilebilir.

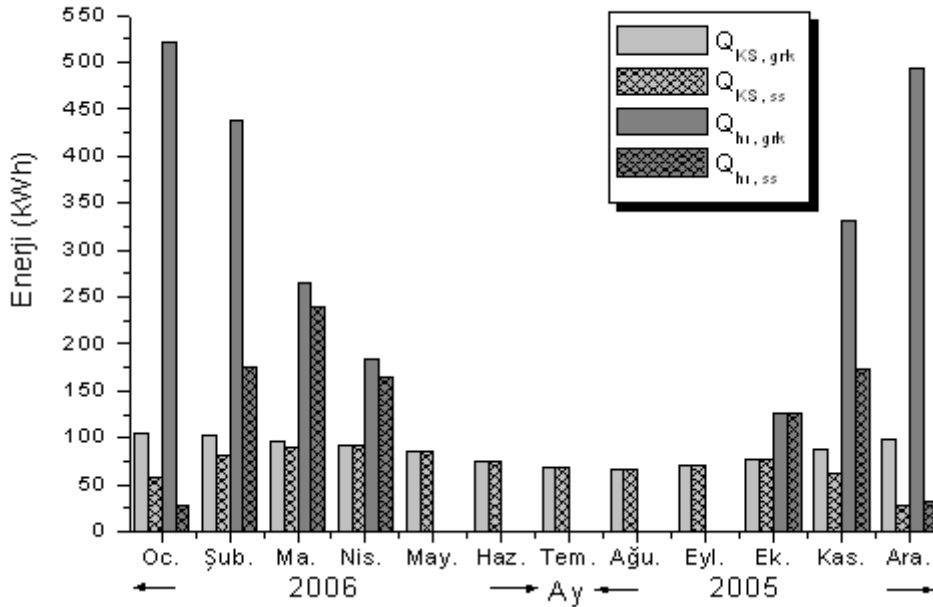
Literatürde, Singh, vd., 2000, parabolik toplayıcı ve Rankin ısı makinesinden oluşan sistemde parabolik toplayıcı için ekserji verimi % 29,03 ve enerji verimi % 67,35 belirlemişlerdir.

Luminosu ve Fara, 2002, düzlemsel güneş toplayıcıları için ekserji analizi ile optimum işletme durumlarını belirlediği çalışmada toplayıcının enerji verimini % 43, ekserji verimini % 3,6 olarak belirlemiştir.

Isı depolama ünitesinin enerji etkenliği % 21 -79, net enerji etkenliği % 10 -68, net ekserji etkenliği % 5 -59 arasında değerler almaktadır. Yağan kar yağışı nedeni ile en düşük enerji ve ekserji etkenliği Aralık 2005 ve Ocak 2006 aylarında elde edilmiştir.

Gerekli ısı yükü Ocak 2006 ayında düşük dış hava sıcaklıkları sebebi ile en yüksek değerde olmuştur. Isıtma sisteminden faydalanma oranı Aralık 2005- Ocak 2006 aylarında düşük değerlerdedir. Aralık 2005 ayı için gerekli ısı yükü Ocak 2006 ayına nazaran daha düşük, dış hava sıcaklığı biraz daha yüksek olmasına karşılık yağan kar nedeni ile ısıtma sisteminden faydalanma oranı daha düşük değerdedir.

Edirne ilinde kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde yapılan ekonomik değerlendirme ile geri ödeme süresi 19,8 yıl bulunmuştur. Isıtma sisteminden yıllık faydalanma oranı % 69 olarak tespit edilmiştir. Hacim ısıtması için aylık faydalanma oranı, % 5- 98 arasında değerler almaktadır. Kullanım amaçlı sıcak su için aylık faydalanma oranı % 29- 100 arasında değişmektedir. Isıtma sisteminden yıllık faydalanma oranı, hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su için sırası ile % 53 ve % 85 değerindedir. Güneşten sağlanan fayda (TL olarak) 4 m² toplayıcı alanından itibaren azalmaktadır ve 8-9 m² toplayıcı alanından itibaren negatif değerler almaktadır. Edirne ilinde kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemi için Şekil 9.3.'de hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su için gerekli ısı yükleri ve sistemden sağlanan ısı yüklerinin aylara göre değişimi verilmiştir.

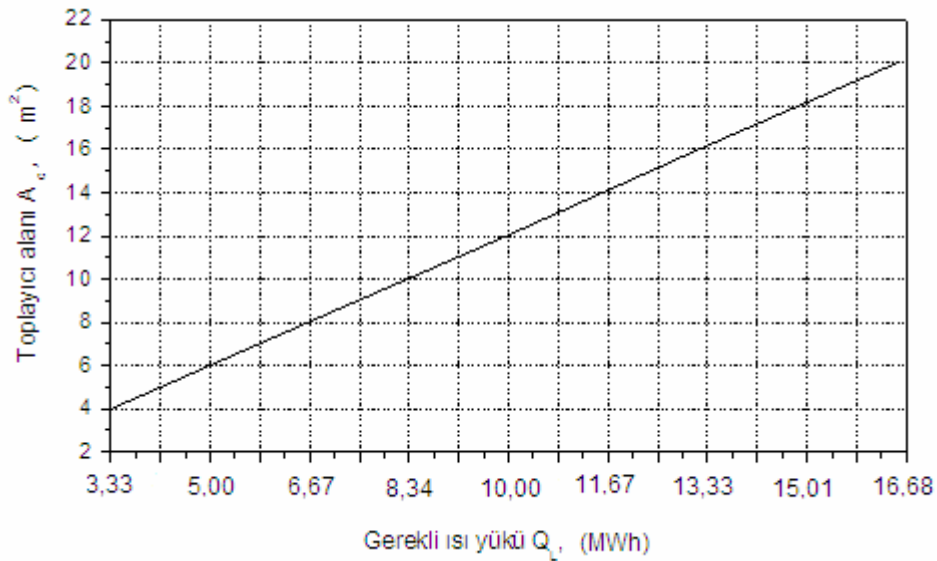


Şekil 9.3. Edirne ilinde kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde gerekli ısı yüklerinin ve sistemden sağlanan ısı yüklerinin aylara göre değişimi

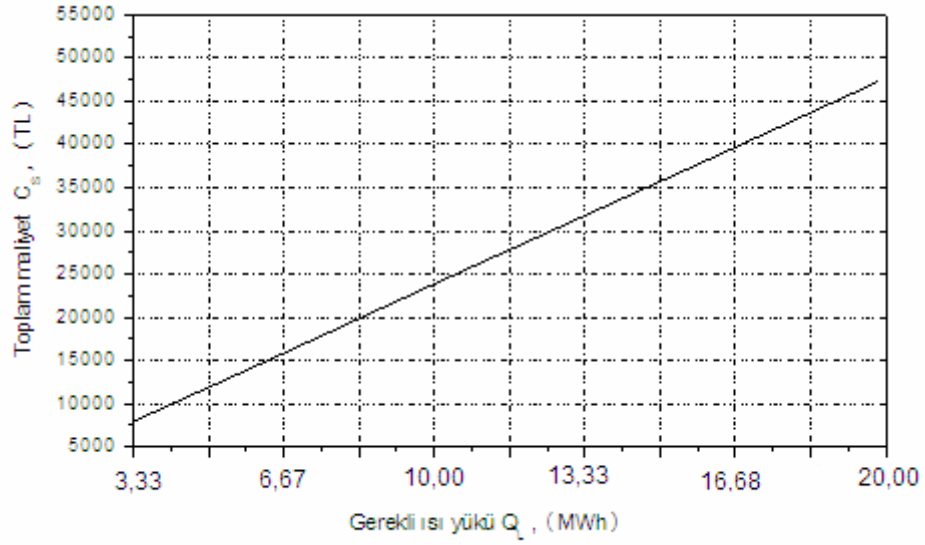
Genel olarak, Temmuz 2005 –Ocak 2006 dönemini içeren ölçüm aylarında Şekil 9.3.'de görüldüğü üzere hacim ısıtması ve sıcak su kullanımı için gerekli ısı yükü Ocak

ve Aralık ayında en yüksek değerdedir. Bu dönemde, düşük dış hava sıcaklıkları ve düşük ışıma değerleri sebebi ile sistemden sağlanan ısı yükleri daha düşük değerdedir. Özellikle Aralık ayında hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su için gerekli ısı yükü Ocak ayına göre daha düşük olmasına rağmen yağın kar yağışı nedeni ile sistemden sağlanan ısı yükleri daha düşük değerdedir.

Genel bir yaklaşım olarak, kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde ölçüm sonuçları ve ekonomik analizde elde edilen veriler yardımı ile, Edirne ili için, bina ısıtması ve sıcak su kullanımı için gerekli ısı yüküne göre, gerekli toplayıcı alanı A_c ve sistemin toplam maliyeti C_s (ölçüm cihazlarının maliyeti hariç olmak üzere) belirlenmiştir. Şekil 9.4.'de gerekli ısı yüküne bağlı olarak gerekli toplayıcı alanının değişimi verilmiştir. Şekil 9.5.'de gerekli ısı yüküne bağlı olarak sistemin toplam maliyetinin değişimi verilmiştir. Sistemden yıllık faydalanma oranı % 69 (hacim ısıtması için % 53, kullanım amaçlı sıcak su için % 85) ve optimum toplayıcı alanı $3,8 \text{ m}^2$ olarak alınmıştır. Bina için gerekli ısı yüküne bağlı olarak gerekli toplayıcı alanı ve sistemin toplam maliyeti lineer olarak değişmektedir.

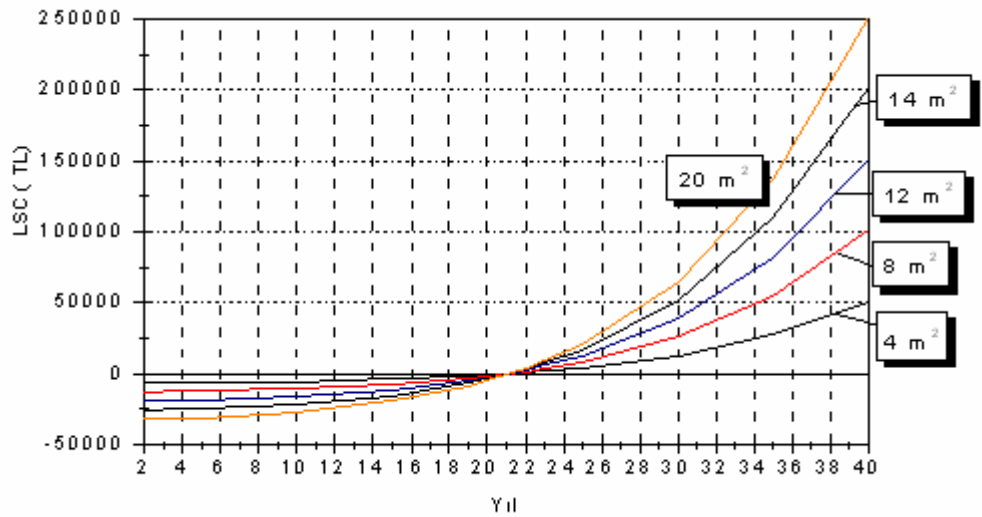


Şekil 9.4. Toplayıcı alanının gerekli ısı yüküne bağlı olarak değişimi



Şekil 9.5. Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin toplam maliyetinin gerekli ısı yüküne bağlı değişimi

Edirne ili için toplayıcı alanına bağlı olarak, mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde, 40 yıllık bir ömür periyodu içinde sistemden sağlanan faydalar Şekil 9.6.'da verilmiştir. Değişik ısı yükü ve dolayısı ile toplayıcı alanına sahip mevsimlik depolamalı ısıtma sistemlerinde faydalanma oranı % 69 olarak alınmıştır.



Şekil 9.6. Değişik toplayıcı alanına sahip mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde, 40 yıllık ömür periyodu içinde sağlanan fayda

Belirli bir geri ödeme süresine kadar toplayıcı alanı ne olursa olsun, LSC değeri düşük değerlerdedir. Geri ödeme süresini geçtikten sonra, toplayıcı alanının yükselişine göre LSC değerleri de hızla artmaktadır.

Literatürde, Chung vd., 1998, TRNSYS simulasyon programından faydalanarak Kore iklim şartları için merkezi güneşli ısıtma sisteminin ekonomik ve performans analizini yapmışlardır. 184 m² toplayıcı alanı ve 600 m³ depo hacminde toplam ısı yükünün % 39'dan fazlası güneşten karşılanmıştır. Isı depolama ünitesi yeryüzündedir. Sistemin geri ödeme süresi 25 -30 yıl arasında belirlenmiştir.

Uçar ve İnallı, 2004, Adana, Elazığ, İstanbul ve Trabzon iklim şartlarında, silindirik ve trapez olmak üzere yeraltına yerleştirilmiş iki depo tipi için mevsimlik güneş enerjisi depolamalı merkezi ısıtma sisteminin simülasyonunu yapmışlardır. 1, 50, 500 ev için ısı yükü büyüklüğü değiştirilmiştir. Isıtma sisteminin geri ödeme süresi 25 - 30 yıl arasında belirlenmiştir. Her iki depo tipi ve toplayıcı alanına göre güneşten faydalanma oranları ve güneşten sağlanan faydanın ekonomik değeri belirlenmiştir. Trapez depo tipinde bu değerlerin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En büyük güneşten faydalanma oranına, Adana ilinde ulaşılmıştır.

Kurulan sistemde, saatlik ölçüm verileri ile hesaplamalar yapıldığından gerek ısı toplama ünitesi gerekse ısı depolama ünitesi için elde edilen sonuçlar daha gerçekçidir. Kurulan ısıtma sisteminde, Temmuz 2005 – Mayıs 2006 ölçüm sonuçları ve hesaplanan değerler yardımı ile Edirne ili için genel bir yaklaşımda bulunulmuştur.

Güneş enerjisi sistemlerinin hacim ısıtmasına destek olarak kullanılması durumunda, güneş enerjisi sistemi sadece; ısıtıcı dönüş suyu sıcaklığı ısı depolama ünitesi su sıcaklığından düşük olduğu zaman ısı verir. Bu nedenle kurulan ısıtma sisteminde, bina ısıtması için düşük işletme sıcaklıklarına göre tasarlanmış geniş ısıtma yüzeyli radyatör kullanılmıştır. Kurulan ısıtma sisteminde elde edilen veriler yardımı ile düşük işletme sıcaklıklarına göre tasarlanmış yerden ısıtma tesisatlarında güneş enerjisi sistemlerinin kullanılması ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabilir. Isı depolama ünitesi civarına yerleştirilecek toprak- hava prensipli ısı pompası ile sistem ısı etkeliğini arttırmak mümkün olabilir.

Isı toplama ünitesinde enerji aktarımları ısı değiştiricileri aracılığı ile yapılmıştır. Hacim ısıtması için kullanılan 3 numaralı ısı değiştiricisini ve ısı depolama ünitesine

enerji aktarımını sağlayan 1 numaralı ısı değiştiricisini boru demeti içine yerleştirilmek sureti ile sistemden hacim ısıtması için sağlanan ısı yku arttırılabilir.

10. SONUÇLAR

Edirne iklim şartlarında, hacim ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su temini için güneş enerjisinin mevsimlik depolandığı bir ısıtma sistemi ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Mevsimlik depolama dönemi içinde ısı toplama ünitesinden ısı depolama ünitesine aktarılan enerjinin bir bölümü kullanım amaçlı sıcak su ile çekilmiş geri kalan kısmı ise ısı depolama ünitesi ve civarında depolanmıştır.

Edirne ilinde kurulan mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde, ölçüm sonuçları yardımı ile yeraltında bulunan silindirik ısı depolama ünitesi ve çevresindeki sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Ölçümler Temmuz 2005- Mayıs 2006 arasında yapılmıştır. Isı depolama ünitesi ve çevresi toprak içindeki aylık ortalama sıcaklık değerleri teorik sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel ölçüm sonuçları ile belirlenen sıcaklık değerleri ile teorik olarak belirlenen sıcaklık değerleri arasında en büyük sapmalar ısıtma mevsimi içinde olmaktadır.

Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemi için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, Edirne ili için, güneş enerjisi sistemlerinden kullanım amaçlı sıcak su teminin yanı sıra hacim ısıtmasında da verimli şekilde faydalanılabileceğini göstermiştir.

Deneysel sonuçlara göre; güneş enerjisi deposunun yeraltında bulunması ve etrafında kum olması sebebi ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanacağı tespit edilmiştir. Kurulan sistemde, saatlik ölçüm verileri ile hesaplamalar yapıldığından gerek ısı toplama ünitesi gerekse ısı depolama ünitesi için elde edilen sonuçlar daha gerçekçidir.

Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminde:

- Birim m² toplayıcı alanı için toplayıcıda toplanan güneş enerjisi, en yüksek Ağustos -2005 ayı içinde 154,000 kWh/ay ve en düşük Aralık -2005 ayı içinde 11,783 kWh/ay olarak belirlenmiştir.
- Birim m³ hacim başına ısıtma gereksinimi, en yüksek Ocak -2006 ayı içinde 41,700 kWh/ay ve en düşük Ekim -2005 ayı içinde 10,032 kWh/ay olarak belirlenmiştir.

- Birim m² toplayıcı alanı başına sistemin toplam maliyeti 1970 TL olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak Türkiye Edirne İlinde (41° 39' 54" N) güneş enerjisinin depolanmasıyla, depolanan enerjinin üretilene eklenerek, üretim ve tüketim arasındaki farkı dengeleyecek biçimde başka bir zaman diliminde kullanılmasıyla, dikkate değer enerji tasarrufu sağlanacağı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Balcomb, J. D., 1986, "Conservation and Solar Guidelines", *Passive Solar J.*, 3, 221.

Bankston, C., A., 1988, "The Status and Potential of Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage: An International Report", in *Advances in Solar Energy 4*, (K. W. Boer, ed.), 352.

Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996, "Thermal design and Optimization", John Wiley & Sons, New York.

Brandemuehl, M., Beckmann, W. A., 1979, "Economic Evaluation and Optimization of Solar Heating System", *Solar Energy*, 23, 1.

Brunström, C., Larson, M., Holst, P., Zinko, H., Hillström, C. G., 1985, "The Lyckebo Project a Swedish Central Solar Heating Plant with Seasonal Storage", Report no. UL-FUD-B 85: 13.

Can, A., Karaçavuş, B., 2006, "Güneş Enerjisinin sürekli Kullanılabilirlik Koşulu Altında Maddelerin Spesifik Isı kapasitelerinin Kullanılarak Depolanabilirliğinin Araştırılması", TÜBAP 655 Gelişme Raporu, Edirne.

Can, A., Karaçavuş, B., 2006, "Güneş Enerjisinin Duyulur Isı Olarak Depolanabilirliği", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 92, 23.

Can, A., 2005, "Termodinamik İkinci Yasası Temel Yöntemler", Doktora MMDR 601 Ders Notları, Edirne.

Can, A., 1999, "Makine Mühendisleri ve Proses Mühendisleri İçin Ölçme Tekniği", Ders Notları, Edirne.

Collares-Pereira, M., Rabl, A., 1979a, “ The Average Distribution of Solar Radiation-Correlations between Diffuse and Hemispherical and Between Daily and Hourly Insolation Values”, *Solar Energy*, 23, 235.

Collares-Pereira, M., Rabl, A., 1979b, “ Simple Procedure for Predicting Long Term Average Performance of Nonconcentrating and Concentrating Solar Collectors”, *Solar Energy*, 23, 235.

Cooper, P I., 1969, “The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills”, *Solar Energy*, 12, 3.

Chung, M., Park, J. U., Yoon, H. K., 1998, “Simulation of a Central Soalar Heating System With Seasonal Storage in Korea”, *Solar Energy*, 64, 163.

Dağsöz, A. K., 1990, “Isı Geçişi”, Emre Matbaacılık, İstanbul.

Dinçer, İ., 2002, “On Thermal Energy Storage Systems and Applications in Buildings”, *Energy and Buildings*, 34, 377.

Duffie, J., Beckmann, W., 1991, “Solar Engineering of Thermal Processes”, John Wiley&Sons, New York.

EİE-Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2006.

Eryener, D., 2003, “ Türbülanslı Cebri Konveksiyonla Isı Geçişi Sağlayan Isıl Sistemlerin Ekserji Ekonomik Analizi”, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

Eskin, N., 2000, “Performance Analysis of a Solar Process Heat System”, *Energy Conversion & Management*, 41, 1141.

Evans, D. L., Rule, T. T., Wood, B. D., 1982, “ A New look at long Term Collector Performance and Utilizability”, *Solar Energy*, 28, 13.

Hottel, H. C., Whiller, A., 1958, “ Evaluation of Flat-Plate Solar Collector Performance”, in Trans. Of the Conference on Use of Solar Energy, 2, 74, Universty of Arizona Press.

İnallı, M., Ünsal, M., 1991, “Güneş Enerjisinin Toprak İçine Yerleştirilmiş Borular Kullanarak Depolanmasında Isı İletim Probleminin Analizi”, Enerji yönetimi ve Teknik Sorunları Kongresi Bildiri Kitabı, 261, Erzurum.

İnallı, M.,1998, “Design Parameters for a Solar Heating System with an Underground Cylindrical Tank”, Energy, 23(12), 1015.

İshakava, Y., Yohino, H., Nagatomo, M., Kimura, S., 1992, “Computational Analysis of Thermal Performance of Eart Tube”, Solar Engeeniring, 1, 195.

Kakaç, S., 1987, “Örneklerle Isı Transferi”, Seldem Ofset, Ankara.

Kakaç, S., Yener, Y., 1979, ”Heat Conduction”, Middle East TechnicalUniversty, Mechanical Engineering Department, pub. No. 60.

Kaygusuz, K., 1992, “Karadeniz Bölgesindeki Konutların Güneş Destekli Isı Pompaları Yardımıyla Isıtılabilirliğinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Kaygusuz, K., 2000, “Experimental and Theoretical Investigation of a Solar Heating System with Heat Pump”, Renewable Energy, 21, 79.

Kılıç, A., Öztürk, A., 1983, ”Güneş Enerjisi”, Kipaş Dağıtımcılık.

Klein, S., A., 1978, “Calculations of Flate-Plate Collector Utilizability”, Solar Energy, 21, 293.

Klein, S. A., Beckmann, W. A., 1979, “ A General Design Method for Closed Loop Solar Energy Systems”, *Solar Energy*, 22, 269.

Koroneos, C., Spachos, T., Moussiopoula, N., 2003, “Exergy Analysis of Renewable Energy Sources”, *Renewable Energy*, 28, 295.

Kreith, F., Kreider, J., 1978, “Principles of Solar Engineering”, Hemisphere-McGraw-Hill, New York.

Lui, B. Y. H., Jordan, R. C., 1960, “ The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation” *Solar Energy*, 4(3), 1.

Lui, B. Y. H., Jordan, R. C., 1962, “ Daily Insolation on Surfaces Tilted Toward the Equator”, *ASHRAE Journal*, 3(10), 53.

Lui, B. Y. H., Jordan, R. C., 1963, “ The Long-Term Average Performance of Flat-Plate Solar Heat Collectors”, *Solar Energy*, 7, 53.

Lui, B. Y. H., Jordan, R. C., 1977, “ Availability of Solar Energy of Flat-Plate Solar Heat Collectors”, in application of Solar Energy for Heating and cooling of Buildings, ASHRAE, New York.

Luminosu, I., Fara, L., 2004, “Determination of the Optimal Operation Mode of a Flat Solar Collector by Exergetic Analysis and Numerical Simulation”, *Energy*, 1.

Lund, P. D., Kangas, M., T., 1983, ”Net Energy Analysis of District Solar Heating with Seasonal Heat Storage”, *Energy*, 8(10), 813.

Lund, P. D., Peltola, S. S., 1987, ”Verification of a CSHPSS Simulation Program with a Emphasis on System Control”, *Solar Energy*, 39(6) , 513.

Lund, P. D., Östmann, M. B., 1985, “A Numerical Model for Seasonal Storage of Solar Heat in the Ground by Vertical Pipes” . Solar Energy, 34(4), 351.

Makine Mühendisleri Odası, 2004, “Kalorifer Tesisatı”, MMO, 352/2.

McAdams, W. H., 1954, “ Heat Transmission”, 3rd edn, McGraw-Hill.

Melis, M., Spate, F., 2000, “The Solar Heating System with Seasonal Storage at the Solar-Campus Jülich”, Solar Energy, 69, 525.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İstasyon No: 17050, Ankara.

Metz, P., D., 1984, “The Use of Serpentine Earth Coils in Ground Coupled Heat Pump Systems”, 106, November, 438.

Nordell, B., Hellström, G., 2000, “High Temperature Solar Heated Seasonal Storage for Low Temperature Heating of Buildings”, Solar Energy, 69, 511.

Onat, K., 1990, “Kullanılabilir Enerji Kaybının Azaltılması”, Termodinamiğin İkinci Kanunu Çalışma Toplantısı Bildiriler Kitabı, Kayser, 29, 2.

Öztürk, H., Baştañçelik, A., 2003, “Güneş enerjisi Depolama Etkinliğinin Enerji ve Ekserji Analizi ile Belirlenmesi”, TMMOB Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 102.

Singh, N., Kaushik, S. C., Misra, R. D., 2000, “Exergetic Analysis of a Solar Thermal Power System”, Renewable Energy, 19, 135.

Szargut, J., Morris, D. R., Steward, F. R., 1988, “ Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes”, Hemisphere Publishing Corporation, New York.

Suzuki, A., 1988, “Fundamental Equation for Exergy Balance on Solar Collectors”, Trans. ASME Journal Solar Energy Eng., 110, 102.

Shelton, J., 1975. “Underground Storage of Heat in Solar Heating System”, Solar Energy 17, 137.

Schmidt, T., Mangold, D, Müller-Steinhagen, H., 2004, “Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage in Germany”, Solar Energy, 76, 165.

Uçar, A., İnallı, M., 2005, “ Thermal and Economical Analysis of a Central Solar Heating System With Underground Seasonal Storage in Turkey”, Renewable Energy, 30, 1005.

Viessmann Planlama Bilgileri Klasörü, 2005, Bölüm 6.

Whiller, A., 1953, “ Solar Energy Collection and Its Utilization for House Heating”, Ph.D. Thesis, MIT, Cambridge, MA.

Yumrutaş, R., Ünsal, M., 2000, “Analysis of Solar Aided Heat Pump Systems with Seasonal Thermal Energy Storage in Surface Tanks”, Energy, 25, 1231.

ÖZGEÇMİŞ

Berrin Karaçavuş 19.08.1970'te Edirne'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Edirne'de tamamladı. Üniversite öğrenimini 1987- 1991 yılları arasında Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde yaptı. Trakya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsünde Lisansüstü eğitimini 1995 yılında tamamladı. Yüksek Lisans Tez çalışmasında Hava- Hava prensipli ısı pompası ile deneysel çalışmalar yaptı. Trakya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsünde Doktora programına 2001 yılında başladı. 1992 yılından beri Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

EKLER

EK A

Çizelge EK A.1. 12 Temmuz 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀
08:00	35	36	35	35	22	30	28	26	24	25	26	24	32	30	28	26	26	23,2
09:00	35	36	35	35	22	30	28	26	24	25	26	24	32	30	28	26	26	26,0
10:00	33	27	23	27	18	29	29	28	24	23	27	25	31	31	30	24	25	27,0
11:00	32	30	22	25	20	24	23	21	24	24	28	26	26	25	24	24	24	27,8
12:00	39	44	35	40	24	30	29	25	25	24	27	25	32	31	26	25	25	29,0
13:00	48	48	42	47	24	30	29	25	22	21	25	23	32	31	27	24	24	30,0
14:00	48	54	49	53	30	32	32	30	21	21	23	22	34	34	32	25	25	30,6
14:30	44	49	43	48	28	29	29	28	27	28	28	26	31	31	29	27	28	31,0
15:00	48	53	45	53	28	29	29	28	21	22	24	23	31	31	30	27	28	31,1
16:00	52	56	52	55	29	30	30	29	21	22	25	24	32	32	31	26	27	31,0
17:00	54	56	53	55	26	34	31	31	22	22	26	24	34	33	32	27	27	30,7
18:00	49	56	49	54	29	34	32	31	27	24	28	26	35	33	33	27	27	30,0
19:00	49	56	49	54	29	34	32	31	27	24	28	26	35	33	33	27	27	27,5
20:00	49	56	49	54	29	34	32	31	27	24	28	26	35	33	33	27	27	26,0
21:00	48	55	48	53	30	34	32	31	27	24	28	26	35	33	33	27	27	25,0
22:00	48	55	48	53	30	34	32	31	27	24	28	26	35	33	33	27	27	23,0
23:00	46	53	47	52	31	34	32	31	27	24	29	27	35	33	33	28	28	22,0

Çizelge EK A. 2a. 12 Temmuz 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	33	23	33	23	1,0	0,0	1,9987	174,2546
09:00	35	26	35	26	0,2	0,0	2,6778	233,4612
10:00	35	26	35	26	0,2	0,0	3,5488	309,3984
11:00	60	34	60	34	0,3	0,0	3,8112	332,2755
12:00	50	34	50	34	0,7	0,5	4,1501	361,8221
13:00	54	38	54	38	0,7	0,4	8,8988	775,8326
14:00	58	42	58	42	2,0	0,4	7,6791	669,4943
14:30	60	36	60	36	1,5	0,2	7,8899	687,8727
15:00	57	39	57	39	2,5	0,4	7,9922	696,7916
16:00	60	46	60	46	1,5	0,4	6,7187	585,7629
17:00	60	51	60	51	1,5	0,4	5,6305	490,8893
18:00	53	43	53	43	1,5	0,4	0,5543	48,3260
19:00	51	49	51	49	1,5	0,0	0,4351	37,9293
20:00	45	45	45	45	1,5	0,0	0,034	2,9643

Çizelge EK A.2b. 12 Temmuz 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. (°C)	Kull. Suyu Ort.sıc. (°C)
10:00	30,2	180	0,1677	19	31
14:30	90,0	480	0,187	20	37

Çizelge EK A.3. 19 Temmuz 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C)→	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀
Saat ↓																		
08:00	48	39	39	42	21	29	28	27	19	19	19	18	31	30	29	23	23	23,0
09:00	47	40	39	41	21	28	27	27	19	19	19	19	30	29	29	23	23	25,9
10:00	47	40	39	41	21	29	28	27	19	19	19	18	31	30	29	23	23	28,3
11:00	37	38	34	39	26	30	30	28	22	20	28	27	32	32	30	24	25	30,2
12:00	45	54	41	51	29	30	29	29	20	19	18	17	32	31	31	24	25	32,0
13:00	45	52	48	51	32	31	31	31	19	19	18	17	33	33	33	25	26	33,0
14:00	52	57	53	57	31	29	29	29	21	20	20	18	31	31	31	26	26	33,6
15:00	55	61	59	62	32	24	24	26	18	18	18	18	28	28	29	27	27	34,0
16:00	58	65	63	66	33	28	28	28	22	21	19	18	30	30	30	27	27	34,0
17:00	61	69	67	70	34	29	29	29	29	23	22	20	31	31	30	26	27	34,0
18:00	62	67	66	67	33	33	33	33	26	24	22	20	35	34	31	26	27	32,6
19:00	62	67	66	67	33	33	33	33	26	24	22	20	35	34	31	26	27	30,5
20:00	62	67	66	67	34	34	33	33	26	24	24	22	36	34	31	26	28	29,0
21:00	61	66	65	67	34	34	33	33	26	24	24	22	36	34	31	26	28	28,0
22:00	51	49	50	48	33	32	32	30	23	23	25	23	34	34	32	25	27	26,0
23:00	49	47	47	47	34	33	33	32	24	24	26	25	34	34	32	25	27	25,5

Çizelge EK A. 4a. 19 Temmuz 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	30	23	30	20	0,90	0,0	3,9912	347,9686
09:00	32	26	32	26	0,70	0,0	4,4536	388,2817
10:00	34	29	34	29	0,15	0,0	5,083	443,1561
11:00	81	28	81	32	0,15	0,0	5,8865	513,2084
12:00	64	32	64	30	0,15	0,4	7,1856	626,469
13:00	58	33	58	34	0,16	0,6	7,3439	640,2703
14:00	58	39	58	39	0,17	0,6	7,7795	678,2476
15:00	65	54	65	54	0,11	0,8	7,2459	631,7262
16:00	66	57	66	57	0,16	0,6	5,9777	521,1595
17:00	65	51	65	51	0,14	0,6	4,1315	360,2005
18:00	61	60	61	60	0,15	0,6	2,3908	208,4394
19:00	55	55	55	55	0,90	0,0	0,9987	87,0706
20:00	50	48	51	48	1,50	0,0	0,0000	0,0000

Çizelge EK A. 4b. 19 Temmuz 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. °C	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
22:00	126	1800	0,07	19	50

Çizelge EK A.5. 29 Temmuz 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀
08:00	40	35	33	36	24	27	26	25	23	24	25	24	29	28	27	24	25	24,3
09:00	40	35	33	36	24	27	26	25	23	24	25	24	29	28	27	24	25	27,5
10:00	40	37	35	38	26	28	27	26	25	26	26	24	30	29	28	27	28	29,0
11:00	45	44	42	45	27	28	27	26	24	25	25	23	30	29	28	26	27	31,0
12:00	45	49	43	48	31	27	26	25	22	23	23	25	29	28	27	26	27	33,0
13:00	52	56	53	56	33	25	24	23	25	25	24	23	27	26	25	25	26	34,0
14:00	41	52	43	49	34	26	25	24	19	22	21	26	28	27	26	24	24	34,3
15:00	50	58	52	57	34	27	26	25	24	25	23	27	29	28	27	24	24	34,0
16:00	53	60	57	59	35	29	28	26	25	26	26	25	31	30	28	25	26	33,5
17:00	56	63	60	62	35	30	28	26	27	28	26	31	32	30	28	28	29	32,6
18:00	57	62	60	62	34	35	33	31	28	29	29	27	36	35	33	29	30	31,0
19:00	57	62	60	62	34	35	33	31	28	29	29	27	36	35	33	29	30	30,0
20:00	57	62	60	62	34	35	33	31	28	29	29	27	36	35	33	29	30	29,0
21:00	56	61	59	62	35	35	33	31	28	29	29	28	36	35	33	29	30	27,5
22:00	56	61	59	62	35	35	33	31	28	29	29	28	36	35	33	29	30	26,5
23:00	55	60	57	60	36	36	33	32	28	29	30	29	37	35	33	29	31	25,0

Çizelge EK A.6a. 29 Temmuz 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	35	25	35	25	2,0	0,00	0,9987	87,0710
09:00	41	23	41	23	2,0	0,00	2,4161	210,6452
10:00	51	36	51	36	2,0	0,00	4,7302	412,3976
11:00	57	34	57	34	2,3	0,50	6,8861	600,3575
12:00	54	33	54	33	1,2	0,25	7,5616	659,2502
13:00	60	31	60	31	2,5	0,50	8,3059	724,1412
14:00	58	25	58	25	1,5	0,10	8,3064	724,1848
15:45	56	43	56	43	1,5	0,50	7,3125	537,5327
16:00	59	51	59	51	2,5	0,50	0,8416	73,3740
17:00	61	52	61	52	1,2	0,50	3,8060	331,1821
18:00	60	55	60	55	0,5	0,50	1,7456	152,1883
19:00	55	38	55	38	1,5	0,00	0,0000	0,0000
20:00	45	36	45	36	2,0	0,00	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.6b. 29 Temmuz 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. (°C)	Kull. Suyu Ort.sıc. (°C)
12:00	78,8	900	0,082	25	40
14:00	278,2	1260	0,2208	20	34

Çizelge EK A.7. 01 Ağustos 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C)→ Saat↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀
08:00	52	47	45	49	23	31	30	28	22	25	25	23	33	32	30	24	27	23,6
09:00	53	46	44	48	23	31	30	28	22	25	25	23	33	32	30	24	27	28,1
10:00	53	46	44	48	25	29	28	26	18	22	22	20	31	30	28	21	23	31,0
10:30	44	41	37	41	26	29	28	26	17	22	22	20	31	30	28	22	23	31,0
11:00	42	42	36	42	28	29	28	26	19	23	28	25	31	30	28	23	25	32,3
11:10	39	39	34	39	28	28	27	25	20	22	23	20	31	30	27	23	25	33,0
12:00	43	54	38	49	32	31	30	28	19	23	32	29	33	32	30	24	26	34,0
13:00	56	61	52	59	32	27	26	24	17	22	23	20	29	28	27	23	25	34,8
13:45	44	51	42	48	33	27	26	24	18	21	23	20	29	28	26	22	23	35,0
14:00	46	53	43	49	32	28	27	25	18	21	23	20	30	29	27	22	24	35,0
15:00	53	59	53	57	33	31	30	28	24	24	25	23	33	32	30	26	26	35,6
15:26	54	58	53	57	33	28	27	25	24	22	26	24	30	29	27	26	26	36,3
16:00	44	52	44	49	34	27	26	24	20	22	25	23	30	29	27	26	26	35,2
17:00	48	54	48	53	34	27	26	24	20	22	25	23	30	29	27	26	26	34,5
18:00	52	57	53	57	35	35	34	32	34	29	24	22	37	36	34	36	34	33,2
19:00	52	57	53	57	35	35	34	32	34	29	24	22	37	36	34	36	34	31,1
20:00	51	55	50	55	36	36	35	33	35	30	25	23	38	37	35	37	35	30,1
21:00	50	52	48	53	36	36	35	33	35	30	26	24	38	37	35	37	35	29,2
22:00	50	50	46	51	37	36	35	33	35	30	26	24	38	37	35	37	35	27,1
23:00	49	49	45	50	37	37	36	35	35	31	27	24	39	38	36	37	35	25,9

Çizelge EK A.8a. 01 Ağustos 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	27	25	27	26	1,0	0,000	2,4161	210,6452
09:00	29	25	29	28	0,9	0,00	4,4716	389,8518
10:00	31	23	31	28	0,6	0,00	5,1853	452,075
10:30	35	18	35	29	0,3	0,00	5,8897	513,4874
11:00	38	18	38	31	1,0	0,00	6,7343	587,1229
11:10	39	16	39	16	1,0	0,00	7,3423	640,1308
12:00	83	30	83	30	1,6	0,20	7,6355	665,6931
13:00	57	29	57	29	0,4	0,40	8,1521	710,7323
13:45	64	28	64	29	0,4	0,20	8,2456	718,8840
14:00	61	27	61	27	1,5	0,20	7,8463	684,0715
15:00	54	38	54	38	0,9	0,25	7,5504	658,2738
15:26	64	40	64	40	0,5	0,05	7,4326	648,0035
16:00	61	38	61	38	1,1	0,20	5,7741	503,4089
17:00	50	37	50	37	0,9	0,25	3,7235	324,6295
18:00	40	36	40	36	1,0	0,25	1,9172	167,1491
19:00	40	37	40	37	1,0	0,20	0,9700	84,5684
20:00	38	37	38	37	2,0	0,00	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.8b. 01 Ağustos 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. (°C)	Kull. suyu Ort. sıc. (°C)
13:45	287,8	1800	0,2085	23	33,5
16:00	164,8	1500	0,1098	20	35,0

Çizelge EK A.9. 19 Ağustos 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀
08:30	40	26	28	28	18	29	27	27	23	24	26	25	31	29	29	25	25	22,0
09:00	40	30	30	32	21	29	29	26	24	25	24	24	31	31	28	26	26	22,0
10:00	43	35	33	35	21	30	27	27	21	20	26	24	32	29	29	23	23	26,0
11:00	46	42	40	43	25	27	26	25	20	19	27	22	29	28	27	22	21	26,0
12:00	51	49	47	49	27	26	24	24	18	21	25	23	28	26	26	22	22	30,0
12:30	46	50	44	49	30	28	25	25	19	19	21	23	30	27	27	22	22	30,3
13:00	50	53	47	52	29	29	27	27	21	18	29	23	31	29	29	22	20	31,0
15:00	60	64	60	63	33	29	26	25	20	20	23	23	31	28	27	22	22	33,6
15:10	60	54	50	53	23	32	30	25	25	25	30	27	34	32	27	27	26	33,0
15:30	52	60	52	57	33	32	28	27	28	23	28	25	34	30	29	28	25	32,0
16:00	55	61	55	59	32	28	25	24	25	23	27	25	30	27	26	27	25	33,0
17:00	58	60	58	60	31	30	28	27	30	23	26	25	32	30	29	30	25	32,3
18:00	59	60	58	60	30	33	30	29	25	24	27	26	35	32	31	27	26	30,0
19:00	58	57	57	57	31	33	30	30	26	24	27	26	35	32	32	28	26	27,0
20:00	58	57	57	57	31	33	30	30	26	24	27	26	35	32	32	28	26	25,0
21:00	57	55	55	56	31	33	31	31	26	25	27	26	35	33	32	29	27	23,3
22:00	57	54	54	55	32	34	32	32	27	25	28	27	36	34	33	29	27	22,9
23:00	56	53	53	55	33	35	33	32	28	27	28	27	37	35	33	29	28	21,9

Çizelge EK A.10a. 19 Ağustos 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:30	49	33	49	33	0,2	0,0	1,4338	125,0044
09:00	49	36	49	36	0,1	0,2	1,3421	117,0096
10:00	56	32	56	32	0,5	0,5	4,1188	359,0933
11:00	60	37	60	37	0,2	0,5	5,6634	493,7576
12:00	65	37	65	37	0,3	0,5	6,9383	604,9085
12:30	66	35	66	35	0,6	0,2	7,6543	667,3322
13:00	65	35	65	35	0,6	0,2	8,1630	711,6827
15:00	72	54	72	54	0,4	1,1	5,0513	440,3923
15:10	71	54	71	54	0,6	0,6	6,8174	594,3679
15:30	68	49	68	49	1,5	0,2	6,8174	594,3679
16:00	67	50	67	50	1,2	0,3	6,4694	564,0279
17:00	68	55	68	55	0,7	0,5	4,3960	383,2607
18:00	66	55	66	55	0,9	0,4	1,6976	148,0035
19:00	62	55	62	53	1,0	0,5	0,9987	87,0706
20:00	60	56	60	57	1,0	0,0	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.10b. 19 ağustos 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc.	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
12:30	125,3	660	0,1898	42	20
15:30	86	660	0,13	49	22

Çizelge EK A.11. 26 Ağustos 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C)→ Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀
08:00	51	36	35	38	17	32	29	29	19	22	25	22	34	31	31	22	23	21,1
09:00	50	37	35	39	17	32	29	29	19	22	25	22	34	31	31	22	23	22,9
10:00	50	37	35	39	17	32	29	29	19	22	25	22	34	31	31	22	23	26,0
11:00	40	27	23	28	20	30	28	28	21	20	28	21	32	30	30	22	23	28,0
12:30	53	53	39	52	26	27	26	25	18	19	22	21	29	28	27	21	22	32,0
13:00	59	53	47	54	28	28	27	25	18	20	24	22	30	29	27	21	22	32,5
13:25	58	53	47	53	28	28	27	25	18	20	24	22	30	39	27	21	22	32,5
14:00	62	59	53	58	27	31	29	25	27	25	32	27	33	31	29	24	26	30,0
15:00	61	55	48	56	26	32	30	29	28	25	31	27	34	32	31	25	27	30,0
15:35	61	53	46	55	26	33	30	29	28	25	31	27	35	32	31	26	28	30,0
16:00	63	57	52	56	26	31	29	29	22	21	30	24	33	31	31	25	27	32,0
17:00	64	58	55	61	26	33	29	29	29	26	29	26	34	31	31	26	27	30,0
18:00	64	58	55	61	26	33	29	29	29	26	29	26	34	31	31	26	27	28,3
19:00	63	59	56	61	26	33	29	29	29	26	29	26	34	31	31	26	27	26,1
20:00	62	58	55	61	27	34	30	30	29	27	30	26	34	31	31	26	27	24,8
21:00	48	48	47	49	26	29	27	26	28	26	31	27	32	28	28	26	27	23,4
22:00	47	46	45	44	27	30	28	27	29	27	31	29	32	30	30	27	28	22,4
23:00	46	46	44	43	28	30	28	27	29	28	31	29	32	30	30	27	28	21,9

Çizelge EK A1.12a. 26 Ağustos 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	28	21	28	21	1,00	0,00	3,110	271,1421
09:00	29	22	29	22	0,60	0,00	3,3487	291,9529
10:00	30	22	30	22	0,60	0,00	3,9103	340,9154
11:00	90	30	90	30	0,80	0,00	5,4270	473,1473
12:30	69	34	69	34	0,10	0,50	7,3226	638,4133
13:00	61	40	61	40	0,05	0,20	7,8949	688,3086
13:25	71	43	71	43	0,05	0,00	8,1201	707,9425
14:00	65	55	65	55	1,50	0,40	0,5235	45,6373
15:00	57	35	57	35	0,30	0,00	1,0643	92,7899
15:35	75	50	75	50	0,30	0,00	4,8766	425,1613
16:00	69	54	69	54	1,00	0,20	4,9559	432,0750
17:00	62	57	62	57	0,60	0,30	0,5331	46,4795
18:00	61	57	61	57	0,50	0,00	0,3445	30,0349
19:00	60	57	60	57	1,00	0,00	0,1990	17,3496
20:00	55	54	55	54	1,50	0,00	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.12b. 26 Ağustos 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sic.	Kull. suyu Ort.sic. (°C)
11:00	135,1	1200	0,1125	19	38,70
21:00	126	1800	0,07	19	48

Çizelge EK A.13. 06 Eylül 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀
08:00	25	17	16	17	17	22	23	20	16	20	24	23	24	25	22	20	22	26,0
09:00	25	17	16	17	17	22	23	20	16	20	24	23	24	25	22	20	22	26,0
10:00	25	17	16	17	17	22	23	20	16	20	24	23	24	25	22	20	22	26,0
11:00	30	32	24	30	24	22	21	23	17	21	26	24	24	23	25	20	22	25,0
11:45	35	35	30	35	23	22	22	23	18	21	25	23	24	24	25	20	22	26,0
12:00	35	35	30	35	23	22	22	23	18	21	25	23	24	24	25	20	22	26,0
13:00	39	42	38	42	26	22	22	23	18	21	25	23	24	24	25	20	22	26,2
13:30	37	37	32	34	21	22	20	22	18	22	20	22	24	22	24	20	22	27,0
14:00	39	39	34	38	21	22	22	22	17	19	25	22	24	24	24	20	22	28,0
15:00	44	47	43	46	23	22	21	20	17	21	25	22	24	23	22	20	22	28,5
15:30	43	46	42	41	23	22	21	20	17	21	25	22	24	23	22	21	23	28,5
16:00	46	43	37	43	22	22	22	22	19	19	22	21	24	24	24	21	23	28,2
17:00	48	43	42	42	23	25	23	24	25	25	26	24	27	25	25	22	22	28,2
18:00	36	35	33	33	24	23	23	22	24	24	25	23	25	25	24	22	22	24,0
19:00	35	34	33	33	25	24	24	23	25	23	26	26	24	25	24	22	23	22,5
20:00	35	34	33	33	25	24	24	23	25	23	26	26	24	25	24	22	23	21,0
21:00	35	34	33	33	25	24	24	23	25	23	26	26	24	25	24	22	23	19,5
22:00	34	33	32	32	26	24	24	23	25	23	26	26	24	25	24	22	23	18,5
23:00	34	33	32	32	26	24	24	23	25	23	26	26	24	25	24	22	23	17,5

Çizelge EK A.14a. 06 Eylül 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	27	18	27	20		0,00	1,1657	101,6303
09:00	63	22	63	26	0,9	0,00	2,1445	1879659
10:00	62	22	62	26	0,9	0,30	3,6722	320,1569
11:00	48	25	48	25	0,4	0,30	4,5468	396,408
11:45	38	29	38	29	0,1	0,30	3,8101	332,1796
12:00	45	25	45	25	0,1	0,00	4,1222	359,3897
13:00	47	32	47	32	0,5	0,40	7,3221	638,3697
13:30	47	32	47	32	0,9	0,20	7,2678	633,6356
14:00	47	25	47	25	0,4	0,40	5,4015	470,9241
15:00	47	29	47	29	1,1	0,30	7,3417	640,0785
15:30	50	41	50	41	1,1	0,00	6,8916	600,837
16:00	48	40	48	40	1	0,30	4,6656	406,7655
17:00	55	36	55	36	0,2	0,00	1,1657	101,6303
18:00	40	38	40	38	1	0,20	0,0000	0,0000
19:00	40	38	40	38	1,50	0,00	0,0000	0,0000
20:00	30	26	30	26	1,5	0,00	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.14b. 06 Eylül 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. (°C)	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
18:00	84	1200	0,07	19	36

Çizelge EK A.15. 16 Eylül 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) →	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀
Saat ↓																		
08:00	39	25	25	26	18	29	28	28	26	25	26	24	31	30	30	27	27	20,0
09:00	38	26	25	27	18	29	28	28	26	25	26	24	31	30	30	27	27	22,0
09:30	38	26	25	27	18	29	28	28	26	25	26	24	31	30	30	27	27	22,0
09:50	37	26	25	27	18	29	28	28	26	25	26	24	31	30	30	27	27	22,3
10:30	40	32	29	33	19	30	29	29	24	26	26	23	32	31	31	26	27	24,0
11:00	35	24	20	25	20	29	29	29	25	22	26	23	32	31	31	26	25	24,0
12:00	38	29	26	30	20	29	29	28	25	26	25	23	32	31	31	24	24	25,0
13:30	40	31	32	34	20	29	28	28	22	22	27	23	31	30	30	24	24	26,0
14:00	41	35	33	35	23	28	27	27	18	24	26	22	30	29	29	21	23	26,5
15:00	36	27	22	27	21	29	29	28	26	26	26	23	30	29	29	25	26	26,0
18:30	44	42	41	42	23	30	30	29	28	28	28	25	32	32	31	29	30	24,0
21:00	41	32	30	33	19	32	31	30	31	27	28	26	33	32	32	29	31	20,0
22:00	41	32	30	33	19	32	31	30	31	27	28	26	33	32	32	29	31	21,0

Çizelge EK A.16a. 16 Eylül 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	26	22	26	23	1,50	0,00	0,9876	86,1029
09:00	37	20	37	22	1,50	0,00	2,9987	261,4385
09:30	37	20	37	22	1,10	0,00	3,0471	265,6582
09:50	48	20	48	22	1,00	0,00	3,0357	246,6643
10:30	47	33	47	33	1,20	0,40	1,1484	100,1221
11:00	45	32	45	32	1,40	0,20	1,2049	105,048
12:00	43	35	43	35	0,50	0,40	0,9188	80,10201
13:30	46	36	46	36	2,20	0,90	3,8374	334,5597
14:00	50	35	50	35	1,10	0,20	6,0495	527,4194
15:00	49	34	49	34	0,50	0,35	0,1450	12,63993
18:30	43	41	43	41	0,50	1,40	0,0000	0,0000
21:00	25	23	25	24	0,40	0,00	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.16b. 16 Eylül 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. (°C)	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
11:00	1200	1200	0,1905	18	32
15:00	170,2	1860	0,0915	20	34,25

Çizelge EK A.17. 30 Eylül 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) →	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀
Saat ↓																		
08:00	52	39	37	41	14	27	24	23	24	22	28	22	29	26	25	25	25	12,0
09:00	51	39	36	41	14	27	24	23	24	22	28	22	29	26	25	25	25	16,0
10:00	51	39	36	41	16	26	24	24	20	21	25	20	28	26	26	22	23	19,0
11:00	50	44	42	45	20	25	24	24	18	19	23	17	27	26	26	22	23	21,5
12:00	55	50	51	53	23	24	23	23	17	19	23	17	27	26	26	22	23	24,0
13:30	60	61	57	61	25	23	22	22	15	19	24	18	25	24	24	21	22	25,0
14:00	63	67	61	66	27	26	24	22	19	19	24	19	28	26	24	22	23	25,0
15:00	66	72	66	70	29	27	25	24	22	19	25	20	28	26	24	22	23	26,5
16:00	68	73	68	72	29	27	25	22	21	21	30	21	28	26	24	22	23	26,0
18:00	68	71	66	71	27	30	28	28	28	24	28	22	32	30	30	29	30	23,0
19:00	68	71	66	71	27	30	28	28	28	24	28	22	32	30	30	29	30	22,6
20:00	60	65	57	61	28	28	27	26	27	24	27	23	30	29	28	28	30	21,0
21:00	58	63	54	59	29	30	29	28	28	26	29	25	32	31	30	29	31	20,0
22:00	58	63	54	59	29	30	29	28	28	26	29	25	32	31	30	29	31	19,0
23:00	57	63	52	59	30	30	29	28	28	26	29	25	32	31	30	29	31	17,5

Çizelge EK A.18a. 30 Eylül 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	49	16	49	17	1,0	0,0	2,9978	261,3600
09:00	55	18	55	18	0,4	0,0	4,11	358,3261
10:00	65	39	65	39	0,3	0,3	7,0983	618,8579
11:00	66	43	66	43	0,4	0,6	8,8115	768,2214
12:00	66	51	66	51	1,0	0,3	6,1335	534,7428
13:30	73	60	73	60	0,1	0,2	4,4096	384,4464
14:00	62	58	62	58	0,2	0,1	4,2341	369,1456
15:00	62	58	62	58	0,2	0,4	6,1335	534,7428
16:00	62	58	62	58	0,2	0,4	4,9046	427,6024
18:00	50	46	50	47	0,5	0,0	0,7203	62,7986
19:00	43	41	43	41	1,2	0,0	0,0000	0,0000
20:00	25	23	25	24	1,5	0,0	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.18b. 30 Eylül 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. (°C)	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
20:00	84	1200	0,07	19	60

Çizelge EK A.19. 3 Ekim 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀
08:00	34	23	24	27	16	32	29	28	14	25	30	24	34	31	30	28	29	13,0
09:00	33	24	25	27	16	32	29	28	14	25	30	24	34	31	30	28	29	17,0
10:00	33	28	29	31	19	28	28	25	21	21	31	27	30	30	27	26	26	18,0
11:00	38	36	35	37	21	29	26	26	23	24	28	24	30	30	27	26	26	21,5
12:00	41	41	41	34	22	27	27	24	18	17	27	21	29	29	26	26	27	23,0
13:30	47	48	48	48	24	24	23	22	17	18	25	20	29	29	26	26	27	26,0
14:30	50	52	51	52	25	25	23	22	20	16	27	19	29	29	26	26	27	26,0
16:00	54	58	57	58	27	24	23	22	24	19	28	21	26	25	23	22	24	26,5
17:00	56	60	61	61	28	28	26	25	23	24	27	22	30	28	27	22	25	25,5
19:00	54	54	54	55	23	29	26	28	27	24	27	23	31	29	30	25	28	23,0
20:00	46	46	45	48	25	31	29	30	27	28	32	31	31	29	30	25	28	20,5
21:00	44	45	43	47	27	31	29	30	27	28	32	31	31	29	30	25	28	20,0
22:00	44	45	43	47	29	31	29	30	27	28	32	31	31	29	30	26	28	19,0
23:00	43	43	42	45	31	32	31	30	28	29	32	31	31	29	30	26	28	18,0

Çizelge EK A.20a. 3 Ekim 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	30	21	30	22	0,5	0,0	3,9987	348,6224
09:00	31	22	31	22	0,2	0,0	4,2661	371,9355
10:00	48	30	48	30	0,2	0,1	4,4687	389,5990
11:00	48	38	48	38	0,6	0,6	7,1512	623,4699
12:00	51	37	51	37	0,1	0,5	6,1602	537,0706
13:30	55	37	55	37	0,1	1,1	7,7098	672,1709
14:30	57	42	57	42	0,2	0,5	9,2642	807,6896
16:00	59	52	59	52	0,1	0,9	6,3989	557,8814
17:00	60	56	60	56	0,2	0,7	3,7666	328,3871
19:00	50	31	50	31	0,5	0,5	0,0380	3,1229
20:00	40	32	40	32	1,0	0,0	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.20b. 3 Ekim 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sic.	Kull. suyu Ort.sic. (°C)
20:00	81	900	0,09	18	45

Çizelge EK A.21. 19 Ekim 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) →	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{ig}	T _{iç}
Saat																				
08:00	30	27	28	28	12	28	27	25	26	24	22	20	30	29	27	28	28	7,5	30	24
09:00	30	27	28	28	12	28	27	25	26	24	22	20	30	29	27	28	28	10,0	30	25
11:00	42	38	35	37	17	26	23	23	24	21	21	21	28	25	25	23	24	15,0	41	32
13:30	42	38	35	37	17	26	23	23	24	21	21	21	28	25	25	23	24	15,0	41	32
14:20	36	31	30	32	18	27	26	24	23	21	20	20	29	28	26	23	24	16,0	36	27
15:00	37	32	31	33	18	27	24	24	23	21	21	19	29	28	26	23	24	15,0	35	32
15:50	33	29	29	33	20	28	27	25	22	21	23	21	29	28	26	23	24	14,5	34	30
16:40	34	29	29	32	19	27	26	24	25	21	22	22	29	28	26	23	24	14,0	34	27
17:00	33	26	27	28	17	27	26	24	25	21	22	22	29	28	26	23	24	13,0	36	28
18:00	30	23	23	25	17	27	26	24	25	21	20	20	28	27	25	20	22	12,0	32	28
19:00	30	23	23	25	17	27	26	24	25	21	20	20	28	27	25	20	22	10,5	28	22
20:00	28	21	21	23	17	27	26	24	25	21	21	20	24	23	22	20	22	10	--	---
21:00	28	21	21	23	18	22	21	20	21	21	21	20	24	23	22	20	22	9,0	--	---
22:00	28	21	21	23	18	22	21	20	21	21	21	20	24	23	22	20	22	8,0	--	---

Çizelge EK A.22. 19 Ekim 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	13	12	13	12	2,0	0,0	1,2420	108,3260
09:00	13	12	13	12	1,5	0,0	1,2425	108,3261
11:00	40	30	40	30	1,5	1,2	1,3212	115,1874
13:30	40	30	40	30	1,5	1,2	1,4849	129,4595
14:20	38	25	38	25	1,0	0,2	2,0359	177,4978
15:00	36	23	36	23	0,9	0,3	1,2576	109,6425
15:50	40	28	40	28	0,9	0,6	4,2839	373,4874
16:40	38	38	38	38	1,0	0,3	0,8611	75,07062
17:00	33	33	33	33	1,5	0,3	0,5432	47,35833
18:00	30	20	30	20	1,5	0,3	0,0980	8,5440
19:00	25	18	25	18	1,7	0,2	0,0000	0,0000
19:00	20	19	20	18	2,0	0,0	0,0000	0,0000
20:00	20	19	20	18	2,2	0,0	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.23. 26 Ekim 2005 günü sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{ig}	T _{iç}
08:00	38	25	22	27	12	28	25	24	23	23	19	19	30	27	26	25	25	7,8
09:00	37	25	22	27	12	28	25	24	23	23	19	19	30	27	26	25	25	8,5	36,00	25,00
10:00	35	23	20	25	12	27	24	23	23	23	19	19	29	26	25	24	24	11,0	35,00	26,00
11:00	35	23	21	26	14	26	25	23	21	21	19	19	28	27	25	22	23	12,5	32,00	26,00
12:00	29	19	21	22	16	27	25	23	25	23	18	19	29	26	25	22	23	15,6	29,00	24,00
13:30	32	27	26	27	18	27	27	24	22	21	13	21	29	26	25	22	23	18,5	33,00	27,00
14:30	37	38	35	37	23	24	24	20	19	18	15	15	26	26	22	20	21	21,0	32,25	25,75
16:00	48	50	50	51	27	29	29	26	25	23	21	20	30	30	28	22	23	24,0	43,00	35,00
18:00	42	46	43	45	27	29	29	26	25	23	21	20	30	30	28	22	23	14,0	40,00	35,00
20:00	38	42	39	41	26	28	28	25	23	22	21	20	30	29	28	22	23	14,0	36,00	29,00
21:00	30	32	29	31	24	26	25	24	21	21	20	20	27	26	25	21	21	13,0	30,00	25,00
22:00	28	30	27	29	24	26	25	24	21	21	20	20	27	26	25	21	21	12,0	28,00	24,00

Çizelge EK A.24a. 26 Ekim 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	18	9	18	10	1,0	0,2	0,0000	0,0000
09:00	19	10	19	10	1,0	0,2	0,0978	8,5266
10:00	19	11	19	11	0,9	0,2	0,9544	83,20837
11:00	21	13	21	13	0,9	0,6	2,4326	212,0837
12:00	27	16	27	16	0,9	1,0	3,1184	271,8745
13:30	42	24	42	24	0,5	0,8	6,6871	599,041
14:30	46	28	46	28	0,6	0,6	6,1672	537,6809
16:00	43	41	43	41	0,8	0,2	4,0288	351,2467
18:00	41	41	41	41	0,9	0,2	0,1180	10,2887
20:00	29	14	29	14	1,0	0,2	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.24b. 26 Ekim 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. (°C)	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
17:00	42	700	0,06	18	38

Çizelge EK A.25. 07 Kasım 2005 günü için sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{ig}	T _{iç}
08:00	31	19	19	20	9	19	17	17	14	14	21	19	21	19	19	18	19	3,5	30	24
09:00	30	20	20	21	11	19	17	17	14	14	21	19	21	19	19	18	19	7,5	29	24
10:00	32	20	20	23	13	18	18	16	13	13	16	13	20	20	18	18	19	10,0	30	25
11:00	33	29	29	30	15	18	18	16	13	13	16	13	20	20	18	18	19	13,5	33	26
12:00	34	31	31	32	17	19	19	16	15	15	15	15	21	21	18	17	18	16,0	40	33
13:00	40	43	41	43	21	19	19	16	15	15	15	15	21	21	18	17	18	17,0	41	33
14:00	41	47	45	47	24	22	21	19	18	18	18	17	24	23	21	18	19	18,0	---	--
15:00	41	46	46	47	26	24	23	22	19	19	19	18	26	24	24	19	20	19,0	---	--
16:00	37	39	39	40	22	26	26	23	17	17	20	18	22	21	20	18	18	17,0	36	27
17:00	34	35	33	34	21	22	20	19	17	17	20	18	22	21	20	18	18	15,0	34	26
18:00	30	31	29	30	21	22	20	19	17	17	20	18	22	21	20	18	18	12,5	30	26
21:00	28	29	27	28	22	22	20	19	17	17	21	19	22	21	20	18	18	10,0	----	----

Çizelge EK A.26a. 07 Kasım 2005 günü ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	18	6	18	7	1,0	0,2	0,0000	0,0000
09:00	32	9	32	9	1,0	0,5	0,0978	8,5266
10:00	41	28	41	28	1,0	0,7	1,0576	92,2058
11:00	41	26	41	26	1,2	0,4	5,1442	448,4917
12:00	44	28	44	28	1,3	0,6	5,5584	484,6033
13:00	47	33	47	33	1,7	0,6	5,1160	446,0331
14:00	46	38	46	39	2,0	0,6	4,0904	356,6173
15:00	40	32	40	33	1,5	0,6	2,6294	229,2415
16:00	38	27	38	28	1,0	0,6	0,9259	80,72363
17:00	37	27	37	28	1,0	0,6	0,1570	13,68788
18:00	30	28	30	28	1,0	0,2	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.26b. 07 Kasım 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. (°C)	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
17:00	84	1200	0,07	17	34

Çizelge EK A.27. 28 Kasım 2005 günü için sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{ig}	T _{iç}
08:00	20	19	15	18	13	14	13	13	12	12	13	11	16	15	15	13	14	15,0	----	---
09:00	22	24	20	20	15	14	13	13	12	12	13	11	16	15	15	13	14	16,0	---	---
10:00	28	30	30	31	17	14	13	13	12	12	13	11	16	15	15	13	14	18,0	31	23
11:00	30	34	35	35	20	14	13	13	14	12	9	8	16	15	15	13	14	19,0	35	24
12:00	30	34	35	35	20	14	13	13	14	12	9	8	16	15	15	13	14	19,5	35	24
13:00	36	43	43	42	23	18	16	15	15	14	10	9	20	18	17	16	16	20,0	42	31
14:00	36	39	40	41	21	19	18	16	15	14	11	10	21	19	17	17	16	18,0	43	31
15:00	36	38	39	40	20	21	20	18	16	15	12	11	23	22	20	17	17	17,0	38	27
16:00	36	37	37	39	18	21	20	18	16	15	12	11	23	22	20	17	17	16,0	36	25
17:00	34	35	33	33	18	21	20	18	16	15	12	11	23	22	20	17	17	15,5	33	24
18:00	30	32	29	29	18	21	20	18	16	15	12	11	23	22	20	17	17	14,5	30	24
21:00	22	24	20	20	16	19	18	17	15	14	11	11	21	20	20	16	16	12,5	---	---

Çizelge EK A.28a. 28 Kasım 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	20	13	20	15	3,0	0,2	0,0000	0,0000
09:00	39	28	39	28	2,5	0,2	2,0978	182,8945
10:00	40	28	40	28	2,0	0,4	3,0912	269,5031
11:00	41	29	41	29	2,0	0,6	4,5638	397,8901
12:00	42	31	42	31	2,3	0,6	5,2873	460,9677
13:00	43	31	43	31	2,0	0,6	5,1852	452,0663
14:00	42	31	42	31	2,0	0,6	4,4177	385,1526
15:00	41	35	41	35	2,0	0,8	3,1182	271,857
16:00	36	35	36	35	2,0	0,2	0,2195	19,13688
17:00	19	16	19	16	2,0	0,2	0,1325	11,55187
18:00	18	15	18	15	2,0	0,2	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.28b. 28 Kasım 2005 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. (°C)	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
16:00	60	1716	0,07	11	35

Çizelge EK A.29. 07 Aralık 2005 günü için sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C)→ Saat↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{ig}	T _{iç}
08:00	20	19	15	18	13	14	13	13	12	12	13	11	16	15	15	13	14	14,2	----	---
09:00	22	24	20	20	15	14	13	13	12	12	13	11	16	15	15	13	14	15,0	24	17
10:00	28	30	30	31	17	14	13	13	12	12	13	11	16	15	15	13	14	15,2	31	23
11:00	30	34	35	35	20	14	13	13	14	12	9	8	16	15	15	13	14	15,9	35	24
12:00	30	34	35	35	20	14	13	13	14	12	9	8	16	15	15	13	14	16,2	35	24
13:00	34	35	33	33	18	21	20	18	16	15	12	11	23	22	20	17	17	17,3	35	26
14:00	33	34	31	32	18	21	20	18	16	15	12	11	23	22	20	17	17	18,3	34	27
15:00	34	35	33	33	18	21	20	18	16	15	12	11	23	22	20	17	17	17,3	34	28
16:00	30	32	29	29	18	21	20	18	16	15	12	11	23	22	20	17	17	16,3	32	25
17:00	30	32	29	29	18	21	20	18	16	15	12	11	23	22	20	17	17	15,3	30	24
18:00	22	24	20	20	16	19	18	17	15	14	11	11	21	20	20	16	16	15,2	20	19
21:00	22	24	20	20	16	19	18	17	15	14	11	11	21	20	20	16	16	14,7	---	---

Çizelge EK A.30. 07 Aralık 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	20	13	20	15	2,0	0,0	4,524915	394.500
09:00	39	28	39	28	2,0	0,2	5,36211	467.490
10:00	40	28	40	28	2,3	0,4	5,911065	515.350
11:00	41	29	41	29	2,4	0,6	5,569488	485.570
12:00	41	30	41	30	2,8	0,6	1,217885	106.180
13:00	42	31	42	31	3,0	0,6	2,866582	249.920
14:00	42	31	42	31	4,0	0,6	0,616467	53.746
15:00	37	35	37	35	4,0	0,65	0,0000	0,0000
16:00	36	35	36	35	3,0	0,2	0,0000	0,0000
17:00	19	16	19	16	3,5	0,2	0,0000	0,0000
18:00	18	15	18	15	4,0	0,2	0,0000	0,0000

Çizelge EK A.31. 18 Aralık 2005 günü için sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{ig}	T _{iç}
08:00	21	13	14	16	5	10	10	8	3	3	7	6	12	12	10	7	9	0,2	---	---
09:00	21	13	14	16	5	10	10	8	3	3	7	6	12	12	10	7	9	0,2	---	---
10:00	21	13	14	16	5	10	10	8	3	3	7	6	12	12	10	7	9	0,1	----	---
11:00	21	13	14	16	5	9	8	7	3	3	7	6	11	10	9	7	8	0,2	---	---
12:00	21	13	14	16	6	8	7	6	3	3	7	6	12	12	10	7	8	0,2	----	---
13:00	20	14	13	15	7	6	5	5	4	2	3	2	10	9	8	7	8	0,2	---	---
14:00	20	14	13	15	7	6	5	5	4	2	3	2	10	9	8	7	8	0,2	----	---
15:00	20	12	13	16	7	6	5	5	4	2	3	2	10	9	8	7	8	0,1	---	---
16:00	19	12	13	15	7	6	5	5	4	2	4	3	10	9	8	7	8	0,1	----	---
17:00	18	12	13	15	8	11	9	8	5	5	5	6	13	11	10	8	9	0,1	---	---
18:00	18	12	13	15	8	12	11	9	6	7	7	8	14	13	11	9	10	0,1	----	---
21:00	17	12	13	14	8	12	11	9	6	7	7	8	14	13	11	9	10	-0,2	---	---

Çizelge EK A.32. 18 Aralık 2005 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	7	5	7	5	3,0	0,0	1,211691	105,6400
09:00	10	6	10	7	2,5	0,0	1,731855	150,9900
10:00	13	8	13	8	2,0	0,0	2,430493	211,9000
11:00	16	10	16	11	2,0	0,0	3,262642	284,4500
12:00	15	9	15	10	2,3	0,0	1,932236	168,4600
13:00	15	9	15	10	2,0	0,0	1,441779	125,7000
14:00	10	8	10	10	2,0	0,0	0,420238	36,6380
15:00	9	8	9	8	2,0	0,0	0,0000	0,0000
16:00	8	8	8	8	2,0	0,0	0,0000	0,0000
17:00	8	8	8	8	2,0	0,0	0,0000	0,0000
18:00	6	6	6	6	2,0	0,0	0,0000	0,0000

EK B

Çizelge EK B.1. 02 Ocak 2006 günü için sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C)→ Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{ig}	T _{iç}
08:00	9	9	9	8	8	9	9	9	7	7	7	6	9	9	9	8	8	1,8	--	--
09:00	9	9	9	8	8	9	9	9	7	7	7	6	9	9	9	8	8	2,0	---	---
10:00	10	10	12	11	9	9	9	9	7	7	7	6	9	9	9	8	8	4,1	--	---
11:00	21	18	17	17	11	11	10	9	8	7	7	8	12	11	10	9	10	7,1	---	---
12:00	27	32	29	30	15	12	11	10	9	7	11	10	14	13	12	10	11	9,2	---	---
13:00	31	38	35	37	17	12	11	10	9	7	11	10	14	13	12	10	11	11,1	37	26
14:00	31	38	35	37	15	12	11	10	9	7	11	10	14	13	12	10	11	11,6	35	26
15:00	31	38	35	37	15	12	11	10	9	7	11	10	14	13	12	10	11	12,0	34	25
16:00	30	36	33	35	16	12	11	10	9	7	11	10	14	13	12	10	11	11,9	32	24
17:00	30	34	32	34	18	14	14	12	11	11	13	12	16	16	14	12	13	11,2	30	23
18:00	27	30	27	29	17	14	14	12	11	11	13	12	16	16	14	12	13	11,2	29	22
19:00	24	28	25	25	16	14	14	12	11	11	13	12	16	16	14	12	13	10,2	28	22
20:00	22	24	23	24	14	12	12	12	11	12	12	11	14	14	14	12	13	10,1	---	---
21:00	22	24	23	24	15	12	12	12	11	12	12	11	14	14	14	12	13	10,2	---	---
22:00	20	22	21	23	16	13	13	12	11	12	12	11	15	15	13	12	14	9,4	---	---

Çizelge EK B.2. 02 Ocak 2006 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	12	6	12	8	3,0	0,0	1,2691	105,6400
09:00	43	12	43	12	2,5	0,4	1,7355	150,9900
10:00	45	12	45	12	2,0	0,4	3,0530	266,1726
11:00	45	19	45	20	2,0	0,4	3,2642	284,4500
12:00	46	28	46	28	2,3	0,4	4,2713	372,3888
13:00	38	30	38	31	2,0	0,6	3,6089	314,6382
14:00	37	30	37	31	2,0	0,6	4,8976	426,9922
15:00	35	31	35	31	2,0	0,6	1,0980	95,7279
16:00	35	30	35	30	2,0	0,6	0,3413	29,7558
17:00	31	29	31	30	2,0	0,0	0,0000	0,0000
18:00	22	20	22	20	2,0	0,0	0,0000	0,0000

Çizelge EK B.3. 24 Ocak 2006 günü için sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C)→ Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{lg}	T _{iç}
08:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-11,9	---	---
09:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-11,2	---	---
10:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-11,0	---	---
11:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-10,0	---	---
12:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-9,3	---	---
13:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-8,1	---	---
14:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-7,9	---	---
15:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-7,8	---	---
16:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-7,9	---	---
17:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-8,3	---	---
18:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-8,3	---	---
19:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-8,5	---	---
20:00	12	12	12	12	6	5	4	4	2	3	3	3	7	6	6	5	5	-8,8	---	---
21:00	12	12	12	12	6	5	4	4	1	3	3	3	7	6	6	5	5	-8,8	---	---
22:00	12	12	12	12	6	5	4	4	1	3	3	3	7	6	6	5	5	-8,5	---	---

Çizelge EK B.4. 24 Ocak 2006 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	-5	-11,9	3,0	0,0	1,5335	133,7000
09:00	-5	-11,2	2,5	0,0	2,4190	210,9000
10:00	-5	-11,0	2,0	0,0	2,1965	191,5000
11:00	-5	-10,0	2,0	0,0	3,6107	314,8000
12:00	-5	-9,3	2,3	0,0	3,1485	274,5000
13:00	-5	-8,1	3,0	0,0	1,5106	131,7000
14:00	-5	-7,9	4,0	0,0	1,0123	88,2600
15:00	-5	-7,8	2,0	0,0	0,1563	13,6300
16:00	-5	-7,9	2,5	0,0	0,0000	0,0000
17:00	-5	-8,3	3,0	0,0	0,0000	0,0000
18:00	-5	-8,3	4,0	0,0	0,0000	0,0000

Çizelge EK B.5. 16 Şubat 2006 günü için sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C)→ Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{ig}	T _{iç}
08:00	19	15	15	17	4	10	9	8	8	4	9	8	12	11	10	10	10	-1,3	---	---
09:00	18	16	15	18	5	10	9	8	8	4	9	8	12	11	10	10	10	0,0	---	---
10:00	18	16	15	18	5	10	9	8	8	4	9	8	12	11	10	10	10	1,2	---	---
11:00	22	18	19	21	5	10	9	8	8	4	9	8	12	11	10	10	10	3,2	22	16
12:00	24	20	21	23	6	11	10	9	8	4	8	8	13	12	11	9	11	4,7	23	17
13:00	24	20	21	23	6	11	10	9	8	4	8	8	13	12	11	9	11	5,3	22	17
14:00	28	24	25	27	6	11	10	9	8	4	8	8	13	12	11	9	11	6,3	----	---
15:00	34	38	28	35	9	12	11	9	8	4	8	8	14	13	11	10	11	7,5	----	---
16:00	30	34	26	32	7	10	9	8	7	3	7	7	12	10	10	9	10	7,1	----	---
17:00	29	36	25	33	9	12	10	9	8	6	8	8	14	12	11	10	11	5,7	34	25
18:00	25	30	20	29	9	11	10	9	8	6	8	8	13	12	10	9	10	4,5	29	24
19:00	22	27	19	25	7	10	10	9	8	6	6	5,5	12	12	11	9	10	4,1	----	---
20:00	20	25	19	23	8	10	10	9	8	7	6	5,5	12	12	11	9	10	3,5	----	---
21:00	19	24	19	21	9	11	10	9	8	7	7	6	12	12	11	9	10	3,5	----	---
22:00	19	24	19	21	9	11	10	9	8	7	7	6	12	12	11	9	10	3,4	----	---

Çizelge EK B.6a. 16 Şubat 2006 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	11	5	11	5	2,0	0,0	3,4731	302,8000
09:00	20	9	20	9	1,0	0,0	5,1667	450,4600
10:00	40	12	40	12	1,0	0,4	6,2356	543,6500
11:00	48	17	48	17	1,2	0,6	5,1952	452,9400
12:00	48	16	49	16	1,3	0,6	4,6898	408,8800
13:00	47	15	47	15	1,7	0,6	4,0802	355,7300
14:00	38	23	38	23	2,0	0,4	1,2635	110,1600
15:00	37	28	37	28	2,5	0,2	0,5575	48,6060
16:00	30	27	30	27	1,0	0,0	0,0000	0,0000
17:00	20	10	20	10	1,0	0,0	0,0000	0,0000
18:00	15	8	15	9	2,0	0,2	0,0000	0,0000

Çizelge EK B.6b. 16 Şubat 2006 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. (°C)	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
17:00	60	1200	0,05	6,8	32,4

Çizelge EK B.7. 22 Şubat 2006 günü için sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{ig}	T _{iç}
08:00	31	19	19	20	9	19	17	17	14	14	21	19	21	19	19	18	19	8,1	30	24
09:00	30	20	20	21	11	19	17	17	14	14	21	19	21	19	19	18	19	8,5	29	24
10:00	32	20	20	23	13	18	18	16	13	13	16	13	20	20	18	18	19	9,1	30	25
11:00	33	29	29	30	15	18	18	16	13	13	16	13	20	20	18	18	19	11,0	33	26
12:00	34	31	31	32	17	19	19	16	15	15	15	15	21	21	18	17	18	14,1	---	---
13:00	40	43	41	43	21	19	19	16	15	15	15	15	21	21	18	17	18	17,0	40	33
14:00	41	47	45	47	24	22	21	19	18	18	18	17	24	23	21	18	19	17,5	41	33
15:00	41	46	46	47	26	24	23	22	19	19	19	18	26	24	24	19	20	16,9	41	33
16:00	37	39	39	40	22	26	26	23	17	17	20	18	22	21	20	18	18	16,2	36	27
17:00	34	35	33	34	21	22	20	19	17	17	20	18	22	21	20	18	18	15,4	34	26
18:00	30	31	29	30	21	22	20	19	17	17	20	18	22	21	20	18	18	12,4	30	26
21:00	28	29	27	28	22	22	20	19	17	17	21	19	22	21	20	18	18	11,2	29	24

Çizelge EK B.8a. 22 Şubat 2006 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	18	8	18	8	1,0	0,2	1,3977	121,860
09:00	32	9	32	9	1,0	0,5	1,7171	149,7100
10:00	41	28	41	28	1,0	0,7	2,4381	212,5600
11:00	41	26	41	26	1,2	0,4	3,1584	275,3600
12:00	44	28	44	28	1,3	0,6	3,0168	263,0200
13:00	47	33	47	33	1,7	0,6	4,7698	415,8500
14:00	46	38	46	39	2,0	0,6	2,9714	259,0600
15:00	40	32	40	33	1,5	0,6	0,9509	82,9010
16:00	38	27	38	28	1,0	0,6	0,0074	0,6480
17:00	37	27	37	28	1,0	0,6	0,0074	0,6480
18:00	30	28	30	28	1,0	0,2	0,0000	0,0000

Çizelge EK B.8b. 22 Şubat 2006 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc.	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
17:00	84	1200	0,07	17	34

Çizelge EK B.9. 22 Mart 2006 günü için sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{ig}	T _{iç}
08:00	27	25	23	25	13	16	13	11	12	10	10	9	18	15	13	13	13	11,00	26	17
09:00	30	27	26	29	14	16	13	11	12	10	10	9	18	15	13	13	13	11,50	30	21
10:00	33	32	30	36	15	17	13	11	12	10	10	9	19	15	13	13	13	12,42	32	28
11:00	38	40	38	44	18	19	15	13	13	11	12	11	21	17	15	15	15	19,00	37	29
12:00	40	46	47	49	22	22	18	17	15	13	14	12	24	20	19	18	19	21,00	44	35
13:00	40	46	47	49	22	22	18	17	15	13	14	12	24	20	19	18	19	19,67	40	31
14:30	41	53	51	53	26	23	19	18	17	14	15	14	25	21	20	19	20	18,74	42	38
15:10	39	54	50	53	25	23	18	19	16	15	15	14	25	20	21	19	20	18,00	42	38
16:00	39	54	50	53	25	23	18	19	16	15	15	14	25	20	21	19	20	18,00	38	31
17:00	39	54	50	54	28	23	18	18	16	15	15	15	25	20	20	18	19	17,00	40	37
18:00	34	51	44	50	27	23	18	18	16	15	15	15	25	20	20	18	19	16,00	38	29
21:00	30	45	38	45	28	24	20	20	18	16	17	16	26	22	22	19	21	14,00	30	22

Çizelge EK B.10a. 22 Mart 2006 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	29	12	29	13	0,5	0,5	6,6827	582,6200
09:00	45	16	45	16	0,4	0,6	8,0451	701,4000
10:00	41	29	41	29	0,3	0,6	8,8382	770,5500
11:00	48	29	48	29	0,5	0,8	8,7862	766,0200
12:00	48	35	48	35	0,5	0,8	6,4692	564,0100
13:00	50	40	50	40	0,6	0,6	4,8874	426,1000
14:30	50	42	42	32	0,5	0,6	1,5825	137,9700
15:10	44	39	44	39	0,5	0,6	1,2706	110,7800
16:00	44	39	44	39	0,9	0,6	0,2824	24,6210
17:00	44	39	44	39	1,0	0,6	0,0000	0,000
18:00	38	34	38	34	1,0	0,6	0,0000	0,0000

Çizelge EK B.10b. 22 Mart 2006 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc. (°C)	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
15:10	151	2159	0,07	15	41

Çizelge EK B.11. 23 Mart 2006 günü için sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C)→ Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{lg}	T _{iç}
08:00	19	17	15	16	14	20	18	18	15	15	14	13	22	20	20	19	20	14,0	---	---
09:00	18	18	15	17	14	20	18	18	15	15	14	13	22	20	20	19	20	14,5	---	---
10:00	20	22	17	21	16	19	17	17	15	13	17	12	21	19	19	17	18	15,0	20	17
11:00	30	38	36	38	18	19	17	17	15	13	17	12	21	19	19	17	18	18,0	30	27
12:00	31	38	36	38	19	19	17	17	15	13	17	12	21	19	19	17	18	21,0	31	28
13:00	30	38	36	38	21	19	17	17	15	13	17	12	21	19	19	17	18	20,5	30	24
14:00	30	38	36	38	21	19	17	17	15	13	17	12	21	19	19	17	18	18,0	30	22
15:00	34	42	38	41	21	20	19	17	16	15	17	14	22	21	19	16	17	16,0	38	29
16:00	33	40	37	39	22	20	19	17	16	15	17	14	22	21	19	16	17	15,5	40	29
17:00	33	40	37	39	22	20	19	17	16	15	17	14	22	21	19	16	17	14,0	35	26
18:00	32	40	37	39	14	20	18	18	15	15	14	13	22	20	20	17	18	12,4	37	27
21:00	27	33	30	32	13	18	16	16	13	13	13	12	20	18	18	16	17	12,0	30	21

Çizelge EK B.12a. 23 Mart 2006 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek. en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	28	14	28	14	1,0	0,2	4,4584	388,7000
09:00	28	20	28	20	0,7	0,6	4,1676	363,3500
10:00	47	20	47	20	0,6	0,6	9,2908	810,0100
11:00	45	21	45	21	0,6	0,8	4,7305	412,4200
12:00	48	22	48	22	0,7	0,8	10,1516	885,0600
13:00	45	29	45	29	0,6	0,6	7,2857	635,2000
14:00	40	32	40	32	0,5	0,6	5,1248	446,8000
15:00	39	32	39	32	0,9	0,6	0,4085	35,6170
16:00	39	32	39	32	1,0	0,6	0,1411	12,3060
17:00	39	32	39	32	1,0	0,6	0,0446	3,8870
18:00	39	32	39	32	1,0	0,6	0,0000	0,0000

Çizelge EK B.12b. 23 Mart 2006 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc.	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
18:00	158	2267	0,07	14	39

Çizelge EK B.13. 05 Nisan 2006 günü için sıcaklık ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C) → Saat ↓	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₀	T _{ig}	T _{iç}
08:00	28	22	20	23	11	20	16	16	13	13	14	14	22	18	18	16	17	14,0	---	---
09:00	29	21	19	24	12	20	16	16	13	13	14	14	22	18	18	16	17	14,5	---	---
10:00	30	21	20	25	13	20	16	16	13	13	14	14	22	18	18	16	17	15,0	---	---
11:00	35	33	32	36	15	21	17	17	14	14	14	13	23	19	19	15	16	18,0	---	---
12:00	38	35	34	39	15	21	18	17	14	14	14	13	23	20	19	17	18	21,0	---	---
13:00	37	34	32	36	16	20	17	17	13	13	13	13	22	19	19	17	17	20,5	---	---
14:00	39	36	35	39	18	18	17	17	15	15	15	13	20	19	19	17	17	18,0	39	31
15:00	38	36	35	38	19	19	18	17	16	15	16	14	21	20	19	17	18	16,0	38	30
16:00	38	36	35	38	20	20	20	17	16	16	16	14	22	22	19	17	18	15,5	38	29
17:00	38	36	35	37	20	20	20	17	17	17	17	15	22	22	19	17	18	14,0	37	29
18:00	37	36	35	37	20	19	19	18	17	17	17	16	21	21	19	17	17	12,4	35	28
19:00	36	35	35	34	18	19	18	17	16	16	16	15	21	21	19	17	17	11,0	30	21
20:00	33	32	32	33	19	19	18	17	16	16	16	15	21	21	19	17	17	8,00	32	24
21:00	28	30	28	31	19	19	18	17	16	15	16	15	21	21	19	17	17	6,00	29	22

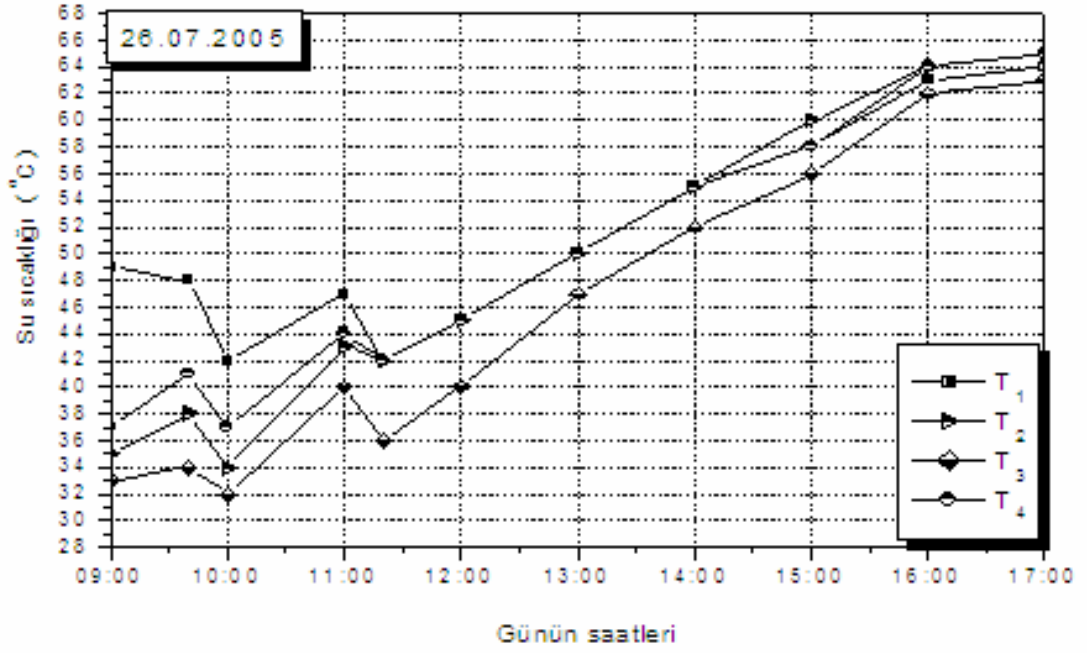
Çizelge EK B.14a. 05 Nisan 2006 günü için ölçüm değerleri

Saat	Topl. ç. (°C)	Topl. g. (°C)	Depo g. (°C)	Depo ç. (°C)	Rüz. hızı (m/s)	Pom. çek.en. (kWh)	Işınım (mv)	Işınım (W/m ²)
08:00	25	12	25	12	1,0	0,0	1,9967	174,0802
09:00	30	22	30	22	0,7	0,0	2,2132	192,9555
10:00	41	25	41	25	0,6	0,5	2,5501	222,3278
11:00	45	32	45	32	0,6	0,4	3,0162	262,9643
12:00	47	34	47	34	0,7	0,4	9,7725	852,0052
13:00	49	32	49	32	0,6	0,5	10,347	902,0924
14:00	52	35	52	35	0,5	0,6	9,9332	866,0157
15:00	55	35	55	35	0,9	0,6	9,1935	801,5257
16:00	53	35	53	35	0,9	0,6	7,565	659,5466
17:00	49	35	49	35	1,0	0,6	5,2838	460,6626
18:00	37	35	37	35	1,2	0,2	2,9434	256,6173

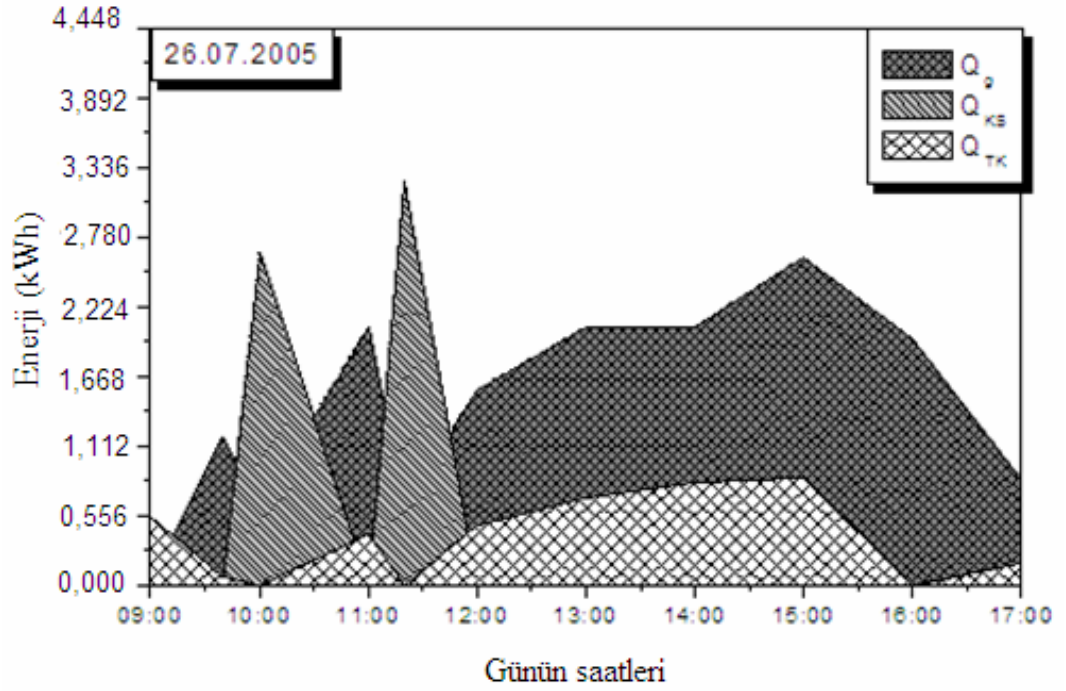
Çizelge EK B.14b. 05 Nisan 2006 günü için kullanım suyu ölçüm değerleri

Saat	Kull. suyu (lt)	Kull. süresi (s)	Kull. suyu debisi (kg/s)	Şeb. suyu. sıc.	Kull. suyu Ort.sıc. (°C)
13:00	110,5	2400	0,046	16	39

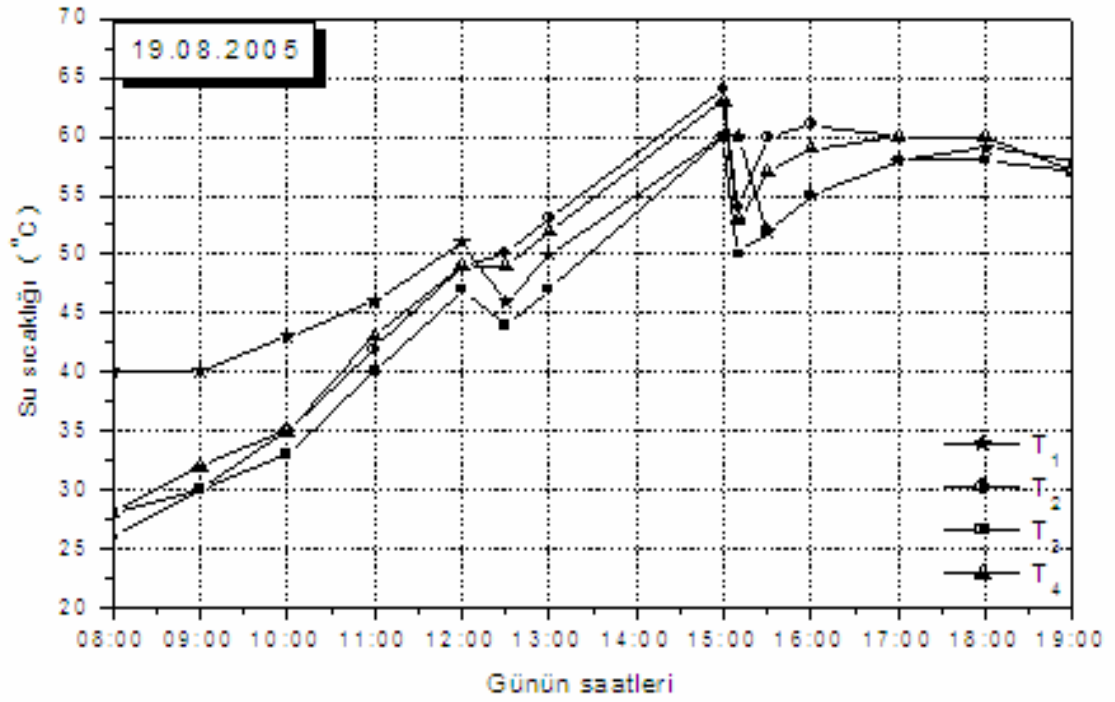
EK C



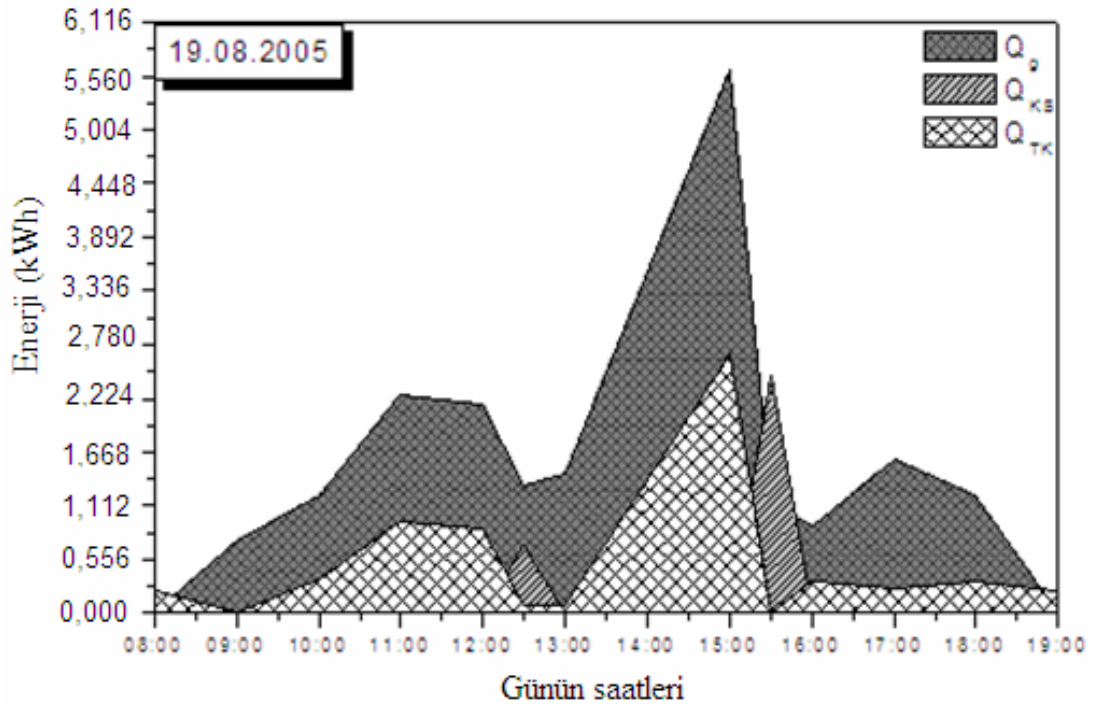
Şekil C.1. Silindirik enerji deposu içindeki su sıcaklıklarının saatlere göre değişimi



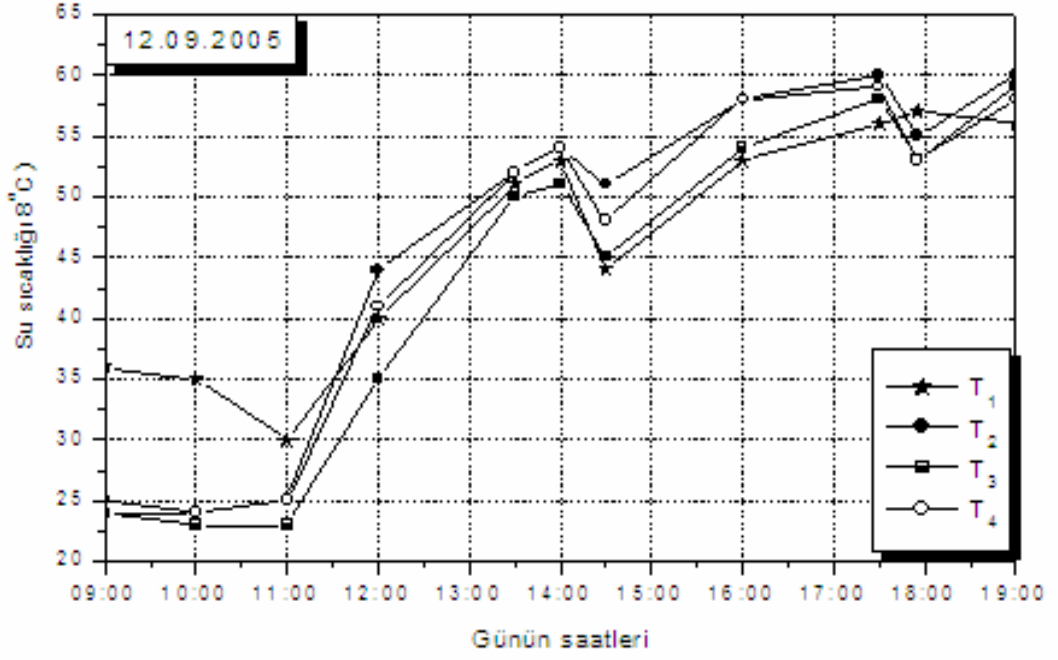
Şekil C.2. Isı depolama ünitesinde değişik enerjilerin saatlere göre değişimi



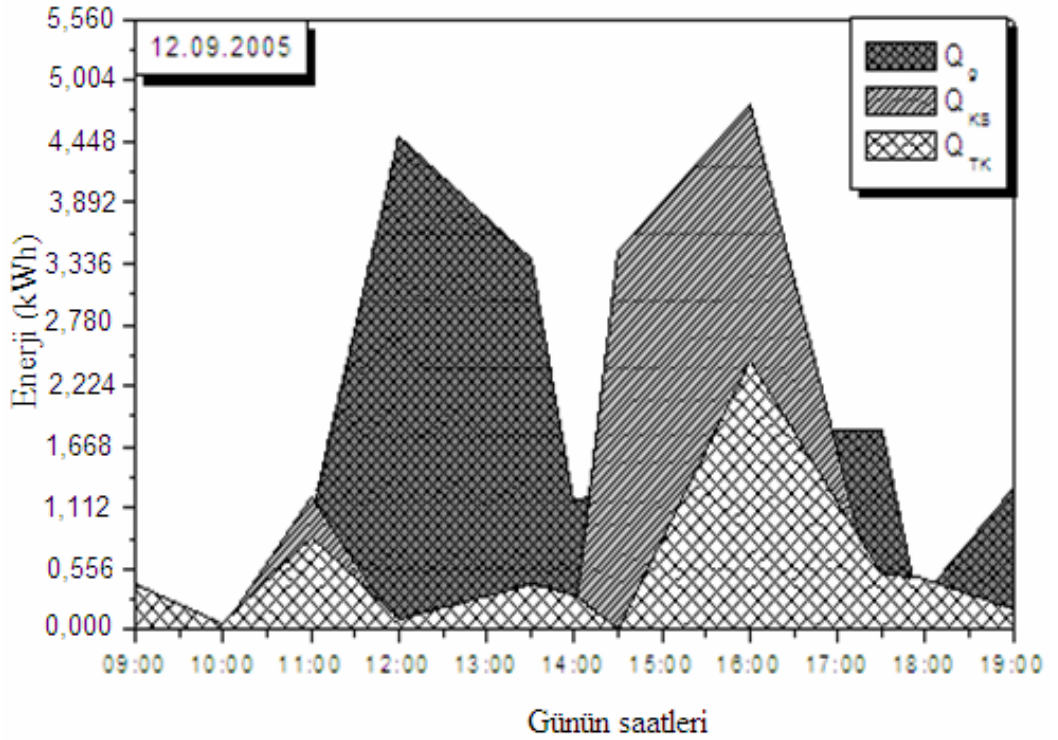
Şekil C.3. Silindirik enerji deposu içindeki su sıcaklıklarının saatlere göre değişimi



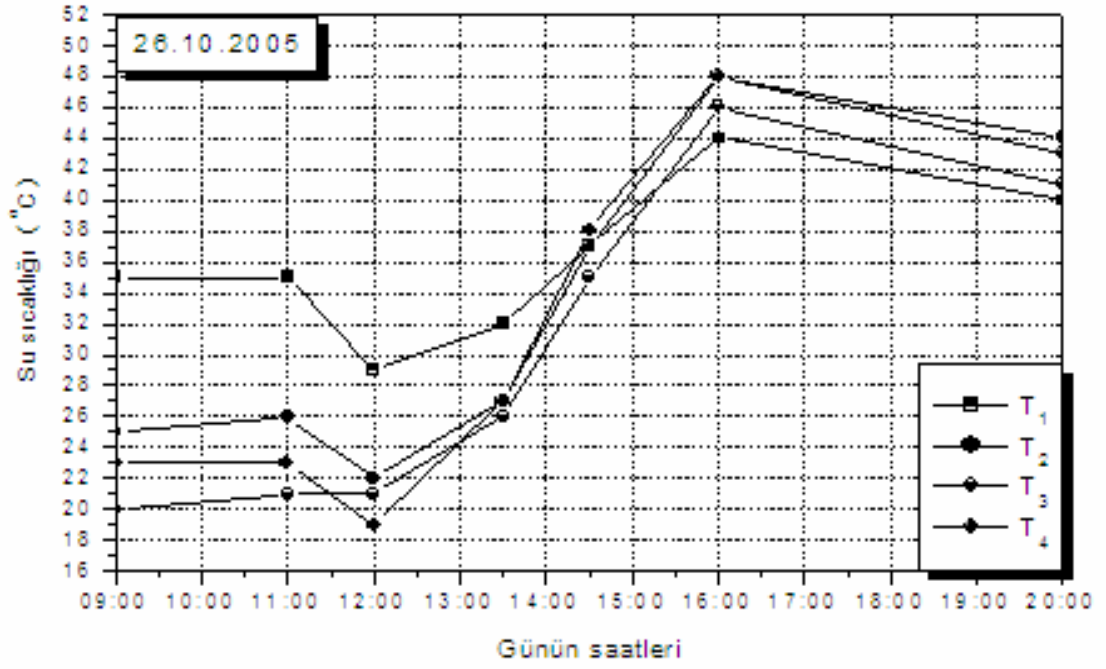
Şekil C.4. Isı depolama ünitesinde değişik enerjilerin saatlere göre değişimi



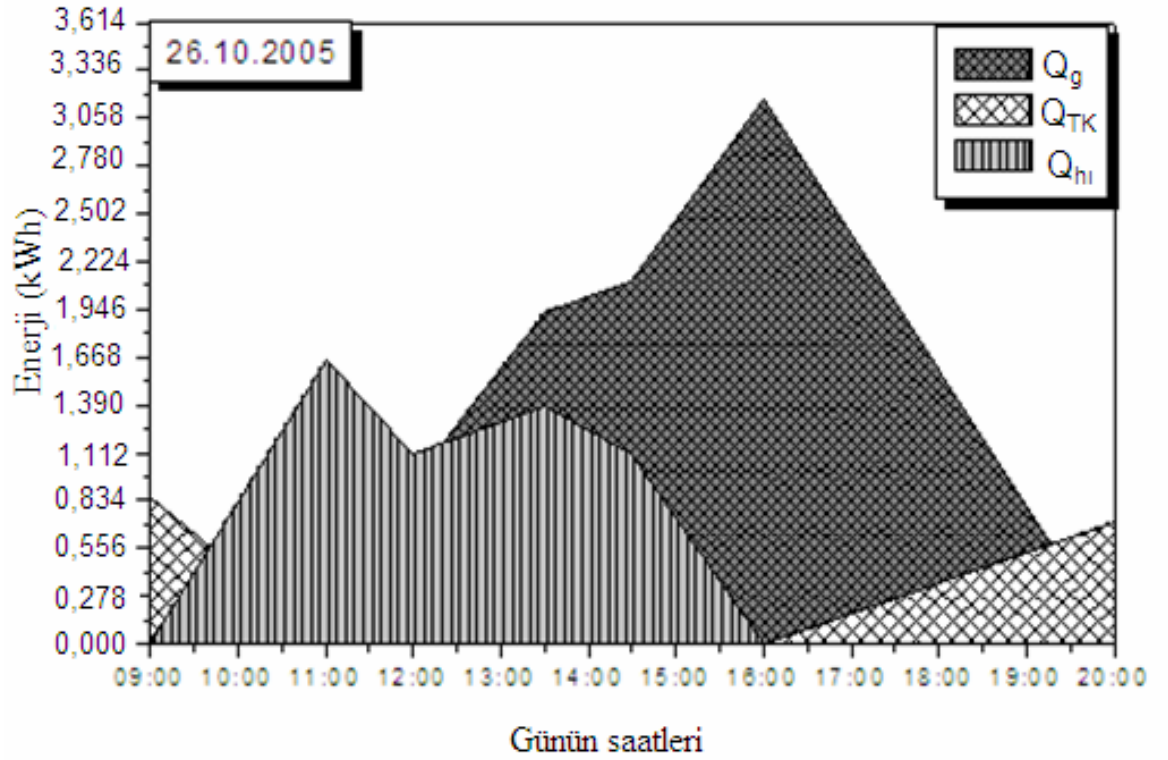
Şekil C.5. Silindirik enerji deposu içindeki su sıcaklıklarının saatlere göre değişimi



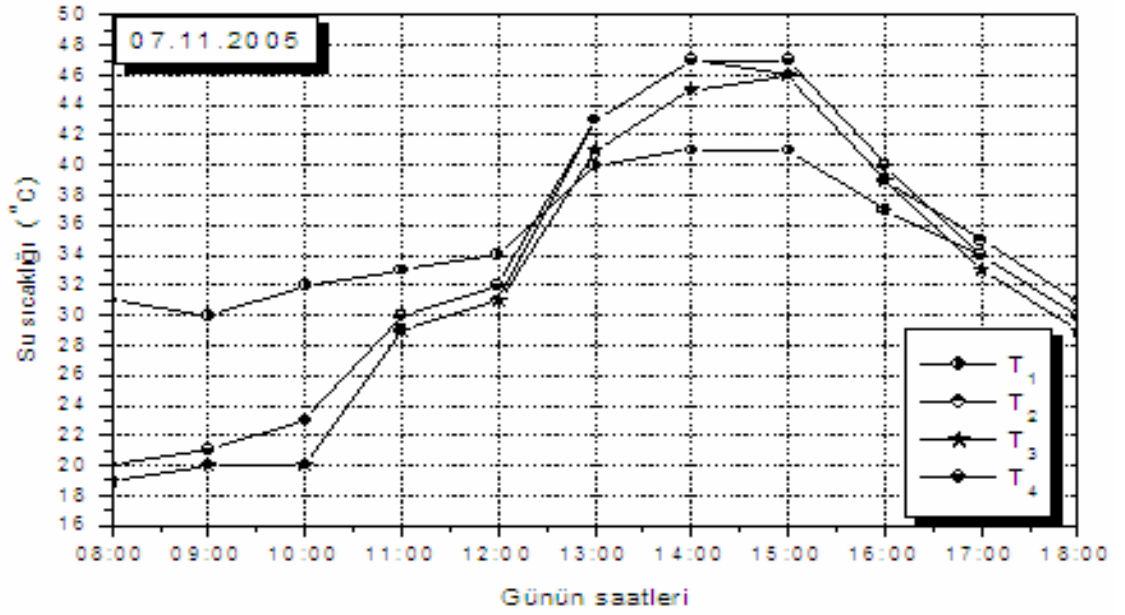
Şekil C.6. Isı depolama ünitesinde değişik enerjilerin saatlere göre değişimi



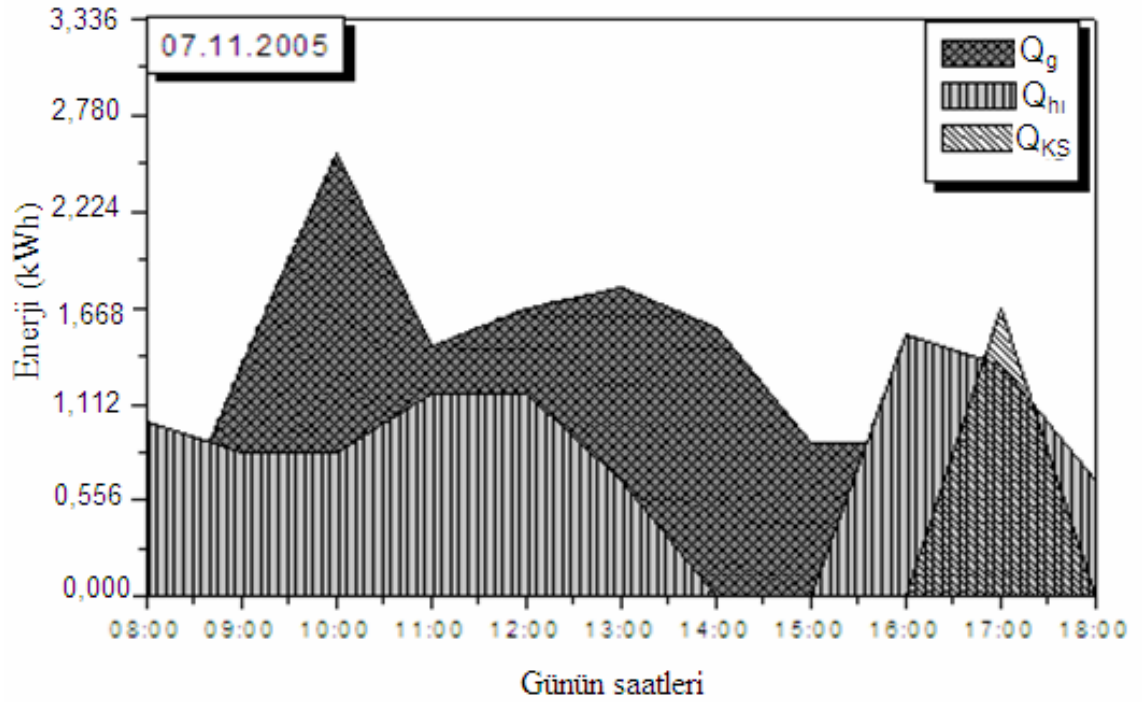
Şekil C.7. Silindirik enerji deposu içindeki su sıcaklıklarının saatlere göre değişimi



Şekil C.8. Isı depolama ünitesinde değişik enerjilerin saatlere göre değişimi



Şekil C.9. Silindirik enerji deposu içindeki su sıcaklıklarının saatlere göre değişimi



Şekil C.10. Isı depolama ünitesinde değişik enerjilerin saatlere göre değişimi