

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK ALTINDA DEPOLANAN GÜNEŞ ENERJİSİ İLE
BESLENEN ISI POMPALI BİR KONUT ISITMA SİSTEMİNİN
BİLGİSAYARDA SİMÜLASYONU

MUSTAFA İNALLI

29137

DOKTORA TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

1993

ELAZIĞ

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK ALTINDA DEPOLANAN GÜNEŞ ENERJİSİ İLE
BESLENEN ISI POMPALI BİR KONUT ISITMA SİSTEMİNİN
BİLGİSAYARDA SİMÜLASYONU

MUSTAFA İNALLI

DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez, Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği/ Oyçokluğu ile Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

(İmza)

(İmza)

Danışman

ÖZET

Doktora Tezi

TOPRAK ALTINDA DEPOLANAN GÜNEŞ ENERJİSİ İLE BESLENEN ISI POMPALI BİR KONUT ISITMA SİSTEMİNİN BİLGİSAYARDA SİMÜLASYONU

Mustafa İNALLI

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

1993, Sayfa: 170

Bu çalışmada, güneş enerjisinin toprak altındaki küresel ve silindirik tanklarda depolanması ve ısı pompası eşliğinde konutların ısıtılmasında, ısıtma sisteminin yıllık performansı araştırılmıştır. Toprak içerisine gömülmüş olan depodaki su sıcaklığı ve depo etrafındaki jeolojik yapı içerisindeki sıcaklık dağılımı için problem formülasyonu yapıldıktan sonra boyutsuzlaştırılmıştır. Boyutsuz problem, kompleks sonlu Fourier dönüşüm tekniği ve sayısal yöntemler kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen çözümlerden faydalanılarak konut, güneş toplayıcısı, ısı deposu ve ısı pompasından meydana gelen ısıtma sisteminin analizi bilgisayarda yapılmıştır. Bilgisayar simülasyonundan elde edilen sonuçlar sisteme ait bazı parametrelerin değişik değerleri için grafikler halinde gösterilmiş ve literatürdeki mevcut çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER : Güneş enerjisi, mevsimlik depolama, küresel ve silindirik tank, ısı pompası, konut ısıtma

ABSTRACT

PhD Thesis

COMPUTER SIMULATION OF A HEAT PUMP SPACE HEATING SYSTEM WITH AN UNDERGROUND SEASONAL SOLAR ENERGY STORAGE

Mustafa İNALLI

Firat University
Gradual School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

1993, Page : 170

In this work, the storage of the solar energy in spherical and cylindrical tanks buried in the ground and the annual performance of a domestic heating system coupled with the heat pump is investigated. The formulation of the problem aims to calculate the bulk temperature of the water in tank and the temperature distribution of geological structure surrounding the tank. A Finite Fourier transform technic together with a suitable finite difference approximation is applied to the nondimensionalised equations to obtain the solutions. The heating system consisting of the building, solar collectors, heat storage tank and heat pump is analysed by using the solutions thus obtained. Selected of computer simulations are drawn versus some parameters of the system and compared with the similar reports in literature.

KEY WORDS : Solar energy, seasonal storage, underground spherical and cylindrical tank, heat pump, space heating

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın yapılabilmesini ve yűrűtűlmesini saęlayan ve her tűrlű yardımlarını esirgemeyen danıőman hocam Prof.Dr. Mazhar ŬNSAL' a sonsuz teőekkűr ve Őűkranlarımı bir borç bilirim. Tez sűresince bilgilerine baővurduęum Bűlűm Baőkanı Prof.Dr. Kazım PIHTILI' ya, Prof.Dr. Ő. Erkin Peremeci' ye, Doç.Dr. Vedat Tanyıldızı' na, Mak.Yűk Műh. İhsan Daętekin' e ve ayrıca bu çalıőmanın bilgisayar uygulamalarındaki katkıları ile Dr.İbrahim Uzun' a, Mak.Yűk Műh. Mehmet Duranay ve Bilgi İőlem Merkezi çalıőanlarına en içten teőekkűrlerimi sunarım.

Mustafa İNALLI
Makina Yűksek Műhendisi

ÖZET
ABSTRACT

TEŞEKKÜR
İÇİNDEKİLER
ŞEKİLLER LİSTESİ
TABLolar LİSTESİ
SİMGELER LİSTESİ

Sayfa

1.	GİRİŞ	1
2.	LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3.	YERALTINDAKİ KÜRESEL BİR SU DEPOSUNDA GÜNEŞ ENERJİSİNİN MEVSİMLİK DEPOLANMASI VE ISI POMPASI EŞLİĞİNDE KONUTLARIN ISITILMASINDA ISIL SİSTEMİN MODELLENMESİ	
3.1.	Giriş	13
3.2.	Isı Pompasının Modellenmesi	13
3.3.	Toprak ve Depo Sıcaklık Probleminin Formülasyonu	16
3.4.	Sonlu Kompleks Fourier Dönüşüm Tekniğinin Uygulanması ..	18
3.5.	Küresel Depoya Giren Net Enerjinin Aylık Bileşenlerinin Hesaplanması	23
3.6.	Isıl Sistemin Aylık ve Yıllık Enerji Bilançosu	30
3.7.	Hesaplamalarda Kullanılan Parametrik Değerler	33

3.7.1. Meteorolojik değerler.....	33
3.7.2. Çevrenin yansıtma katsayısı(ρ).....	33
3.7.3. Güneş toplayıcısına ait parametreler.....	34
3.7.4. Deponun bulunduğu jeolojik ortamın zellikleri.....	34
3.7.5. Küresel depoya ait zellikler.....	34
3.7.6. Isı yükünü oluşturan konutlara ait özellikler.....	36
3.8. zm Adımları.....	37
4. GÜNEŞ ENERJİSİNİN YERALTINDA SİLİNDİRİK BİR TANKTA DEPOLANMASI VE ISI POMPASI İLE KONUT ISITILMASI PROBLEMİNİN FORMÜLASYONU VE ANALİZİ.....	
4.1. Giriş.....	40
4.2. Problemin Formülasyonu.....	40
4.3. Sonlu Farklar Denklemlerinin Eldesi.....	44
4.3.1. İ kısımdaki düğüm noktaları için sonlu fark denkleminin eldesi.....	45
4.3.2. Depo enerji bilançosu için sonlu fark denkleminin eldesi... 48	
4.3.3. Depo tarafındaki simetri yüzeyi üzerindeki düğüm noktaları için sonlu fark denkleminin eldesi.....	52
4.3.4. Depodan uzak taraftaki simetri yüzeyi için sonlu fark denkleminin eldesi.....	54
4.4. Sonlu Fark Denklemleri İçin Oluşturulan Hücrelerin Yerleştirme Yöntemi.....	57
4.5. zm Adımları.....	59

5.	MEVSİMLİK KÜRESEL VE SİLİNDİRİK ISI DEPOLU SİSTEMLER İÇİN SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	
5.1.	Giriş.....	70
5.2.	Küresel Isı Depolu Isıtma Sistemi İçin Sonuçlar.....	70
5.3.	Silindirik Isı Depolu Isıtma Sistemi İçin Sonuçlar	88
5.4.	Sonuçların Literatür İle Karşılaştırılması.....	114
6.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	119

KAYNAKLAR

EKLER

- Ek 1. Küresel ısı depolu ısıtma sisteminin akış diyagramı ve bilgisayar program listesi
- Ek 2. Silindirik ısı depolu ısıtma sisteminin akış diyagramı ve bilgisayar program listesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Lyckebo projesinin prensip şeması	5
Şekil 2.2. Groningen ısıtma sisteminin prensip şeması	12
Şekil 3.1.1. Küresel ısı depolu mevsimlik depolamalı ve ısı pompalı ısıtma sisteminin prensip şeması.....	14
Şekil 4.2.1. Toprak içerisinde sıcaklık dağılımı probleminin boyutsuz geometrisi	42
Şekil 4.3.1. İç kısımdaki düğüm noktaları için kontrol hacmi	45
Şekil 4.3.2. Depo enerji bilanço için kontrol hacmi	48
Şekil 4.3.3. Depo tarafındaki simetri yüzeyi için kontrol hacmi	52
Şekil 4.3.4. Silindirik depodan uzak taraftaki simetri yüzeyi için kontrol hacmi	55
Şekil 4.4.1. Düğümlerin yerleştirme düzeni	59
Şekil 4.5.1. Düğüm sayısına bağlı olarak yıllık ortalama depo su sıcaklığının değişimi.....	61
Şekil 4.5.2. Depo su sıcaklığının düğüm sayısı ile değişimi ($\beta_b=0.0$).....	62
Şekil 4.5.3. Depo su sıcaklığının düğüm sayısı ile değişimi ($\beta_b=1.0$).....	62
Şekil 5.2.1. Elazığ iline ait eğik yüzey ısıtımının aylık ortalama değerlerinin toplayıcı eğim açısına göre değişimi	71
Şekil 5.2.2. Depo su sıcaklığının depo yarıçapı ile değişimi	72
Şekil 5.2.3. Depo su sıcaklığının jeolojik yapı türüne göre değişimi	72
Şekil 5.2.4. Toplayıcı faydalı ısı akısının depo yarıçapı ile değişimi	73
Şekil 5.2.5. Toplayıcı faydalı ısı akısının jeolojik yapı türüne göre değişimi ...	73
Şekil 5.2.6. Aylık ortalama toplayıcı veriminin depo yarıçapıyla değişimi.....	74
Şekil 5.2.7. Aylık ortalama toplayıcı veriminin toprak türüne göre değişimi	74
Şekil 5.2.8. RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 ve RS_5 oranlarının depo dışındaki jeolojik ortama göre değişimi.....	75
Şekil 5.2.9. RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 ve RS_5 oranlarının depo yarıçapı ile değişimi	76
Şekil 5.2.10. Sistemin yıllık güneş katkısının (F) depo hacmi ile ilişkisi	77
Şekil 5.2.11. Sistemin yıllık güneş katkısının (F) toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak jeolojik ortam ile ilişkisi	77

Şekil 5.2.12. Isı pompası yıllık COP' sinin toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak değişimi	78
Şekil 5.2.13. RS_2 oranının toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak değişimi	79
Şekil 5.2.14. Depo su sıcaklığının toplayıcı eğimi ile değişimi	79
Şekil 5.2.15. Yıllık güneş katkısının (F) toplayıcı eğimi ile değişimi	80
Şekil 5.2.16. Bazı illerde depo su sıcaklığının aylık ortalama değerleri	80
Şekil 5.2.17. RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 ve RS_5 oranlarının illere göre değişimi....	81
Şekil 5.2.18. Depo su sıcaklığının depo hacmine göre değişimi	82
Şekil 5.2.19. Toplayıcı faydalı ısı akısının depo hacmine göre değişimi	82
Şekil 5.2.20. Aylık ortalama toplayıcı veriminin depo hacmine göre değişimi....	83
Şekil 5.2.21. Depo su sıcaklığının toprak türüne göre değişimi	84
Şekil 5.2.22. Depo su sıcaklığının toprak türüne göre değişimi	84
Şekil 5.2.23. Depo su sıcaklığının toprak türüne göre değişimi	85
Şekil 5.2.24. Depo su sıcaklığının toprak türüne göre değişimi	85
Şekil 5.2.25. RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 ve RS_5 oranlarının depo hacmine göre değişimi	86
Şekil 5.2.26. RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 ve RS_5 oranlarının toprak türüne göre değişimi	87
Şekil 5.2.27. Yıllık güneş katkısının (F) toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak depo hacmi ile değişimi	87
Şekil 5.3.1. Silindirik depolu ısıtma sisteminde toprak türünün depo su sıcaklığına etkisi	89
Şekil 5.3.2. Silindirik depolu ısıtma sisteminde toprak türünün aylık ortalama toplayıcı verimine etkisi	89
Şekil 5.3.3. Silindirik depolu ısıtma sisteminde toprak türüne bağlı olarak toplayıcı faydalı ısı akısının yıl boyunca değişimi	90
Şekil 5.3.4. Silindirik depolu ısıtma sisteminde toprak türüne bağlı olarak $\bar{\phi}$ değerinin yıl boyunca değişimi	90
Şekil 5.3.5. Depo su sıcaklığının toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak yıl boyunca değişimi	91
Şekil 5.3.6. Aylık ortalama toplayıcı veriminin toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak değişimi.....	91
Şekil 5.3.7. Toplayıcı faydalı ısı akısının toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak değişimi	92

Şekil 5.3.8. Depo su sıcaklığının depo hacmine bağlı olarak yıl boyunca değişimi..	92
Şekil 5.3.9. Aylık ortalama toplayıcı veriminin depo hacmine bağlı olarak yıl boyunca değişimi	93
Şekil 5.3.10. Toplayıcı faydalı ısı akısının depo hacmine bağlı olarak yıl boyunca değişimi	93
Şekil 5.3.11. Depo su sıcaklığının d_1 mesafesi ile değişimi	94
Şekil 5.3.12. Aylık ortalama toplayıcı veriminin d_1 mesafesi ile değişimi	95
Şekil 5.3.13. Toplayıcı faydalı ısı akısının d_1 mesafesi ile değişimi	95
Şekil 5.3.14. Yıllık güneş katkısının(F) toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak d_1 mesafesi ile değişimi	96
Şekil 5.3.15. RS_2 oranının toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak d_1 mesafesi ile değişimi	97
Şekil 5.3.16. Isı pompası COP' sinin toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak d_1 mesafesi ile değişimi	97
Şekil 5.3.17. Silindirik depoda yükseklik/çap oranının farklı toprak türleri için yıllık güneş katkısına etkisi	98
Şekil 5.3.18. Silindirik depoda yükseklik/çap oranının farklı toprak türleri için RS_2 üzerindeki etkisi	99
Şekil 5.3.19. Aynı hacme sahip küresel ve silindirik depolu sistemlerde depo su sıcaklığının karşılaştırılması	99
Şekil 5.3.20. Aynı hacime sahip ($V=653 \text{ m}^3$) küresel ve silindirik depolu sistemlerde depo su sıcaklığının toprak türüne bağlı olarak değişimi	100
Şekil 5.3.21. İri çakıllı toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	101
Şekil 5.3.22. Granitte yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	101
Şekil 5.3.23. Killi toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	102
Şekil 5.3.24. Kumlu toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	102
Şekil 5.3.25. Depo hacmi $V=50 \text{ m}^3$ için sıcaklık konturları	103
Şekil 5.3.26. Depo hacmi $V=170 \text{ m}^3$ için sıcaklık konturları.....	103
Şekil 5.3.27. Depo hacmi $V=402 \text{ m}^3$ için sıcaklık konturları	104
Şekil 5.3.28. Depo hacmi $V=653 \text{ m}^3$ için sıcaklık konturları.....	104
Şekil 5.3.29. Depo hacmi $V=3217 \text{ m}^3$ için sıcaklık konturları	105

Şekil 5.3.30. $d_1=0.1$ m için sıcaklık konturları.....	106
Şekil 5.3.31. $d_1=1.0$ m için sıcaklık konturları	107
Şekil 5.3.32. $d_1=5.0$ m için sıcaklık konturları.....	108
Şekil 5.3.33. $d_1=10.0$ m için sıcaklık konturları	109
Şekil 5.3.34. $d_1=100.0$ m için sıcaklık konturları	110
Şekil 5.3.35. $A_c=10$ m ² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	111
Şekil 5.3.36. $A_c=20$ m ² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	111
Şekil 5.3.37. $A_c=30$ m ² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	112
Şekil 5.3.38. $A_c=40$ m ² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	112
Şekil 5.3.39. $A_c=50$ m ² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	113
Şekil 5.3.40. $A_c=60$ m ² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	113
Şekil 5.4.1. Mevcut çalışma sonuçları ile Kenisarın vd(1988)'in sonuçlarının karşılaştırılması	118

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Dünyada mevcut mevsimlik ısı depolu ısıtma sistemleri (Bankston, 1988)	3
Tablo 3.7.1. İncelenen iller için meteorolojik değerler	35
Tablo 3.7.2. Çevrenin yansıtma katsayısının aylara göre değişimi	35
Tablo 3.7.2. Jeolojik ortama ait fiziksel özellikler	36
Tablo 3.8.1. Aylık ortalama ve saatlik dış ortam sıcaklıkları kullanılarak elde edilen sonuçlar	38
Tablo 3.8.2. Underrelaxation katsayısının (α_R) depo su sıcaklığı ve iterasyon sayısına etkisi	39
Tablo 4.5.1. Farklı düğüm sayılarında meydana gelen hata yüzdesi	63
Tablo 4.5.2. Yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	63
Tablo 4.5.3. Başlangıçta seçilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	64
Tablo 4.5.4. Tablo 4.5.3 'deki başlangıç şartları kullanılarak elde edilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	65
Tablo 4.5.5. Başlangıçta seçilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	65
Tablo 4.5.6. Tablo 4.5.5 'deki başlangıç şartları kullanılarak elde edilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	66
Tablo 4.5.7. $\alpha_R=0.1$ için elde edilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ve aylık ortalama depo su sıcaklıkları	67
Tablo 4.5.8. $\alpha_R=0.3$ için elde edilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ve aylık ortalama depo su sıcaklıkları	68
Tablo 4.5.9. $\alpha_R=0.6$ için elde edilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ve aylık ortalama depo su sıcaklıkları	69
Tablo 5.4.1. Taşkent'in iklim özellikleri (Kenisar'in vd., 1988) kullanılarak elde edilen sonuçlar ile mevcut çalışmanın mukayesesi	114
Tablo 5.4.2. Tam teşekküllü mevsimlik ısı depolu güneş ısıtma tesislerinin parametrik değerleri ve ölçülen güneş katkısı değerleri	116

SIMGELER LİSTESİ

A	: Deponun ısı transfer yüzey alanı	(m^2)
A_c	: Toplayıcı yüzey alanı	(m^2)
A_0	: (3.4.21) eşitliğinde tanımlı	-
$A_{1,j}$: (4.3.1.5) eşitliğinde tanımlı	-
$A_{2,j}$: (4.3.3.5) eşitliğinde tanımlı	-
$A_{3M2,j}$: (4.3.4.5) eşitliğinde tanımlı	-
A_n	: (3.4.22) eşitliğinde tanımlı	-
a	: (3.5.26) eşitliğinde tanımlı	-
a_1	: (3.5.34) eşitliğinde tanımlı	-
a_0	: (3.4.17) eşitliğinde tanımlı	-
a_n	: (3.4.18) eşitliğinde tanımlı	-
B_n	: (3.4.23) eşitliğinde tanımlı	-
b	: (3.5.27) eşitliğinde tanımlı	-
b_1	: (3.5.35) eşitliğinde tanımlı	-
b_n	: (3.4.19) eşitliğinde tanımlı	-
c	: (3.5.28) eşitliğinde tanımlı	-
c_s	: Suyun özgül ısı	(kJ/kgK)
c_t	: Toprağın özgül ısı	(kJ/kgK)
COP	: Isı pompası performans katsayısı	-
d_1	: Silindirik depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine mesafesi	(m)
d_2	: Silindirik depo alt yüzeyinin toprak yüzeyine mesafesi	(m)
D_{01}	: (4.3.2.3) eşitliğinde tanımlı	-
D_{02}	: (4.3.2.4) eşitliğinde tanımlı	-
D_{03}	: (4.3.2.5) eşitliğinde tanımlı	-
D_{04}	: (4.3.2.6) eşitliğinde tanımlı	-

D_{05}	(4.3.2.7) eşitliğinde tanımlı	-
D_{06}	(4.3.2.8) eşitliğinde tanımlı	-
$E_{1+1,j}$	(4.3.1.6) eşitliğinde tanımlı	-
$E_{2,j}$	(4.3.3.8) eşitliğinde tanımlı	-
$E_{3M2-1,j}$	(4.3.4.6) eşitliğinde tanımlı	-
F	$[q_{gy} - q_{ly}]/q_{ky}$, ısı sistemine yıllık güneş katkısı	-
F_R	Toplayıcı ısı verim sayısı	-
G_s	Güneş sabiti	(W/m ²)
g_i	Güneşten alınan boyutsuz enerjinin aylık bileşeni	-
\bar{H}	Yatay yüzey günlük ışınımın aylık ortalaması	(MJ/m ²)
\bar{H}_d	Yatay yüzey günlük yaygın ışınımın aylık ortalaması	(MJ/m ²)
\bar{H}_T	Eğik yüzey günlük ışınımın aylık ortalaması	(MJ/m ²)
\bar{H}_0	Atmosfer dışı yatay yüzey günlük ışınımın aylık ortalaması	(MJ/m ²)
h	Silindirik deponun yüksekliği	(m)
$I_{T,c}$	(3.5.24) eşitliğinde tanımlı	-
K_T	Günlük berraklık indeksinin aylık ortalaması	-
k	Toprağın ısı iletkenliği	(W/mK)
M_1	Depo yan yüzeyinde x- yönündeki düğüm noktası	-
L_1	Deponun üst yüzeyinde y- yönündeki düğüm noktası	-
L_2	Deponun alt yüzeyinde y- yönündeki düğüm noktası	-
L_3	y- yönündeki en dipteki düğüm noktası	-
$N_{1,j-1}$	(4.3.1.8) eşitliğinde tanımlı	-
$N_{2,j-1}$	(4.3.3.7) eşitliğinde tanımlı	-
$N_{3M2,j-1}$	(4.3.4.7) eşitliğinde tanımlı	-
n_g	Aylık ortalama gün sayısı	-
P	$\rho_s c_s / (3\rho_t c_t)$, küresel depo için	-

P	: $m_s c_s / (2\pi R_1^3 \rho_1 c_t)$, silindirik depo için	-
Q	: Depoya giren net enerji	(W)
Q _f	: Toplayıcı faydalı enerjisi	(W)
Q _{f/A_C}	: Toplayıcı faydalı ısı akısı	(W/m ²)
Q _{kt}	: Konut tasarım ısı yükü	(W)
q	: $Q / (4\pi R_1 k T_\infty)$, küresel depo için	-
q	: $Q / (2\pi R_1 k)$, silindirik depo için	K
q*	: q' in bir önceki iterasyon değeri	-
q**	: q' in en son iterasyonda hesaplanan değeri	-
q ₀	: (3.4.12) eşitliğinde tanımlı	-
q _g	: Güneş toplayıcılarından elde edilen boyutsuz enerji	-
q _{gy}	: Yıllık boyutsuz güneş enerjisi miktarı	-
q _{ip}	: Isı pompası tarafından çekilen boyutsuz enerji	-
q _{iç}	: Isıl sistemin boyutsuz iç enerjisi	-
q _{iy}	: Yıllık boyutsuz iç enerji değişimi	-
q _k	: Boyutsuz konut ısı yükü	-
q _{ky}	: Yıllık boyutsuz konut ısı yükü	-
q _{isy}	: Yıllık boyutsuz ısı kayıp miktarı	-
q _n	: (3.4.13) eşitliğinde tanımlı	-
q _y	: Yıllık depoya ilave edilen boyutsuz enerji miktarı	-
r	: Radyal koordinat	(m)
r _{d,n}	: (3.5.31) eşitliğinde tanımlı	-
r _j	: (3.4.16) eşitliğinde tanımlı	-
r _{t,n}	: (3.5.30) eşitliğinde tanımlı	-
R	: R ₂ /R ₁	-
\bar{R}	: (3.5.10) eşitliğinde tanımlı	-
R ₁	: Küresel veya silindirik deponun yarıçapı	(m)

R_2	: r- istikametinde simetri yüzeyi mesafesi	(m)
$\overline{R_b}$: (3.5.16) eşitliğinde tanımlı	-
$R_{b,n}$: (3.5.33) eşitliğinde tanımlı	-
R_n	: (3.5.29) eşitliğinde tanımlı	-
RS_1	: Yıllık güneş enerjisinin sisteme ilave edilen toplam enerjiye (güneş enerjisi+ ısı pompası işi) oranı	-
RS_2	: Yıllık ısı pompası işinin sisteme ilave edilen toplam enerjiye (güneş enerjisi+ ısı pompası işi) oranı	-
RS_3	: Yıllık depolanan enerjinin sisteme ilave edilen toplam enerjiye (güneş enerjisi+ ısı pompası işi) oranı	-
RS_4	: Depodan kaybolan yıllık enerjinin sisteme ilave edilen toplam enerjiye (güneş enerjisi+ ısı pompası işi) oranı	-
RS_5	: Yıllık konut ısı yükünün sisteme ilave edilen toplam enerjiye (güneş enerjisi+ ısı pompası işi) oranı	-
S	: Doğru ışınım geliş açısı	(°)
S_{01}	: (4.3.2.9) eşitliğinde tanımlı	-
S_{02}	: (4.3.2.10) eşitliğinde tanımlı	-
S_{03}	: (4.3.2.11) eşitliğinde tanımlı	-
S_{04}	: (4.3.2.12) eşitliğinde tanımlı	-
S_{05}	: (4.3.2.13) eşitliğinde tanımlı	-
$S_{1,j+1}$: (4.3.1.9) eşitliğinde tanımlı	-
$S_{2,j+1}$: (4.3.3.6) eşitliğinde tanımlı	-
$S_{3,j+1}$: (4.3.4.8) eşitliğinde tanımlı	-
T	: Sıcaklık	(°C)
T_a	: Dış ortam sıcaklığı	(°C)
T_d	: Dış tasarım sıcaklığı	(°C)
T_h	: Radyatördeki akışkan sıcaklığı	(°C)
T_i	: İç tasarım sıcaklığı	(°C)
T_s	: Depo su sıcaklığı	(°C)

u	: $(UA)_k / (UA)_{id}$	-
U_L	: Toplayıcı ısı geçiş katsayısı	(W/m ² K)
T_{∞}	: Derin toprak sıcaklığı	(°C)
t	: Zaman	(s)
$(UA)_k$: Konutun (UA) değeri	(W/K)
$(UA)_{id}$: Isı değiştiricisinin (UA) değeri	(W/K)
x	: r/R_1 , boyutsuz radyal mesafe	-
x_e	: (4.3.1.3) eşitliğinde tanımlı	-
x_c	: (3.5.25) eşitliğinde tanımlı	-
x_w	: (4.3.1.3) eşitliğinde tanımlı	-
V_s	: Küresel deponun hacmi	(m ³)
$W_{i-1,j}$: (4.3.1.7) eşitliğinde tanımlı	-
W_s	: Güneş doğuş saat açısı	-
W'_s	: Eğik yüzey güneş doğuş saat açısı	-
w_y	: Yıllık boyutsuz ısı pompası işi	-
y	: z/R_1 , boyutsuz aksenal mesafe	-
Y	: $\alpha(\text{bir yıl})/R_1^2$, boyutsuz bir yıllık zaman	-
z	: Aksenal koordinat	(m)
α	: Isı yayılım katsayısı	m ² /s
α_R	: Underrelaxation katsayısı	-
β	: Toplayıcı eğim açısı	(°)
β_b	: Büyültme katsayısı	-
β_p	: Isı pompası karakter katsayısı	-
δ	: Deklinasyon açısı	(°)
Δx	: x-yönündeki sonlu farklar düğüm aralığı	-
Δy	: y-yönündeki sonlu farklar düğüm aralığı	-

ϵ_1	: d_1/R_1	-
ϵ_2	: d_2/R_1	-
η	: Toplayıcının aylık ortalama verimi	-
η_1, η_2	: (3.4.9) eşitliğinde tanımlı	-
$\eta_{3,j}$: (3.4.14) eşitliğinde tanımlı	-
$\eta_{4,j}$: (3.4.15) eşitliğinde tanımlı	-
ϕ	: (3.5.23) eşitliğinde tanımlı	-
ϕ_a	: Boyutsuz dış ortam sıcaklığı	-
ϕ_i	: Boyutsuz iç tasarım sıcaklığı	-
ϕ_s	: Boyutsuz depo su sıcaklığı	-
γ	: (3.5.3) eşitliğinde tanımlı	-
ψ	: (3.3.6) eşitliğinde tanımlı	-
ψ_n	: (3.4.2) eşitliğinde tanımlı	-
ρ_s	: Suyun yoğunluğu	(kg/m ³)
θ	: Enlem açısı	(°)
τ	: $\alpha t/R_1^2$, boyutsuz zaman	-
(τ)	: Toplayıcı toplam geçiş- yutma sayısının aylık ortalaması	-
$(\tau)_b$: Doğru ışınım için geçiş- yutma sayısının aylık ortalaması	-
$(\tau)_n$: Dikey ışınım için geçiş- yutma sayısının aylık ortalaması	-
$(\tau)_r$: Yansıyan ışınım için geçiş- yutma sayısının aylık ortalaması	-
ω_n	: (3.4.24) eşitliğinde tanımlı	-

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacı, daha çok fosil yakıtların tüketilmesi sonucu karşılanmaktadır. Ancak dünya fosil enerji kaynakları (petrol, doğal gaz, kömür) tükenme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bundan dolayı günümüzde tüm Dünya'da yapılan araştırmalar, yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yoğunlaşmaktadır. Endüstriyel tesislerde, konutlarda enerji ihtiyacı, kullanıma bağlı olarak gün boyunca, haftadan haftaya veya mevsimlik olarak değişim göstermektedir. Enerjinin depolanması üretim ve tüketim arasındaki farkı dengelediği gibi, enerji tasarrufu açısından da çok önemli rol oynamaktadır. Ülkemizde önemli bir potansiyel olan güneş enerjisi kullanılarak sıcak su üretimine başlanmıştır. Bu konuda ülkemizin özellikle güney bölgelerinde geniş bir kullanım söz konusudur. Güneş enerjisinin, sıcak su üretiminde kullanılmasına karşılık konutların ısıtılması ve sanayi için gerekli enerjinin üretilmesinde kullanılması henüz gerçekleşmemiştir. Yazın bol olan güneş enerjisi ile kışın konut ısıtmak için gerekli enerji arasında altı aylık bir faz farkı mevcuttur. Bu farkı gidermek için, güneş enerjisinin mevsimlik depolanması gereklidir. Mevsimlik depolu güneş enerjili ısıtma sistemleri özellikle toplu konut sitelerinin ısıtılmasında ve endüstriyel işlemlerde kullanılabilir. Dünyada bu konuda yapılan çalışmalara ve araştırma projelerine 1970 'li yıllardan sonra başlanılmıştır. Ülkemizde ise mevsimlik ısı depolu güneş ısıtma sistemleri konusunda çalışmalar ve araştırmalar henüz yaygınlaşmamıştır. Mevsimlik ısı depolu güneş enerjili ısıtma sistemlerinin deney ve uygulamaları; Hollanda, Kanada, İsveç, Finlandiya, Fransa, İsviçre ve Amerika Birleşik Devletlerinde mevcuttur. Bu araştırma ve projelerin gerçekleştiği ülkelerin iklim özelliklerinin ülkemiz şartları ile karşılaştırılması, mevsimlik depolamalı güneşli ısıtma sistemlerinin ülkemiz açısından önemini ortaya koymaktadır. Türkiye'de ortalama yıllık güneşlenme süresi 2640 saattir. Bu değer yukarıda ifade edilen ülkelere ABD dışında tümünün yıllık güneşlenme sürelerinden daha fazladır.

Mevsimlik depolama, daha çok yeraltı jeolojik yapılar kullanılarak gerçekleştirilir. Literatürde karşılaşılan mevsimlik depo türleri; yer üstünde çelik depolar, yer altına yerleştirilmiş çelik depolar, toprağa gömülü dikey ve yatay ısı değiştirici borular, akifer, kaya mağaralar ve jeolojik çukurlar, yeraltı beton tankları ve kazılarak açılmış çukurlardır. Yer altında açılmış depoların birim konstrüksiyon maliyeti, depo hacminin büyük olması ve ısıtılacak mahallin çok konutlu site olması halinde daha ucuz olacaktır.

Bu çalışma altı bölümden ibarettir. İkinci bölümde mevsimlik ısı depolamalı ısı sistemler hakkında literatür araştırması yapılmış ve bu konudaki çeşitli uygulamalar hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde yeraltındaki küresel depo için geliştirilmiş bulunan bir analitik model verilmiş ve sistemi oluşturan alt ısı sistemlerin ısı modellemesi yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise ısı deposunun silindirik bir depo olması hali incelenmiştir. Toprak içerisine yerleştirilmiş bir silindirik tank için, geçici rejim ısı iletim denklemi ile sınır şartları elde edilmiştir. Daha sonra boyutsuzlaştırılan denklemlere sonlu kompleks Fourier dönüşümü uygulanmış, elde edilen kısmi türevli denklemler sonlu farklarla ifade edilerek iteratif yöntemle çözülmüştür. Bu çözümden faydalanılarak mevsimlik ısı depolu güneş enerjisi takviyeli ve ısı pompalı ısıtma sisteminin yıllık performansı saptanmıştır. Bu hesaplamalarda IBM uyumlu PC bilgisayarı kullanılmıştır. Beşinci bölümde ise küresel ve silindirik ısı depolu ısıtma sistemleri için elde edilen sonuçlar, grafikler halinde gösterilmiştir. Bu hesaplamalarda deponun geometrik özellikleri, toplayıcının eğimi, toplayıcı yüzey alanı ve deponun bulunduğu jeolojik ortamın etkileri dikkate alınmış, elde edilen sonuçlar mevcut literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Mevsimlik ısı depolu güneş enerjisi takviyeli ısıtma sisteminin, ülkemiz açısından önemi ortaya konulmuştur. Altıncı bölümde sonuçların genel değerlendirilmesi yapılarak, tavsiyeler ile bu çalışmada incelenemeyen fakat bundan sonraki araştırmalarda göz önüne alınması gereken noktalar ortaya konulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bankston (1988); mevsimlik ısı depolu, güneş enerjisi takviyeli ısıtma sistemlerinin genel bir analizini yaparak, bu konuda 12 ülkedeki mevcut araştırmalar ve projeler hakkında bilgiler vermiştir. Halen uygulanmakta olan bu projeler Tablo 2.1 'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Dünyada mevcut mevsimlik ısı depolu ısıtma sistemleri (Bankston, 1988)

ÜLKE	PROJE	DEPO TİPİ	ÇALIŞMA YILI
Kanada	Scarborough	Akifer	1985
Danimarka	Herlev	Yeraltı çukuru	Yeni tasarım
Finlandiya	Kerava	Kaya çukuru/kanal	1983
Almanya	Stuttgart	Akifer - çukur	1985
İtalya	Treviglo	Yeraltı boru demeti	1982
Hollanda	Groningen	Kanal/kil	1984
İsveç 1	Lyckebo	Kaya mağara	1983
İsveç 2	Malung Kungala	Yeraltı çukuru Kaya mağara	Yeni tasarım Yeni tasarım
İsviçre	Yaulruz	Yeraltı boru demeti	1982
ABD	Herlev	Yeraltı çukuru	Yeni tasarım

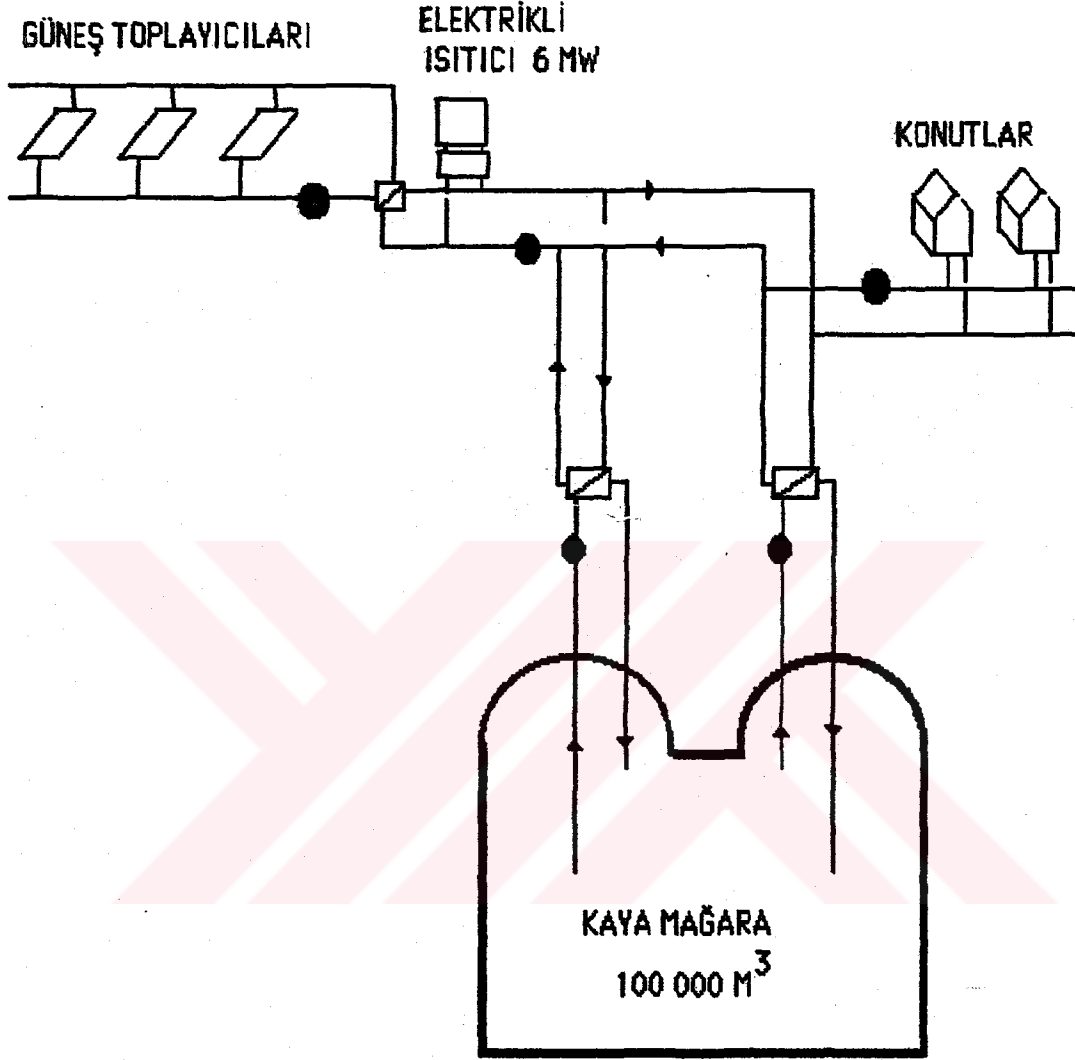
İsveç'in Uppsala kentinin 13 km kuzeyinde olan Lyckebo bölgesindeki mevsimlik depolu bölgesel ısıtma sisteminin performans ve ekonomikliği hakkında bilgiler sunulmuştur [(Brunström vd (1986), Brunström ve Larsson (1986), Brunström vd (1986), Brunström ve Hillström (1987)]. 1983 yazından itibaren çalışmakta olan bu sistem 550

meskenli bir toplu konut ünitesinin ısıtılması ve sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır. Lyckebo ısıtma sistemi; yüksek verimli 4320 m² 'lik düz plakalı güneş toplayıcıları, mevsimlik depolama için 100000 m³ hacminde bir kaya mağara, 6 MW 'lık bir elektrikli ısıtıcı ve dağıtım sisteminden oluşmaktadır. Güneş toplayıcıları güneye doğru 42° 'lik eğimle yerleştirilmiştir. Mevsimlik depo olarak kullanılan kaya mağara (rock cavern) yüzeyden 30 metre aşağıdadır. Bu kaya mağaranın çapı 75 metre, yüksekliği 30 metre ve duvarının kalınlığı 18 metredir, duvarları yalıtımsızdır. 1 Nisan 1984 'den 31 Mart 1984 'e kadar toplayıcılarda üretilen ısı miktarı 1.24 GWh (287 KWh/m²) 'dir. Ölçülen güneş ışımaya değeri 989 KWh/m² olduğundan toplayıcı yıllık verimi % 29 olarak tesbit edilmiştir. Lyckebo tesisinin kuruluş sermayesi 1982 yılı için 4.4 milyon dolar olmuştur. Bu maliyetin 1.6 milyon doları kaya mağaraya, 0.95 milyon doları ise toplayıcılara harcanmıştır. Sistemin yıllık enerji bilançosu ise aşağıdaki gibidir:

Dağıtılan enerji	: 791 MWh
Güneş üretimi	
- Toplayıcı	: 1.24 GWh
- Elektrikli ısıtıcı	
takviyeli toplayıcı	: 7.72 GWh
Takviye enerji (elektrikli ısıtıcı)	: 3.02 GWh
Sistemin ısı kaybı	: 3.14 GWh
İç enerjideki artış	: 0.93 GWh

Çalışmalarda sistemin yüksek maliyeti nedeniyle mevcut ısıtma sistemlerine günümüzde alternatif olamayacağı, ancak toplayıcı ve mevsimlik deponun daha düşük maliyetle kurulabilmesi için yapılacak araştırmalarla bu sistemin ileri yıllarda önem arzedeceği ifade edilmiştir. Şekil 2.1 'de Lyckebo mevsimlik ısıtma sisteminin şeması gösterilmiştir.

Claesson ve Hellström (1988), düşey kuyuların kullanıldığı kaya yataklarda ısının depolanması ve çekilmesini içeren bir sistemi incelemişlerdir. Her bir kuyu içerisinde bir veya birden fazla U- biçiminde plastik boru kullanılmıştır. Bu çalışmada sürekli rejim ısı aktarımı için yeni bir analitik model geliştirilmiştir. Yapılan deneylerde 25 kuyulu bir sistemde ve 5 - 30 °C arasında yapılan ölçümlerde kuyu ısıl direnci 0.10 K/W bulunmuştur. Deney sonuçları ile analitik sonuçlar arasında % 20 lik bir fark saptanmıştır.



Şekil 2.1. Lyckebo projesinin prensip şeması

Claesson ve Eskilson (1986), ısı kaynağı olarak toprağın kullanıldığı ısı pompalarında, ısının çekilmesi esnasında, toprak içerisine yerleştirilmiş ısı değiştiricilerinin ısı analiz ve boyutlandırma kuralları hakkında bilgiler vermişlerdir. Kuyulu sistem olarak adlandırılan sistemlerin özellikle ABD ve Kanada 'da mevcut olduğu ve İsviçre' de ise 5000 'e yakın uygulama bulunduğu açıklanmıştır. Bu çalışmada ısı depolama sistemi olarak kuyu içerisine yerleştirilmiş U şeklindeki plastik borular kullanılmıştır. Kullanılan kuyuların derinliği 40-150 metre, çapları ise 0.075 metre ile 0.11 metre arasında değişmektedir.

Çalışmada, kuyudan ısı çekilmesi veya kuyuya ısı ilavesinin analizi yapılmıştır. Toprağın fiziksel özellikleri, iklim değişimleri, jeotermal gradient ve yeraltı sularının sistem üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kuyuda meydana gelen ısı işlemler, kuyu ısı direnci ile ifade edilmiştir. Çekilen ısı miktarının, gerekli ısı çekme sıcaklığı ile ilişkisi formüllerle verilmiştir. Toprağın ortalama ısı iletkenliği, kuyunun ısı direnci ve ortalama kararlı toprak sıcaklığı gibi üç önemli parametrenin esas olduğu bir metod sunulmuştur.

Eskilson ve Hellström (1987), 25 kuyulu bir ısı deposu için bir analiz geliştirmişlerdir. Depoya birkaç gün boyunca yaklaşık olarak sabit 100 KW 'lık bir ısı enerjisi ilave edilerek birbirine paralel 25 kuyuda ısı taşıyan suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu çalışmada sıcaklık ölçümlerinden faydalanılarak kuyu cidarı ve akışkan arasındaki ısı direnci ve ortalama efektif ısı iletim katsayısı bulunmuştur. Geliştirilmiş olan analizin matematiksel ifadesi gerçekleştirilmiştir. Efektif ısı iletkenlik üç farklı zaman aralığı için 4.5, 3.8 ve 3.2 W/mK olarak, ısı direnci ise 0.1 K/W olarak ölçülmüştür.

Givoni (1977), güneş enerjisinin yeraltında mevsimlik depolanmasının önemini ortaya koyarak, 150x150 metrelik bir yalıtım tabakası ile kaplanan 100x100 m² alan ve 20 metre kalınlıktaki toprağı yeraltı ısı deposu olarak incelemiştir. Toprağın ısı iletkenliği 2 W/mK, depo ile etrafındaki ortam arasındaki sıcaklık farkı 50 °C olarak tahmin edildiğinde, aşağıya doğru ve yanal yüzlerden kaybolan yıllık ısı miktarının 5 000 000 MJ olduğu hesaplanmıştır. Toplam güneş enerjisi, 22500 m² 'lik ve %30 verimli toplayıcı için, 56000000 MJ/yıl olarak tahmin edilmiştir. Bu çalışmaya göre toplam yıllık ısı kaybı toplanan enerjinin yaklaşık olarak %10' u kadardır. Bu sistemlerde asıl zorluğun toprak altındaki depoya enerji ilavesinden ziyade kışın geri çekilmesinin olduğu belirtilen makalede, mevsimlik depolamada alternatif depolama ortamları teklif edilmiş ve bu ortamların avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur. Önemli bir depolama ortamı, kuru toprak içerisinde suni olarak ıslatılmış topraktır. Islak toprağın yüksek ısı iletkenliğini kullanarak ısı geçişini artırmak, deponun etrafındaki kuru toprağın düşük ısı iletkenliği nedeniyle de çevreye olan ısı kaybını azaltmak amaçlanmıştır.

Goswami ve Dhaliwal (1985), 1.83 metre veya daha fazla derinlikteki yeraltı toprak sıcaklığını kullanan tekniklerin ısı aktarım analizini sunmuşlardır. Bu çalışmada geliştirilen bir bilgisayar simülasyonu yardımıyla, yeraltındaki borudan geçen havanın sıcaklığı

hesaplanmıştır. Hava sıcaklığı, nem, toprak sıcaklığı, toprağın fiziksel özellikleri, borunun geometrik özellikleri ve hava akış hızına bağlı olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerde 0.3 metre çapında, 25 metre uzunluğunda ve 2.1 - 2.4 metre toprak içerisine gömülmüş plastik borular kullanılmıştır. Deney sonuçları ile teorik sonuçların uyumu grafiklerle gösterilmiştir.

Kenisarin vd (1988), Taşkent'in iklim şartları için, mevsimlik ısı depolu, merkezi güneş ısıtma sisteminin modellemesini yapmışlardır. Toplam ısı yükü 1000 MWh/yıl olan 50 konutlu bir sitenin incelendiği çalışmada, mevsimlik depo olarak toprağa gömülmüş silindirik bir depo kullanılmıştır. Düz güneş toplayıcılarının kullanıldığı modellemede, toplayıcı eğimi 27° alınarak, 5000 m^3 depo hacmi ve 1150 m^2 toplayıcı yüzey alanı için, güneş katkısı $F=0.50$ olarak tespit edilmiştir.

Lund ve Kangas (1983), mevsimlik ısı depolu bir güneşli ısıtma sisteminin net enerji analizi sunmuşlardır. Bu analiz Finlandiya (60°N) iklim şartları için gerçekleştirilmiştir. Toplayıcı tiplerinin ve ısı pompasının etkileri de hesaba katılmıştır. Kaya içerisine açılmış duyulur ısı deposunun hacmi 500, 1500 ve 3000 m^3 olarak seçilmiştir. depoların enerji kapasiteleri, depo sıcaklığına bağlı olarak 40 - 800 GJ arasındadır. Isı deposunun sıcaklığı 50°C 'yi aştığında, ısının direkt olarak konutlara sağlandığı çalışmada, düşük sıcaklık durumunda bir ısı pompası veya elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Konutların yıllık ısı ihtiyacının, sıcak su ile birlikte 1800 GJ olan bu çalışmada sistemin geri ödeme süresi $V=500 \text{ m}^3$ depo hacmi için 3.8 yıl, $V=1500 \text{ m}^3$ depo hacmi için 5.7 yıl ve $V=3000 \text{ m}^3$ depo hacmi için 6.9 yıl olarak hesaplanmıştır.

Lund ve Östman (1985), düşey borular kullanarak toprakta mevsimlik ısı depolamasının üç boyutlu bir sayısal modelini geliştirmişlerdir. Depolama hacmi, depolama ortamı, toplayıcı alanı ve toplayıcı tipinin sistem performansı üzerindeki etkileri, Helsinki iklim şartları için incelenmiştir. Geliştirilen sayısal model için denklemler sonlu farklarla ifade edilmiş ve explicit yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Bu çalışmada, yıllık konut ısı yükü, konut başına 36.0 GJ ve sıcak su ısı yükü 14.4 GJ olan 500 konutluk bir toplu konut sitesi için projelendirme yapılmıştır. Kullanılan güneş toplayıcıları tek fazlı güneş toplayıcılarıdır ve 60° güneye yönlendirilmişlerdir. Isıtma sistemi ayrıca bir elektrik motorlu ısı pompasını da içine almaktadır. Çalışmada deponun ekonomik optimizasyonu ile toplayıcı tipinin sistem performansı üzerindeki etkileri tartışılmıştır. 500 konutluk bir toplu konut sitesi için,

550 m³/konut kaya ısı deposu hacmi ve 35 m²/konut toplayıcı alanı kullanılarak %70 güneş katkısı sağlandığı gözlenmiştir.

Lund (1986), mevsimlik ısı depolu bir toplu konut sitesinin uzun süreli ısı performansının tayini için bir bilgisayar programı gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada esas ilgi, kaya içerisine gömülmüş yalıtımsız bir su tankı için geliştirilmiş modelledir. Deponun etrafındaki toprağın ısı kapasitesini artırmak için düşey ısı değiştirici boruların kullanıldığı çalışmada, özellikle soğuk iklimli kuzey ülkelerindeki ısıtma sistemlerinin ısı performansı araştırılmıştır. Geliştirilen teorik çalışmadan elde edilen sonuçlar, bu bölgede kurulu bulunan Kerava güneş köyünden ölçülen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır ve sonuçların uyumu tartışılmıştır. NORSOL adı verilen program vasıtasıyla elde edilen sayısal çözümlerden, ısıtma sisteminin üç yıllık işlem sonunda periyodik hale geldiği saptanmıştır.

Mevsimlik ısı deposu olarak su deposunun kullanıldığı bir güneş ısıtma sisteminde, deponun çalışma şartlarının etkisini gösteren bir model geliştirilmiştir (Lund, 1986). Tam karıştırılmış, N dilimli geçiş ve tek geçişli olmak üzere üç farklı kontrol stratejisinin uygulandığı çalışmada, toplayıcı ısı üretiminde (α), depolama kayıplarında (β) ve güneş katkısındaki (γ) değişiklikler için performans faktörü bulunmuştur.

Lund vd (1987), Taşkent'in iklim şartları için mevsimlik ısı depolamalı bir güneşli ısıtma tesisinin bilgisayar simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada depolama ortamı olarak, silindirik bir su kuyusu seçilmiş ve hesaplamalar seçici yüzeyli toplayıcılar ve seçici yüzeyi olmayan toplayıcılar için yapılmıştır. Çalışmada ısı pompasız bir güneş ısıtma sistemi tartışılmış ve toplayıcı alanı ile depo hacmi arasındaki optimum ilişki araştırılmıştır. Ayrıca, mevsimlik ısı depolama sistemlerinde kullanılan temel kavramların tanımı yapılmıştır. Bu çalışmada, özellikle mevsimlik ısı depolamalı güneşli ısıtma tesisleri için güneş enerjisi kazancının, %50-60 dolaylarında olabileceği öne sürülmüştür.

Lund (1987), Hybrid ısı deposu olarak adlandırılan günlük ve mevsimlik ısı depolama sisteminde, zamana bağlı ısı aktarımının analizini vermiştir. Hybrid sistem toprağa gömülü bir su deposu ve etrafına yerleştirilmiş birkaç düşey borudan ibarettir. Su deposunun alternatif yerleştirme biçimleri ve depolama sisteminin farklı çalıştırma düzenleri incelenmiştir. Geliştirilen model, merkezi ve IBM PC bilgisayarlarında çalışabilen HYBTESS adı verilen simülasyon programında kullanılmıştır.

Mevsimlik ısı depolu ve elektrikli ısı pompasına sahip bir güneş ısıtma sisteminin ısı, ekonomik ve sistem kontrolü optimizasyonu yapılmıştır (Lund, 1989). Ekonomik ve ısı optimizasyon, toplayıcı yüzey alanı ve depo hacmi için yapılmış, farklı toplayıcı tiplerinin ve konut yükünün etkisi de hesaba katılmıştır. Farklı sistemler için optimum değerlerde büyük sapmalar olduğu gözlenmiştir. Çalışmada %90 güneş katkısında optimum şartları sağlayan 500 konutlu bir sistem için ısı enerjisi fiyatının 8.9 dolar/KWh olduğu tespit edilmiştir.

Mevsimlik depolamalı bir güneşli ısıtma sisteminde, esas üniteleri oluşturan (V) depo hacmi ve (A_c) toplayıcı yüzey alanının optimum boyutlarını bulmak için, bir yarı analitik model geliştirilmiştir (Lund, 1989). Bu çalışmada, iki farklı ısı süreç incelenmiştir. Bunlardan biri yüksek sıcaklığa sahip ($T_{max} < 100$) bir CSHPSS (Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage) sistemi, diğeri ise düşük sıcaklığa sahip, fakat bir ek ısı pompasının kullanıldığı CSHPSS sistemidir. Çalışmada temel CSHPSS denklemleri kullanılmış ve çözüm için iteratif yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla SOLCHIPS adı verilen bir Fortran 77 programı geliştirilmiştir. Bu çalışmada meteorolojik veri olarak, ortalama yıllık değerler ve aylık ortalama değerlerden faydalanılmıştır. Sabit iklim şartları için güneş katkısı ile güneş toplayıcısı arasındaki ilişkinin lineer bir fonksiyonla ($f = \alpha A_c$) ifade edilebileceği gösterilmiş ve sabit bir değer olan α 'ya tesir eden parametreler araştırılmıştır.

Mevsimlik depolamalı güneşli ısıtma sistemindeki (CSHPSS), ana elemanlarının seçimine, tesisin bulunduğu yerin enleminin etkisi araştırılmıştır (Lund, 1989). Çalışmada, özel bir mevsimlik ısı depolu güneşli ısıtma sistemi için, optimum depo hacmi ve toplayıcı alanını bulmaya yarayan bir analiz yapılmıştır. Bu analizde enlemin etkisi araştırılmış ve kapalı bir fonksiyonel ilişki geliştirilmiştir. Bir CSHPSS tesisi için ısı tanımlamalarda ihtiyaç duyulan parametrelerin toplam sayısının beş olduğu belirtilmiş ve bu etkileri inceleyen SOLCHIPS adında bir program oluşturulmuştur. Bu çalışmada güney enlemlerden kuzeylere doğru gidildikçe, enlemin her derecesi için optimum V/A_c oranının 0.6 m^3/m^2 mertebesinde azaldığı anlaşılmıştır.

Finlandiya'da kurulmuş bulunan Kerava güneş köyünün çalışma prensibi anlatılmış ve sistemin ısı performansı ile ekonomik analizi yapılmıştır (Makinen ve Lund, 1983). Isı pompalı ve mevsimlik ısı depolu güneşli ısıtma sistemi Finlandiya'da ilk defa Kerava köyünde kullanılmıştır. 44 daireden meydana gelen bu köy Helsinki'nin ($60^\circ N$) 35 km kuzeyindedir. Araştırma maksadıyla bir bilgisayar tesisi ve kontrol

ünitesi kurulmuştur. Köyün yapımı 1983 yılında tamamlanmıştır ve toplam 3756 m² 'lik oturma alanına sahiptir. Kerava köyüne ait teknik bilgiler aşağıdaki gibidir :

Güneş toplayıcıları : Düz plakalı, tek camlı, seçici olmayan siyah yüzey, 1100 m² toplam alan, 70^o-90^o güneye doğru yönlendirilmiş.

Isı deposu : Kaya mağara, 1500 m³ su, 11000 m³ kaya hacmi, ısı kapasitesi 250 MWh, depo sıcaklık aralığı 10-70^oC .

Konutlar : Teraslı evler, 67, 82.5 ve 100 m² döşeme alanlı, hava ile ısıtma ve atılan ısının geri kazanım yoluyla tekrar kullanıldığı sistem, ısı yükü 500 MWh/yıl.

Yapılan fiyat analizinde, Kerava güneş köyünün toplam maliyetinin 4.4 milyon dolar olduğu belirlenmiştir. Kerava güneş köyünde güneş katkısı %50 olarak tespit edilmiştir. Pompa, fan vs. için elektrik ihtiyacı, yıllık 280 MWh , toplam yıllık elektrik gideri ise 11400 dolar civarındadır. Kerava güneş köyü ile ilgili araştırmaların halen devam etmekte olduğu belirtilmiştir.

Matsumoto ve Kotera (1988), ıslak kumda ısının depolanması durumunda geçerli olan ısı ve nem sakınım denklemlerini vermiştir. Isı transferindeki nem etkisinin önemli olduğu saptanmıştır. Yüksek sıcaklıklar veya düşük nem oranları dışındaki durumlarda ısı ve kütle denklemlerinin lineerize edilebileceği ileri sürülmüştür. Analizin sonucunda, ısı kaynağı olarak bir ısı deposu kullanıldığında, yıllık ortalama depo sıcaklığının, toprak yüzeyindeki ortalama hava sıcaklığına eşit olacağı belirtilmiştir.

Düz güneş toplayıcılarından toplanan güneş enerjisinin mevsimlik depolanması için gerçekleştirilen modelde, ısı deposu olarak yarı küresel toprak ve toprak içerisine gömülmüş düşey ısı değiştirici borular kullanılmıştır. (Mustacchi ve Rocchi, 1981). İtalya' nın J.R.C Ispra bölgesi iklim verilerinin kullanıldığı çalışmada, ısıtma sisteminde yıllık güneş katkısının % 42 dolaylarında olacağı ileri sürülmüştür.

Shelton (1975), yeraltındaki bir ısı deposu ve depo etrafında bulunan topraktaki ısı aktarımını incelemiştir. Depolama ortamı olarak bir su tankı, kaya ve toprağın seçildiği bu çalışmada, yarı küresel geometride, sürekli rejim ısı iletimi problemi için bir analitik çözüm, geçici rejim ısı iletim problemi için sayısal çözümler verilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Bu çalışmada, toprak içerisine yerleştirilmiş yarı küresel bir depoda yalıtım olmaması halinde sürekli rejim çözümünde kaybolan ısı miktarının depolanmış ısı miktarının yüzde birkaçı mertebesinde olduğu

gösterilmiş ve ısı kaybının deponun yarıçapı ile orantılı değiştiği ifade edilmiştir. Geçici rejim ısı iletim probleminin çözümünde ise depolama sisteminin sürekli rejime gelmesi için gerekli sürenin bir yıl civarında olacağı hesaplanmıştır.

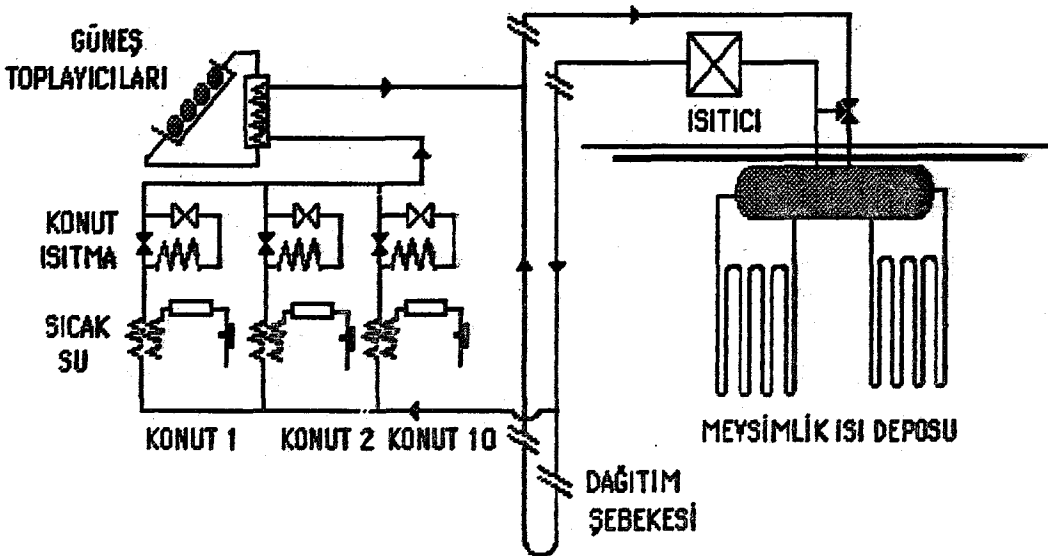
Ünsal ve Yumrutaş (1989), toprak içerisine gömülmüş küresel bir ısı deposu dışındaki geçici rejim sıcaklık dağılımı için bir analitik çözüm elde etmişlerdir. Geçici rejim ısı aktarım probleminin çözümü Duhamel süperpozisyon yöntemi ve bir benzetişim dönüşüm tekniği uygulanarak elde edilmiştir. Elde edilen çözüm, depolanan enerjinin kış aylarında konutların ısıtılması için kullanımı ve güneş toplayıcılarıyla küresel depoya ısı aktarılması halinde, ısı pompasının yıllık performansının hesaplanması için kullanılmıştır. Güneş toplayıcısının verimi %50 sabit, toplayıcı yüzey alanı 40 m^2 ve Gaziantep iklim dataları kullanılmıştır. Sistemin, uzun yıllar için yapılan incelemesinde 10 yıllık doldurma ve boşaltma periyodu sonunda periyodik hale geldiği saptanmıştır.

Ünsal (1991), yeraltındaki küresel tanklarda güneş enerjisinin mevsimlik depolanmasında, toprak ve depo su sıcaklıklarının bulunmasını içeren probleminin formülasyonu ve analitik çözümünü vermiştir. Denklem ve sınır şartları ifade edilip boyutsuzlaştırıldıktan sonra, sonlu kompleks Fourier dönüşümü kullanılarak çözülmüştür. Yapılan kuramsal çalışmada, ısı deposu boyutsuz sıcaklığı kapalı cebirsel formülle ifade edilmiştir. Bu değer için dört boyutsuz parametrenin fonksiyonu olduğu tespit edilmiştir.

Van Den Brink ve Hoogendoorn (1983), 100 konutlu bir sitenin ısıtılması amacıyla kullanılan bir mevsimlik ısı depolama projesini Hollanda iklim şartları için incelemiştir. Bu çalışmada, yeraltı sularındaki doğal ısı taşınım ve iletim yoluyla olan ısı kayıplarını bulmak için bir analitik model sunulmuştur. Taşınım kayıplarının toprağın geçirgenliğine bağlı olduğu ifade edilen çalışmada, kum gibi geçirgenliği yüksek olan topraklarda bu kayıpların depolama verimini azaltacağını öne sürülmüştür. Taşınım ısı kayıplarını azaltmanın önemli olduğu ifade edilen çalışmada, dört farklı geçirgenlik değeri için toprak içindeki izoterm eğrileri elde edilmiştir.

Wijsman ve Havinga (1985,1988), Hollanda'nın güney kesiminde bulunan Groningen kasabasındaki mevsimlik ısı depolamalı ısıtma sistemi hakkındaki bilgileri sunmuştur. Groningen ısıtma sistemi, 1984 Sonbahar'ından itibaren çalışmaktadır. Duct National Solar Energy Research Programı tarafından finanse edilen proje, 9 bloklu toplam 96 güneş evinden oluşmuştur. Konutlar mükemmel şekilde yalıtılmıştır ve tasarım şartlarında ısı yükü 6.3 kW , toplam ısı yükü ise 1200 MWh/yıl dir. Her bir ev için 25 m^2 'lik Philips VTR- 261 toplayıcısı kullanılmıştır ve toplam toplayıcı yüzey alanı 2400 m^2 'dir. Depolama sistemi günlük ve

mevsimlik depolamadan ibarettir. Günlük ısı deposu, mevsimlik ısı deposunun merkezine yerleştirilmiş 100 m^3 'lük su tankı, mevsimlik ısı deposu ise 23000 m^3 'lük topraktır. Toprak, ince kil tabakalı ve kömür ile kaplanmış suya doymuş kumdur. Mevsimlik deponun yalnızca üst yüzeyi yalıtılmıştır. Toprak içerisinde düşey yerleştirilmiş ısı değiştiricisi, U şeklindedir ve esnek poliüretan malzemedan imal edilmiştir. Güneş evleri ve mevsimlik ısı deposu arasındaki dağıtım şebekesi 1900 m uzunluktadır. Mevsimlik ısı depolamalı ısıtma sisteminde, tasarım için geliştirilmiş bir bilgisayar simülasyon programı kullanılmıştır. Bu programda güneş enerjisi katkısının 310 kWh/m^2 olduğu ve toplayıcı yıllık veriminin %48 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, simülasyon değerlerinde mevsimlik ısı deposunun $30-60 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında çalışacağı ve sistemin toplam elektrik tüketiminin 77 MWh (800 MWh/konut) olduğu belirlenmiştir. Proje tamamlandıktan sonra sistem performansı için detaylı ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde bu CSHPSS tesisinin ilk yılında güneş katkısının 439 MWh , ikinci yılında 584 MWh , üçüncü yılında ise 628 MWh olduğu belirlenmiştir. Tasarım değeri ile karşılaştırıldığında bu değerin %14 daha küçük olduğu saptanmıştır. Düşük güneş katkısının, güneş toplayıcılarından beklenenden daha düşük verim ve ısı deposundaki ısı kayıplarının beklenenden daha yüksek olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Groningen ısıtma sisteminin şeması Şekil 2.2 'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Groningen ısıtma sisteminin prensip şeması.

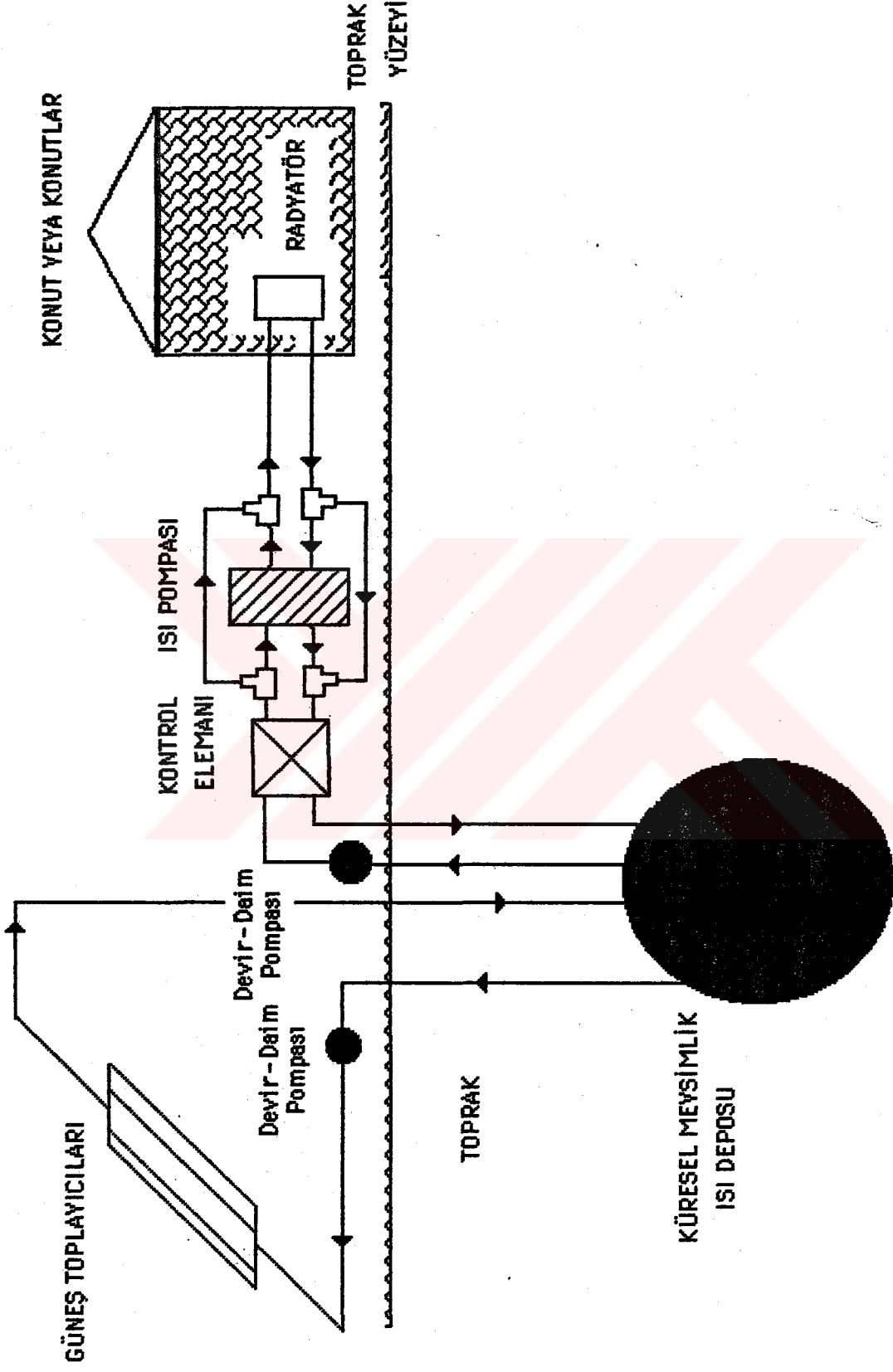
3. YERALTINDAKİ KÜRESEL BİR SU DEPOSUNDA GÜNEŞ ENERJİSİNİN MEVSİMLİK DEPOLANMASI VE ISI POMPASI EŞLİĞİNDE KONUTLARIN ISITILMASINDA ISIL SİSTEMİN MODELLENMESİ

3.1. Giriş

Bu çalışmada incelenen güneş enerjisi takviyeli mevsimlik ısı depolamalı konut ısıtma sistemi; güneş toplayıcıları, mevsimlik ısı deposu, ısı pompası ve ısı yükünü oluşturan konuttan ibarettir. Bu bölümde, toprak içerisine gömülmüş küresel bir deponun etrafındaki jeolojik yapı içerisindeki geçici rejim ısı transfer probleminin analizi için bir analitik model sunulmuştur (Ünsal, 1991). Formülasyonu yapılan problem kompleks sonlu Fourier dönüşüm tekniği kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen çözüm yeraltındaki küresel mevsimlik deposu ve bir ısı pompası olan sisteminin yıllık performansının tespitinde kullanılmıştır. Toplayıcı faydalı enerjisi Klein (Duffie ve Beckman, 1980) tarafından geliştirilmiş bulunan \bar{Q} yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Mevsimlik küresel depo içindeki su sıcaklığı ve diğer ısı analizler, bu çalışmada geliştirilen Fortran 77 programları kullanılarak bilgisayarda hesaplanmıştır.

3.2. Isı Pompasının Modellenmesi

İncelenen sisteminin şeması Şekil 3.1.1 'de gösterilmiştir. Konutların çatılarına yerleştirilmiş bulunan güneş toplayıcılarından elde edilen ısı enerjisi toprak içerisine yerleştirilmiş bulunan mevsimlik ısı deposuna aktarılır. Depolanan enerji kış aylarında konutları ısıtmak amacıyla ısı pompası tarafından çekilir. Isı pompası, yeraltındaki mevsimlik ısı deposunun sıcaklığının konutları iç tasarım sıcaklığında muhafaza etmek için yeterli olmadığı zamanlarda devreye girer.



Şekil 3.1.1. Küresel ısı deposu mevsimlik depolama ve ısı pompalı ısıtma sisteminin prensip şeması

Konutların anlık ısı ihtiyacı,

$$Q_k = (UA)_k (T_i - T_a) \quad (3.2.1)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Eğer konutun enerji ihtiyacı bir ısı pompası tarafından sağlanıyorsa,

$$Q_k = W(\text{COP}) = W \beta_p T_h / [T_h - T_s] \quad (3.2.2)$$

olarak yazılır. Burada β_p değeri, ısı pompasının karakterine ve ısı değiştiricilerinin büyüklüklerine bağlı olarak 0.2 - 0.3 mertebesinde bir parametredir. İhtiyaç duyulan enerjinin konutlara bir panel tipi ısı değiştiricisi veya radyatör ile sağlandığı varsayılırsa, (3.2.1) eşitliği,

$$Q_k = (UA)_{id} (T_h - T_i) \quad (3.2.3)$$

şeklinde yazılır. (3.2.1) ve (3.2.3) eşitliklerinin çözümünden elde edilen T_h ifadesi, (3.2.2) eşitliğine götürülür ve

$$\phi_i = (T_i - T_\infty) / T_\infty \quad \phi_a = (T_a - T_\infty) / T_\infty \quad \phi_s = (T_s - T_\infty) / T_\infty$$

$$u = (UA)_k / (UA)_{id} \quad (3.2.4)$$

boyutsuz tanımları kullanılırsa, boyutsuz ısı pompası işi,

$$W = \frac{W}{(UA)_k T_\infty} = \frac{(\phi_i - \phi_a) [u(\phi_i - \phi_a) + \phi_i - \phi_s]}{\beta_p [u(\phi_i - \phi_a) + \phi_i + 1]} \quad (3.2.5)$$

şeklinde bulunur.

(3.2.4) eşitliğindeki T_∞ , sabit derin toprak sıcaklığını ifade etmektedir. (3.2.5) eşitliğindeki ϕ_i , konutun boyutsuz iç tasarım sıcaklığını; ϕ_a , boyutsuz çevre sıcaklığını; ϕ_s ise boyutsuz depo su sıcaklığını göstermektedir. Bu değerlerden ϕ_a ve ϕ_i değerleri bilinen boyutsuz sıcaklıklardır. Bu değerler (3.2.5) eşitliğinde yerine konursa,

boyutsuz ısı pompası işi, boyutsuz depo su sıcaklığının fonksiyonu olarak elde edilir. (3.2.4) ve (3.2.5) eşitliklerindeki u 'nun değeri ise 1 mertebesinde dir. Yalıtımı iyi olmayan binalar için veya büyük hacimli ısı değiştiricileri için u 'nun değeri 1 'den küçük olacaktır. (3.2.5) eşitliğinde görüleceği üzere, ϕ_s değeri $[u(\phi_i - \phi_a) + \phi_i]$ değerinden büyük olduğunda ısıtma sistemindeki ısı pompası çalıştırılmayacak ve depodaki su direkt olarak konut içerisindeki radyatörlerden dolaştırılarak konutların ısıtılması sağlanacaktır.

3.3. Toprak ve Depo Sıcaklık Probleminin Formülasyonu

Bu kısımda, ϕ_s boyutsuz depo suyu sıcaklığını bulmak için kullanılan analitik model açıklanmıştır. Bu model, yeraltındaki mevsimlik küresel ısı deposunun dışındaki geçici rejim ısı iletim probleminin analizinde kullanılacaktır.

Isı deposu olarak kullanılacak mevsimlik küresel su deposunun yerleştirildiği toprağın homojen bir yapıda olduğu, toprak ısıl iletkenlik ve ısıl yayılım katsayılarının sabit olduğu varsayılacaktır. Toprakta enerji aktarımı ısı iletimi ile sıvı veya buhar halindeki nemin yayılımı ile oluşan karmaşık bir fiziksel olaydır. Bu karmaşık olayı bir derece basite indirmek için, ısı iletim ve nem yayılım etkilerinin her ikisinin de hesaba katılmasıyla tanımlanan bir efektif ısıl iletkenlik katsayısı kullanılabilir. Toprağın efektif ısıl iletkenlik katsayısı toprağın yapısı ve nem içeriğine bağlı olarak birkaç misli değişebilir. Neme doymamış ıslak topraklar için, sabit ısıl iletkenlik katsayısı varsayımı geçersizdir. Toprağın kuru olması halinde efektif ısıl iletkenlik katsayısı sıcaklık ile çok az değişecektir. Aynı şey neme doymuş toprak için de söylenebilir.

İncelenen problemin formülasyonu zamanın fonksiyonu olarak değişen yığılık depo su sıcaklığı $T_s(t)$ için yapılmıştır. Konutların ısıtılması amacıyla kurulacak olan yeraltı mevsimlik enerji depolama sisteminin geçici rejim sıcaklığı, güneş enerji kaynağının ve konut ısı yükünün yıl üzerinden periyodik olması halinde, zamana göre periyodik bir değişim gösterecektir. Yarıçapı $r=R_1$ olan küresel enerji deposunun yeraltında toprağa gömülü ve derinde olduğu varsayılacaktır. Depodan çok

uzaklıkta sıcaklığın sabit olduğu ve derin toprak sıcaklığına eşit olduğu kabul edilecektir. Deponun dışındaki jeolojik yapının sıcaklığı, zamanın ve depo merkezinden itibaren ölçülen koordinatın fonksiyonudur, $T=T(r,t)$.

Depo dışındaki jeolojik yapı içerisindeki sıcaklık problemi, küresel koordinat sisteminde aşağıdaki kısmi türevli denklem, sınır ve periodisite şartları ile verilmiştir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.3.1)$$

$$T(R_1, t) = T_s(t) \quad (3.3.2)$$

$$T(\infty, t) = T_\infty \quad (3.3.3)$$

$$T(r, 0) = T(r, \text{bir yıl}) \quad (3.3.4)$$

Güneşten alınacak enerji Q ile gösterilirse, bu enerjinin bir kısmı depolanacak, diğer kısmı ise toprakta kaybolacaktır. Isı deposu için enerji bilançosu,

$$Q = \rho_s V_s c_s \frac{dT_s}{dt} - kA \frac{\partial T}{\partial r}(R_1, t) \quad (3.3.5)$$

şeklinde ifade edilir.

(3.3.1) - (3.3.5) eşitlikleri ile tanımlanan geçici rejim ısı transfer problemi,

$$x = r/R_1, \quad \tau = \alpha t/R_1^2, \quad \phi = (T - T_\infty)/T_\infty, \quad \phi_s = (T_s - T_\infty)/T_\infty$$

$$\psi(x, \tau) = x \phi(x, \tau), \quad q = Q/(4\pi R_1 k T_\infty), \quad p = (\rho_s c_s)/(3\rho_t c_t)$$

$$Y = \alpha(\text{bir yıl})/R_1^2 \quad (3.3.6)$$

dönüşümleri kullanılarak boyutsuzlaştırılacaktır. Elde edilen boyutsuz problem formülasyonu ise aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{\partial \psi}{\partial \tau} \quad (3.3.7)$$

$$\psi(1, \tau) = \phi_s(\tau) \quad (3.3.8)$$

$$\psi(\infty, \tau) = 0 \quad (3.3.9)$$

$$\psi(x, 0) = \psi(x, Y) \quad (3.3.10)$$

$$q = \rho \frac{d\phi_s}{d\tau} - \frac{\partial \psi}{\partial x}(1, \tau) + \psi(1, \tau) \quad (3.3.11)$$

3.4. Sonlu Kompleks Fourier Dönüşüm Tekniğinin Uygulanması

(3.3.7) - (3.3.11) eşitlikleri ile verilen problem aşağıdaki sonlu kompleks Fourier dönüşüm tekniği uygulanacaktır.

$$\psi(x, \tau) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \psi_n(x) \exp\left[\frac{i2\pi n\tau}{Y}\right] \quad (3.4.1)$$

$$\psi_n(x) = \frac{1}{Y} \int_{-\frac{Y}{2}}^{\frac{Y}{2}} \psi(x, \tau) \exp\left[\frac{-i2\pi n\tau}{Y}\right] d\tau \quad (3.4.2)$$

(3.4.1) ve (3.4.2) eşitlikleri ile verilen dönüşüm (3.3.7)-(3.3.11) eşitlikleriyle verilen probleme uygulandığında aşağıdaki problem elde edilir.

$$\frac{d^2 \psi_n}{dx^2} - \frac{i2\pi n}{Y} \psi_n = 0 \quad (3.4.3)$$

$$\psi_n(1) = \phi_{sn} \quad (3.4.4)$$

$$\psi_n(\infty) = 0 \quad (3.4.5)$$

$$q_n = p \cdot \frac{i2\pi n}{Y} \phi_{sn} - \frac{d\psi_n}{dx}(1) + \psi_n(1) \quad (3.4.6)$$

(3.4.3) eşitliğinin (3.4.4) ve (3.4.5) eşitlikleri ile verilen sınır şartları kullanılarak elde edilen çözümü aşağıdaki gibidir.

$$\psi_n(x) = \phi_{sn} \exp\left[-(1+i) \frac{\sqrt{n\pi}}{\sqrt{Y}} (x-1)\right] \quad (3.4.7)$$

(3.4.7) eşitliğindeki ifade (3.4.6) eşitliğinde yerine konulduğunda boyutsuz depo sıcaklığının kompleks dönüşümü için,

$$\phi_{s2} = \frac{q_n (\eta_1 - i\eta_2)}{\eta_1^2 + \eta_2^2} \quad (3.4.8)$$

eşitliği elde edilir. Burada,

$$\eta_1 = 1 + \frac{\sqrt{n\pi}}{\sqrt{Y}} \quad \text{ve} \quad \eta_2 = \frac{\sqrt{n\pi}}{\sqrt{Y}} + p \frac{2\pi n}{Y} \quad (3.4.9)$$

şeklindedir. (3.4.1), (3.4.7), (3.4.8) denklemleri ve (3.4.9) eşitliği jeolojik yapının içindeki yıllık periyodik sıcaklık dağılımını depoya aktarılan boyutsuz enerjinin kompleks dönüşümünün (q_n) fonksiyonu olarak vermektedir. Depoya verilen aylık boyutsuz ısı şiddetinin her ay için farklı olduğu kabul edilerek jeolojik yapı içerisindeki sıcaklık dağılımı ile depo sıcaklığının yıl boyunca değişimini veren kapalı cebirsel ifadeler elde edilir.

g_j , güneşten alınan boyutsuz enerji şiddetinin aylık bileşenleri olsun ve bir yılın 12 ayı için boyutsuz güneş enerji vektörü aşağıdaki şekilde yazılsın.

$$q = (g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7, g_8, g_9, g_{10}, g_{11}, g_{12}) \quad (3.4.10)$$

Boyutsuz güneş enerji kazancı yukarıdaki gibi olduğu takdirde depo boyutsuz ısı kazancının kompleks Fourier serisi cinsinden ifadesi de aşağıdaki gibi olur.

$$q = \sum_{n=0}^{\infty} q_n \exp\left\{ \frac{12\pi n}{Y} \right\} \quad (3.4.11)$$

Burada;

$$q_0 = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} g_j \quad (3.4.12)$$

$$q_n = \frac{1}{2\pi n} \sum_{j=1}^{12} g_j (\eta_{3,j} + i\eta_{4,j}) \quad n \geq 1 \text{ için} \quad (3.4.13)$$

şeklinde yazılır. (3.4.12) ve (3.4.13) eşitliklerinde,

$$\eta_{3,j} = \sin(2\pi n r_j) - \sin(2\pi n r_{j-1}) \quad (3.4.14)$$

$$\eta_{4,j} = \cos(2\pi n r_j) - \cos(2\pi n r_{j-1}) \quad (3.4.15)$$

olarak elde edilir. Yukarıdaki ifadelerde,

$$r_j = (j-6)/12 \quad (3.4.16)$$

şeklindedir. Güneş enerjisinin bütün yıl boyunca toplanarak küresel depoya aktarılması ve konutların ısıtılması için kış aylarında depodan enerji çekilmesinin simülasyonunu içeren işlemler, yukarıda verilmiş olan modelleme kullanılarak gerçekleştirilecektir. Boyutsuz depo sıcaklığı $\phi_s(\tau)$ için gerçek Fourier serisi kullanılarak a_n ve b_n Fourier katsayıları, $n=0$ için $\phi_{s0} = a_0$, $n>0$ için $\phi_{sn} = (a_n - ib_n)/2$ olacağı göz önünde bulundurulduğunda (3.4.8), (3.4.12) ve (3.4.13) eşitliklerinden,

$$a_0 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} g_i \quad (3.4.17)$$

$$a_n = \frac{1}{n\pi [\eta_1^2 + \eta_2^2]} \sum_{i=1}^{12} g_i (\eta_1 \eta_{3,i} + \eta_2 \eta_{4,i}) \quad (3.4.18)$$

$$b_n = \frac{1}{n\pi [\eta_1^2 + \eta_2^2]} \sum_{i=1}^{12} g_i (\eta_2 \eta_{3,i} - \eta_1 \eta_{4,i}) \quad (3.4.19)$$

ifadeleri elde edilir. $\psi(x, \tau)$ ise,

$$\psi(x, \tau) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n \cos\left(\frac{2\pi n \tau}{Y}\right) + B_n \sin\left(\frac{2\pi n \tau}{Y}\right) \right] \quad (3.4.20)$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlikteki katsayılar aşağıda verilmiştir.

$$A_0 = a_0 \quad (3.4.21)$$

$$A_n = (a_n \cos \omega_n - b_n \sin \omega_n) \exp(-\omega_n) \quad (3.4.22)$$

$$B_n = (a_n \sin \omega_n + b_n \cos \omega_n) \exp(-\omega_n) \quad (3.4.23)$$

Burada,

$$\omega_n = \frac{\sqrt{\pi n}}{\sqrt{Y}} (x-1) \quad (3.4.24)$$

olarak elde edilir. (3.4.20) eşitliği boyutsuz zaman ve boyutsuz koordinatın fonksiyonu olarak deponun etrafındaki jeolojik yapının boyutsuz sıcaklığını verir. Boyutsuz depo su sıcaklığı ise (3.4.20) eşitliğinde boyutsuz mesafe yerine $x=1$ konularak elde edilir. Küresel deponun dışında bulunan jeolojik yapının içindeki boyutsuz sıcaklık dağılımı,

$$\phi = \psi/x \quad (3.4.25)$$

bağıntısından hesaplanır. (3.4.8) eşitliğinde $n=0$ değeri kullanıldığında boyutsuz depo sıcaklığının yıllık ortalamasının depoya verilen boyutsuz ısı şiddetinin (q), yıllık ortalamasına eşit olduğu görülmektedir. Ayrıca boyutsuz depo sıcaklığının yıllık ortalamasının yalnızca boyutsuz ısı şiddetinin fonksiyonu olduğu ve diğer sistem parametrelerine bağlı olmadığı anlaşılmaktadır.

3.5. Küresel Depoya Giren Net Enerjinin Aylık Bileşenlerinin Hesaplanması

Depoya giren boyutsuz enerji miktarı, güneş toplayıcılarından elde edilen boyutsuz enerji miktarından, ısı pompası tarafından çekilen boyutsuz enerji miktarının çıkarılmasıyla hesaplanır :

$$q(\tau) = q_g(\tau) - q_{ip}(\tau) \quad (3.5.1)$$

$q_{ip}(\tau)$, ısı pompası tarafından depodan çekilen enerjidir. Bu değer konut ısı yükü ile ısı pompası işi arasındaki farka eşittir :

$$q_{ip}(\tau) = q_k(\tau) - w(\tau) / \gamma \quad (3.5.2)$$

Burada,

$$\gamma = 4\pi R_1 k / (UA)_k \quad (3.5.3)$$

şeklindedir. (3.5.2) eşitliği (3.5.1) eşitliğinde yerine konursa,

$$q(\tau) = q_g(\tau) - q_k(\tau) + w(\tau) / \gamma \quad (3.5.4)$$

elde edilir.

Boyutsuz konut ısı yükü ise derece-gün yöntemi (Duffie ve Beckman 1980) kullanılarak hesaplanabilir :

$$q_k(\tau) = (UA)_k [T_i - T_a(\tau)] / 4\pi R_1 k T_\infty \quad (3.5.5)$$

Burada konutun $(UA)_k$ parametresi, konut tasarım ısı yükünün kış tasarım sıcaklık farkına bölünmesiyle elde edilir :

$$(UA)_k = Q_{kt} / (T_i - T_d) \quad (3.5.6)$$

Yukarıdaki eşitlikte, T_i iç tasarım sıcaklığını, T_d ise dış tasarım sıcaklığını göstermektedir. T_i ve T_d bilinen sıcaklık değerleridir. Konut tasarım ısı yükü Q_{kt} ise ısı yük hesaplamalarıyla elde edilir.

$q_g(\tau)$ terimi güneş toplayıcılarından elde edilen boyutsuz enerjidir. Bu terim Klein (Duffie ve Beckman, 1980) tarafından geliştirilmiş bulunan $\bar{\Phi}$ metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_g(\tau) = Q_f(t) / (4\pi R_1 k T_\infty) \quad (3.5.7)$$

$$Q_f(t) = A_c F_R(\tau) \bar{H}_T \bar{\Phi} \quad (3.5.8)$$

\bar{H} değeri meteoroloji istasyonlarınca ölçülen, yatay yüzey günlük ışınım değerlerinin aylık ortalamasıdır. Eğik yüzey günlük ışınımının aylık ortalaması \bar{H}_T ise,

$$\bar{H}_T = \bar{R} * \bar{H} \quad (3.5.9)$$

ifadesinden hesaplanır. Bu eşitlikteki \bar{R} değeri,

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \bar{R}_b + \left(\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + p \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (3.5.10)$$

ifadesinden bulunur. \bar{H}_0/\bar{H} oranı için ise aşağıdaki ifade geçerlidir (Duffie ve Beckman, 1980) .

$$\bar{H}_0/\bar{H} = 0.775 + 0.00653 (W_s - 90) - [0.55 + 0.00455 (W_s - 90)] * \text{Cos}(115\bar{K}_T - 103) \quad (3.5.11)$$

\bar{K}_T değeri berraklık indeksidir ve

$$\bar{K}_T = \bar{H}/\bar{H}_0 \quad (3.5.12)$$

eşitliğinden hesaplanır. \bar{H}_0 değeri atmosfer dışında yatay yüzeye düşen güneş ışınımıdır ve

$$\bar{H}_0 = \frac{86400 G_s}{\pi} \left[1 + 0.033 \text{Cos} \left(\frac{360 n_g}{365} \right) \right] * \left(\text{Cos} \theta \text{Cos} \delta \text{Sin} W_s + \frac{2\pi W_s}{360} \text{Sin} \theta \text{Sin} \delta \right) \quad (3.5.13)$$

eşitliğinden hesaplanır. G_s değeri güneş sabitidir. Bu değer 1353 W/m^2 'dir. θ değeri ise toplayıcıların bulunduğu mahallin enlem açısını gösterir. W_s güneş doğuş saat açısını, δ ise deklinasyon açısını göstermekte olup,

$$W_s = \text{arcCos}(-\tan \theta \tan \delta) \quad (3.5.14)$$

$$\delta = 23.45 \text{Sin} [360(284 + n_g)/365] \quad (3.5.15)$$

eşitliklerinden hesaplanırlar. n_g ayın ortalama gün sayısını ifade etmektedir. (3.5.10) eşitliğindeki \bar{R}_b değeri ise,

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\theta - \beta) \cos\delta \sin W_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) W_s \sin(\theta - \beta) \sin\delta}{\cos\theta \cos\delta \sin W_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) W_s \sin\theta \sin\delta} \quad (3.5.16)$$

eşitliğinden bulunur. Bu eşitlikte W_s değeri ortalama gün ve eğik yüzey için güneş doğuş saat açısıdır :

$$W_s = \min\{\arccos(-\tan\theta \tan\delta), \arccos[-\tan(\theta - \beta) \tan\delta]\} \quad (3.5.17)$$

(3.5.8) eşitliğindeki geçiş-yutma sayısının aylık ortalaması $(\bar{\tau})$ için Klein (Duffie ve Beckman, 1980) tarafından,

$$\text{Tek camlı toplayıcılar için,} \quad (\bar{\tau}) = 0.96 (\tau)_n \quad (3.5.18)$$

$$\text{Çift camlı toplayıcılar için,} \quad (\bar{\tau}) = 0.94 (\tau)_n$$

bağıntıları tavsiye edilmiştir. Yukarıdaki ifadeler kış aylarında enlem açısı ile toplayıcı eğim açısı arasındaki farkın 15° 'den küçük değerler alması halinde yaklaşık olarak doğru neticeler vermektedir. Ancak yaz ayları ve $|\theta - \beta| > 15^\circ$ için geçersiz olmaktadır. Düz güneş toplayıcılarının toplam geçiş - yutma sayısının aylık ortalama değerinin tespit edilebilmesi için geçiş - yutma sayısının ışınım geliş açısına göre değişimi bilinmelidir. Geçiş - yutma sayısının geliş açısı cinsinden ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\overline{\tau\alpha})_n} = 1 + b_0 [1 - 1/\cos S] \quad (3.5.19)$$

Düz toplayıcının aylık ortalama geçiş - yutma sayısı doğru, yaygın ve yansıyan ışınımlara ait ortalama geçiş - yutma sayılarının bileşimi olarak,

$$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\overline{\tau\alpha})} = \frac{\left(1 - \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}\right) \overline{R}_b (\overline{\tau\alpha})_b + \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) (\overline{\tau\alpha})_d \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} + \frac{p}{2} (1 - \cos \beta) (\overline{\tau\alpha})_r}{\left(1 - \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}\right) \overline{R}_b + \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} + \frac{p}{2} (1 - \cos \beta)} \quad (3.5.20)$$

eşitliğinden hesaplanır. Yaygın ışınım için aylık ortalama geçiş - yutma sayısı $(\overline{\tau\alpha})_d$, (3.5.19) eşitliğinin $S = \pi/3$ 'deki değeri olarak alınır. Yansıyan ışınım için aylık ortalama geçiş - yutma sayısı $(\overline{\tau\alpha})_r$, $(\overline{\tau\alpha})$ 'nin

$$S = 89.8 - 0.5788 \theta + 0.002693 \theta^2 \quad (3.5.21)$$

ifadesinden hesaplanan geliş açısında değerlendirilmesiyle bulunur. Doğru ışınım için aylık ortalama geçiş - yutma sayısı $(\overline{\tau\alpha})_b$, $(\overline{\tau\alpha})$ 'nin öğleden 2 1/2 saat önceki değeri olarak alınabilir. Bu taktirde $(\overline{\tau\alpha})$ 'nin

$$S = \arccos [\cos(\theta - \beta) \cos \delta \cos(5\pi/24) + \sin(\theta - \beta) \sin \delta] \quad (3.5.22)$$

ifadesinden hesaplanan geliş açısında değerlendirilmesiyle bulunur.

$\bar{\Phi}$ aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır (Duffie ve Beckman, 1980).

$$\bar{\Phi} = \exp \left\{ [a + b(R_n/\bar{R})] [\bar{X}_c + c\bar{X}_c^2] \right\} \quad (3.5.23)$$

Yukarıdaki eşitlikte \bar{X}_c kritik ışımaya şiddetinin aylık ortalamasıdır. Bu parametre,

$$\bar{X}_c = I_{T,c} / [r_{t,n} R_n \bar{H}] \quad (3.5.24)$$

veya

$$\bar{X}_c = U_L (T_i - \bar{T}_a) / [(\bar{\alpha}) r_{t,n} R_n \bar{H}] \quad (3.5.25)$$

eşitliğinden hesaplanır.

(3.5.23) eşitliğindeki a, b ve c değerleri sabit değerlerdir ve aşağıdaki şekilde verilmiştir (Duffie ve Beckman, 1980).

$$a = 2.943 - 9.21\bar{K}_T + 4.031\bar{K}_T^2 \quad (3.5.26)$$

$$b = -4.345 + 8.853\bar{K}_T - 4.031\bar{K}_T^2 \quad (3.5.27)$$

$$c = -0.170 - 0.306\bar{K}_T + 2.936\bar{K}_T^2 \quad (3.5.28)$$

R_n ve $r_{t,n}$ değerleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$$R_n = \left(1 - \frac{r_{d,n}}{r_{t,n}} \frac{H_{df}}{H} \right) R_{b,n} + \left(\frac{r_{d,n}}{r_{t,n}} \frac{H_{df}}{H} \right) \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (3.5.29)$$

$$r_{t,n} = \frac{\pi}{24} (a_1 + b_1 \cos W) \frac{\cos W - \cos W_s}{\sin W_s - \frac{2\pi W_s}{360} \cos W_s} \quad (3.5.30)$$

$r_{d,n}$, H_{df}/H ve $R_{b,n}$ değerleri ile a_1 ve b_1 sabitleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$r_{d,n} = \frac{\pi}{24} \frac{\cos W - \cos W_s}{\sin W_s - \frac{2\pi W_s}{360} \cos W_s} \quad (3.5.31)$$

$$H_{df}/H = \begin{cases} 0.99 & K_T < 0.17 \\ 1.188 - 2.272 K_T + 9.473 K_T^2 - 21.865 K_T^3 + 14.648 K_T^4 & 0.17 < K_T < 0.75 \\ -0.54 K_T + 0.632 & 0.75 < K_T < 0.80 \\ 0.2 & K_T > 0.80 \end{cases}$$

(3.5.32)

$$R_{b,n} = \frac{\cos(\theta - \beta) \cos \delta \cos W + \sin(\theta - \beta)}{\cos \theta \cos \delta \cos W + \sin \theta \sin \delta} \quad (3.5.33)$$

$$a_1 = 0.409 + 0.5016 \sin(W_s - 60) \quad (3.5.34)$$

$$b_1 = 0.6609 - 0.4767 \sin(W_s - 60) \quad (3.5.35)$$

(3.5.30), (3.5.31) ve (3.5.33) eşitliklerindeki W değeri saat 12:00 'de sıfırdır.

3.6. Isıl Sistemin Aylık ve Yıllık Enerji Bilançosu

Isıl sisteme verilen toplam enerji, güneş enerjisi ile ısı pompası işinden oluşmaktadır. Bu enerjinin bir kısmı küresel depoda depolanarak suyun iç enerjisini artırmakta, bir kısmı toprakta kaybolmakta, geriye kalan kısmı ise konutun ısı yükünü karşılamaktadır.

Boyutsuz ısı pompası işinin aylık bileşenleri (3.2.5) eşitliği yardımıyla hesaplanır. Yıllık boyutsuz ısı pompası işi ise aşağıdaki integral yardımıyla bulunur.

$$w_y = \int_{\text{Yıl}} w^+ dt \quad (3.6.1)$$

Boyutsuz konut ısı yükünün aylık bileşenleri (3.5.5) eşitliği yardımıyla hesaplanır. Benzer şekilde yıllık boyutsuz konut ısı yükü,

$$q_{ky} = \int_{\text{Yıl}} q_k^+ dt \quad (3.6.2)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Boyutsuz güneş enerjisinin aylık bileşenleri (3.5.7) eşitliğinden, yıllık boyutsuz güneş enerjisi şu eşitlikten hesaplanır :

$$q_{gy} = \int_{\text{Yıl}} q_g^+ dt \quad (3.6.3)$$

(3.6.1), (3.6.2) ve (3.6.3) eşitliklerindeki (+) üssü, integraller hesaplanırken yalnızca pozitif değerlerin dikkate alınacağını gösterir. Yıllık boyutsuz depo iç enerjideki değişimi,

$$q_{iy} = \int_{\text{Yıl}} \rho \frac{d\phi_s}{dt} dt \quad (3.6.4)$$

veya

$$q_{iy} = \int_{\text{Yıl}} \rho d\phi_s \quad (3.6.5)$$

eşitliğinden hesaplanır. Depoya ilave edilen aylık net boyutsuz enerji miktarı (3.5.4) eşitliği yardımıyla hesaplanır. Yıllık miktar ise aynı eşitlikteki q değerinin yıl boyunca integralinin alınmasıyla hesaplanır :

$$q_y = \int_{\text{Yıl}} q dt \quad (3.6.6)$$

Depodan etrafındaki jeolojik ortama olan yıllık boyutsuz ısı kaybı,

$$q_{isy} = q_y - q_{iy} \quad (3.6.7)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Yıllık güneş enerjisinin, sisteme ilave edilen yıllık toplam enerjiye (güneş enerjisi +ısı pompası işi) oranı,

$$RS_1 = q_{gy} / [q_{gy} + (w_y/\gamma)] \quad (3.6.8)$$

Yıllık ısı pompası işinin, sisteme ilave edilen yıllık toplam enerjiye (güneş enerjisi +ısı pompası işi) oranı,

$$RS_2 = (w_y/\gamma) / [q_{gy} + (w_y/\gamma)] \quad (3.6.9)$$

Yıllık depolanan enerjinin, sisteme ilave edilen yıllık toplam enerjiye (güneş enerjisi +ısı pompası işi) oranı,

$$RS_3 = q_{iy} / [q_{gy} + (w_y/\gamma)] \quad (3.6.10)$$

Depodan kaybolan yıllık enerjinin, sisteme ilave edilen yıllık toplam enerjiye (güneş enerjisi +ısı pompası işi) oranı,

$$RS_4 = q_{isy} / [q_{gy} + (w_y/\gamma)] \quad (3.6.11)$$

Yıllık konut ısı yükünün, sisteme ilave edilen yıllık toplam enerjiye (güneş enerjisi +ısı pompası işi) oranı,

$$RS_5 = q_{ky} / [q_{gy} + (w_y/\gamma)] \quad (3.6.12)$$

eşitliklerinden bulunur.

Toplayıcının aylık ortalama verimi (η),

$$\eta = A_c F_R (\overline{\alpha}) \overline{H_T} \overline{\Phi} / [A_c \overline{H_T}] \quad (3.6.13)$$

veya

$$\eta = F_R (\overline{\alpha}) \overline{\Phi} \quad (3.6.14)$$

eşitliğinden, yıllık ısı pompası performans katsayısı (COP),

$$COP = q_{ky} / (w_y/\gamma) \quad (3.6.15)$$

eşitliğinden, sistemin yıllık güneş katkısı ise,

$$F = [q_{gy} - q_{lsy}] / q_{ky} \quad (3.6.16)$$

veya

$$F = 1 - [(w_y/\gamma) / q_{ky}] \quad (3.6.17)$$

eşitliğinden hesaplanır.

3.7. Hesaplamalarda Kullanılan Parametrik Değerler

3.7.1. Meteorolojik değerler

Çalışmada kullanılan meteorolojik değerler; saatlik dış ortam sıcaklığı, saatlik güneş ışınımı, aylık ortalama dış ortam sıcaklığı ve aylık ortalama yatay yüzey güneş ışınım değerleridir. Elazığ ilinin 1990 yılına ait saatlik ölçüm değerleri kullanılmıştır. Aylık ortalama değerlerin kullanıldığı hesaplamalarda, uzun yıllar ortalaması olan değerler kullanılmıştır. Çalışmalara esas olan illere ait aylık ortalama dış ortam ve güneş ışınım değerleri ÜNSAL ve DOĞANTAN (1980) tarafından hazırlanan güneş tablosundan seçilmiştir. İncelenen iller için hesaplamalarda kullanılan bazı meteorolojik değerler Tablo 3.7.1 'de verilmiştir.

3.7.2. Çevrenin yansıtma katsayısı (ρ)

Çevrenin yansıtma katsayısı (ρ), bitki örtüsüne, topoğrafik yapıya ve kar durumuna bağlı olarak değişir. Açık renkler için büyük, koyu renkler için küçük değerlerdedir. Çevrenin yansıtma katsayısının ortalama değeri 0.2 mertebesinde-dir. Hesaplamalarda kullanılan ρ değerinin aylara göre değişimi Tablo 3.7.2 'de gösterilmiştir.

3.7.3. Güneş toplayıcısına ait parametreler

a- Toplayıcı geçiş - yutma sayısına ait parametreler :

Bu çalışmada, toplayıcı tipi olarak siyah boya - çift camlı düz toplayıcı seçilmiştir. Bu toplayıcıya ait parametreler şu şekilde alınmıştır (Ünsal, 1981):

$$b_0=0.15, (\alpha)_n=0.76, U_L=4.5 \text{ W/m}^2\text{K}, F_R=0.95$$

b- Toplayıcı eğimi (β):

Toplayıcı üzerine düşen güneş ışınım değerleri hesaplanırken toplayıcı eğimi, toplayıcının bulunduğu yerin enlem açısına eşit alınmıştır. Ayrıca karşılaştırma yapmak maksadıyla; $\beta=0$, $\beta=\theta-15$, $\beta=\theta$, $\beta=\theta+15$ ve $\beta=90^\circ$ açı değerleri için de hesaplamalar yapılmıştır.

c- Toplayıcı yüzey alanı (A_c):

Hesaplamalarda toplayıcı yüzey alanı 10, 20 , 30, 40 , 50 ve 60 m² olarak seçilmiştir.

3.7.4. Deponun bulunduğu jeolojik ortamın özellikleri

a- Fiziksel özellikler :

Çalışmada deponun bulunduğu ortam dört tip olarak seçilmiştir. Bunlar killi toprak, kumlu toprak, granit ve iri çakıllı topraktır. Bunlara ait fiziksel özellikler Tablo 3.7.3 'de verilmiştir.

b- Derin toprak sıcaklığı (T_{∞}):

Hesaplamalarda derin toprak sıcaklığı $T_{\infty} = 15^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır.

3.7.5. Küresel depoya ait özellikler

Tek konutlu ısıl hesaplamalar için küresel depo yarıçapı 2.5, 5.0, 7.5 ve 10 metre olarak, 500 konutlu bir toplu konut sitesi için de 20, 30, 40 ve 60 metre olarak seçilmiştir.

Tablo 3.7.1. İncelenen iller için bazı meteorolojik değerler.

İL	ELAZIĞ	GAZİANTEP	İSTANBUL	TRABZON	İZMİR
Enlem Derecesi	39.7	37.1	40.0	41.0	39.5
Yıllık Ortalama Hava Sıcaklığı °C	13.0	14.5	13.8	14.5	17.3
Aylık Ortalama Hava Sıcaklığı °C Ocak	-1.3	2.6	5.1	7.4	8.2
Aylık Ortalama Hava Sıcaklığı °C Temmuz	27.2	27.1	23.2	22.6	27.5
Yıllık Ortalama Yataı Yüzey Güneş Işınımı MJ/m ² - gün	12.9	14.3	13.1	9.9	12.1
Aylık Ortalama Yataı Yüzey Güneş Işınımı Ocak MJ/m ² - gün	4.9	6.2	4.4	4.5	5.1
Aylık Ortalama Yataı Yüzey Güneş Işınımı Temmuz MJ/m ² - gün	20.9	22.1	21.5	14.6	19.0
Dış Tasarım Sıcaklığı °C	-12.0	-9.0	-3.0	-3.0	0.0

Tablo 3.7.2. Çevrenin yansıtma katsayısının aylara göre değışimi.

Aylar	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
ρ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4
Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
ρ	0.7	0.7	0.4	0.2	0.2	0.2

Tablo 3.7.3. Jeolojik ortama ait fiziksel özellikler.

Toprak Cinsi	ρ_t (kg / m ³)	k (W/mK)	α (m ² s)	c_t (J/ kgK)
Kil	1500	1.4	$1.1 \cdot 10^{-6}$	848
İri Çakıllı	2050	0.519	$1.39 \cdot 10^{-7}$	1842
Granit	2640	3.0	$1.4 \cdot 10^{-6}$	811
Kum	1500	0.3	$2.5 \cdot 10^{-7}$	800

3.7.6. Isı yükünü oluşturan konutlara ait özellikler

a- Konut tasarım ısı yükü (Q_{kt}):

Araştırmada bir konutun tasarım ısı yükü 10 kW olarak seçilmiştir.

b- Konut sayısı

Konut sayısı küçük çaplı küresel depolar için 1, büyük çaplı küresel depolar için 500 seçilmiştir. Ayrıca yabancı ülkelerde uygulanmakta olan projelerle karşılaştırma yapmak amacıyla konut sayısı için daha başka değerler de alınmıştır.

3.8. Çözüm Adımları

Bu çalışmanın ilk aşamasında, yatay yüzey güneş ışınım değerleri kullanılarak eğik yüzey güneş ışınım değerleri hesaplanmıştır. (3.5.5) eşitliği yardımıyla boyutsuz konut ısı yükü bulunmuştur. Eğik yüzey ışınım değerlerinin herhangi bir yüzdesinin yer altındaki ısı deposuna ilave edildiği kabul edilerek boyutsuz depo ısı kazancının aylık bileşenleri bulunmuştur. Bu değerler (3.4.11) - (3.4.13) eşitlikleri yardımıyla kompleks Fourier serisi cinsinden ifade edilmiştir. Başlangıçta depo su sıcaklığı derin toprak sıcaklığına eşit alınmıştır. (3.4.20) eşitliği yardımıyla her ay için o ayın ilk ve son gününe ait eşdeğer boyutsuz zamanda boyutsuz depo su sıcaklığı hesaplanmıştır. Bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak o aya ait ortalama boyutsuz depo su sıcaklığı bulunmuştur. Bu değerler ve Elazığ iline ait saatlik dış ortam sıcaklıkları kullanılarak (3.2.5) eşitliğinden saatlik boyutsuz ısı pompası işi hesaplanmış ve herbir ay için ortalama ısı pompası işi bu değerlerin aritmetik ortalamasından bulunmuştur. Ayrıca boyutsuz ısı pompası işinin aylık bileşenleri, aylık ortalama dış sıcaklıkları da kullanılarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması Tablo 3.8.1 'de verilmiştir. Tabloda verilen sonuçlardan aradaki farkın yıllık güneş katkısında %1 civarında olduğu görülmektedir. Bilgisayar işlem süresini kısaltmak amacıyla aylık ortalama sıcaklık verilerinin kullanılması uygun bulunmuştur. Yukarıda hesaplanan depo su sıcaklığı değerlerinin aylık bileşenleri o aya ait ortalama toplayıcıya giren akışkanın sıcaklığı olarak kabul edilerek (3.5.23) eşitliğinden her ay için \bar{T} değerleri bulunmuştur. Daha sonra (3.5.7) eşitliği kullanılarak boyutsuz toplayıcı faydalı enerjisi hesaplanmıştır. (3.5.4) eşitliğinden depoya giren net boyutsuz enerjinin yeni değerleri bulunmuştur. Bulunan depo su sıcaklığı ile başlangıçtaki depo su sıcaklığı arasındaki fark hesaplanmış ve bu fark belli bir ϵ 'dan büyük olması halinde iterasyona devam edilmiştir. Yakınsamayı kolaylaştırmak için underrelaxation işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem aşağıda ifade edilmiştir.

$$q(\tau) = q(\tau)^* + \alpha_R [q(\tau)^* - q(\tau)^{**}] \quad (3.8.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte $q(\tau)$ yeni hesaplama esas olacak değer, $q(\tau)^*$ bir önceki iterasyon değeri, $q(\tau)^{**}$ ise en son iterasyonda bulunan değerdir. Yukarıda belirtilen işlem çözüm yakınsayınca kadar devam eder. Çözüm yakınsadığında $q(\tau)^* \approx q(\tau)^{**}$ olacaktır. (3.8.1) eşitliğindeki α_R underrelaxation sabitidir. Bu değer için herhangi bir sabit değer söz konusu değildir. α_R için incelenen ısı sistem parametrelerine bağlı olarak değişik değerler kullanılmıştır. Bu değer tek konutlu ısı hesaplamalarda 0.1- 0.6 arasında seçilmiştir. Toplu konut siteleri için hesaplamalarda ise $\alpha_R=0.01-0.001$ olarak alınmıştır. α_R 'in yukarıdaki aralık değerlerinden daha büyük seçildiğinde çözümün iraksadığı gözlenmiştir. α_R parametresi değiştirilerek elde edilen sonuçlar Tablo 3.8.2 'de gösterilmiştir. Bu parametrenin, çözümün yakınsaması için gerekli iterasyon sayısında önemli olduğu görülmektedir. Yukarıda ifade edilen çözüm yöntemine ait akış diyagramı ve program listesi Ek 1 'de verilmiştir.

Tablo 3.8.1. Aylık ortalama ve saatlik dış ortam sıcaklıkları kullanılarak elde edilen sonuçlar (Killi toprak, $R_1=5.0$ m, $A_c=40$ m², tek konut)

Aylar	Saatlik dış ortam sıcaklığı kullanılarak elde edilen depo su sıcaklığı		Aylık ortalama dış ortam sıcaklığı kullanılarak elde edilen depo su sıcaklığı	
	Temmuz	36.51		36.29
Ağustos	39.72		39.52	
Eylül	42.02		41.85	
Ekim	42.16		42.00	
Kasım	39.49		39.35	
Aralık	35.19		34.99	
Ocak	30.35		30.09	
Şubat	26.90		26.64	
Mart	25.91		25.61	
Nisan	26.44		26.09	
Mayıs	28.88		28.55	
Haziran	32.77		32.49	
Yıllık Bilanço Değerleri	$RS_1=0.930$	$RS_2=0.070$	$RS_1=0.937$	$RS_2=0.063$
	$RS_3=0.0$	$RS_4=0.385$	$RS_3=0.0$	$RS_4=0.382$
	$RS_5=0.615$	$F=0.886$	$RS_5=0.617$	$F=0.899$

Tablo 3.8.2. Underrelaxation katsayısının (α_R), depo su sıcaklığı ve iterasyon sayısına etkisi (Killi toprak, $R_1=5.0$ m, $A_c=40$ m², tek konut)

Aylar	DEPO SU SICAKLIĞI		
	$\alpha_R=0.1$	$\alpha_R=0.3$	$\alpha_R=0.5$
Temmuz	31.98	31.99	31.99
Ağustos	35.35	35.36	35.36
Eylül	37.74	37.75	37.75
Ekim	37.86	37.86	37.86
Kasım	35.00	35.00	35.00
Aralık	30.30	30.30	30.30
Ocak	25.57	25.56	25.56
Şubat	22.31	22.31	22.31
Mart	20.85	20.85	20.85
Nisan	21.35	21.35	21.35
Mayıs	24.18	24.18	24.19
Haziran	28.15	28.16	28.16
İterasyon sayısı	63	23	12

Depo ısı kazancının başlangıç varsayımı değiştirilerek hesaplamalar yapılmış ve yıl boyunca aynı depo su sıcaklığı elde edilmiştir. Tek konutlu ısı hesaplarında başlangıç varsayımının iterasyon sayısına etkisinin çok az olduğu saptanmıştır. Fakat toplu konut siteleri için yapılan hesaplamalarda, depo ısı kazancının başlangıç varsayımının uygun seçilmesiyle, yakınsama için gerekli iterasyon sayısının önemli oranda azaldığı gözlenmiştir.

4. GÜNEŞ ENERJİSİNİN YERALTINDA SİLİNDİRİK BİR TANKTA DEPOLANMASI VE ISI POMPASI İLE KONUT ISITILMASI PROBLEMİNİN FORMÜLASYONU VE ANALİZİ

4.1. Giriş

Bu bölümde, yeraltında silindirik bir tankta güneş enerjisinin depolanması ve depolanan enerjinin konut ısıtılmasında kullanılması problemi incelenecektir. Bölüm 3 'deki ısıtma sistemi esas alınacak, ancak depolama kısmı için farklı bir sistem incelenecektir. Silindirik geometrideki bir depo için formülasyon gerçekleştirilecek ve elde edilen formülasyon, sonlu farklar denklemleriyle ifade edilecektir. Bölüm 3 'de sunulan kompleks sonlu Fourier dönüşümü, bu kısımdaki analizde de kullanılacaktır. Sıcaklık dağılımı problemi iç noktalarda iterasyon yöntemi, yan sınırlarda matris dönüştürme yöntemleri kullanılarak çözülecektir. Depolama ortamının jeolojik yapısı, mevsimlik ısı deposunun geometrik özellikleri, toplayıcı yüzey alanı ve toplayıcı eğiminin ısı sistem performansı üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

4.2. Problemin Formülasyonu

Toprak içerisindeki silindirik tankın su sıcaklığını ve toprak içerisindeki sıcaklık dağılımını bulmak için geçerli olan denklem ve sınır şartları aşağıda verilmiştir. Bölüm 3 'de toprak ile ilgili yapılan varsayımlar bu kısım için de geçerlidir. Toprak içerisindeki sıcaklığın $r, z,$ ve t değişkenlerine bağlı olarak değiştiği kabul edilmiştir. Depo içerisindeki yığılık akışkan sıcaklığının yalnızca zamanın fonksiyonu olarak değiştiği $T_s(t)$ varsayılacaktır. Toprak yüzeyinde zamanla değişen dış ortam sıcaklık sınır şartı, simetri yüzeylerinde ise yalıtım sınır şartı geçerlidir. Depodan itibaren derinlere gittikçe, sıcaklığın sabit ve derin toprak sıcaklığına eşit olacağı kabul edilmiştir.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.2.1)$$

$$T = T_s(t) \quad \text{Silindir yüzeyinde} \quad (4.2.2)$$

$$T(r, 0, t) = T_a(t) \quad (4.2.3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad r=R_2 \quad \text{ve} \quad 0 < z < \infty \quad (4.2.4)$$

$$T(r, \infty, t) = T_\infty \quad (4.2.5)$$

$$T(r, z, 0) = T(r, z, \text{bir yıl}) \quad (4.2.6)$$

Silindirik geometrideki mevsimlik ısı deposu için enerji bilançosu,

$$Q = m_s c_s \frac{dT_s}{dt} + \int_{d_1}^{d_2} -k 2\pi R_1 dz \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_1} + \int_0^{R_1} -k 2\pi r dr \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=d_2} + \int_0^{R_1} k 2\pi r dr \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=d_1} \quad (4.2.7)$$

eşitliğiyle ifade edilir. (4.2.1) - (4.2.7) eşitliklerinden oluşan problem,

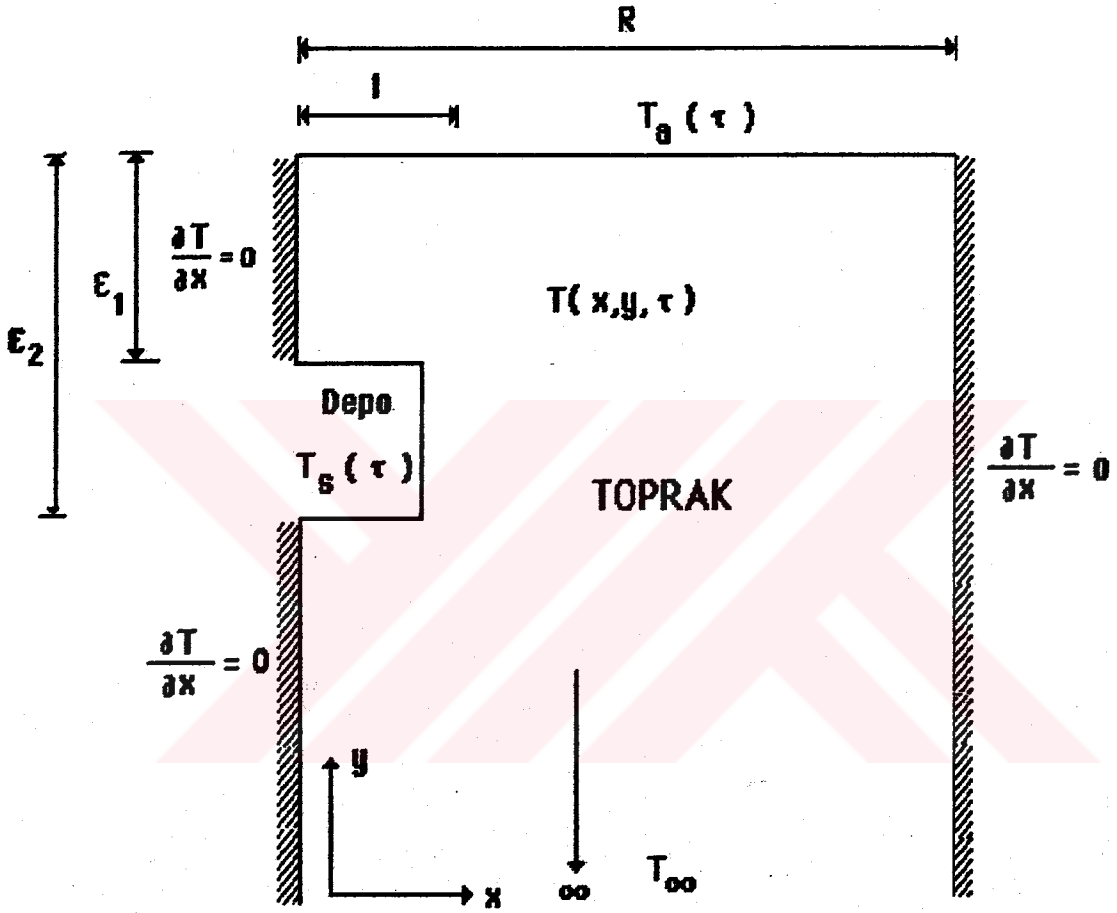
$$x = r/R_1 \quad y = z/R_1 \quad \xi_1 = d_1/R_1 \quad \xi_2 = d_2/R_1 \quad R = R_2/R_1$$

$$\tau = \alpha t/R_1^2 \quad Y = \alpha (\text{bir yıl})/R_1^2 \quad \rho = (m_s c_s)/(2\pi R_1^3 \rho_t c_t)$$

$$q = Q/2\pi R_1 k \quad (4.2.8)$$

dönüşümleri kullanılarak boyutsuzlaştırılacaktır.

Toprak içerisindeki sıcaklık dağılımını bulmak için oluşturulan boyutsuz problem geometrisi Şekil 4.2.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2.1. Toprak içerisindeki sıcaklık dağılımı probleminin boyutsuz geometrisi.

Boyutsuz problem formülasyonu için aşağıdaki ifadeler elde edilmiştir.

$$\frac{1}{x} \frac{\partial}{\partial x} \left(x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (4.2.9)$$

$$T = T_s(\tau) \quad 0 \leq x \leq l \quad \text{ve} \quad \epsilon_1 \leq y \leq \epsilon_2 \quad (4.2.10)$$

$$T(x, 0, \tau) = T_a(\tau) \quad (4.2.11)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad x=R \quad \text{ve} \quad 0 < y < \infty \quad (4.2.12)$$

$$T(x, \infty, \tau) = T_\infty \quad (4.2.13)$$

$$T(x, y, 0) = T(x, y, Y) \quad (4.2.14)$$

$$q = \rho \frac{dT_s}{d\tau} - \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_2} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=1} dy + \int_0^1 \left[\frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{\epsilon_1} - \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{\epsilon_2} \right] x dx \quad (4.2.15)$$

(4.2.9) - (4.2.15) ifadeleri ile verilen problem Bölüm 3 'de tanıtılmış bulunan sonlu kompleks Fourier dönüşüm tekniği uygulanarak çözülecektir. Bu yöntemle, silindirik ısı deposunun bulunduğu toprak içerisinde sıcaklığın bir yıl üzerinden periyodik olduğu varsayımına dayalı zamandan bağımsız bir problem elde edilir. Dönüşüm uygulandığında aşağıdaki problem elde edilir.

$$\frac{1}{x} \frac{\partial}{\partial x} \left(x \frac{\partial T_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial^2 T_n}{\partial y^2} = -i \frac{2\pi n}{Y} T_n \quad (4.2.16)$$

$$T_n = T_{sn} \quad 0 \leq x \leq 1 \quad \text{ve} \quad \epsilon_1 \leq y \leq \epsilon_2 \quad (4.2.17)$$

$$T_n(x, 0) = T_{an} \quad (4.2.18)$$

$$\frac{\partial T_n}{\partial x} = 0 \quad x=R \quad \text{ve} \quad 0 < y < \infty \quad (4.2.19)$$

$$T_n(x, \infty) = \begin{cases} 0 & n > 0 \text{ için} \\ T_\infty & n = 0 \text{ için} \end{cases} \quad (4.2.20)$$

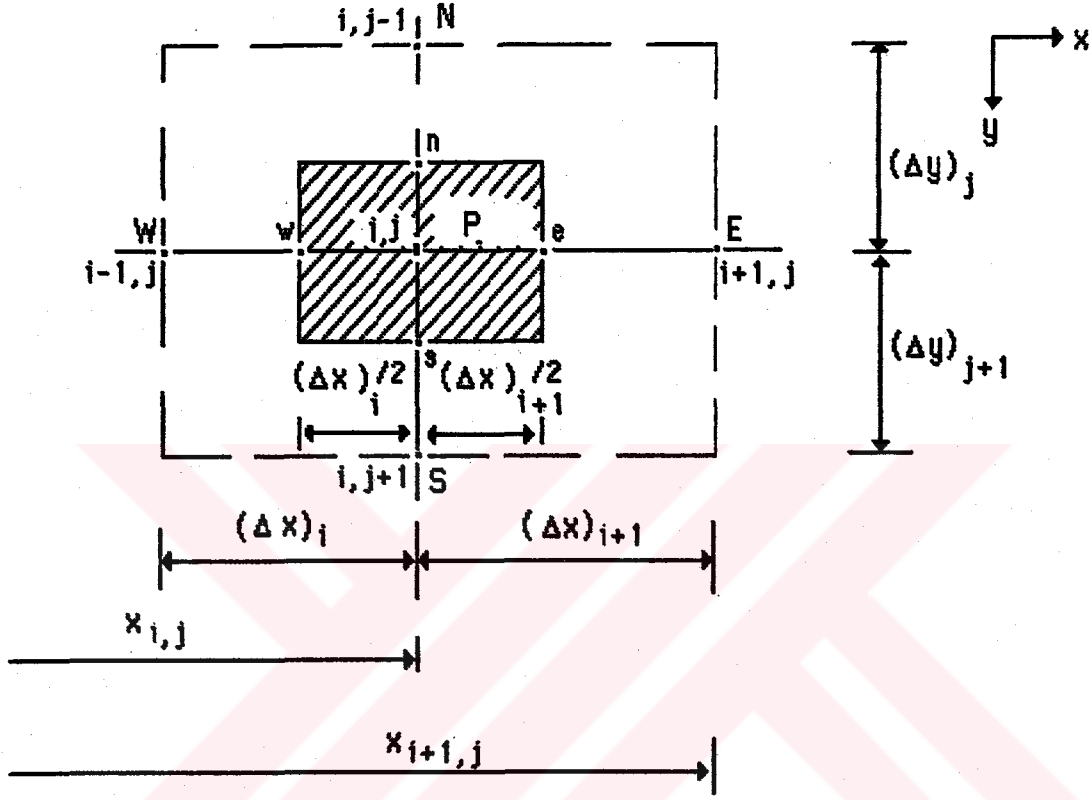
$$q_n = \rho i \frac{2\pi n}{Y} T_{sn} - \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_2} \frac{\partial T_n}{\partial x} \Big|_{x=1} dy + \int_0^1 \left[\frac{\partial T_n}{\partial y} \Big|_{\epsilon_1} - \frac{\partial T_n}{\partial y} \Big|_{\epsilon_2} \right] x dx \quad (4.2.21)$$

(4.2.16) - (4.2.21) probleminin çözümü, ısı deposu sıcaklığının kompleks sonlu Fourier dönüşümünü, toprak sıcaklığı kompleks sonlu Fourier dönüşümünün fonksiyonu olarak verecektir.

4.3. Sonlu Farklar Denklemlerinin Eldesi

Problemin sonlu farklar denklemleri değişken düğüm aralıkları için türetilmiştir. Bu denklemler iç kısımdaki düğüm noktaları, sınırlar üzerindeki düğüm noktaları ve depo enerji bilançosu için ayrı ayrı elde edilmiştir.

4.3.1. İç kısımdaki düğüm noktaları için sonlu fark denkleminin eldesi



Şekil 4.3.1. İç kısımdaki düğüm noktaları için kontrol hacmi

(4.2.16) denkleminin sonlu farklar ifadesi, Şekil 4.3.1 'deki kontrol hacmine uygun olarak ve merkezi farklar yöntemi kullanılarak,

$$\frac{1}{x_{i,j}} \frac{\left(x \frac{\partial T_n}{\partial x} \right)_e - \left(x \frac{\partial T_n}{\partial x} \right)_w}{[(\Delta x)_i + (\Delta x)_{i+1}] / 2} + \frac{\left(\frac{\partial T_n}{\partial y} \right)_s - \left(\frac{\partial T_n}{\partial y} \right)_n}{[(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}] / 2} = i \frac{2\pi n}{Y} T_{ni,j} \quad (4.3.1.1)$$

olarak elde edilmiştir. Bu ifade açılırsa,

$$\frac{1}{x_{i,j}} \frac{x_e \frac{T_{n_{i+1,j}} - T_{n_{i,j}}}{(\Delta x)_{i+1}} - x_w \frac{T_{n_{i,j}} - T_{n_{i-1,j}}}{(\Delta x)_i}}{[(\Delta x)_i + (\Delta x)_{i+1}] / 2} + \frac{\frac{T_{n_{i,j+1}} - T_{n_{i,j}}}{(\Delta y)_{j+1}} - \frac{T_{n_{i,j}} - T_{n_{i,j-1}}}{(\Delta y)_j}}{[(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}] / 2} = i \frac{2\pi n}{Y} T_{n_{i,j}} \quad (4.3.1.2)$$

elde edilir.

$$x_e = x_{i,j} + (\Delta x)_{i+1} / 2$$

$$x_w = x_{i,j} - (\Delta x)_i / 2 \quad (4.3.1.3)$$

alınarak ve gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$A_{i,j} T_{n_{i,j}} - E_{i+1,j} T_{n_{i+1,j}} - W_{i-1,j} T_{n_{i-1,j}} - N_{i,j-1} T_{n_{i,j-1}} - S_{i,j+1} T_{n_{i,j+1}} = 0 \quad (4.3.1.4)$$

eşitliği elde edilir; burada $A_{i,j}$, $E_{i+1,j}$, $W_{i-1,j}$, $N_{i,j-1}$ ve $S_{i,j+1}$ katsayıları şu şekildedir :

$$A_{i,j} = i \frac{2\pi n}{Y} + \frac{2 \left[x_{i,j} + \frac{(\Delta x)_{i+1}}{2} \right]}{x_{i,j} (\Delta x)_{i+1} [(\Delta x)_i + (\Delta x)_{i+1}]} + \frac{2 \left[x_{i,j} - \frac{(\Delta x)_i}{2} \right]}{x_{i,j} (\Delta x)_i [(\Delta x)_i + (\Delta x)_{i+1}]} + \frac{2}{(\Delta y)_{j+1} [(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}]} + \frac{2}{(\Delta y)_j [(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}]} \quad (4.3.1.5)$$

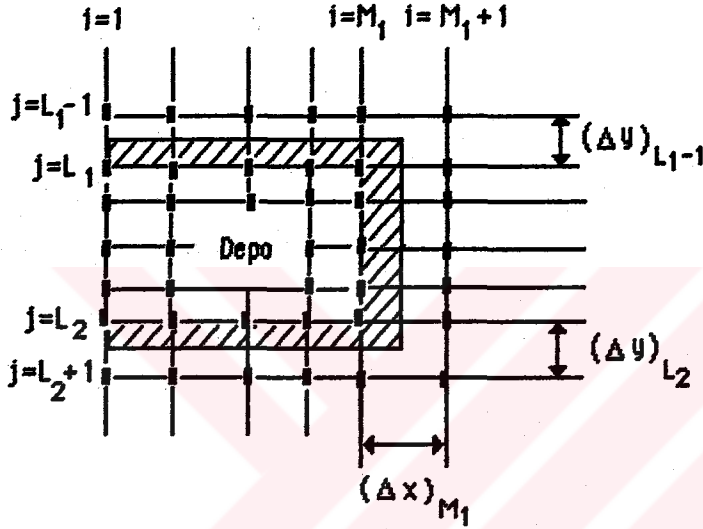
$$EI_{i+1,j} = \frac{2 \left[x_{i,j} + \frac{(\Delta x)_{i+1}}{2} \right]}{x_{i,j} (\Delta x)_{i+1} [(\Delta x)_i + (\Delta x)_{i+1}]} \quad (4.3.1.6)$$

$$WI_{i-1,j} = \frac{2 \left[x_{i,j} - \frac{(\Delta x)_i}{2} \right]}{x_{i,j} (\Delta x)_i [(\Delta x)_i + (\Delta x)_{i+1}]} \quad (4.3.1.7)$$

$$NI_{i,j-1} = 2 / \{ (\Delta y)_j [(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}] \} \quad (4.3.1.8)$$

$$SI_{i,j+1} = 2 / \{ (\Delta y)_{j+1} [(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}] \} \quad (4.3.1.9)$$

4.3.2. Depo enerji bilançosu için sonlu fark denkleminin eldesi



M_1 : Deponun yan yüzeyinde x -yönündeki düğüm noktası

L_1 : Deponun üst yüzeyinde y -yönündeki düğüm noktası

L_2 : Deponun alt yüzeyinde y -yönündeki düğüm noktası

Şekil 4.3.2. Depo enerji bilançosu için kontrol hacmi.

(4.2.21) eşitliği ile verilen depo enerji bilançosu ifadesinin Şekil 4.3.2 'deki kontrol hacmine uygun sonlu farklar denklemi aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\begin{aligned}
q_n = & \pi i \frac{2\pi n}{Y} - \frac{T_{n_{M1+1}} - T_{n_{M1,L1}} (\Delta y)_{L1}}{(\Delta x)_{M1}} - \sum_{j=L1+1}^{L2-1} \frac{T_{n_{M1+1,j}} - T_{n_{M1,j}} (\Delta y)_{j-1} + (\Delta y)_j}{(\Delta x)_{M1}} \\
& - \frac{T_{n_{M1+1,L2}} - T_{n_{M1,L2}} (\Delta y)_{L2-1}}{(\Delta x)_{M1}} + \frac{T_{n_{1,L1}} - T_{n_{1,L1-1}}}{(\Delta y)_{L1-1}} \int_0^{(\Delta x)_1/2} x dx + \\
& + \frac{T_{n_{M1,L1}} - T_{n_{M1,L1-1}}}{(\Delta y)_{L1-1}} \int_{1-\frac{(\Delta x)_{M1-1}}{2}}^1 x dx + \sum_{i=2}^{M1-1} \frac{T_{n_{1,L1}} - T_{n_{1,L1-1}}}{(\Delta y)_{L1-1}} \int_{x_i - \frac{(\Delta x)_{i-1}}{2}}^{x_i + \frac{(\Delta x)_i}{2}} x dx \\
& - \frac{T_{n_{1,L2+1}} - T_{n_{1,L2}}}{(\Delta y)_{L2}} \int_0^{(\Delta x)_1/2} x dx - \frac{T_{n_{M1,L2+1}} - T_{n_{M1,L2}}}{(\Delta y)_{L2}} \int_{1-\frac{(\Delta x)_{M1-1}}{2}}^1 x dx \\
& - \sum_{i=2}^{M1-1} \frac{T_{n_{1,L2+1}} - T_{n_{1,L2}}}{(\Delta y)_{L2}} \int_{x_i - \frac{(\Delta x)_{i-1}}{2}}^{x_i + \frac{(\Delta x)_i}{2}} x dx
\end{aligned} \tag{4.3.2.1}$$

Yukarıdaki eşitlikte depo üzerinde bulunan düğüm noktalarındaki dönüşüm sıcaklık değerleri yerine T_{sn} yazıp, gerekli düzenlemeler yapıldığında dönüşüm uygulanmış depo sıcaklığı T_{sn} için aşağıdaki eşitlik elde edilir :

$$\begin{aligned}
q_n + D_{01} T_{n_{M1+1,L1}} + D_{02} T_{n_{M1+1,L2}} + \frac{1}{2(\Delta x)_{M1}} S_{01} + D_{03} T_{n_{1,L1-1}} + \\
D_{04} T_{n_{1,L2+1}} + D_{05} T_{n_{M1,L1-1}} + D_{06} T_{n_{M1,L2+1}} + \frac{1}{2(\Delta y)_{L1-1}} S_{02} + \frac{1}{2(\Delta y)_{L2}} S_{03} \\
T_{sn} = \frac{\pi i \frac{2\pi n}{Y} + D_{01} + D_{02} + \frac{1}{2(\Delta x)_{M1}} S_{04} + D_{04} + D_{05} + D_{06} + 2S_{05}}{1}
\end{aligned} \tag{4.3.2.2}$$

Burada $D_{01}, D_{02}, D_{03}, D_{04}, D_{05}, D_{06}, S_{01}, S_{02}, S_{03}, S_{04}$ ve S_{05} katsayıları şöyledir :

$$D_{01} = \frac{(\Delta y)_{L1-1}}{2(\Delta x)_{M1}} \quad (4.3.2.3)$$

$$D_{02} = \frac{(\Delta y)_{L2}}{2(\Delta x)_{M1}} \quad (4.3.2.4)$$

$$D_{03} = \frac{1}{8} \frac{(\Delta x)_i^2}{(\Delta y)_{L1-1}} \quad (4.3.2.5)$$

$$D_{04} = \frac{1}{8} \frac{(\Delta x)_i^2}{(\Delta y)_{L2}} \quad (4.3.2.6)$$

$$D_{05} = \frac{4(\Delta x)_{M1-1} - (\Delta x)_{M1-1}^2}{8(\Delta y)_{L1-1}} \quad (4.3.2.7)$$

$$D_{06} = \frac{4(\Delta x)_{M1-1} - (\Delta x)_{M1-1}^2}{8(\Delta y)_{L2}} \quad (4.3.2.8)$$

$$S_{01} = \sum_{j=L1+1}^{L2-1} [(\Delta y)_{j-1} + (\Delta y)_j] T_{n_{m+1},j} \quad (4.3.2.9)$$

$$S_{02} = \sum_{i=2}^{M1-1} \left[x_{i-1}(\Delta x)_i + x_{i-1}(\Delta x)_{i-1} + \frac{(\Delta x)_i^2}{4} - \frac{(\Delta x)_i^2}{4} \right] T_{n_{1,L1-1}} \quad (4.3.2.10)$$

$$S_{03} = \sum_{i=2}^{M1-1} \left[x_{i-1}(\Delta x)_i + x_{i-1}(\Delta x)_{i-1} + \frac{(\Delta x)_i^2}{4} - \frac{(\Delta x)_i^2}{4} \right] T_{n_{1,L2+1}} \quad (4.3.2.11)$$

$$S_{04} = \sum_{j=L1+1}^{L2-1} [(\Delta y)_{j-1} + (\Delta y)_j] \quad (4.3.2.12)$$

$$S_{05} = \sum_{i=2}^{M1-1} \left[x_{i-1}(\Delta x)_i + x_{i-1}(\Delta x)_{i-1} + \frac{(\Delta x)_i^2}{4} - \frac{(\Delta x)_i^2}{4} \right] \quad (4.3.2.13)$$

Depo üzerindeki düğüm noktalarında $(\Delta x)_{i-1} = (\Delta x)_i$ ve $(\Delta y)_j = (\Delta y)_{j-1}$ alındığında S_{01} , S_{02} , S_{03} , S_{04} ve S_{05} katsayıları aşağıdaki şekilde ifade edilir :

$$S_{01} = \sum_{j=L1+1}^{L2-1} 2(\Delta y)_j T_{n_{M1+1,j}} \quad (4.3.2.14)$$

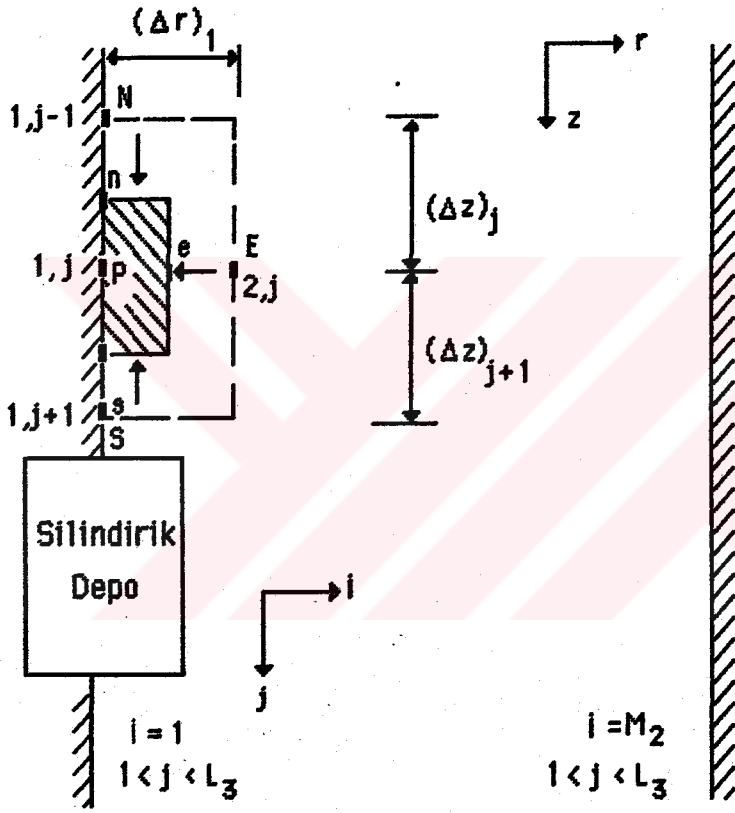
$$S_{02} = \sum_{i=2}^{M1-1} 2 [x_{i-1}(\Delta x)_i] T_{n_{1,L1-1}} \quad (4.3.2.15)$$

$$S_{03} = \sum_{i=2}^{M1-1} 2 [x_{i-1}(\Delta x)_{i-1}] T_{n_{1,L2+1}} \quad (4.3.2.16)$$

$$S_{04} = \sum_{j=L1+1}^{L2-1} 2(\Delta y)_j \quad (4.3.2.17)$$

$$S_{05} = \sum_{i=2}^{M1-1} 2 [x_{i-1}(\Delta x)_{i-1}] \quad (4.3.2.18)$$

4.3.3. Depo tarafındaki simetri yüzeyi üzerindeki düğüm noktaları için sonlu fark denkleminin eldesi



M_2 = Depodan uzak taraftaki simetri yüzeyindeki x -yönü düğüm noktası
 L_3 = y -yönünde en dipteki düğüm noktası

Şekil 4.3.3. Depo tarafındaki simetri yüzeyi için kontrol hacmi.

Şekil 4.3.3 'deki kontrol hacmi için enerji bilançosu aşağıdaki gibi ifade edilir :

$$\begin{aligned}
 -k \left[\pi \left(\frac{(\Delta r)_1}{2} \right)^2 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_n \right] &= \frac{dU}{dt} - k \left[\pi \left(\frac{(\Delta r)_1}{2} \right)^2 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_s \right] \\
 -k \left[2\pi \left(\frac{(\Delta r)_1}{2} \right) \frac{(\Delta z)_j + (\Delta z)_{j+1}}{2} \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_e \right] & \quad (4.3.3.1)
 \end{aligned}$$

Burada,

$$\frac{dU}{dt} = \rho c \left[\pi \left(\frac{(\Delta r)_1}{2} \right)^2 \frac{(\Delta z)_j + (\Delta z)_{j+1}}{2} \right] \frac{dT_{1,j}}{dt} \quad (4.3.3.2)$$

ifadesi kullanılıp, türev ifadelerinin sonlu farklarla yazılmasıyla,

$$\begin{aligned}
 -k \frac{(\Delta r)_1^2}{4} \frac{T_{1,j} - T_{1,j-1}}{(\Delta z)_j} &= \rho c \frac{(\Delta r)_1^2}{4} \left[\frac{(\Delta z)_j + (\Delta z)_{j+1}}{2} \right] \frac{dT_{1,j}}{dt} \\
 -k \frac{(\Delta r)_1^2}{4} \frac{T_{1,j+1} - T_{1,j}}{(\Delta z)_{j+1}} - k (\Delta r)_1 \frac{(\Delta z)_j + (\Delta z)_{j+1}}{2} \frac{T_{2,j} - T_{1,j}}{(\Delta r)_1} & \\
 & \quad (4.3.3.3)
 \end{aligned}$$

elde edilir. Bu denklem, (4.2.8) eşitliği ile verilen tanımlara göre boyutsuzlaştırılır ve elde edilen eşitliğe sonlu kompleks Fourier dönüşümü uygulanırsa,

$$A_{2,1,j} T_{n_{1,j}} - S_{2,1,j+1} T_{n_{1,j+1}} - N_{2,1,j-1} T_{n_{1,j-1}} - E_{2,2,j} T_{n_{2,j}} = 0 \quad (4.3.3.4)$$

bulunur. Burada $A_{2,1,j}$, $S_{2,1,j+1}$, $N_{2,1,j-1}$ ve $E_{2,2,j}$ terimleri için,

$$A_{2,1,j} = i \frac{2\pi n}{Y} + \frac{[(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}]}{2} + \frac{1}{(\Delta y)_j} + \frac{1}{(\Delta y)_{j+1}} + 2 \frac{[(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}]}{(\Delta x)_1^2} \quad (4.3.3.5)$$

$$S_{2,1,j+1} = 1/(\Delta y)_{j+1} \quad (4.3.3.6)$$

$$N_{2,1,j-1} = 1/(\Delta y)_j \quad (4.3.3.7)$$

$$E_{2,2,j} = 2 [(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}] / (\Delta x)_1^2 \quad (4.3.3.8)$$

ifadeleri geçerlidir.

4.3.4. Depodan uzak taraftaki simetri yüzeyi için sonlu fark denkleminin eldesi

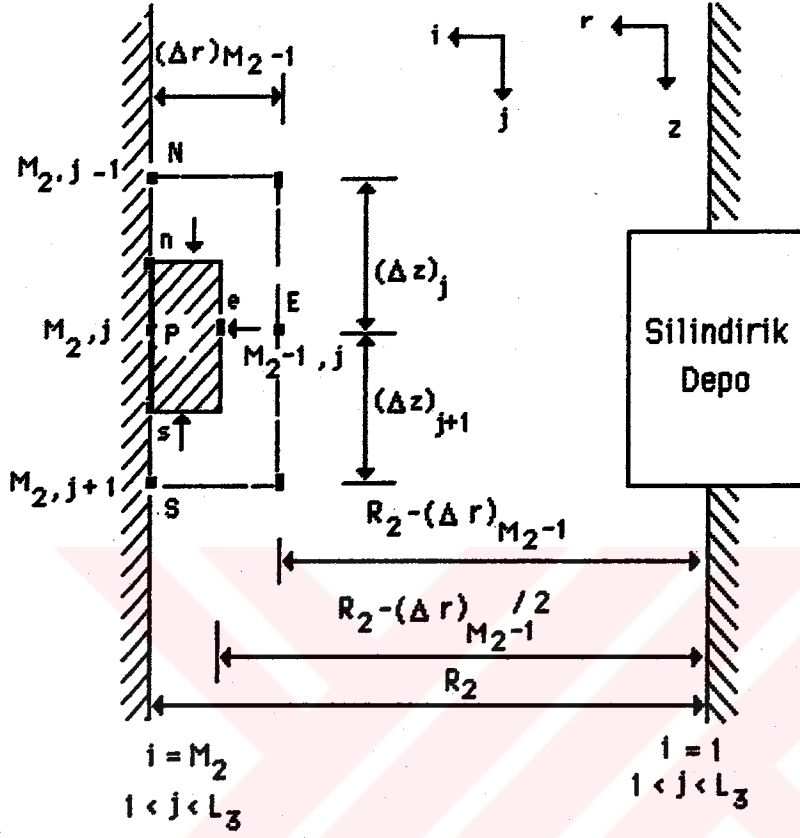
Şekil 4.3.4 'de gösterilen kontrol hacmi için enerji bilançosu şu eşitlik ile ifade edilir :

$$-k \left[2\pi \left[R_2 - \frac{(\Delta r)_{M2-1}}{2} \right] \frac{(\Delta z)_j + (\Delta z)_{j+1}}{2} \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_e \right]$$

$$-k \left[\pi R_2^2 - \pi \left[R_2 - \frac{(\Delta r)_{M2-1}}{2} \right]^2 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_n \right] =$$

$$-k \left[\pi R_2^2 - \pi \left[R_2 - \frac{(\Delta r)_{M2-1}}{2} \right]^2 \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_s \right] + \frac{dU}{dt}$$

(4.3.4.1)



Şekil 4.3.4. Silindirik depodan uzak taraftaki simetrik yüzeyi için kontrol hacmi.

Burada,

$$dU/dt = pc \left[\pi R_2^2 - \pi \left[R_2 - (\Delta r)_{M_2-1} / 2 \right] \left[(\Delta z)_j + (\Delta z)_{j+1} / 2 \right] \right] dT_{M_2j} / dt$$

(4.3.4.2)

şeklindedir ve (4.2.8) ifadesi ile verilen tanımlara göre boyutsuzlaştırma işlemi yapıлып elde edilen denkleme sonlu kompleks Fourier dönüşümü uygulanırsa,

$$A3_{M2,j} Tn_{M2,j} - E3_{M2-1,j} Tn_{M2-1,j} - N3_{M2,j-1} Tn_{M2,j-1} - S3_{M2,j+1} Tn_{M2,j+1} = 0 \quad (4.3.43)$$

bulunur. Burada $A3_{M2,j}$, $E3_{M2-1,j}$, $N3_{M2,j-1}$ ve $S3_{M2,j+1}$ katsayıları için,

$$A3_{M2,j} = \left[R - \frac{(\Delta x)_{M2-1}}{2} \right] \frac{(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}}{(\Delta x)_{M2-1}} +$$

$$\left[R(\Delta x)_{M2-1} - \frac{1}{4}(\Delta x)_{M2-1}^2 \right] \frac{1}{(\Delta y)_j} + \left[R(\Delta x)_{M2-1} - \frac{1}{4}(\Delta x)_{M2-1}^2 \right] \frac{1}{(\Delta y)_{j+1}}$$

$$+ \frac{R}{2}(\Delta x)_{M2-1} [(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}] + \frac{2\pi n}{Y}$$

(4.3.45)

$$E3_{M2-1,j} = \left[R - \frac{(\Delta x)_{M2-1}}{2} \right] \frac{(\Delta y)_j + (\Delta y)_{j+1}}{(\Delta x)_{M2-1}} \quad (4.3.46)$$

$$N3_{M2,j-1} = \left[R(\Delta x)_{M2-1} - \frac{1}{4}(\Delta x)_{M2-1}^2 \right] \frac{1}{(\Delta y)_j} \quad (4.3.47)$$

$$S3_{M2,j+1} = \left[R(\Delta x)_{M2-1} - \frac{1}{4}(\Delta x)_{M2-1}^2 \right] \frac{1}{(\Delta y)_{j+1}} \quad (4.3.48)$$

ifadeleri geçerlidir.

4.4. Sonlu Farklar Denklemleri İçin Oluşturulan Hücrelerin Yerleştirme Yöntemi

Yeraltındaki mevsimlik ısı deposunun dinamik davranışını belirlemek için deponun civarında daha küçük düğüm aralıklı hücreler, depodan uzaklaştıkça daha büyük düğüm aralıklarına sahip hücreler kullanılmıştır. Böylece daha az düğüm sayısı ile aynı hassasiyette depo sıcaklığı ve toprak içerisinde sıcaklık dağılımı hesaplanmıştır. Bu yolla bilgisayar süresinden kazanılmıştır. x_M incelenen bölgenin toplam uzunluğu olsun. Bu bölgenin M düğüm sayısına bölündüğünü varsayalım. Aralık sayısı $M-1$ kadar olacaktır. Düğümler arasındaki mesafe $(1+\beta_b)$ katsayısı kadar genişlesin. Buna göre,

$$\begin{aligned} (\Delta x)_1 &= x_2 - x_1 \\ (\Delta x)_i &= x_{i+1} - x_i \end{aligned} \quad (4.4.1)$$

$$\begin{aligned} (\Delta x)_2 &= (\Delta x)_1 (1 + \beta_b) \\ (\Delta x)_3 &= (\Delta x)_2 (1 + \beta_b) = (\Delta x)_1 (1 + \beta_b)^2 \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ (\Delta x)_{M-1} &= (\Delta x)_{M-2} (1 + \beta_b) = (\Delta x)_1 (1 + \beta_b)^{M-2} \end{aligned} \quad (4.4.2)$$

olarak; ayrıca,

$$\begin{aligned} (\Delta x)_1 + (\Delta x)_2 + \dots\dots\dots + (\Delta x)_{M-1} &= x_M \\ (\Delta x)_1 + (\Delta x)_1 (1 + \beta_b) + \dots\dots + (\Delta x)_1 (1 + \beta_b)^{M-2} &= x_M \end{aligned} \quad (4.4.3)$$

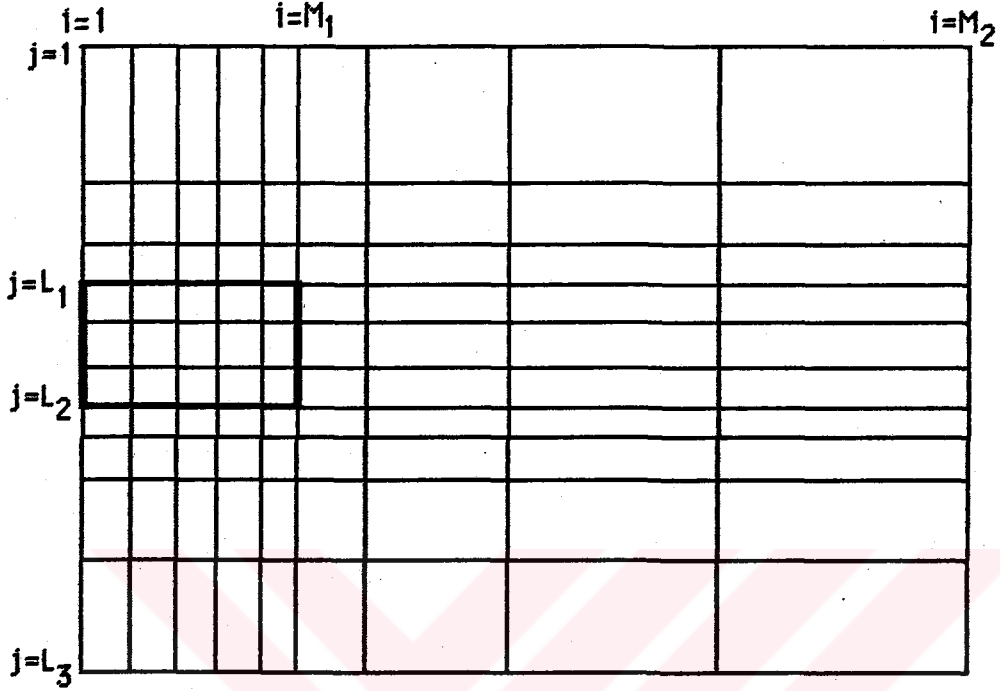
ifadeleri yazılabilir. Son ifade $(\Delta x)_1$ parantezine alınırsa,

$$1 + (1 + \beta_b) + \dots + (1 + \beta_b)^{M-2} = X_M / (\Delta x)_1 \quad (4.4.4)$$

elde edilir. Yukarıdaki eşitlikte $(\Delta x)_1$ terimi çekilirse,

$$(\Delta x)_1 = \frac{X_M}{1 + \sum_{n=1}^{M-2} (1 + \beta_b)^n} \quad (4.4.5)$$

bulunur. Dügümlere bölünecek boyutsuz mesafe, β_b katsayısı ve düğüm sayısı belirlendiği takdirde (4.4.5) eşitliği kullanılarak ilk düğüm aralığı hesaplanır. Diğer düğüm aralıkları ise (4.4.2) eşitliği yardımıyla bulunurlar. Benzer işlemler y yönünde de yapılarak düğüm noktalarının incelenen kesit üzerine tam oturması sağlanır. Yukarıdaki eşitlikte $\beta_b=0$ alınırsa düğüm aralıkları birbirine eşit olur. $\beta_b>0$ alındığında düğüm aralıkları gittikçe büyür. Mevsimlik ısı depolu sistemde toprak içerisindeki sıcaklık dağılımını bulmak için oluşturulan düğümlerin yerleştirme planı Şekil 4.4.1 'de gösterildiği gibidir. Toprak içerisine gömülmüş silindirik deponun toprak yüzeyine olan mesafesi büyük seçilmesi durumunda, depo üzerinde x yönünde eşit aralıklı düğümler, depodan uzaklaştıkça artan düğüm aralıkları kullanılmıştır. y yönünde üst yüzeyden depoya kadar gittikçe azalan düğüm aralıkları, depo yüzeyinde eşit aralıklı düğümler, depodan uzaklaştıkça artan düğüm aralıkları kullanılmıştır. Geliştirilen program sayesinde deponun geometrik özelliklerine göre, düğüm aralıkları farklı seçilmiştir.



Şekil 4.4.1. Düğümlerin yerleştirme düzeni.

4.5. Çözüm Adımları

Silindirik mevsimlik ısı depolu ısıtma sistemine ait çözümlerde asıl ilgi, deponun bulunduğu jeolojik ortamdaki geçici rejim ısı iletim problemine gösterilmiştir. Geliştirilen program, ana program ve dört alt programdan oluşmuştur. Ana programda deponun ve depolama ortamının geometrik boyutları tespit edildikten sonra bu değerler boyutsuzlaştırılmıştır. Boyutsuz geometri üzerine yerleştirilecek x ve y yönündeki düğüm sayıları ile büyütme katsayıları saptanmıştır. Programda değiştirilebilen Dimension tanımı kullanılmıştır. Düğüm sayısının gerçek boyutları ana programda, değişken boyutları alt programda verilerek değişken düğüm aralıkları için hesaplamalar yapılmıştır. Bu şekilde alt programdaki boyut tanımlaması değiştirilmeyerek işlem kolaylığı sağlanmıştır. Bölüm 4.4 'de sunulan yöntem kullanılarak düğüm noktaları, boyutsuz geometri üzerine

yerleştirilmiştir. Düğüm aralıkları ve EYRAD alt programında hesaplanan eğik yüzey güneş ışınım değerleri ile bazı meteorolojik değerler HESAP alt programına taşınmıştır. Konuta ait ısı hesapları, bu bölümde de aynen gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan toplayıcı eğik yüzey güneş ışınım değerlerinin belli bir oranda depoya ilave edildiği kabul edilerek, depo ısı kazancının aylık bileşenleri bulunmuştur. Bu alt programda sonlu farklar denklemlerinde kullanılan katsayılar, iç düğüm noktaları, depo tarafındaki simetri yüzeyindeki düğüm noktaları, depodan uzak taraftaki simetri yüzeyindeki düğüm noktaları ve depo üzerindeki düğüm noktaları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Alt ve üst düğüm noktalarının dışında tüm düğüm noktalarında,

$$n=0 \text{ için } T_n=(15.0, 0.0), \quad n>0 \text{ için } T_n=(0.0, 0.0)$$

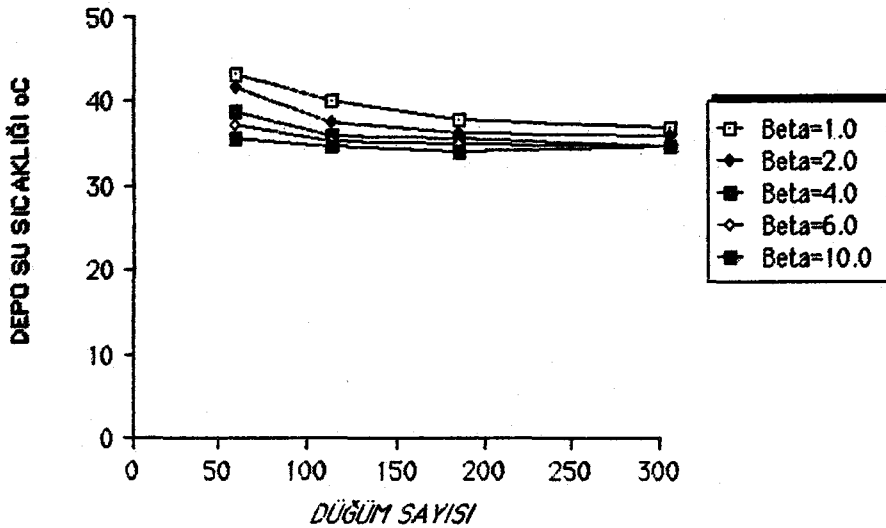
başlangıç değerleri alınmış ve tüm düğüm noktalarındaki T_n değerlerinin reel kısımlarının toplamı hesaplanmıştır. Depo tarafındaki ve depodan uzak taraftaki simetri yüzeyleri için katsayılar matrisi oluşturulduktan sonra, iç düğüm noktalarında iteratif işleme başlanmıştır. Bu işlemde elde edilen değerler kullanılarak depo üzerindeki düğüm noktalarının dönüştürülmüş sıcaklıkları hesaplanmıştır. Simetri yüzeyleri için sabitler vektörü oluşturulduktan sonra katsayılar matrisi de birlikte kullanılarak CMI ve CMM alt programlarında çözülmüş ve bu yüzeylerdeki düğüm noktalarının T_n değerleri bulunmuştur. Böylece tüm düğüm noktalarının T_n değerleri hesaplandıktan sonra reel kısımlarının toplamı bulunmuştur.

Başlangıçtaki toplam ile bulunan bu son toplam arasındaki fark bir ϵ 'dan büyük ise en son hesaplanan T_n değerleri esas alınarak iteratif işleme

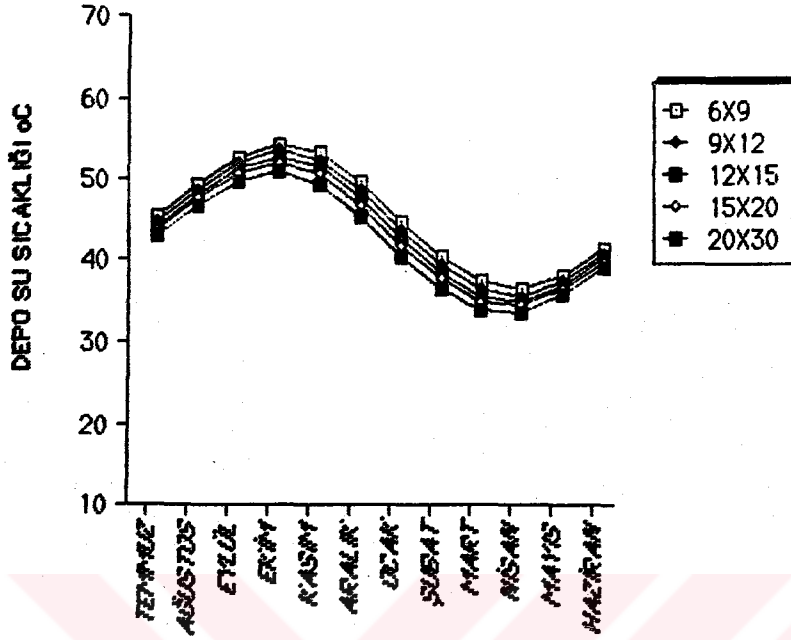
devam edilmiştir. Şayet bu fark ϵ 'dan küçük ise tüm düğüm noktalarındaki T_n değerlerinin kompleks Fourier dönüşümü yapılarak yıl boyunca boyutsuz zamanlar için gerçek sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Depo üzerindeki düğüm noktalarındaki sıcaklık depo su sıcaklığı alınarak, depoya giren net enerjinin yeni aylık bileşenleri saptanmıştır. Depo net enerji değerlerinin başlangıç varsayımı ile işlemler sonucu bulunan en son depo net enerji değerleri arasındaki farka bakılarak çözümün tamamlanıp tamamlanmadığına karar verilmiştir. Şayet bu fark başka bir ϵ 'dan büyük ise relaxation işlemi uygulanarak, yukarıda bahsedilen işlemler çözüm yakınsayınca kadar tekrarlanmıştır. Çözüm oluştuktan sonra elde edilen sıcaklık değerleri kullanılarak, ısı sistemine ait yıllık enerji

bilançoları hesaplanmıştır. Yukarıda ifade edilen çözüm adımlarının akış diyagramı ve program listesi Ek 2 'de verilmiştir.

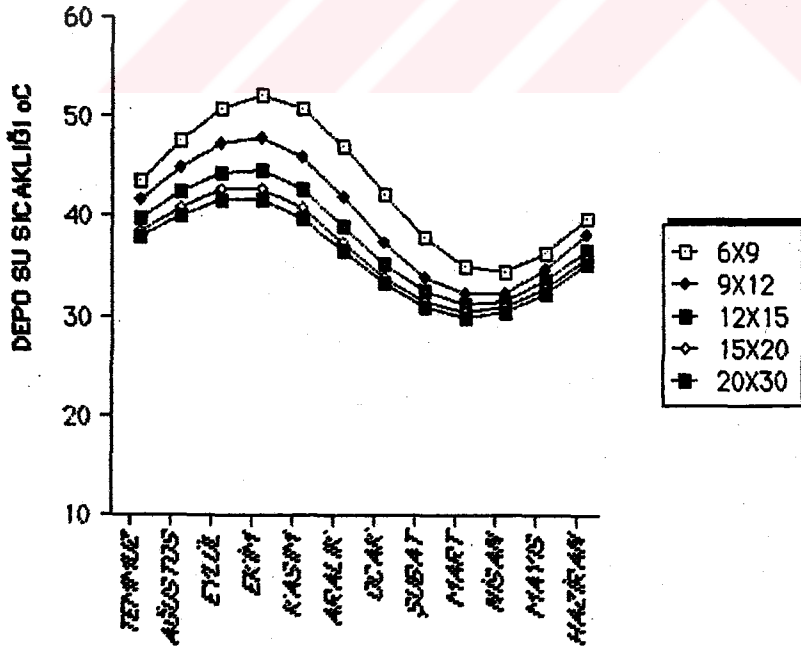
Sayısal çözümlerde, düğüm sayısına bağlı olarak meydana gelebilecek hata yüzdesinin hangi mertebede olduğunun araştırılması oldukça önemlidir. Özellikle yetersiz bilgisayar belleği ve yetersiz bilgisayar hızı nedeniyle daha az sayıda sonlu farklar düğümleri ile çözüm oluşturulduğundan, bu hata analizi önemlidir. Yıllık depo su sıcaklığının düğüm sayısı ve β_b büyültme katsayısına bağlı olarak değişimi, $V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$, $\beta=38.7^\circ$ ve killi toprak için Şekil 4.5.1 'de gösterilmiştir. Şekil 4.5.1 'den görüleceği gibi düğüm sayısı arttıkça depo su sıcaklığının yıllık ortalama değerleri β_b 'den bağımsız olarak belirli bir değere yaklaşmaktadır. $\beta_b=0.0$ ve $\beta_b=1.0$ için farklı düğüm sayılarında elde edilen depo su sıcaklığının yıl boyunca değişimi sırasıyla Şekil 4.5.2 ve Şekil 4.5.3 'de gösterilmiştir. $\beta_b=0.0$ halinde düğüm nokta sayısı arttıkça yıl boyunca sıcaklıkların değişimi daha yavaş, $\beta_b=1.0$ halinde ise bu değişim daha hızlı meydana gelmektedir. Şekil 4.5.3 'de görüleceği üzere $\beta_b = 1.0$ iken (15x20) ve (20x30) düğüm sayılarında sıcaklık değerleri üst üste çakışmaktadır. Dolayısıyla hesaplamalarda bilgisayar süresi ve bilgisayar hafızasından yararlanmak amacıyla (15x20) düğüm sayısı ve $\beta_b=1.0$ veya $\beta_b=2.0$ büyültme katsayıları kullanılmıştır. (20x30) düğüm sayısına göre meydana gelen hata yüzdesi Tablo 4.5.1 'de gösterilmiştir..



Şekil 4.5.1. Düğüm sayısına bağlı olarak yıllık ortalama depo su sıcaklığının değişimi.



Şekil 4.5.2. Depo su sıcaklığının düğüm sayısı ile değişimi ($\beta_0=0.0$).



Şekil 4.5.3. Depo su sıcaklığının düğüm sayısı ile değişimi ($\beta_0=1.0$).

Tablo 4.5.1. Farklı düğüm sayılarında meydana gelen hata yüzdesi

Düğüm sayısı	Hata yüzdesi $[1 - (T_{20 \times 30} / T)] \times 100$
(6x9)	17.37
(9x12)	10.47
(12x15)	5.35
(15x20)	2.08

Sıcaklık dağılımı çözümlerinde kabul edilen başlangıç değerleri değişik alındığında, farklı iterasyon sayılarında yaklaşım sağlanmaktadır. Başlangıç varsayımının uygun seçilmesi, iterasyon sayısını da azaltmaktadır. $1 < i < M_2$ ve $j=1$, $1 < i < M_2$ ve $j=L_3$ dışındaki tüm düğüm noktalarında,

$$n=0 \text{ için, } T_n=(15.0, 0.0) \text{ ve } n>0 \text{ için, } T_n=(0.0, 0.0)$$

dönüştürülmüş sıcaklık başlangıç şartları ile depoya verilen enerjinin aylık bileşenlerinin, aylık ortalama toplayıcı eğik yüzey ışınlam değerlerinin %50 'si olması halinde, elde edilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ve iterasyon sayısı, Tablo 4.5.2 'de gösterilmiştir. Isı akısı değerleri için $\epsilon=10^{-3}$, sıcaklıklar için ise $\epsilon=10^{-4}$, seçilerek çözümler yapılmıştır.

Tablo 4.5.2. Yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$)

12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98
16.30	16.30	16.30	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.28	16.28	16.26	16.17	15.73	15.12
20.40	20.39	20.37	20.34	20.29	20.23	20.23	20.23	20.22	20.20	20.12	19.85	18.84	16.73	15.61
26.58	26.54	26.42	26.21	25.93	25.57	25.57	25.55	25.51	25.37	24.91	23.45	20.20	16.98	15.73
31.71	31.66	31.52	31.25	30.78	29.99	29.98	29.94	29.82	29.45	28.19	25.01	20.59	17.05	15.76
33.79	33.77	33.72	33.62	33.38	32.68	32.66	32.59	32.37	31.62	29.44	25.48	20.70	17.07	15.77
34.50	34.49	34.48	34.45	34.39	34.11	34.07	33.95	33.57	32.42	29.81	25.63	20.74	17.07	15.78
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.67	34.49	33.98	32.67	29.92	25.68	20.75	17.07	15.78
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.60	34.30	33.44	31.21	26.68	21.03	17.12	15.81
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.61	34.34	33.57	31.53	27.12	21.18	17.16	15.84
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.61	34.34	33.57	31.54	27.14	21.21	17.19	15.86
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.60	34.30	33.45	31.23	26.73	21.10	17.20	15.88
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.67	34.49	33.99	32.69	29.98	25.77	20.86	17.20	15.90
34.50	34.50	34.48	34.46	34.39	34.12	34.08	33.96	33.58	32.45	29.86	25.72	20.85	17.20	15.90
33.80	33.79	33.74	33.64	33.40	32.71	32.69	32.62	32.40	31.66	29.50	25.58	20.82	17.19	15.90
31.76	31.71	31.57	31.30	30.83	30.06	30.05	30.01	29.89	29.52	28.28	25.13	20.73	17.19	15.91
26.71	26.67	26.55	26.35	26.07	25.72	25.71	25.70	25.65	25.51	25.06	23.61	20.38	17.17	15.92
20.72	20.71	20.69	20.65	20.61	20.55	20.55	20.55	20.54	20.52	20.44	20.17	19.17	17.07	15.94
17.05	17.05	17.05	17.04	17.04	17.04	17.04	17.04	17.04	17.03	17.03	17.01	16.92	16.49	15.87
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00

İterasyon Sayısı = 101

Tablo 4.5.6. Tablo 4.5.5 'deki başlangıç şartları kullanılarak elde edilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$)

12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98
16.34	16.34	16.34	16.34	16.34	16.33	16.33	16.33	16.33	16.33	16.32	16.30	16.19	15.75	15.13
20.44	20.44	20.41	20.38	20.33	20.27	20.27	20.27	20.26	20.24	20.16	19.88	18.87	16.76	15.62
26.61	26.57	26.44	26.24	25.96	25.60	25.60	25.58	25.54	25.40	24.94	23.47	20.23	17.00	15.74
31.73	31.68	31.54	31.27	30.80	30.01	30.00	29.96	29.85	29.47	28.21	25.04	20.61	17.07	15.78
33.80	33.79	33.74	33.63	33.40	32.70	32.68	32.61	32.39	31.64	29.46	25.51	20.73	17.09	15.79
34.51	34.51	34.49	34.47	34.40	34.12	34.09	33.97	33.58	32.44	29.83	25.65	20.76	17.09	15.79
34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.68	34.50	33.99	32.68	29.94	25.70	20.77	17.10	15.79
34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.71	34.61	34.31	33.46	31.23	26.70	21.05	17.15	15.82
34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.71	34.62	34.36	33.59	31.55	27.14	21.21	17.19	15.85
34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.71	34.62	34.36	33.59	31.55	27.16	21.23	17.21	15.87
34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.71	34.61	34.32	33.47	31.25	26.75	21.12	17.22	15.90
34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.75	34.68	34.51	34.00	32.71	30.00	25.79	20.89	17.22	15.91
34.51	34.51	34.50	34.47	34.41	34.13	34.09	33.98	33.59	32.46	29.88	25.75	20.88	17.22	15.91
33.82	33.80	33.75	33.65	33.42	32.73	32.71	32.64	32.42	31.68	29.52	25.61	20.85	17.22	15.92
31.77	31.73	31.59	31.32	30.86	30.08	30.07	30.03	29.91	29.54	28.30	25.15	20.75	17.21	15.92
26.74	26.70	26.58	26.38	26.10	25.75	25.74	25.73	25.68	25.54	25.09	23.64	20.41	17.20	15.93
20.76	20.75	20.73	20.70	20.65	20.59	20.59	20.59	20.58	20.56	20.48	20.20	19.20	17.09	15.96
17.10	17.09	17.09	17.09	17.09	17.08	17.08	17.08	17.08	17.08	17.07	17.05	16.95	16.50	15.88
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00

İterasyon Sayısı=101

sıcaklıkları ile çözüm için gerekli iterasyon sayıları Tablo 4.5.7, Tablo 4.5.8 ve Tablo 4.5.9 'da gösterilmiştir. Tablolardan görüleceği üzere üç farklı relaxation katsayısı için aynı sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Çözüm için gerekli iterasyon sayısı en düşük, $\alpha_R=0.3$ ve $\alpha_R=0.6$ iken sağlanmıştır. Gerek farklı sıcaklık dağılımları ile iterasyona başlama, gerekse farklı underrelaxation katsayıları kullanılması ile aynı çözümün elde edilmesi problemin çözüm yönteminin doğru olduğunu işaret edici mahiyettedir.

Tablo 4.5.7. $\alpha_p=0.1$ kullanılarak elde edilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ve aylık ortama depo su sıcaklıkları.

12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98
16.30	16.30	16.30	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.28	16.28	16.26	16.17	15.73	15.12
20.40	20.39	20.37	20.34	20.29	20.23	20.23	20.23	20.22	20.20	20.12	19.85	18.84	16.73	15.61
26.58	26.54	26.42	26.21	25.93	25.57	25.57	25.55	25.51	25.37	24.91	23.45	20.20	16.98	15.73
31.71	31.66	31.52	31.25	30.78	29.99	29.98	29.94	29.82	29.45	28.19	25.01	20.59	17.05	15.76
33.79	33.77	33.72	33.62	33.38	32.68	32.66	32.59	32.37	31.62	29.44	25.48	20.70	17.07	15.77
34.50	34.49	34.48	34.45	34.39	34.11	34.07	33.95	33.57	32.42	29.81	25.63	20.74	17.07	15.78
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.67	34.49	33.98	32.67	29.92	25.68	20.75	17.07
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.60	34.30	33.44	31.21	26.68	21.03	17.12
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.61	34.34	33.57	31.53	27.12	21.18	17.16
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.61	34.34	33.57	31.54	27.14	21.21	17.19
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.60	34.30	33.45	31.23	26.73	21.10	17.20
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.67	34.49	33.99	32.69	29.98	25.77	20.86	17.20
34.50	34.50	34.48	34.46	34.39	34.12	34.08	33.96	33.58	32.45	29.86	25.72	20.85	17.20	15.90
33.80	33.79	33.74	33.64	33.40	32.71	32.69	32.62	32.40	31.66	29.50	25.58	20.82	17.19	15.90
31.76	31.71	31.57	31.30	30.83	30.06	30.05	30.01	29.89	29.52	28.28	25.13	20.73	17.19	15.91
26.71	26.67	26.55	26.35	26.07	25.72	25.71	25.70	25.65	25.51	25.06	23.61	20.38	17.17	15.92
20.72	20.71	20.69	20.65	20.61	20.55	20.55	20.55	20.54	20.52	20.44	20.17	19.17	17.07	15.94
17.05	17.05	17.05	17.04	17.04	17.04	17.04	17.04	17.04	17.03	17.03	17.01	16.92	16.49	15.87
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00

<u>Temmuz</u>	<u>Ağustos</u>	<u>Eylül</u>	<u>Ekim</u>	<u>Kasım</u>	<u>Aralık</u>	<u>Ocak</u>	<u>Şubat</u>	<u>Mart</u>	<u>Nisan</u>	<u>Mayıs</u>	<u>Haziran</u>
36.69	39.00	40.57	40.59	38.65	35.41	32.16	29.88	28.85	29.31	31.31	34.04

İterasyon Sayısı=116

Tablo 4.5.8. $\alpha_R=0.3$ kullanılarak elde edilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ve aylık ortama depo su sıcaklıkları.

12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98
16.30	16.30	16.30	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.28	16.28	16.26	16.17	15.73	15.12
20.40	20.39	20.37	20.34	20.29	20.23	20.23	20.23	20.22	20.20	20.12	19.85	18.84	16.73	15.61
26.58	26.54	26.42	26.21	25.93	25.57	25.57	25.55	25.51	25.37	24.91	23.45	20.20	16.98	15.73
31.71	31.66	31.52	31.25	30.78	29.99	29.98	29.94	29.82	29.45	28.19	25.01	20.59	17.05	15.76
33.79	33.77	33.72	33.62	33.38	32.68	32.66	32.59	32.37	31.62	29.44	25.48	20.70	17.07	15.77
34.50	34.49	34.48	34.45	34.39	34.11	34.07	33.95	33.57	32.42	29.81	25.63	20.74	17.07	15.78
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.67	34.49	33.98	32.67	29.92	25.68	20.75	17.07	15.78
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.60	34.30	33.44	31.21	26.68	21.03	17.12	15.81
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.61	34.34	33.57	31.53	27.12	21.18	17.16	15.84
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.61	34.34	33.57	31.54	27.14	21.21	17.19	15.86
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.60	34.30	33.45	31.23	26.73	21.10	17.20	15.88
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.67	34.49	33.99	32.69	29.98	25.77	20.86	17.20	15.90
34.50	34.50	34.48	34.46	34.39	34.12	34.08	33.96	33.58	32.45	29.86	25.72	20.85	17.20	15.90
33.80	33.79	33.74	33.64	33.40	32.71	32.69	32.62	32.40	31.66	29.50	25.58	20.82	17.19	15.90
31.76	31.71	31.57	31.30	30.83	30.06	30.05	30.01	29.89	29.52	28.28	25.13	20.73	17.19	15.91
26.71	26.67	26.55	26.35	26.07	25.72	25.71	25.70	25.65	25.51	25.06	23.61	20.38	17.17	15.92
20.72	20.71	20.69	20.65	20.61	20.55	20.55	20.55	20.54	20.52	20.44	20.17	19.17	17.07	15.94
17.05	17.05	17.05	17.04	17.04	17.04	17.04	17.04	17.04	17.03	17.03	17.01	16.92	16.49	15.87
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00

<u>Temmuz</u>	<u>Ağustos</u>	<u>Eylül</u>	<u>Ekim</u>	<u>Kasım</u>	<u>Aralık</u>	<u>Ocak</u>	<u>Şubat</u>	<u>Mart</u>	<u>Nisan</u>	<u>Mayıs</u>	<u>Haziran</u>
36.69	39.00	40.57	40.59	38.64	35.40	32.15	29.87	28.85	29.31	31.31	34.04

İterasyon Sayısı=101

Tablo 4.5.9. $\alpha_R=0.6$ kullanılarak elde edilen yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ve aylık ortama depo su sıcaklıkları.

12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98
16.30	16.30	16.30	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.28	16.28	16.26	16.17	15.73	15.12
20.40	20.39	20.37	20.34	20.29	20.23	20.23	20.23	20.22	20.20	20.12	19.85	18.84	16.73	15.61
26.58	26.54	26.42	26.21	25.93	25.57	25.57	25.55	25.51	25.37	24.91	23.45	20.20	16.98	15.73
31.71	31.66	31.52	31.25	30.78	29.99	29.98	29.94	29.82	29.45	28.19	25.01	20.59	17.05	15.76
33.79	33.77	33.72	33.62	33.38	32.68	32.66	32.59	32.37	31.62	29.44	25.48	20.70	17.07	15.77
34.50	34.49	34.48	34.45	34.39	34.11	34.07	33.95	33.57	32.42	29.81	25.63	20.74	17.07	15.78
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.67	34.49	33.98	32.67	29.92	25.68	20.75	17.07	15.78
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.60	34.30	33.44	31.21	26.68	21.03	17.12	15.81
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.61	34.34	33.57	31.53	27.12	21.18	17.16	15.84
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.61	34.34	33.57	31.54	27.14	21.21	17.19	15.86
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.70	34.60	34.30	33.45	31.23	26.73	21.10	17.20	15.88
34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.73	34.67	34.49	33.99	32.69	29.98	25.77	20.86	17.20	15.90
34.50	34.50	34.48	34.46	34.39	34.12	34.08	33.96	33.58	32.45	29.86	25.72	20.85	17.20	15.90
33.80	33.79	33.74	33.64	33.40	32.71	32.69	32.62	32.40	31.66	29.50	25.58	20.82	17.19	15.90
31.76	31.71	31.57	31.30	30.83	30.06	30.05	30.01	29.89	29.52	28.28	25.13	20.73	17.19	15.91
26.71	26.67	26.55	26.35	26.07	25.72	25.71	25.70	25.65	25.51	25.06	23.61	20.38	17.17	15.92
20.72	20.71	20.69	20.65	20.61	20.55	20.55	20.55	20.54	20.52	20.44	20.17	19.17	17.07	15.94
17.05	17.05	17.05	17.05	17.04	17.04	17.04	17.04	17.04	17.04	17.03	17.01	16.92	16.49	15.87
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00

<u>Temmuz</u>	<u>Ağustos</u>	<u>Eylül</u>	<u>Ekim</u>	<u>Kasım</u>	<u>Aralık</u>	<u>Ocak</u>	<u>Şubat</u>	<u>Mart</u>	<u>Nisan</u>	<u>Mayıs</u>	<u>Haziran</u>
36.69	39.00	40.57	40.58	38.64	35.40	32.15	29.87	28.85	29.31	31.31	34.04

İterasyon Sayısı=101

5. MEVSİMLİK KÜRESEL VE SİLİNDİRİK ISI DEPOLU SİSTEMLER İÇİN SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

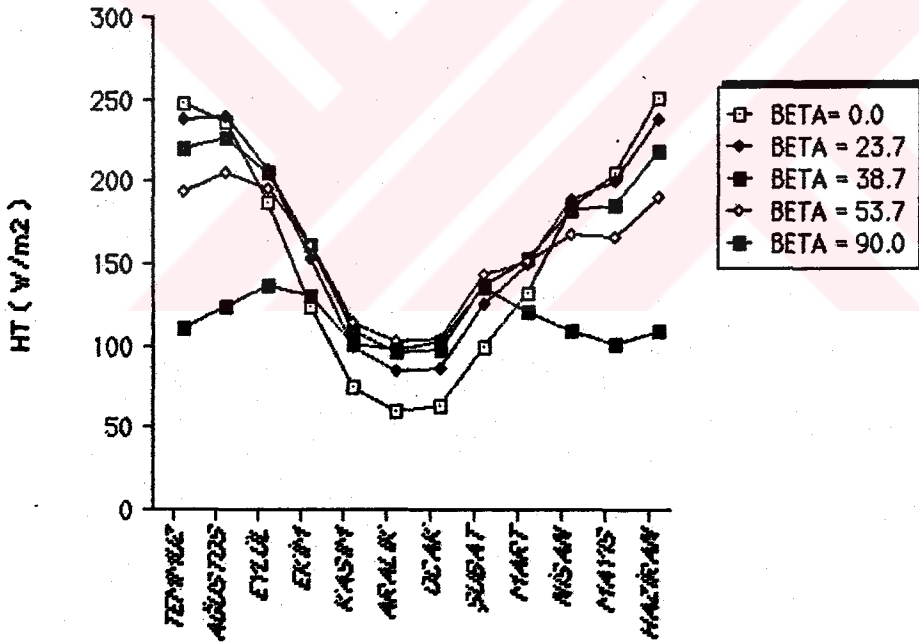
5.1. Giriş

Bu bölümde 3. ve 4. bölümlerde modellenmesi yapılmış olan güneş enerjisi takviyeli mevsimlik ısı depolu ve ısı pompalı ısıtma sistemi için bilgisayar simülasyonundan elde edilen sonuçlar, grafikler halinde sunulmuş ve değerlendirilmiştir. Sonuçlar, iki kısımda verilmiştir. Birinci kısımda küresel ısı depolu ısıtma sistemi, ikinci kısımda ise silindirik ısı depolu sistemin sonuçları verilmiştir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır.

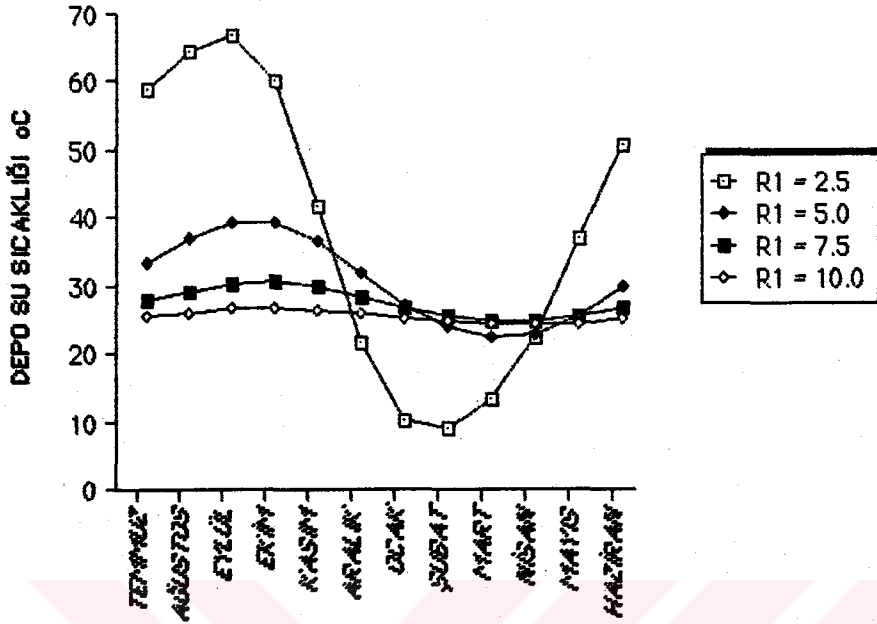
5.2. Küresel Isı Depolu Isıtma Sistemi İçin Sonuçlar

Elazığ ili için değişik toplayıcı açılarında eğik yüzey güneş ışınım değerlerinin aylık ortalamaları, Şekil 5.2.1 'de verilmiştir. Şekil 5.2.2 dört farklı depo hacmi için depo su sıcaklığının yıl boyunca değişimini vermektedir. Yıllık ortalama depo su sıcaklığı, depo hacmi arttıkça azalmaktadır. Depo çapı azaldıkça, sıcaklığın yıl boyunca genliği artmaktadır. Şekil 5.2.3 'de depo su sıcaklığının depo etrafındaki dört toprak türüne göre değişimi gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere, toprak türünün depo su sıcaklığı üzerinde etkisi oldukça fazladır. En yüksek depo su sıcaklığı kumda, en düşük depo su sıcaklığı ise granitte meydana gelmektedir. Yıl boyunca en yüksek sıcaklık, kum ve iri çakıllı topraklarda Ekim ayında, granit ve killi topraklarda ise Eylül ayında olmaktadır. En düşük depo su sıcaklığı ise kum ve iri çakıllı topraklarda Nisan ayında, granit ve killi topraklarda ise Mart ayında meydana gelmektedir. Şekil 5.2.4 'de değişik depo hacimleri için güneş toplayıcısı

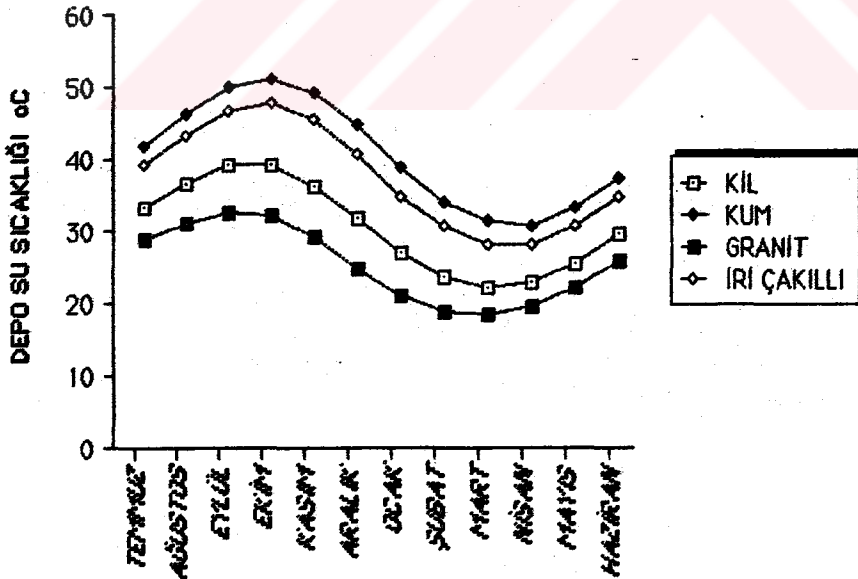
faydalı ısı akısının yıl boyunca olan değişimleri verilmiştir. Toplayıcı faydalı ısı akısının toprak türüne göre olan değişimi de Şekil 5.2.5 'de gösterilmiştir. En yüksek toplayıcı faydalı ısı akısı granitte, en düşüğü ise kumda meydana gelmektedir. Depo su sıcaklığı arttıkça, toplayıcı faydalı ısı akısı azalmaktadır. Şekil 5.2.6 'da aylık ortalama toplayıcı veriminin depo yarıçapı ile, Şekil 5.2.7 'de ise toprak türü ile değişimi gösterilmiştir. Yıllık toplayıcı verimi, depo çapıyla artmaktadır. Toplayıcı verimi depo su sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Maksimum toplayıcı verimi granitte, minimum toplayıcı verimi ise kumlu toprakta elde edilmiştir.



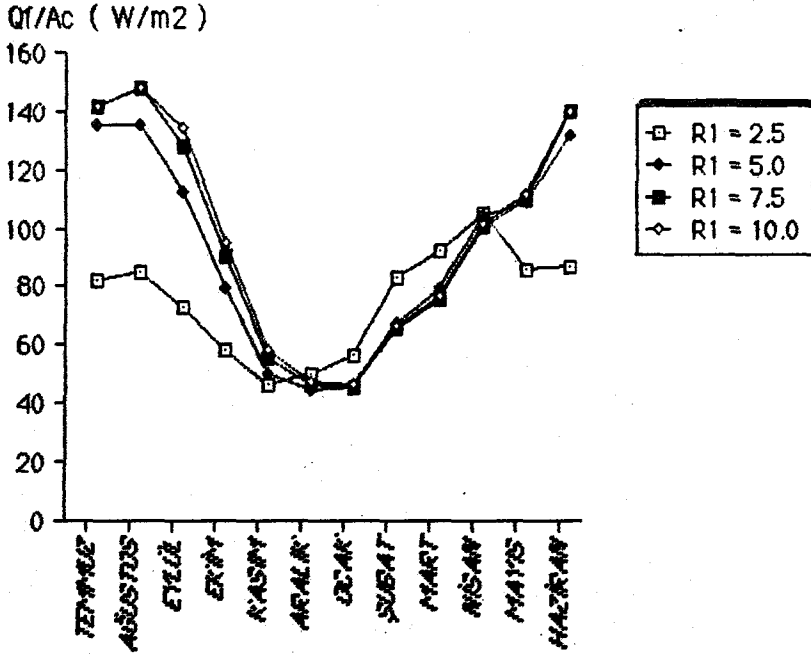
Şekil 5.2.1. Elazığ iline ait eğik yüzey ışınımın aylık ortalama değerlerinin toplayıcı eğim açısına göre değişimi. (Siyah boya - çift camlı toplayıcı)



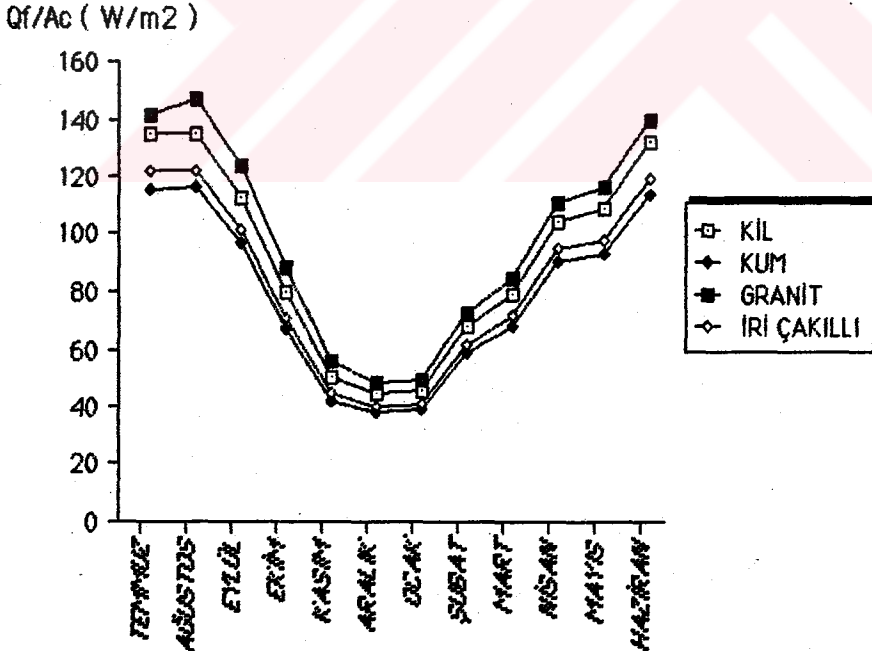
Şekil 5.2.2. Depo su sıcaklığının depo yarıçapı ile değişimi. (Killi toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $A_c=40m^2$, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10$ kW)



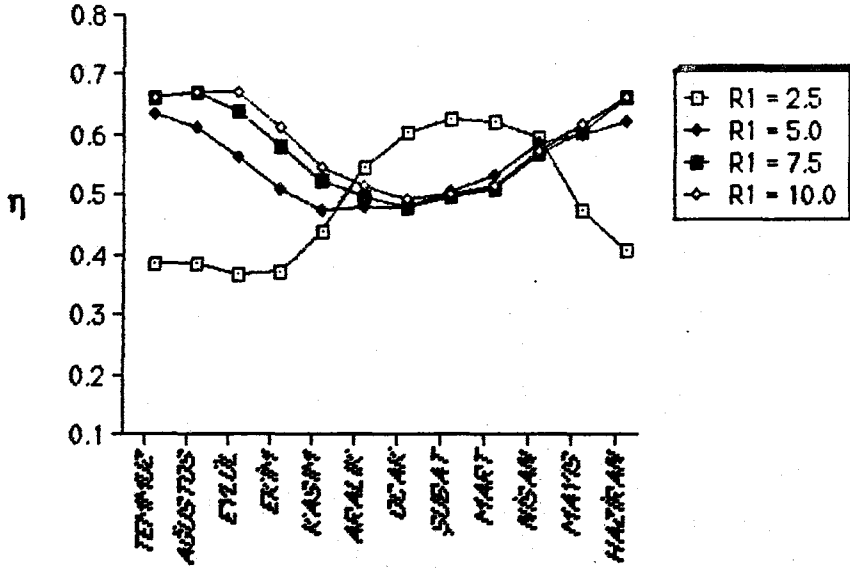
Şekil 5.2.3. Depo su sıcaklığının jeolojik yapı türüne göre değişimi. ($R_1=5.0$ m, $A_c=40$ m², Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10$ kW)



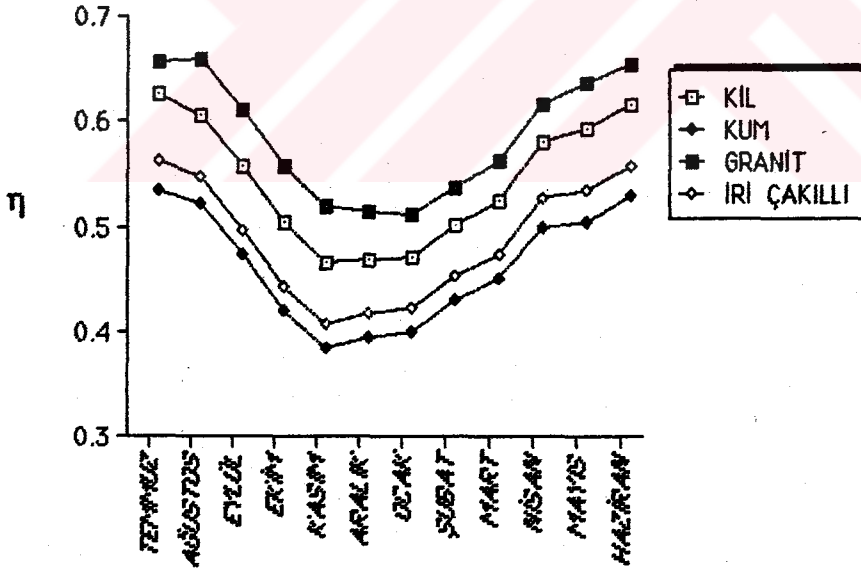
Şekil 5.2.4. Toplayıcı faydalı ısı akısının depo yarıçapı ile değişimi. (Killi toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $A_c=40 \text{ m}^2$, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)



Şekil 5.2.5. Toplayıcı faydalı ısı akısının jeolojik yapı türüne göre değişimi. ($R_1=5.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

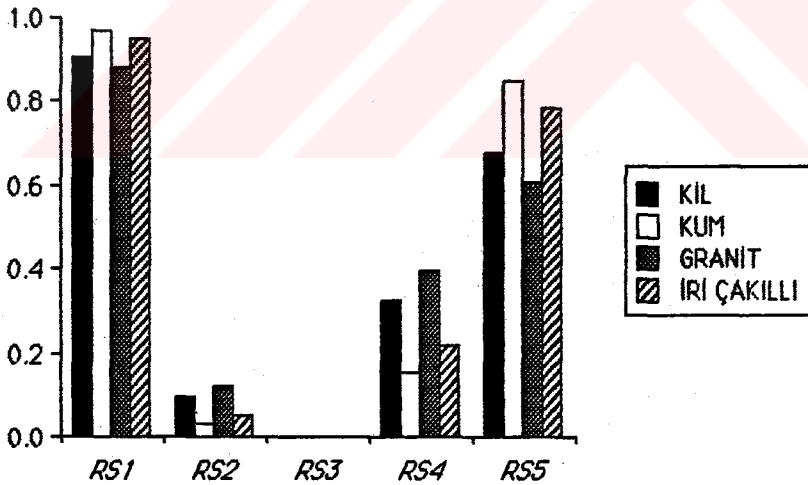


Şekil 5.2.6. Aylık ortalama toplayıcı veriminin depo yarıçapıyla değişimi. (Killi toprak, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $A_c=40 \text{ m}^2$, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

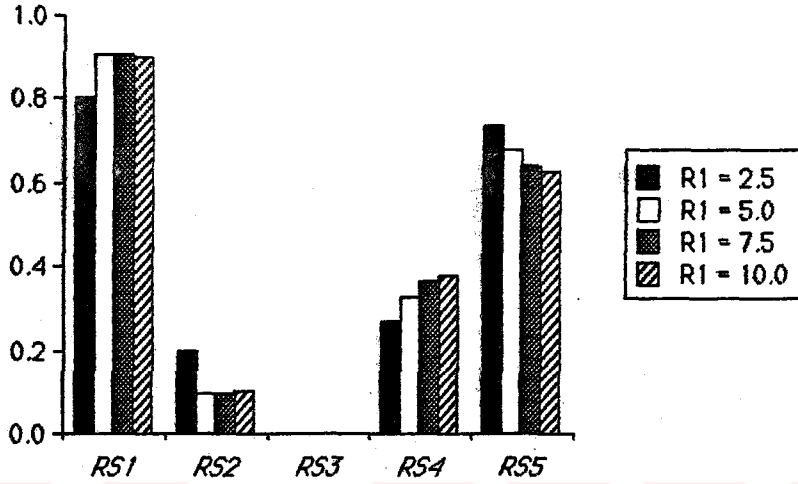


Şekil 5.2.7. Aylık ortalama toplayıcı veriminin toprak türüne göre değişimi. ($R_1=5.0 \text{ m}$, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $A_c=40 \text{ m}^2$, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

Şekil 5.2.8 'de RS_1, RS_2, RS_3, RS_4 ve RS_5 oranlarının toprak cinsine bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. RS_1 oranı kumlu toprakta en yüksek iken, granitli toprakta en küçük değerde kalmaktadır. RS_2 oranı kumlu toprakta en küçük iken, granitte en büyük değere ulaşmaktadır. RS_3 oranı tüm toprak türleri için sıfırdır. RS_4 oranı ise granitte en büyük, kumda en küçüktür. RS_5 oranı kumlu toprakta maksimum, granitte ise minimum olmaktadır. Şekil 5.2.9 'da bu oranların depo yarıçapı ile olan değişimi verilmiştir. RS_1 oranı $R_1=5.0$ m için maksimum, $R_1=2.5$ m için minimum olmaktadır. RS_2 oranı $R_1=5.0$ m için minimum, $R_1=2.5$ m için ise maksimum değere ulaşmaktadır. RS_4 oranı $R_1=2.5$ m için en düşük, $R_1=10.0$ m için en büyük olmaktadır. RS_5 oranı $R_1=10$ m için minimum, $R_1=2.5$ m için maksimum değer vermektedir. Şekil 5.2.8 ve Şekil 5.2.9 'da görüleceği üzere tek konutlu sisteme sağlanan enerjinin yaklaşık %60-85 'i kullanılmakta, %15-40 'ı ise toprağa ısı iletimi yolu ile kaybolmaktadır.

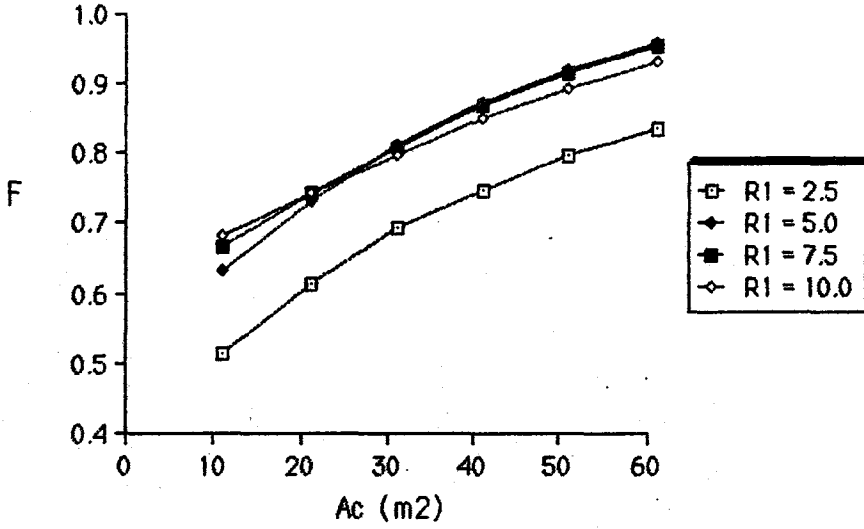


Şekil 5.2.8. RS_1, RS_2, RS_3, RS_4 ve RS_5 oranlarının depo dışındaki jeolojik ortama göre değişimi. ($R_1=5.0$ m, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $A_c=40$ m², $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10$ kW)

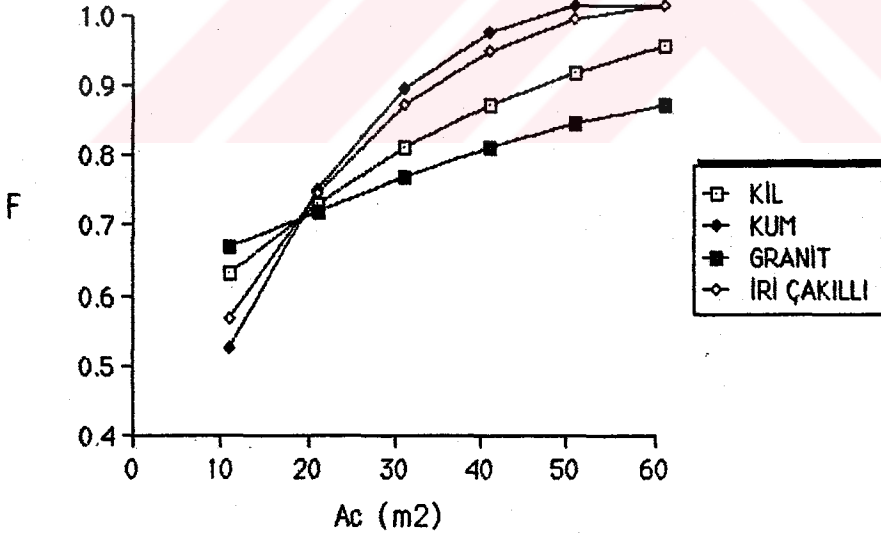


Şekil 5.2.9. RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 ve RS_5 oranlarının depo yarıçapı ile değişimi. (Kıllı toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $A_c=40 \text{ m}^2$, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

Yıllık güneş katkısının (F) depo yarıçapına bağlı olarak toplayıcı yüzey alanı ile değişimi, Şekil 5.2.10 'da gösterilmiştir. Toplayıcı yüzey alanı arttıkça F oranı da artmaktadır. En düşük F oranı $R_1=2.5 \text{ m}$ 'de elde edilirken, en yüksek F oranı küçük toplayıcı yüzey alanlarında $R_1=10.0 \text{ m}$ yarıçaplı, büyük toplayıcı yüzey alanlarında ise $R_1=5.0 \text{ m}$ yarıçaplı küresel depoda elde edilmektedir. Şekil 5.2.11 'de ise yıllık güneş katkısının (F) toprak türüne bağlı olarak toplayıcı yüzey alanı ile ilişkisi gösterilmiştir. $A_c=10 \text{ m}^2$ 'de en yüksek güneş katkısını granit verirken, en düşük güneş katkısını kumlu toprak vermektedir. $A_c=20 \text{ m}^2$ 'de toprak türünün önemi kalmamaktadır. 20 m^2 'den büyük toplayıcı yüzeylerinde en yüksek (F) oranını kum, en düşüğünü ise granit vermektedir.

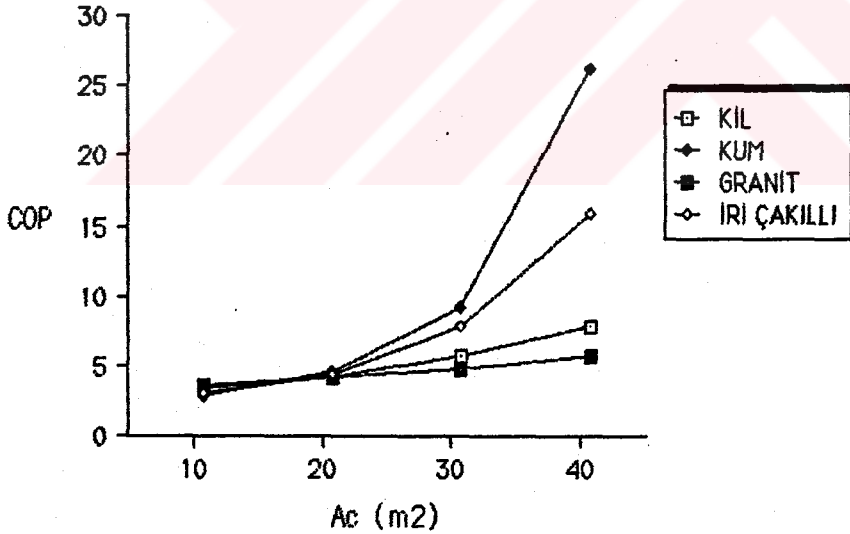


Şekil 5.2.10. Sistemin yıllık güneş katkısının (F), depo hacmi ile ilişkisi. (Killi toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10$ kW)

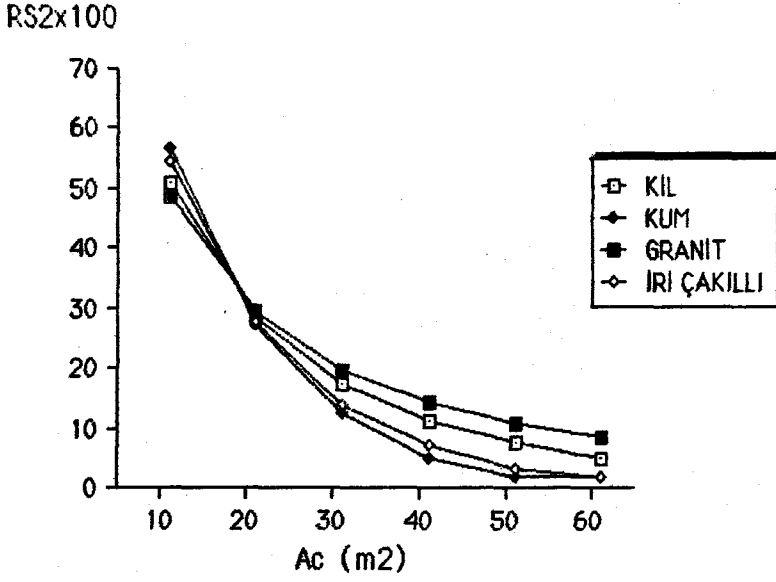


Şekil 5.2.11. Sistemin yıllık güneş katkısının (F) toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak jeolojik ortam ile ilişkisi. ($R_1=5.0$ m, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10$ kW)

Şekil 5.2.12 'de yıllık COP değerinin toprak türüne bağlı olarak toplayıcı yüzey alanı ile olan değişimi verilmiştir. Düşük toplayıcı yüzey alanlarında yıllık COP değerinde toprak türünün etkisi görülmezken, toplayıcı yüzey alanı arttıkça toprak türünün etkisi gittikçe artmaktadır. En yüksek COP değerini kumlu toprak, en düşüğünü ise granit vermektedir. $A_c=50 \text{ m}^2$ ve $A_c=60 \text{ m}^2$ toplayıcı yüzey alanlarında sistemdeki ısı pompasının çalışmasına gerek kalmamaktadır. RS_2 oranının toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak toprak türüne göre aldığı değerler, Şekil 5.2.13 'de verilmiştir. Toplayıcı yüzey alanı arttıkça bu oran sifıra doğru azalmaktadır. Bu oran düşük toplayıcı yüzey alanlarında kumlu toprakta, büyük toplayıcı yüzey alanlarında ise granitte maksimum olmaktadır. Düşük toplayıcı yüzey alanlarında minimum değeri granit, büyük toplayıcı yüzey alanlarında ise kumlu toprak vermektedir.

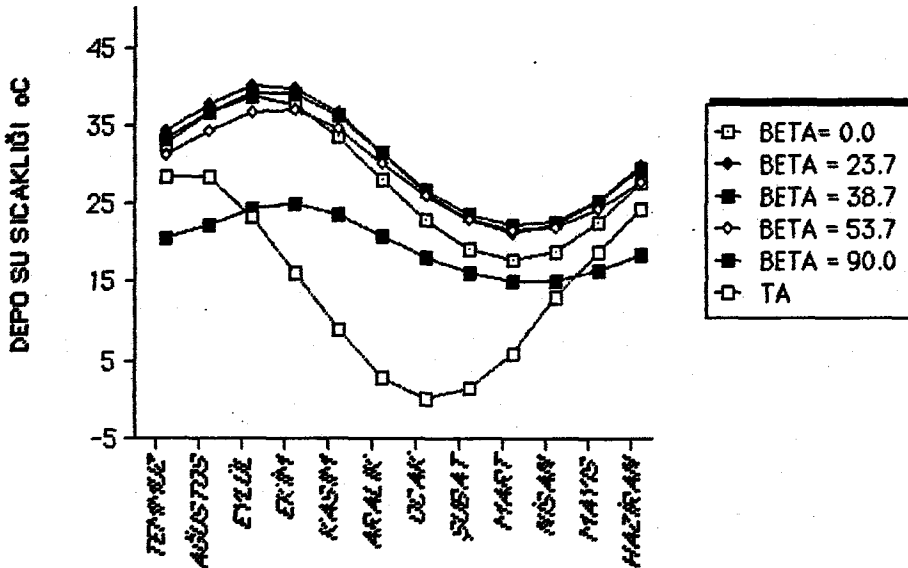


Şekil 5.2.12. Isı pompası yıllık COP 'sinin toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak değişimi.
($R_1=5.0 \text{ m}$, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

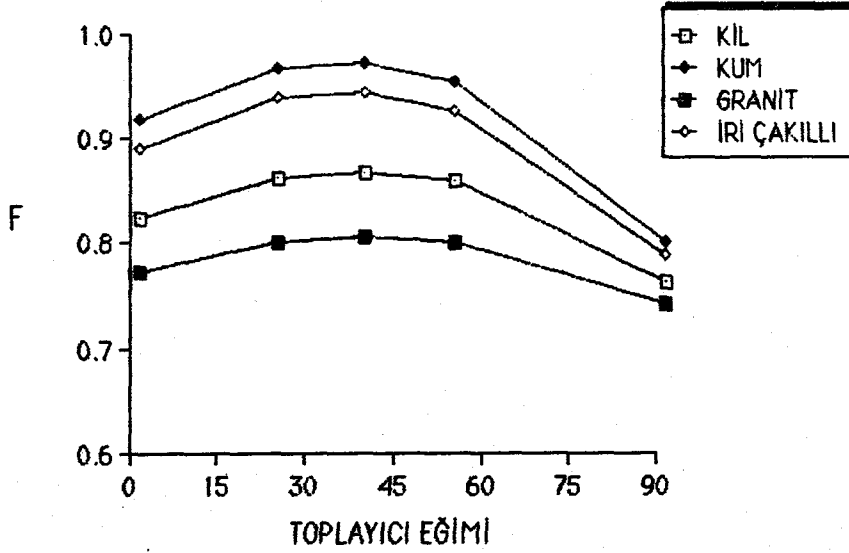


Şekil 5.2.13. RS_2 oranının toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak değişimi. ($R_1=5.0$ m, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10$ kW)

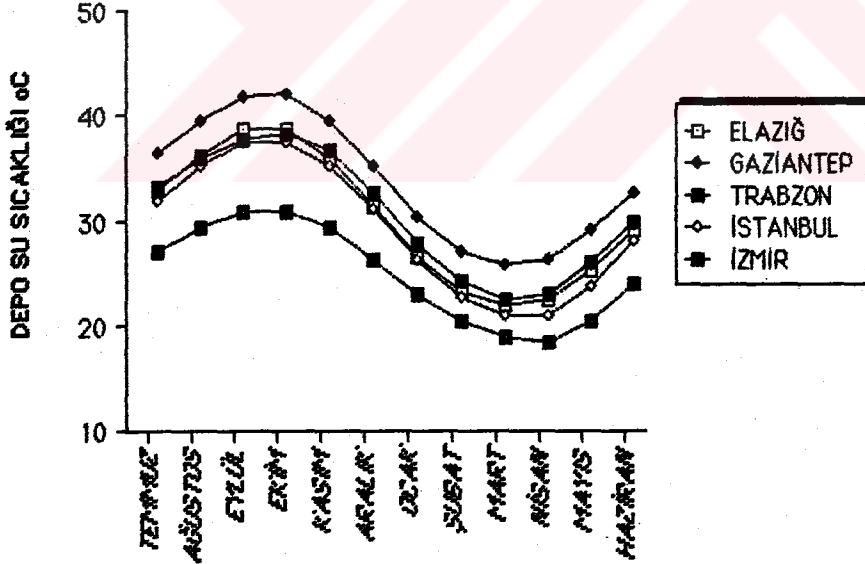
Şekil 5.2.14 'de aylık ortalama depo su sıcaklığının toplayıcı eğim açısına göre değişimi ve aylık ortalama çevre sıcaklığı (T_a) gösterilmiştir. En yüksek depo su sıcaklığı, toplayıcı eğim açısı enlem açısına eşit olduğunda elde edilmiştir. Yıllık güneş katkısının (F) toplayıcı eğim açısına göre değişimi ise Şekil 5.2.15 'de gösterilmiştir. En yüksek (F) değeri toplayıcı eğiminin enlem açısına eşit alındığında sağlanmıştır.



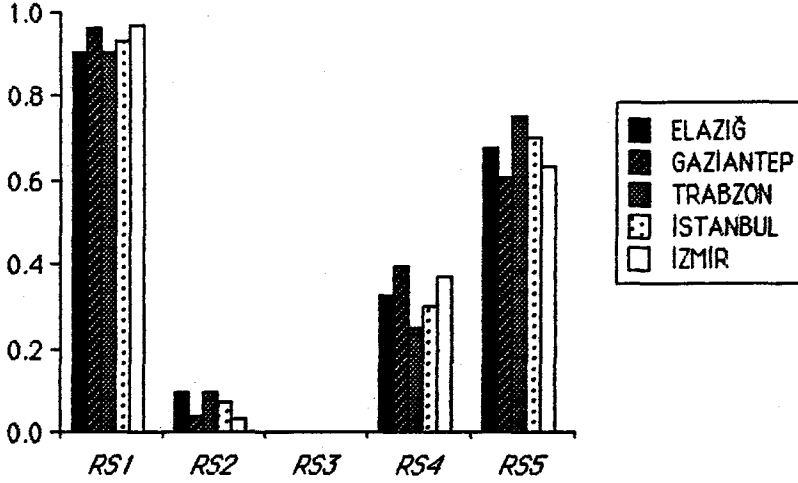
Şekil 5.2.14. Depo su sıcaklığının toplayıcı eğimi ile değişimi. ($R_1=5.0$ m, Killi toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $A_c=40$ m², tek konut, $Q_{kt}=10$ kW)



Şekil 5.2.15. Yıllık güneş katkısının (F) toplayıcı eğimi ile değişimi. ($R_1=5.0$ m, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $A_c=40$ m², tek konut, $Q_{kt}=10$ kW)



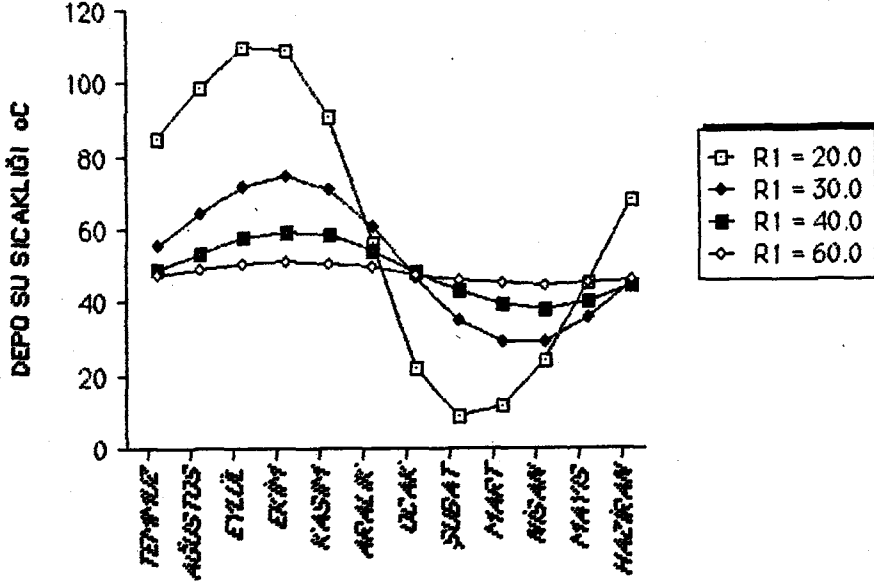
Şekil 5.2.16. Bazı illerde depo su sıcaklığının aylık ortalama değerleri ($R_1=5.0$ m, Killi toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $A_c=40$ m², $\beta=11$ in enlem açısı, tek konut, $Q_{kt}=10$ kW)



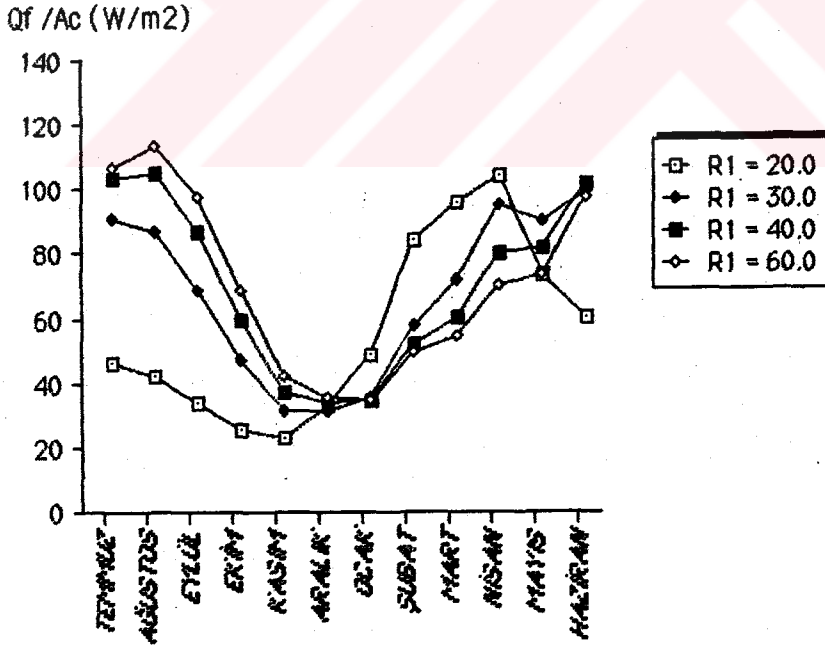
Şekil 5.2.17. RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 ve RS_5 oranlarının illere göre değişimi ($R_1=5.0$ m, Kılıf toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $A_c=40$ m², $\beta=11$ in enlem açısı, tek konut, $Q_{kt}=10$ kW)

Şekil 5.2.16 ve 5.2.17 'de beş il için depo su sıcaklığı ile RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 ve RS_5 oranlarının aldığı değerler gösterilmiştir. En yüksek depo su sıcaklığı Gaziantep' de, en düşük depo su sıcaklığı ise Trabzon' da elde edilmiştir.

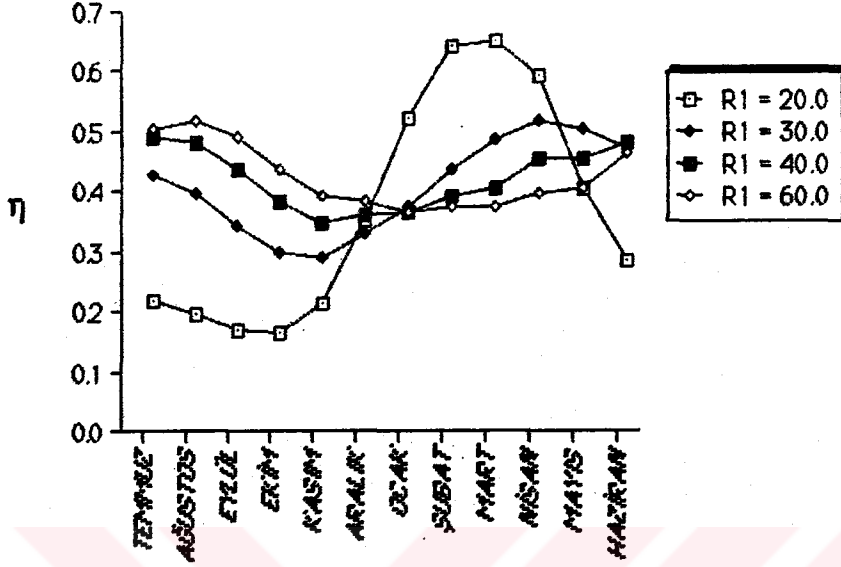
İncelenen ısıtma sisteminin 500 konutlu bir site olması halinde elde edilen sonuçlar, Şekil 5.2.18 - Şekil 5.2.24 'de gösterilmiştir. Şekil 5.2.18 'de depo su sıcaklığının depo hacmine bağlı olarak yıl boyunca değişimi gösterilmiştir. Depo yarıçapı arttıkça deponun yıllık ortalama sıcaklığı düşmektedir. Küçük hacimli depoda depo sıcaklığının yıl boyunca genliği daha büyük olmaktadır. Toplayıcı faydalı ısı akısının depo çapı ile değişimi Şekil 5.2.19 'da, aylık ortalama toplayıcı veriminin depo çapı ile değişimi de Şekil 5.2.20 'de gösterilmiştir. Depo hacminin toplayıcı faydalı ısı akısı üzerinde tesiri fazladır. $R_1=20$ m 'de en yüksek toplayıcı verimi Mart ayında, $R_1=60$ m 'de ise Ağustos ayında meydana gelmektedir.



Şekil 5.2.18. Depo su sıcaklığının depo hacmine göre değişimi. (Killi toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, $A_c=40 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW/konut}$)

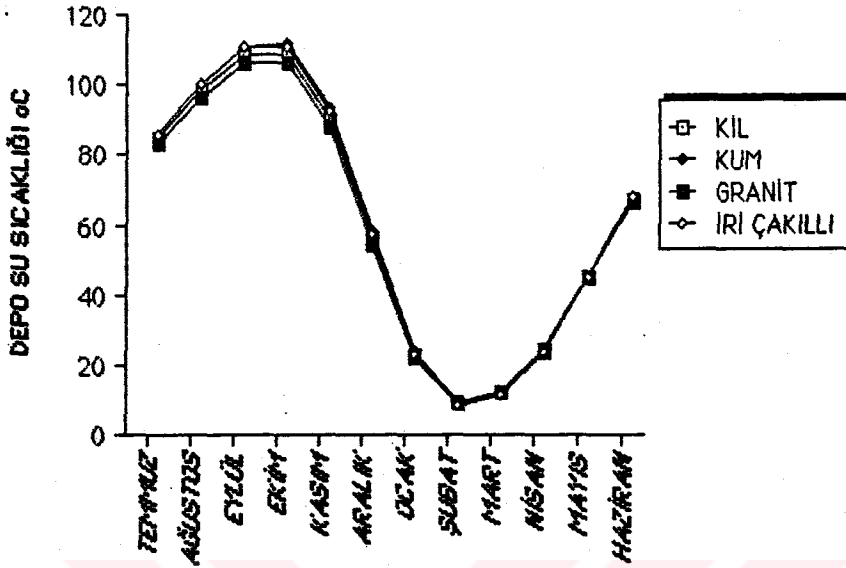


Şekil 5.2.19. Toplayıcı faydalı ısı akısının depo hacmine göre değişimi. (Killi toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, $A_c=40 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW/konut}$)

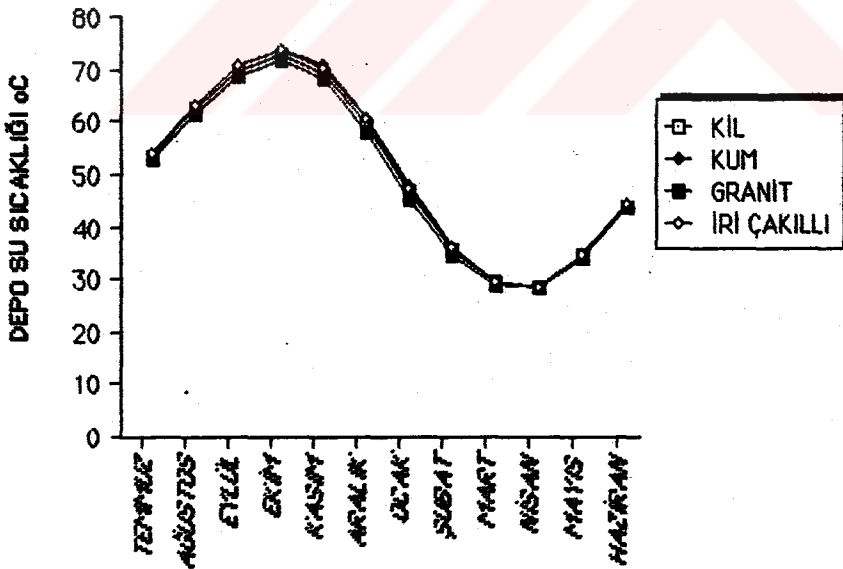


Şekil 5.2.20. Aylık ortalama toplayıcı veriminin depo hacmine göre değişimi. (Kilitli toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, $A_c=40$ m²/konut, 500 konut, $Q_{kt}=10$ kW/konut)

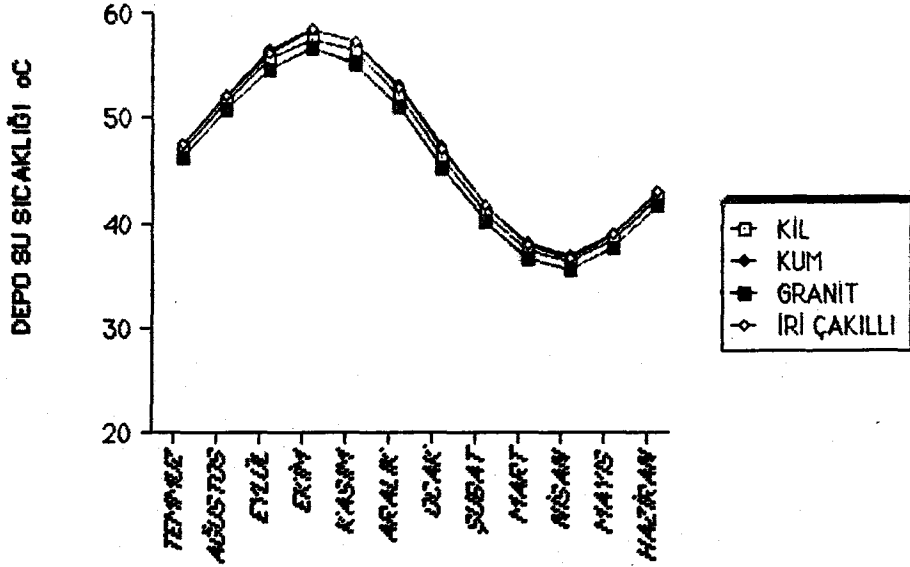
Şekil 5.2.21, Şekil 5.2.22, Şekil 5.2.23 ve Şekil 5.2.24 'de sırasıyla depo yarıçapı $R_1=20$ m, $R_1=30$ m, $R_1=40$ m ve $R_1=60$ m iken depo su sıcaklığının depo etrafındaki jeolojik ortam türüne bağlı olarak yıl boyunca değişimini vermektedir. Şekillerden görüleceği üzere $R_1=20$ m, $R_1=30$ m ve $R_1=40$ m yarıçaplı küresel depoya sahip sistemlerde, deponun bulunduğu jeolojik ortamın önemi bulunmamaktadır. $R_1=60$ m iken jeolojik yapının depo su sıcaklığı üzerindeki etkisi daha belirgin hale gelmektedir. Toplu konut sitesinin ısı hesaplarında, depo çapı arttıkça depo su sıcaklığı genliğinin azaldığı saptanmıştır.



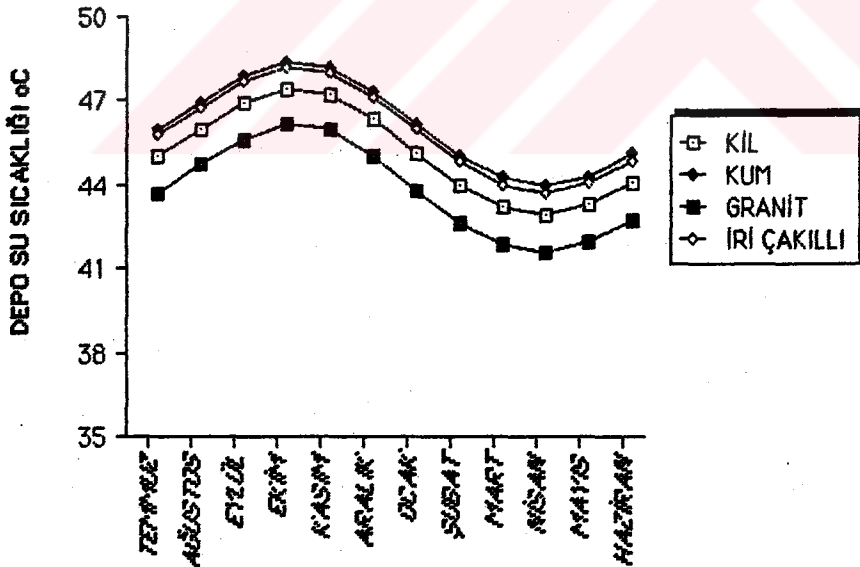
Şekil 5.2.21. Depo su sıcaklığının toprak türüne göre değişimi. ($R_1=20$ m, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, $A_c=40$ m²/konut, 500 konut, $Q_{kt}=10$ kW/konut)



Şekil 5.2.22. Depo su sıcaklığının toprak türüne göre değişimi. ($R_1=30$ m, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, $A_c=40$ m²/konut, 500 konut, $Q_{kt}=10$ kW/konut)

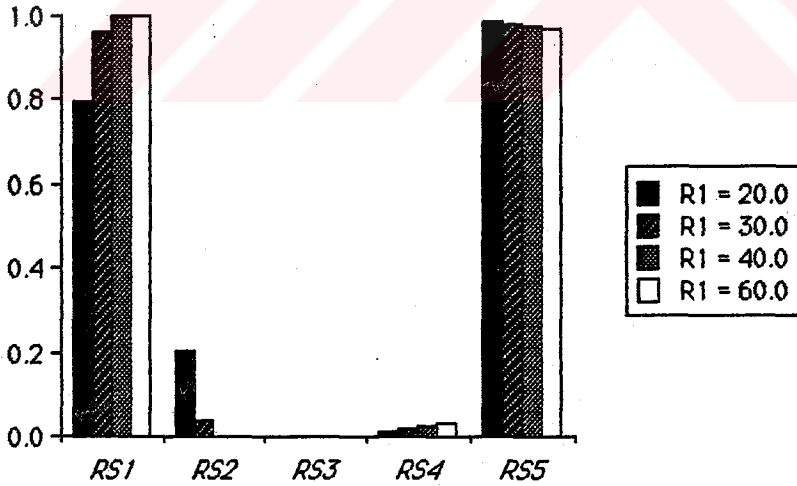


Şekil 5.2.23. Depo su sıcaklığının toprak türüne göre değişimi. ($R_1=40$ m, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, $A_c=40$ m²/ konut, 500 konut, $Q_{kt}=10$ kW/konut)

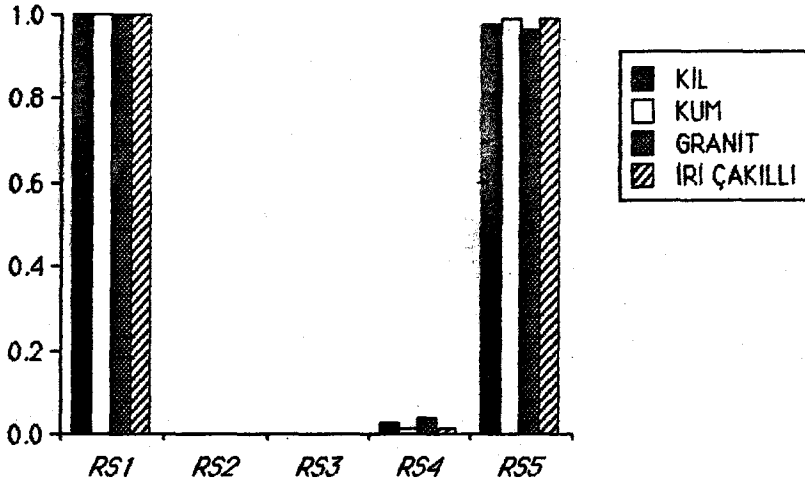


Şekil 5.2.24. Depo su sıcaklığının toprak türüne göre değişimi. ($R_1=60$ m, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, $A_c=40$ m²/ konut, 500 konut, $Q_{kt}=10$ kW/konut)

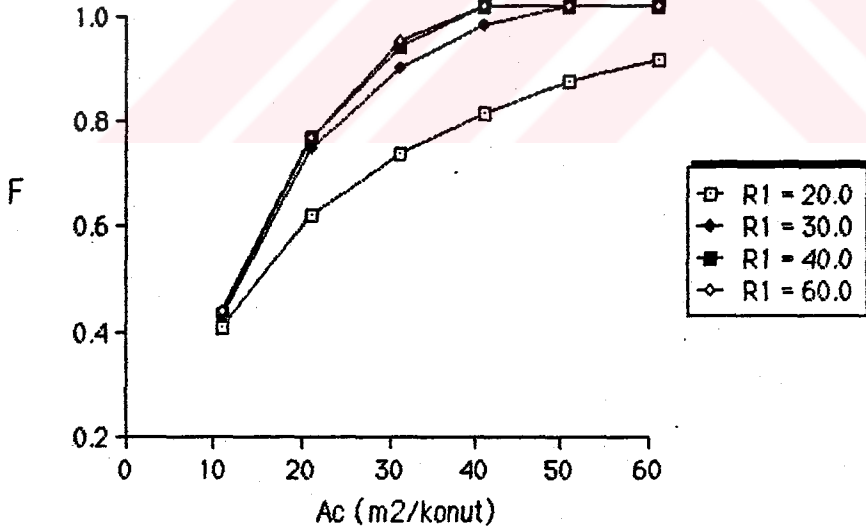
Büyük hacimli depoya sahip 500 konutlu sitenin ısı hesaplarında, RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 ve RS_5 oranlarının farklı parametrelere göre değişimi, Şekil 5.2.25 - 5.2.27 'de gösterilmiştir. Depo çapının bu oranlara etkisi Şekil 5.2.25 'de verilmiştir. RS_1 oranı depo çapıyla artmaktadır. RS_2 oranı ise artan depo çapı ile azalmaktadır. RS_4 oranı artan depo çapı ile artmakta, RS_5 oranı artan depo çapı ile azalmaktadır. Depo hacminin bu oranlar üzerindeki etkisi oldukça fazladır. Bu oranlar üzerinde toprak türünün etkisi Şekil 5.2.26 'da gösterilmiştir. Toprak türünün bu oranlar üzerindeki etkisi önemsiz derecededir. Yıllık güneş katkısının toplayıcı yüzey alanı ile değişimi farklı depo yarıçapları için Şekil 5.2.27 'de verilmiştir. Toplayıcı yüzey alanı arttıkça F artmaktadır. $A_c=40 \text{ m}^2$ iken $R_1=20 \text{ m}$ için $F=0.79$, $R_1=30 \text{ m}$ için $F=0.96$, $R_1=40 \text{ m}$ ve $R_1=60 \text{ m}$ için ise $F=1.0$ bulunmuştur. $A_c>50 \text{ m}^2$ olduğunda $R_1=30$, $R_1=40$ ve $R_1=60 \text{ m}$ yarıçaplı küresel depolu sistemlerde %100 'lük yıllık güneş katkısı sağlandığı görülmektedir.



Şekil 5.2.25. RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 ve RS_5 oranlarının depo hacmine göre değişimi. (Killi toprak, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, $A_c=40 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}/\text{konut}$)



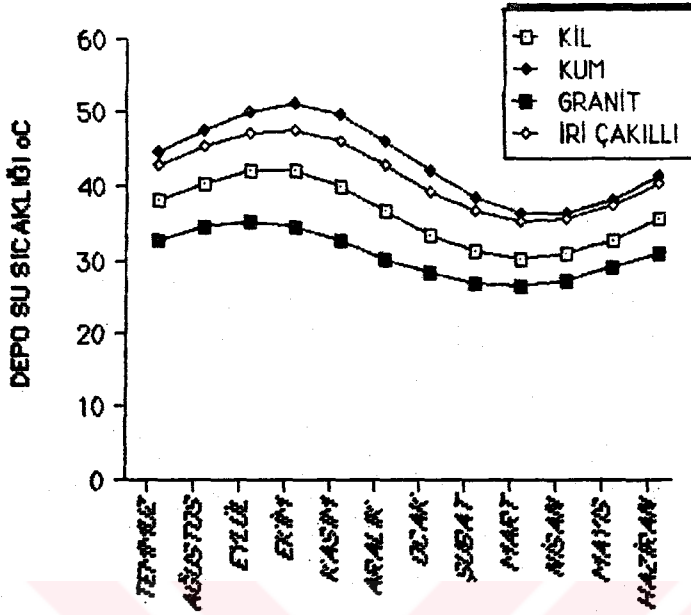
Şekil 5.2.26. RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 ve RS_5 oranlarının toprak türüne göre değişimi.
($R_1=40.0$ m, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, $A_c=40$ m²/konut, 500 konut, $Q_{kt}=10$ kW/konut)



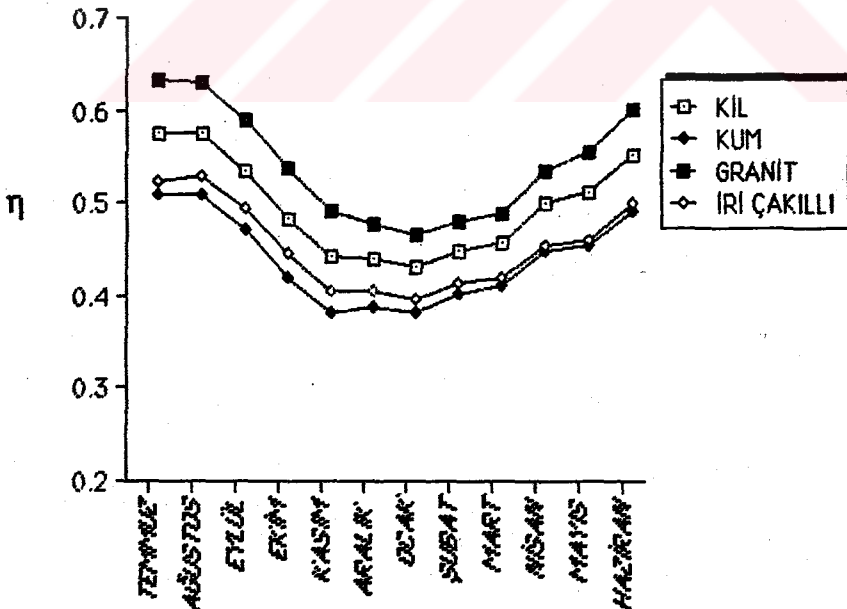
Şekil 5.2.27. Yıllık güneş katkısının (F) toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak depo hacmi ile değişimi. (Killi toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, 500 konut, $Q_{kt}=10$ kW/konut)

5.3. Silindirik Isı Depolu Isıtma Sistemi İçin Sonuçlar

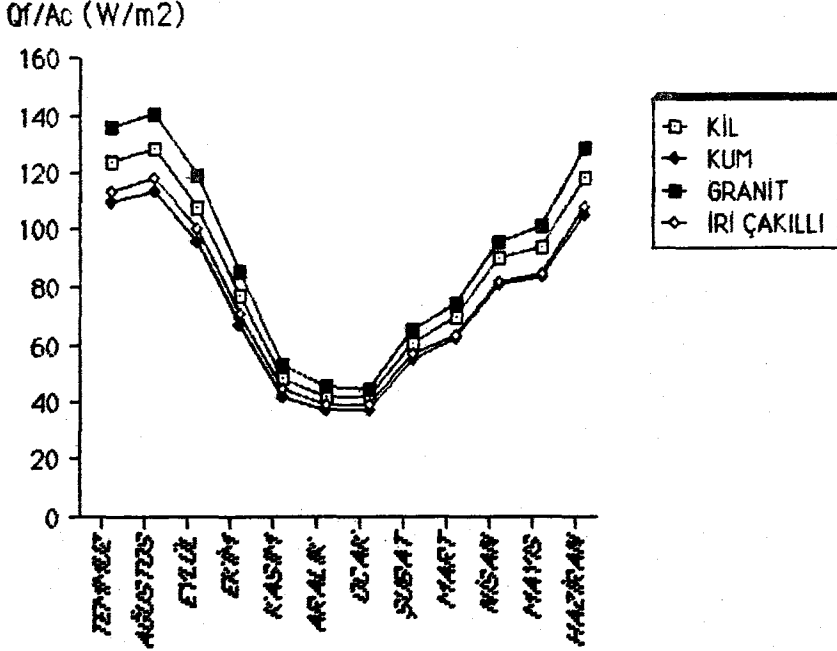
Şekil 5.3.1 'de, farklı jeolojik yapılar için depo su sıcaklığının yıl boyunca değişimi gösterilmiştir. En yüksek depo su sıcaklığı kumlu toprakta, en düşük depo su sıcaklığı granitte elde edilmiştir. Yıl boyunca en yüksek depo su sıcaklığı kumlu ve iri çakıllı topraklarda Ekim ayında, granit ve killi topraklarda ise Eylül ayında meydana gelmektedir. En düşük depo su sıcaklığı ise bütün toprak türlerinde Mart ayında meydana gelmektedir. Toprak türünün aylık ortalama toplayıcı verimine etkisi Şekil 5.3.2 'de, toplayıcı faydalı ısı akısına etkisi ise Şekil 5.3.3 'de gösterilmiştir. En yüksek toplayıcı verimi granitte, en düşük toplayıcı verimi ise kumlu toprakta meydana gelmiştir. En yüksek toplayıcı verimi Temmuz - Ağustos aylarında, en düşük toplayıcı verimi ise Ocak ayında oluşmuştur. Toplayıcı faydalı ısı akısı en yüksek granitte, en düşüğü ise kumlu toprakta meydana gelmiştir. Toplayıcı faydalı ısı akısı tüm toprak türleri için Ağustos ayında en yüksek, Aralık - Ocak aylarında ise en düşük olmuştur. Şekil 5.3.4 'de ise aylık ortalama \bar{T} değerlerinin dört farklı toprak türü için yıl boyunca değişimi gösterilmiştir. En yüksek \bar{T} Temmuz ayında granitte, en düşük \bar{T} ise Kasım ayında kumlu toprakta elde edilmiştir. Toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak; depo su sıcaklığının, toplayıcı veriminin, toplayıcı faydalı ısı akısının yıl boyunca değişimleri sırasıyla Şekil 5.3.5, Şekil 5.3.6 ve Şekil 5.3.7 'de gösterilmiştir. Toplayıcı yüzey alanı arttıkça depo su sıcaklığı artmakta, toplayıcı verimi ve toplayıcı faydalı ısı akısı azalmaktadır. Şekil 5.3.8 'de beş farklı depo hacmi için, depo su sıcaklığının yıl boyunca değişimi verilmiştir. Bu depolardan $V=653 \text{ m}^3$ hacimli olanda yükseklik/çap oranı 1.6 iken, diğerlerinde bu oran 1.0 'dır. Küçük hacimli depolarda, depo su sıcaklığının yıllık ortalama değeri ve genliği daha yüksektir. Depo hacmi arttıkça yıllık ortalama su sıcaklığı ve genlik düşmektedir. Toplayıcı veriminin ve toplayıcı faydalı ısı akısının depo hacmine bağlı olarak değişimi sırasıyla Şekil 5.3.9 ve Şekil 5.3.10 'da gösterilmiştir. En yüksek toplayıcı verimi $V=50 \text{ m}^3$ 'lik depo için Şubat ayında, $V=3217 \text{ m}^3$ 'lik depo için ise Ağustos ayında elde edilmiştir. En düşük toplayıcı verimi $V=50 \text{ m}^3$ 'lik depo için Ağustos ayında, $V=3217 \text{ m}^3$ 'lik depo için ise Ocak ayında elde edilmiştir. En yüksek toplayıcı faydalı ısı akısı bütün depo hacimleri için Ağustos ayında, en düşüğü ise Aralık ayında sağlanmıştır.



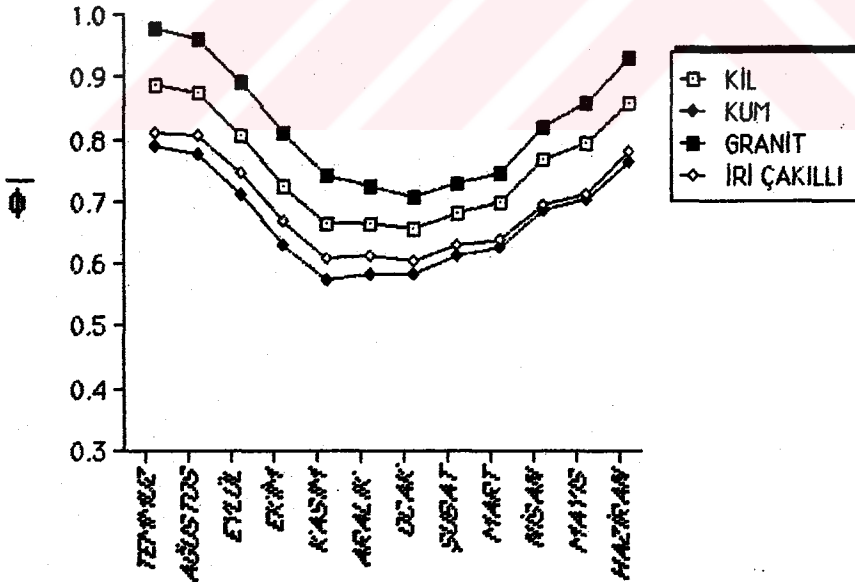
Şekil 5.3.1. Silindirik depolu ısıtma sisteminde toprak türünün depo su sıcaklığına etkisi ($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$ Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)



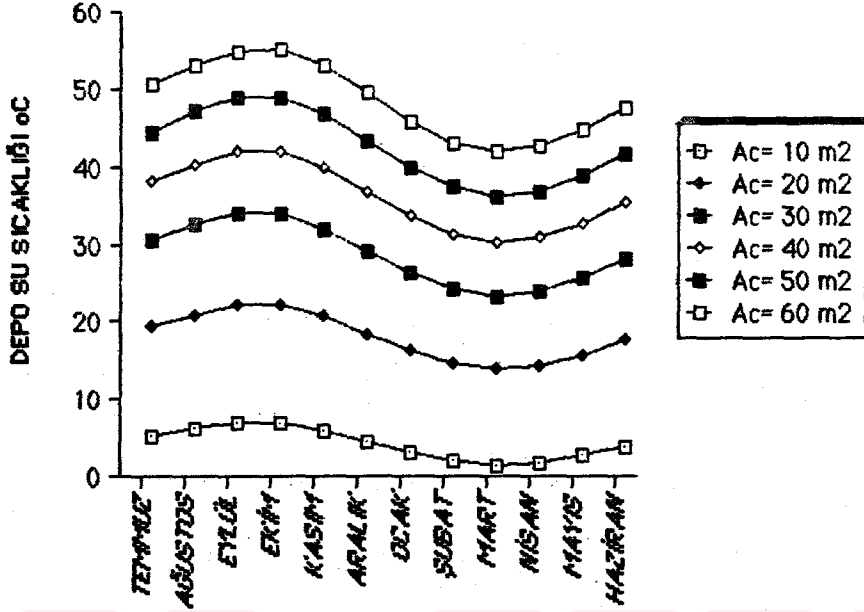
Şekil 5.3.2. Silindirik depolu ısıtma sisteminde toprak türünün aylık ortalama toplayıcı verimine etkisi ($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)



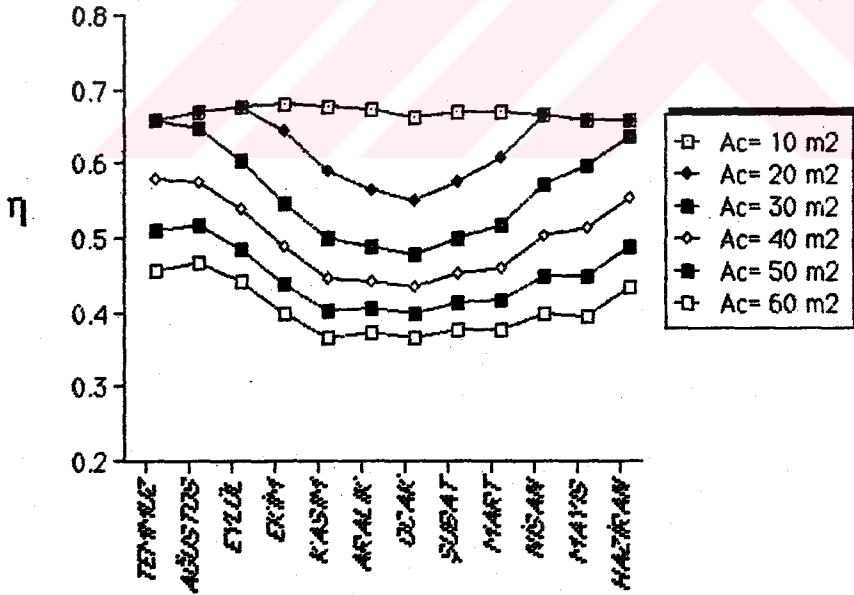
Şekil 5.3.3. Silindirik depolu ısıtma sisteminde toprak türüne bağlı olarak toplayıcı faydalı ısı akısının yıl boyunca değişimi ($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)



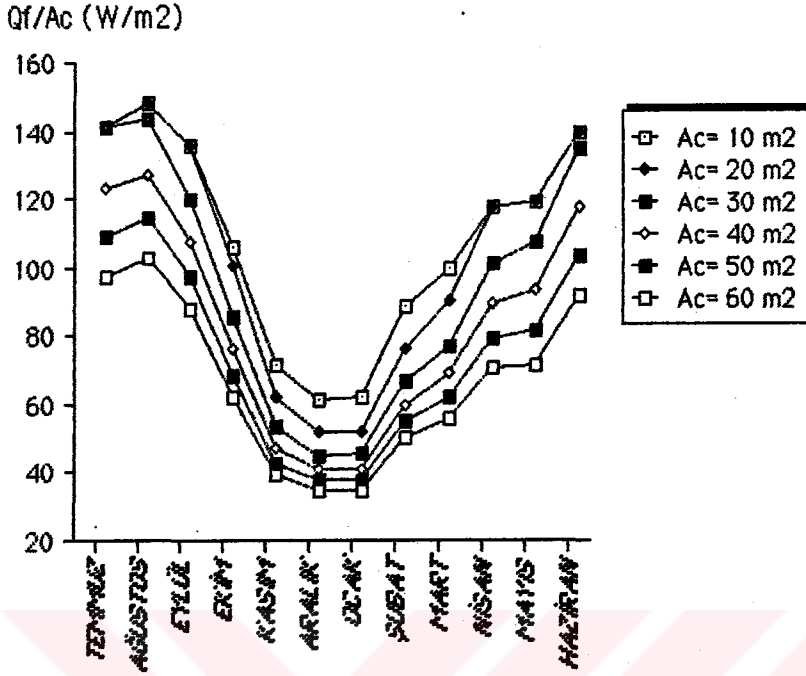
Şekil 5.3.4. Silindirik depolu ısıtma sisteminde toprak türüne bağlı olarak ϕ değerinin yıl boyunca değişimi ($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)



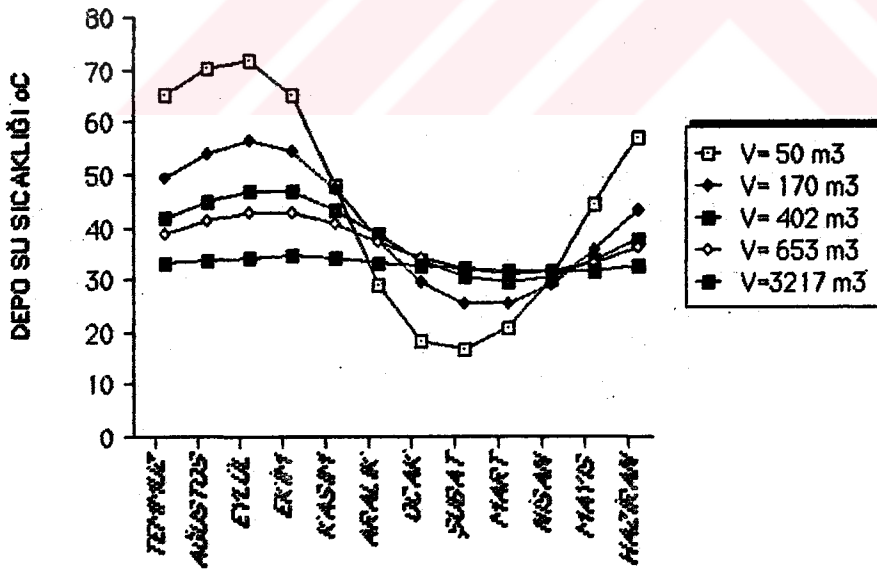
Şekil 5.3.5. Depo su sıcaklığının toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak yıl boyunca değişimi ($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, Killi toprak, Siyahboya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)



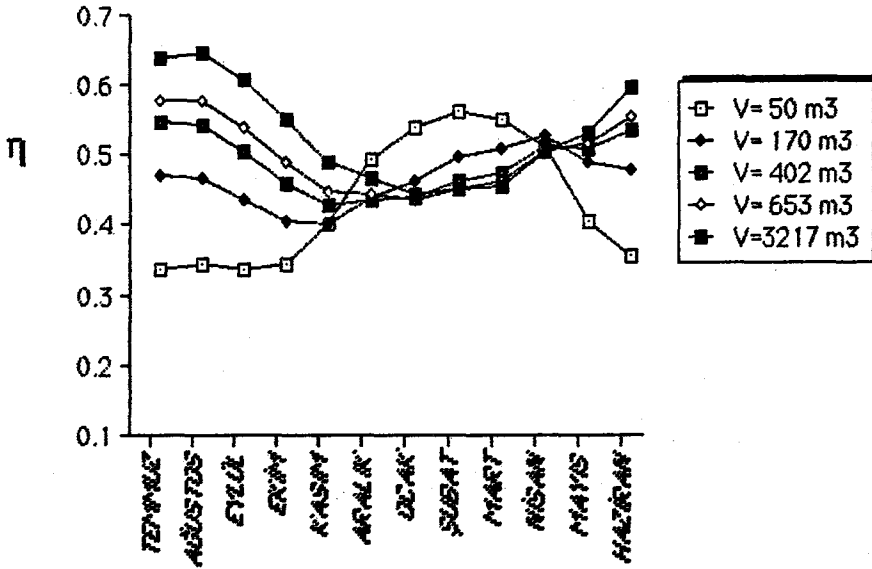
Şekil 5.3.6. Aylık ortalama toplayıcı veriminin toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak değişimi. ($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, Killi toprak, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)



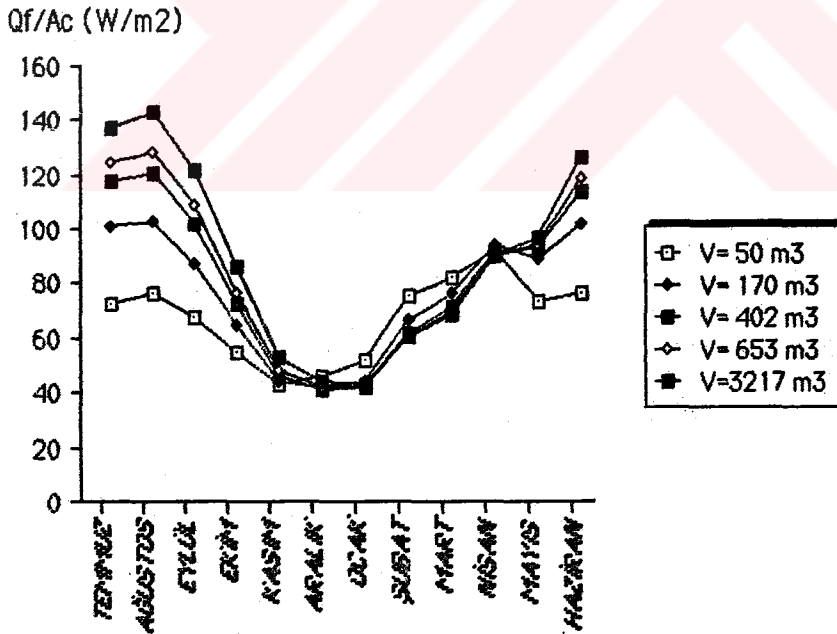
Şekil 5.3.7. Toplayıcı faydalı ısı akısının toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak değişimi. ($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, Killi toprak, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)



Şekil 5.3.8. Depo su sıcaklığının depo hacmine bağlı olarak yıl boyunca olan değişimi. ($A_c=40 \text{ m}^2$, $d_1=100 \text{ m}$, Killi toprak, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$ tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

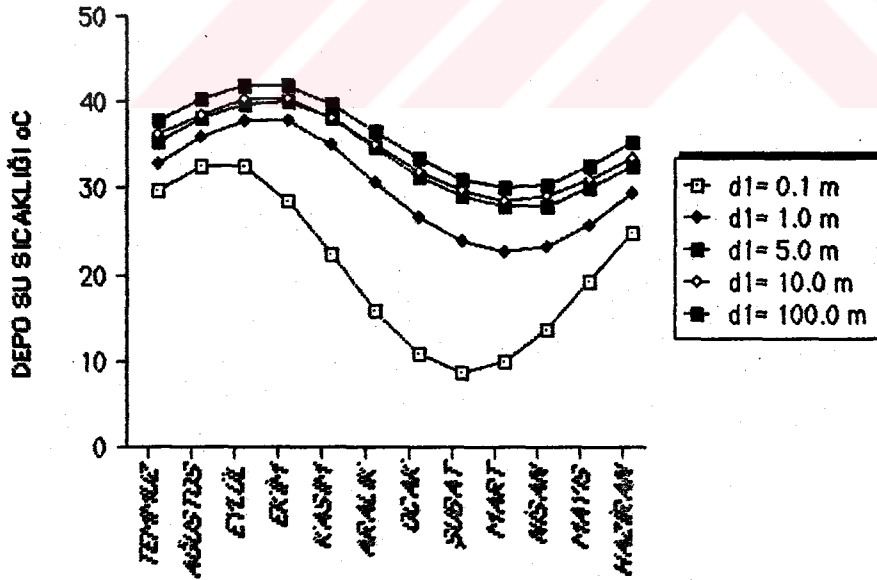


Şekil 5.3.9. Aylık ortalama toplayıcı veriminin depo hacmine bağlı olarak yıl boyunca değişimi. ($A_c=40 \text{ m}^2$, $d_1=100 \text{ m}$, Killi toprak, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

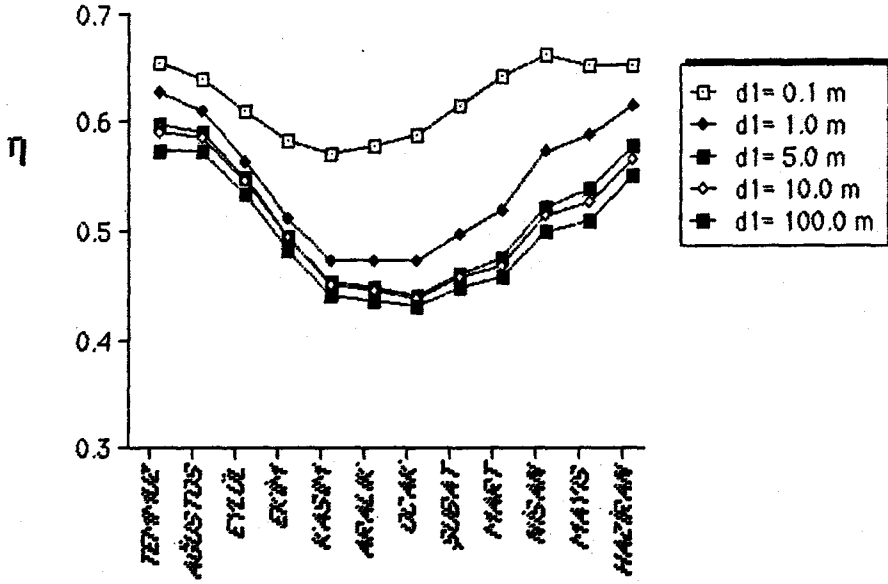


Şekil 5.3.10. Toplayıcı faydalı ısı akısının depo hacmine bağlı olarak yıl boyunca değişimi. ($A_c=40 \text{ m}^2$, $d_1=100 \text{ m}$, Killi toprak, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

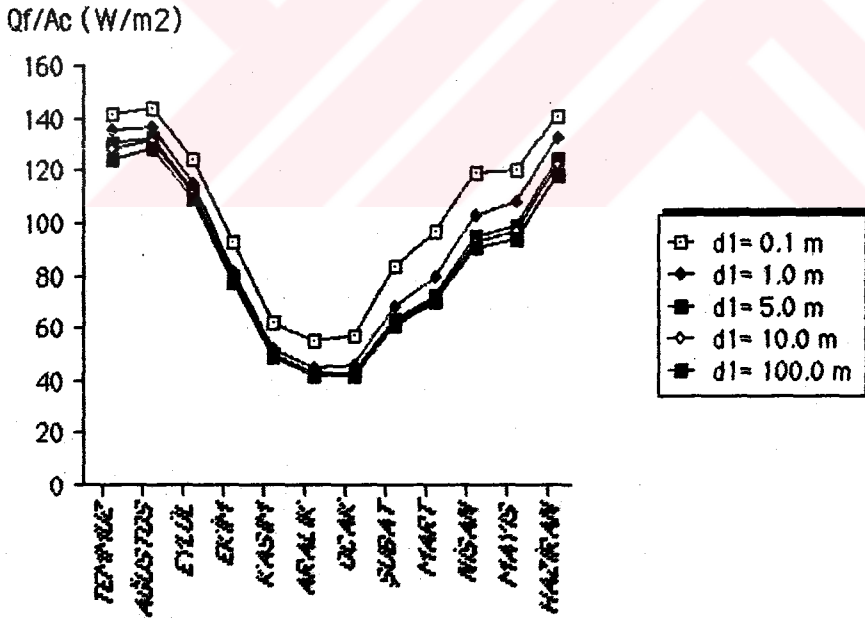
Depo su sıcaklığının, aylık ortalama toplayıcı veriminin ve toplayıcı faydalı ısı akısının, silindirik depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine olan mesafesi (d_1) ile değişimi, sırasıyla Şekil 5.3.11, Şekil 5.3.12 ve Şekil 5.3.13 'de gösterilmiştir. d_1 mesafesi azaldıkça, depo su sıcaklığı düşmektedir. Ayrıca d_1 mesafesi arttıkça depo su sıcaklığının genliği azalmaktadır. En yüksek depo su sıcaklığı $d_1=0.1$ m 'de Ağustos ayında meydana gelirken, d_1 mesafesi arttıkça en yüksek depo su sıcaklığı Eylül-Ekim aylarına kaymaktadır. En düşük depo su sıcaklığı ise, $d_1=0.1$ m için Şubat ayında oluşurken, $d_1=1.0$ m, $d_1=5.0$ m, $d_1=10.0$ m ve $d_1=100.0$ m için Mart- Nisan aylarında meydana gelmektedir. $d_1=0.1$ m iken, dış ortam sıcaklığı depo su sıcaklığını fazlaca etkilemektedir. d_1 mesafesi azaldıkça yıllık ortalama toplayıcı verimi artmaktadır. Belli bir d_1 mesafesinden sonra toplayıcı veriminin yıl boyunca değişimi azalmaktadır. Toplayıcı faydalı ısı akısı d_1 mesafesi ile ters yönlü olarak değişmektedir. $d_1=5.0$ m 'den sonra toplayıcı faydalı enerjisinin d_1 ile değişimi önemsiz derecededir.



Şekil 5.3.11. Depo su sıcaklığının d_1 mesafesi ile değişimi. ($A_c=40$ m², $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, Killi toprak, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10$ kW)

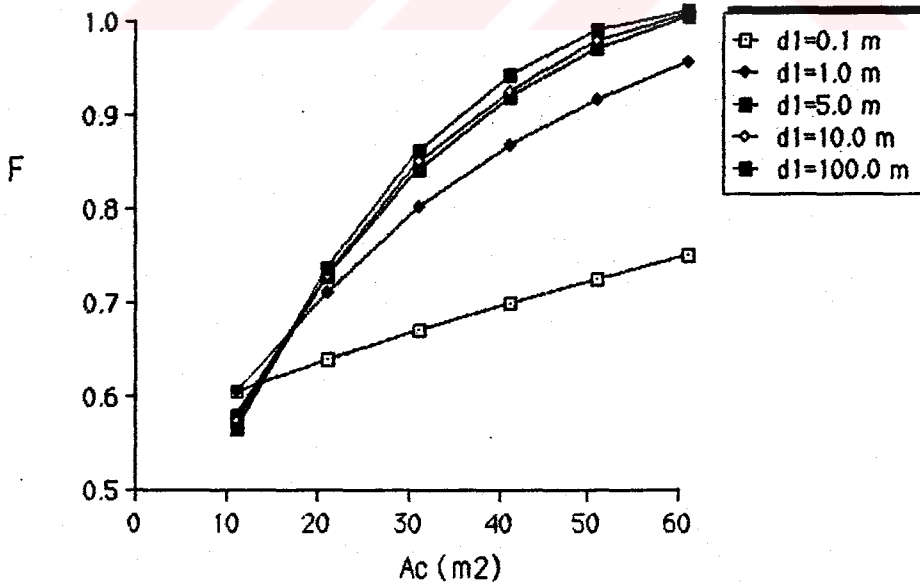


Şekil 5.3.12. Aylık ortalama toplayıcı veriminin d_1 mesafesi ile değişimi. ($A_c=40 \text{ m}^2$, $V=653 \text{ m}^3$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, Killi toprak, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

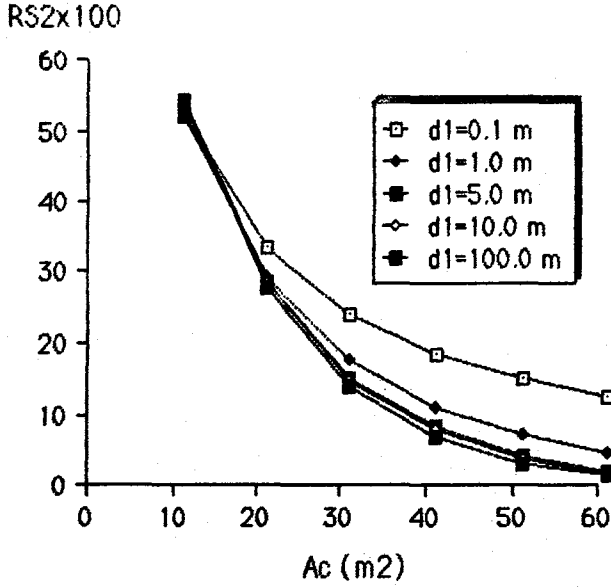


Şekil 5.3.13. Toplayıcı faydalı ısı akısının d_1 mesafesi ile değişimi. ($A_c=40 \text{ m}^2$, $V=653 \text{ m}^3$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, Killi toprak, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

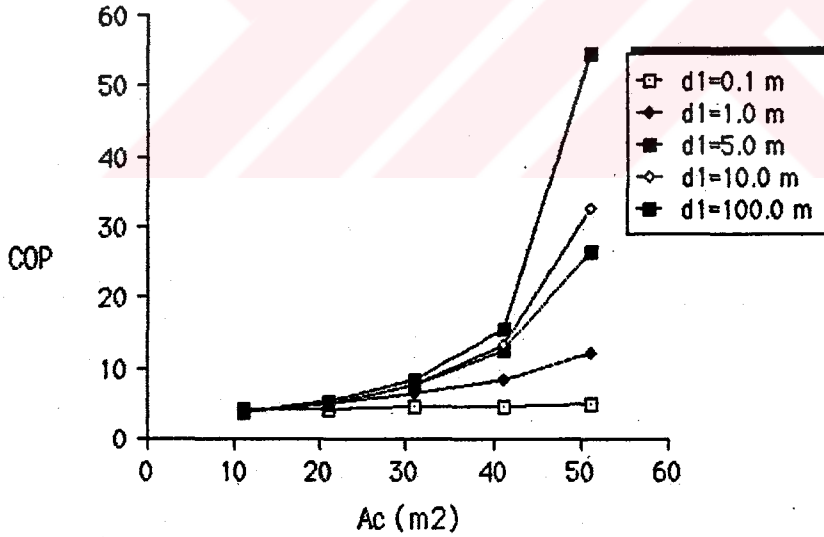
Toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak, d_1 mesafesinin yıllık güneş katkısına (F) olan etkisi Şekil 5.3.14 'de gösterilmiştir. $A_c=10 \text{ m}^2$ iken bu mesafenin F oranına olan etkisi oldukça azdır. En düşük F oranı $d_1=0.1 \text{ m}$ iken elde edilmiştir. $d_1 > 1.0$ metre olduğunda d_1 parametresinin F oranına etkisi oldukça azalmaktadır. $d_1 > 1.0 \text{ m}$ olması halinde yıllık güneş katkısı, toplayıcı yüzey alanı ile hızlı bir şekilde artmaktadır. $d_1=0.1 \text{ m}$ durumunda F oranı, toplayıcı yüzey alanı ile doğrusala yakın bir biçimde artmaktadır. $A_c=40 \text{ m}^2$ için, d_1 mesafesi 0.1 m 'den 1.0 m 'ye çıkarıldığında F oranı %19.7, 5.0 m 'ye çıkarıldığında %24.2, 10 m 'ye çıkarıldığında %24.7 ve 100 m 'ye çıkarıldığında %25.9 artmaktadır. Şekil 5.3.15 'de ise RS_2 oranının toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak değişimi değişik d_1 değerleri için çizilmiştir. d_1 mesafesi ve A_c arttıkça RS_2 oranı azalmaktadır. $A_c=40 \text{ m}^2$ için d_1 mesafesi 0.1 m 'den 1.0 m 'ye çıkarıldığında RS_2 oranı %43.8, 5.0 m 'ye çıkarıldığında %60.8, 10 m 'ye çıkarıldığında %62.7 ve 100 m 'ye çıkarıldığında %67.9 azalmaktadır. Isı pompası COP 'sinin toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak d_1 mesafesine göre değişimi Şekil 5.3.16 'da gösterilmiştir. Toplayıcı yüzey alanı ve d_1 arttıkça COP artmaktadır. Bu artış $d_1=0.1 \text{ m}$ için tüm toplayıcı yüzey alanlarında oldukça düşük seviyededir.



Şekil 5.3.14. Yıllık güneş katkısının (F) toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak d_1 mesafesi ile değişimi. ($V=653 \text{ m}^3$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, Killi toprak, Siyah boyacı çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

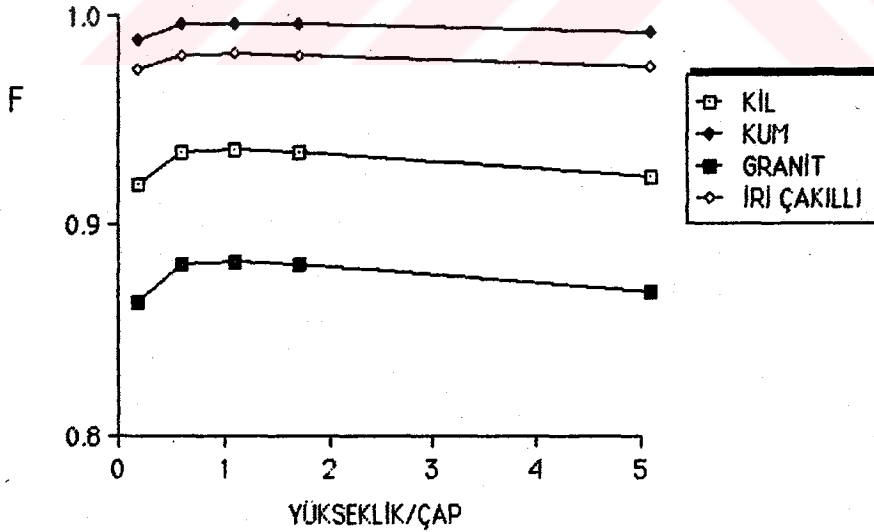


Şekil 5.3.15. RS_2 oranının toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak d_1 mesafesi ile değişimi. ($V=653 \text{ m}^3$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, Killi toprak, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

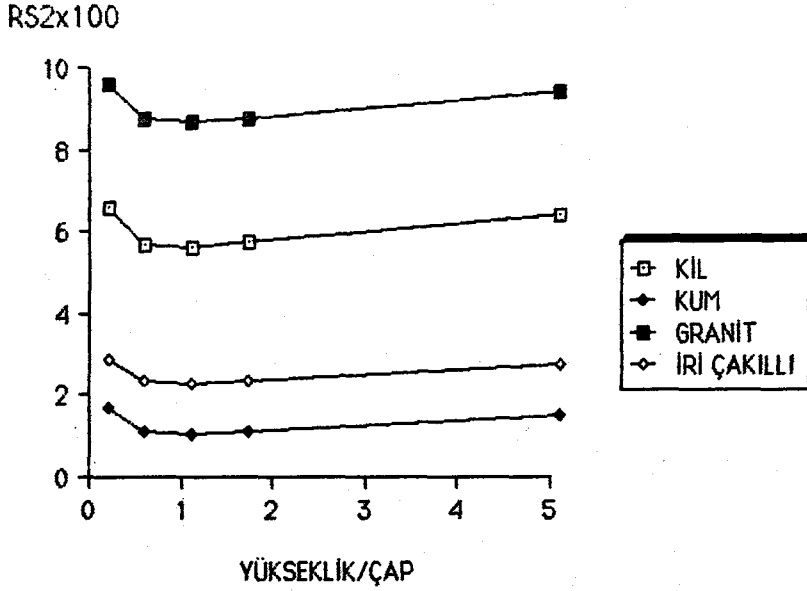


Şekil 5.3.16. Isı pompası COP' sinin toplayıcı yüzey alanına bağlı olarak d_1 mesafesi ile değişimi. ($V=653 \text{ m}^3$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, Killi toprak, Siyah boya - çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

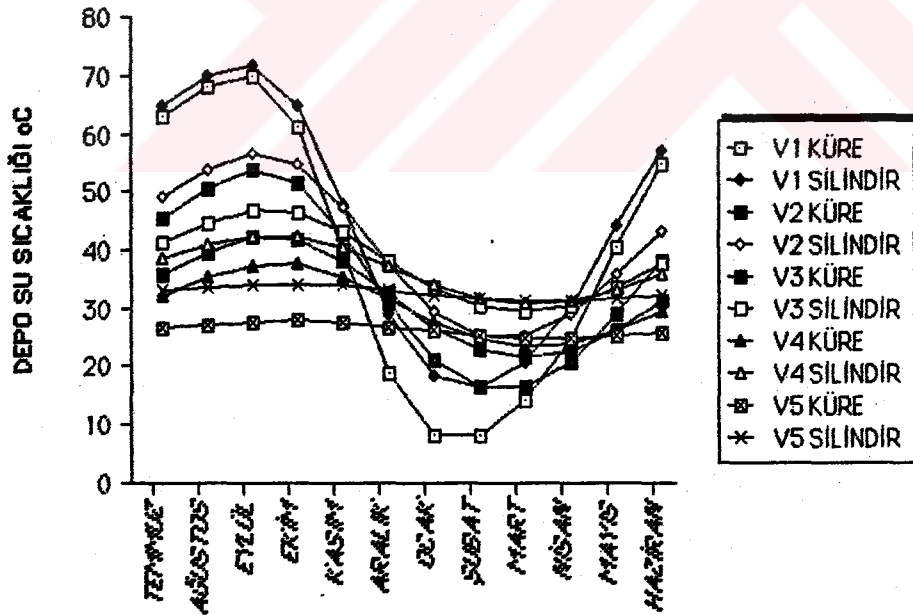
Silindirik depo yüksekliğinin depo çapına olan oranının, yıllık güneş katkısına etkisi, Şekil 5.3.17 'de, RS_2 oranına etkisi ise Şekil 5.3.18 'de gösterilmiştir. En düşük F oranı (yükseklik/çap)=0.1 iken elde edilmiştir. En yüksek F oranı ve en düşük RS_2 oranı, kumlu toprak ve (yükseklik/çap)=1.0 iken sağlanmıştır. Şekil 5.3.19 'da beş farklı hacme sahip silindirik ve küresel depolar için, depo su sıcaklığının yıl boyunca değişimi verilmiştir. Bu şekilde, $V_1=50 \text{ m}^3$, $V_2=170 \text{ m}^3$, $V_3=402 \text{ m}^3$, $V_4=653 \text{ m}^3$ ve $V_5=3217 \text{ m}^3$ 'dür. Silindirik depoların toprak yüzeyinden mesafesi $d_1=100.0 \text{ m}$ ve yükseklik/çap oranı 653 m^3 'lük depoda 1.6, diğerlerinde ise 1.0 'dır. Silindirik depolu sistemlerde depo su sıcaklığı, küresel depolu sistemlerden bir kaç derece daha yüksek çıkmıştır. Ancak, aynı hacme sahip küresel ve silindirik depolarda depo su sıcaklığının yıl boyunca aynı eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Şekil 5.3.20 'de ise $V=653 \text{ m}^3$ hacme sahip küresel ve silindirik depolu sistemlerin karşılaştırılması farklı toprak türleri için yapılmıştır. (S) silindirik depoyu, (K) ise küresel depoyu göstermektedir. Bu şekilde gösterilmiş olan sonuçların eldesinde silindirik depo için, deponun toprak yüzeyine mesafesi $d_1=100 \text{ m}$, (yükseklik/çap)=1.6 olarak seçilmiştir.



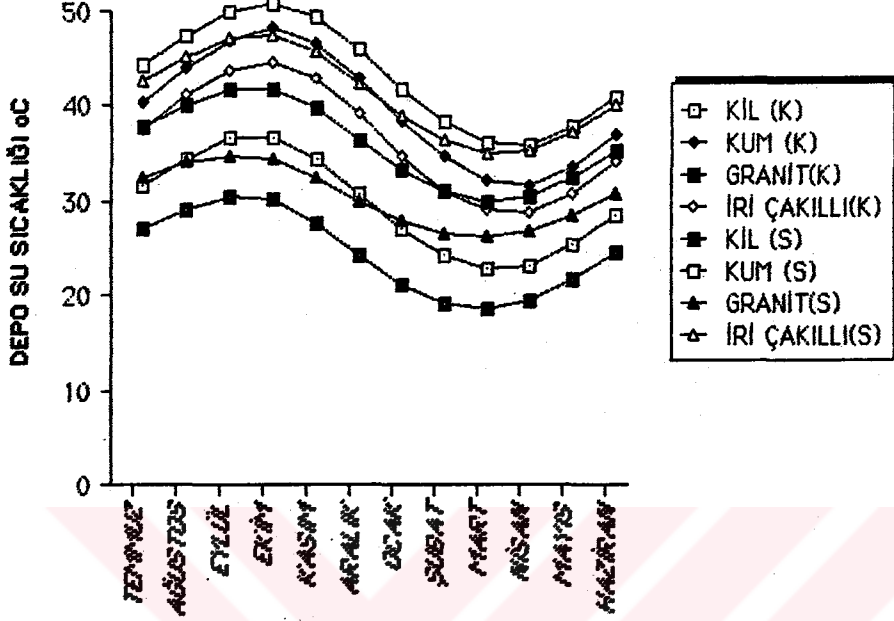
Şekil 5.3.17. Silindirik depoda yükseklik/ çap oranının farklı toprak türleri için yıllık güneş katkısına etkisi ($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)



Şekil 5.3.18. Silindirik depoda yükseklik/çap oranının farklı toprak türleri için RS₂ üzerindeki etkisi ($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

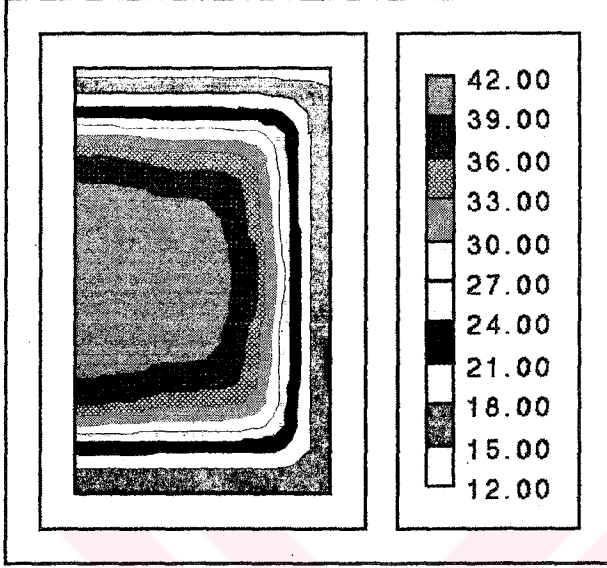


Şekil 5.3.19. Aynı hacme sahip küresel ve silindirik depolu sistemlerde depo su sıcaklığının karşılaştırılması (Killi toprak, $A_c=40 \text{ m}^2$, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$)

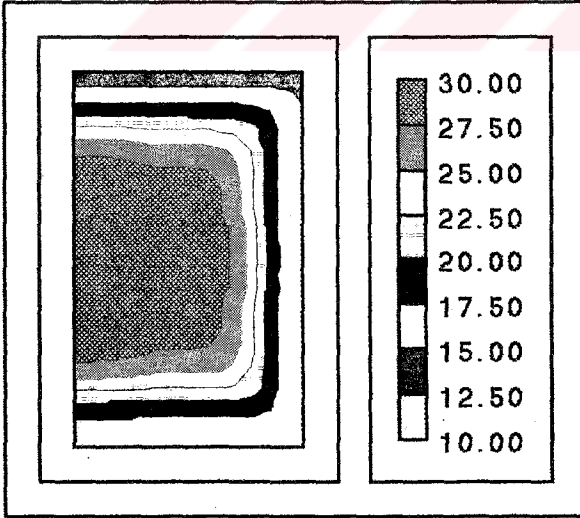


Şekil 5.3.20. Aynı hacme sahip ($V=653 \text{ m}^3$) küresel ve silindirik depolu sistemlerde depo su sıcaklığının toprak türüne bağlı olarak değişimi [Killi toprak, $A_c=40 \text{ m}^2$, Siyah boya- çift camlı toplayıcı, $\beta=38.7$, tek konut, $Q_{kt}=10 \text{ kW}$].

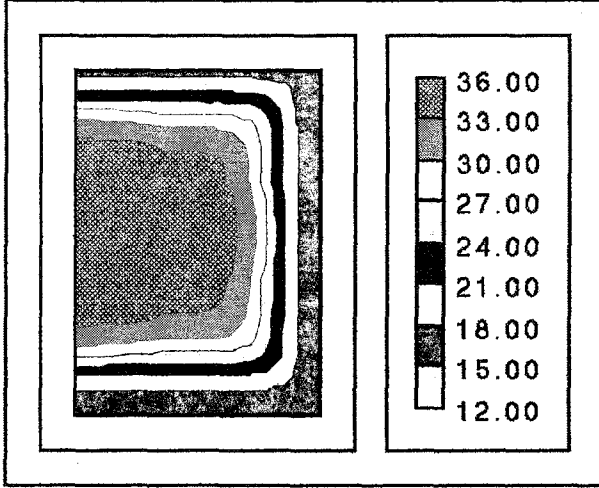
Şekil 5.3.21- Şekil 5.3.24 'de deponun bulunduğu ortamın, sırasıyla iri çakıllı toprak, granit, kil ve kumlu toprak olması halinde, yıllık ortalama sıcaklık dağılım konturları verilmiştir. Depodan uzaklaştıkça azalan sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Depo hacminin doldurma ve boşalma periyodları sonunda sıcaklık dağılımlarına etkisi, beş farklı hacim için Şekil 5.3.25 - Şekil 5.3.29 'da gösterilmiştir. Sıcaklık dağılım konturları, depo hacmi arttıkça daha belirgin değişim göstermektedir. d_1 mesafesinin sıcaklık konturlarına etkisi, Şekil 5.3.30 - Şekil 5.3.34 'de gösterilmiştir. Bu mesafe azaldıkça dış ortam sıcaklığının etkisi oldukça fazla olmaktadır. Toplayıcı yüzey alanının yıllık ortalama sıcaklık dağılımına etkisi ise Şekil 5.3.35 - Şekil 5.3.39 'da gösterilmiştir. Toplayıcı yüzey alanı $A_c=10 \text{ m}^2$ 'de en yüksek sıcaklık depodan en uzakta, toplayıcı yüzey alanı arttıkça en yüksek sıcaklık depoda ve depo bitişiğinde meydana gelmektedir.



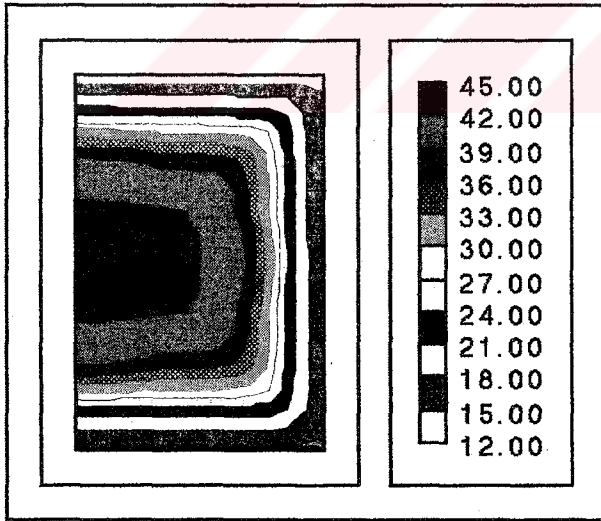
Şekil 5.3.21. İri çakıllı toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı.
($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$)



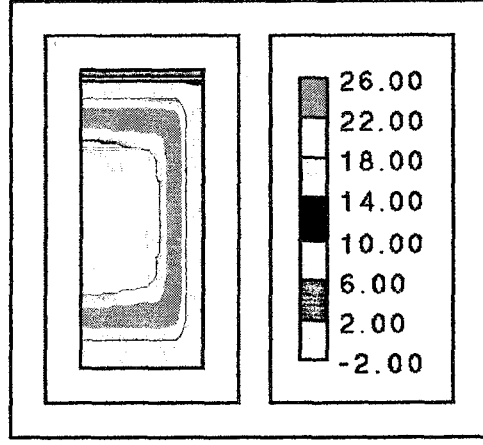
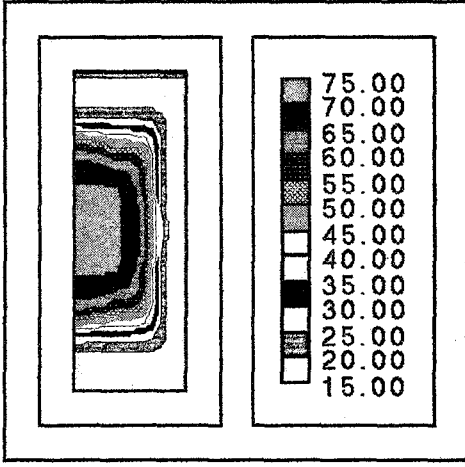
Şekil 5.3.22. Granitte yıllık ortalama sıcaklık dağılımı.
($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$)



Şekil 5.3.23. Killi toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı.
($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$)



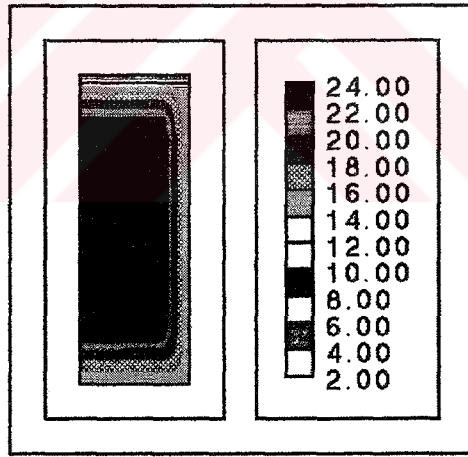
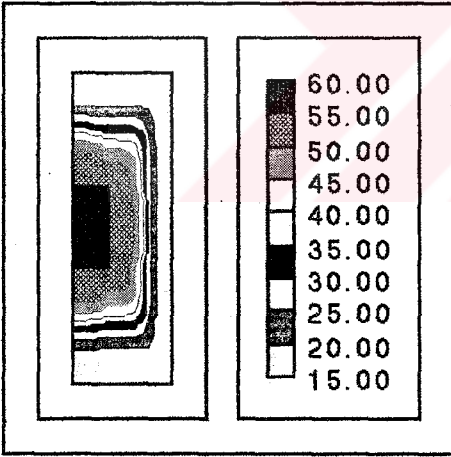
Şekil 5.3.24. Kumlu toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı.
($V=653 \text{ m}^3$, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$)



a) Doldurma periyodunun sonu

b) Boşalma periyodunun sonu

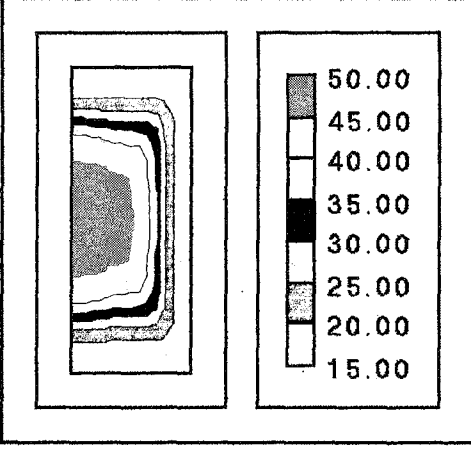
Şekil 5.3.25. Depo hacmi $V=50$ m³ için sıcaklık konturları
(Killi toprak, $d_1=100$ m, $R_1=2.0$ m, $h=4.0$ m, $Ac=40$ m²)



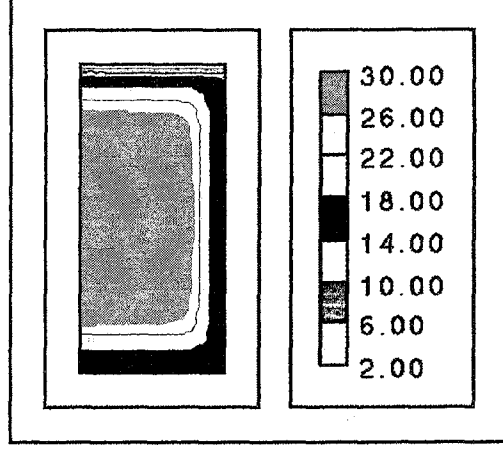
a) Doldurma periyodunun sonu

b) Boşalma periyodunun sonu

Şekil 5.3.26. Depo hacmi $V=170$ m³ için sıcaklık konturları.
(Killi toprak, $d_1=100$ m, $R_1=3.0$ m, $h=6.0$ m, $Ac=40$ m²)

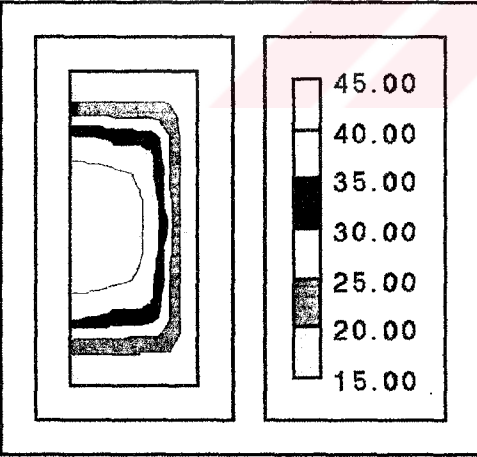


a) Doldurma periyodunun sonu

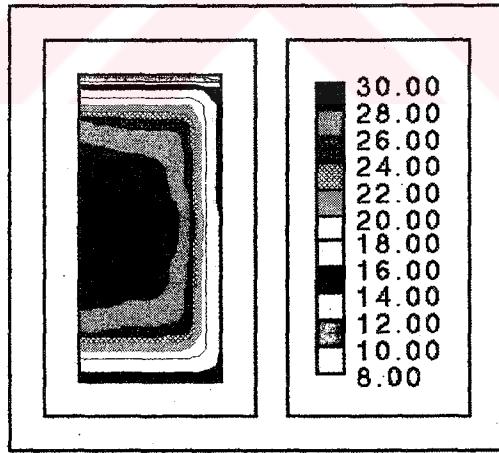


b) Boşalma periyodunun sonu

Şekil 5.3.27. Depo hacmi $V=402 \text{ m}^3$ için sıcaklık konturları.
(Killi toprak, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0 \text{ m}$, $h=8.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$)

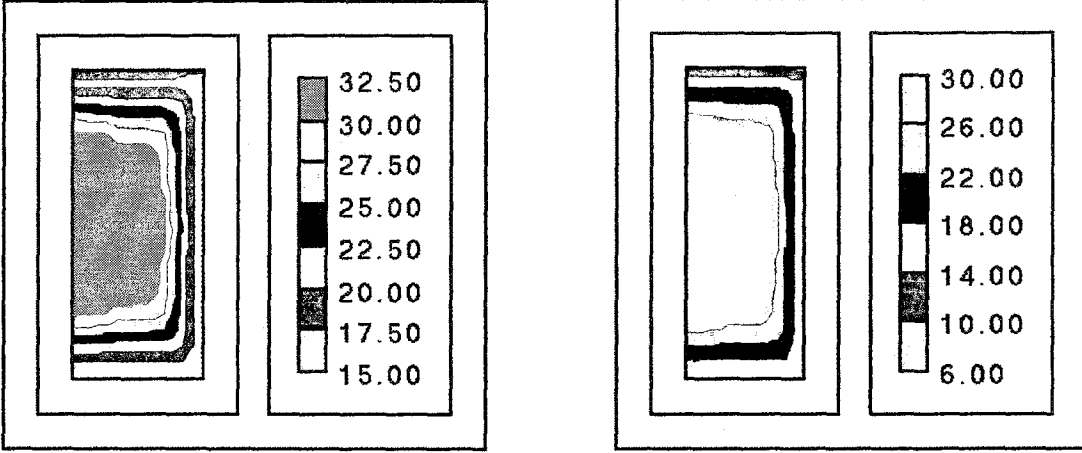


a) Doldurma periyodunun sonu



b) Boşalma periyodunun sonu

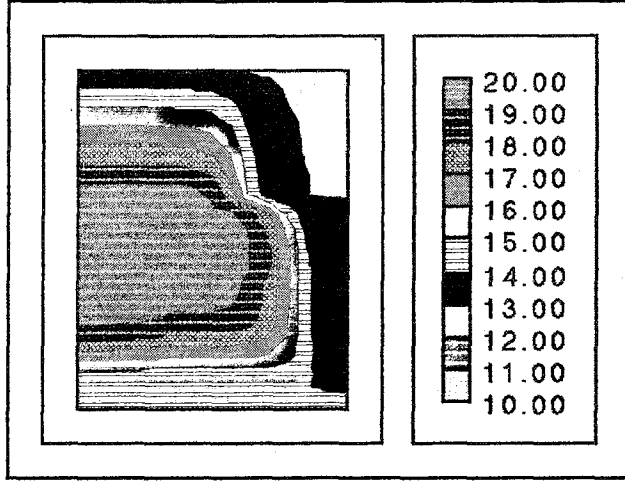
Şekil 5.3.28. Depo hacmi $V=653 \text{ m}^3$ için sıcaklık konturları.
(Killi toprak, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=4.0$, $h=13.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$)



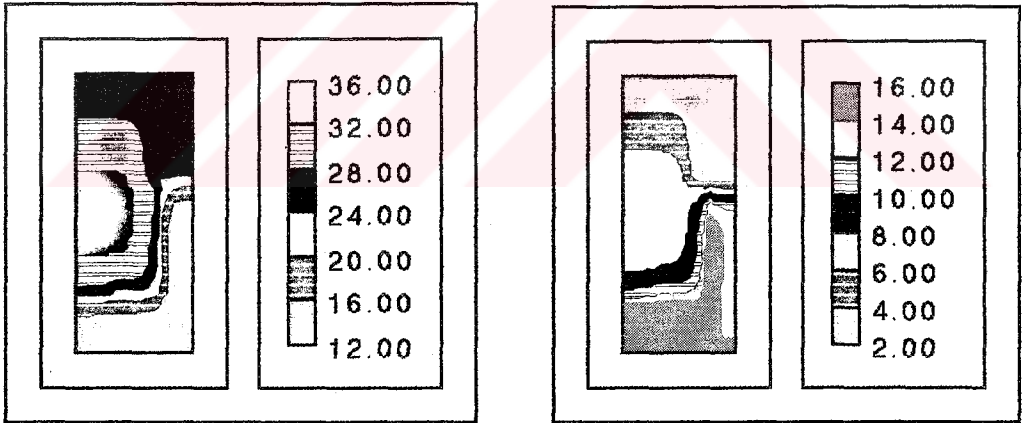
a) Doldurma periyodunun sonu

b) Boşalma periyodunun sonu

Şekil 5.3.29. Depo hacmi $V=3217 \text{ m}^3$ için sıcaklık konturları.
(Killi toprak, $d_1=100 \text{ m}$, $R_1=8.0 \text{ m}$, $h=16.0 \text{ m}$, $A_c=40 \text{ m}^2$)



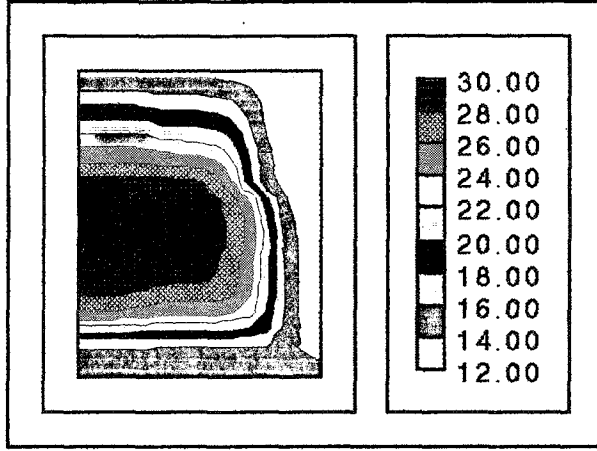
a) Yıllık ortalama



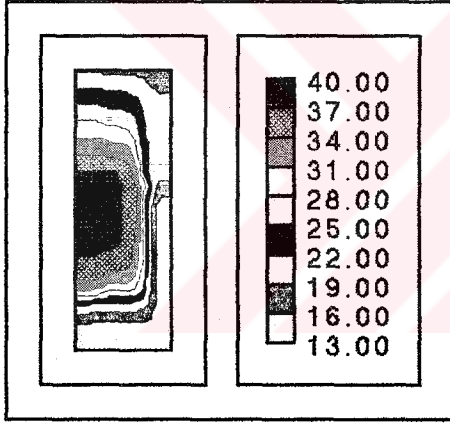
b) Doldurma periyodunun sonu

c) Boşalma periyodunun sonu

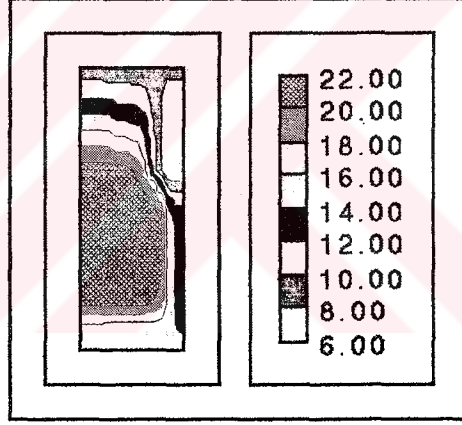
Şekil 5.3.30. $d_1=0.1$ m için sıcaklık konturları.
(Killi toprak, $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, $A_c=40$ m²)



a) Yıllık ortalama



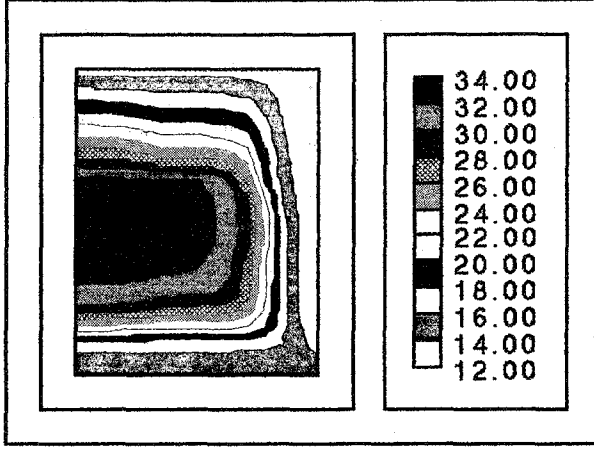
b) Doldurma periyodunun sonu



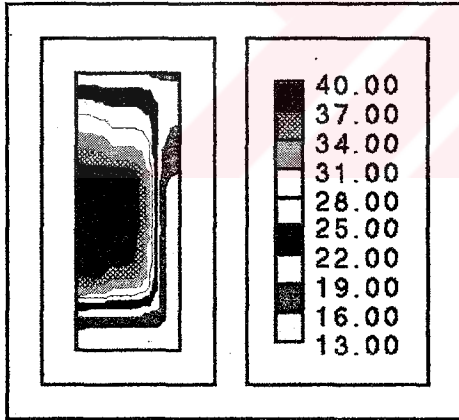
c) Boşalma periyodunun sonu

Şekil 5.3.31. $d_1=1.0$ m için sıcaklık konturları.

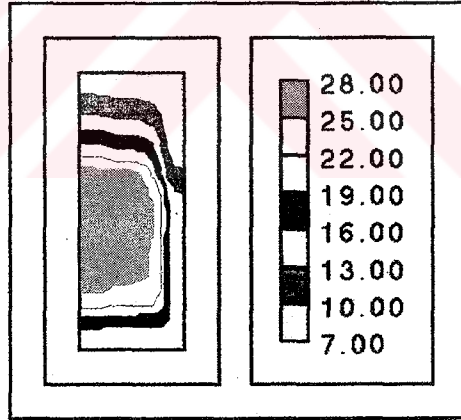
(Killi toprak, $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, $A_c=40$ m²)



a) Yıllık ortalama

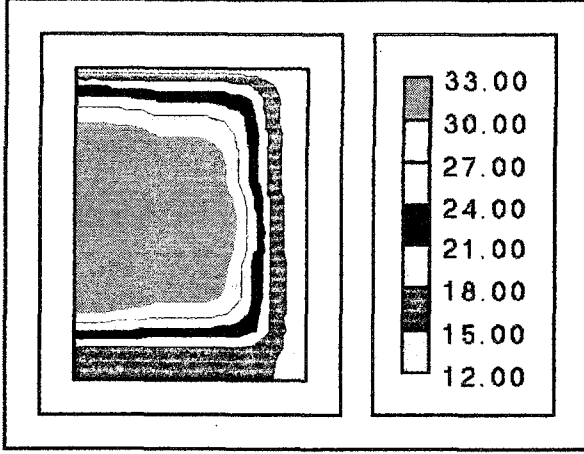


b) Doldurma periyodunun sonu

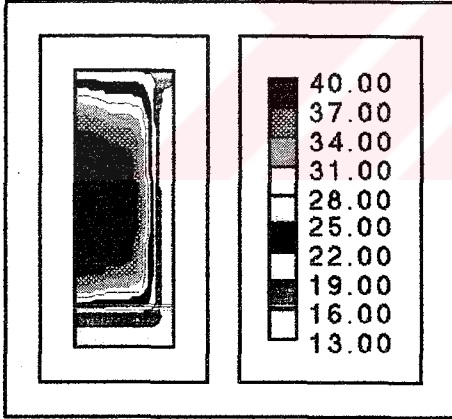


c) Boşalma periyodunun sonu

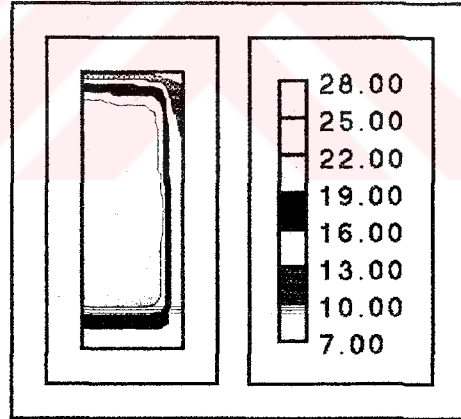
Şekil 5.3.32. $d_1=5.0$ m için sıcaklık konturları.(Killi toprak, $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, $A_c=40$ m²)



a) Yıllık ortalama

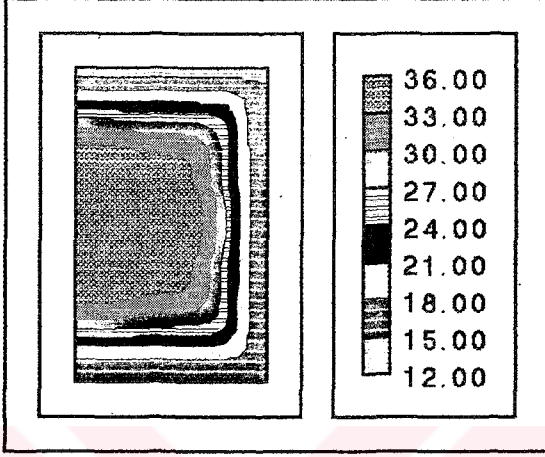


b) Doldurma periyodunun sonu

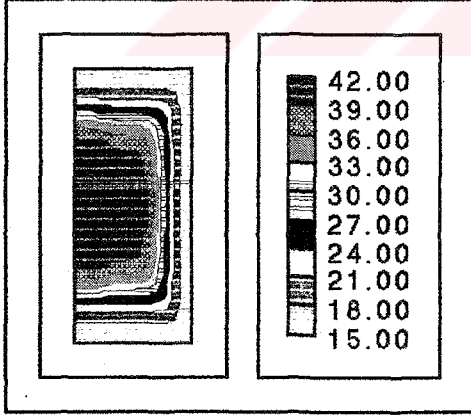


c) Boşalma periyodunun sonu

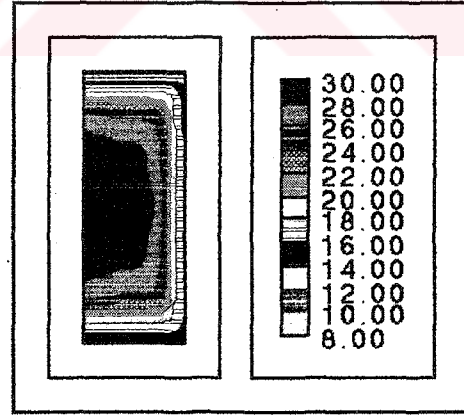
Şekil 5.3.33 $d_1=10.0$ m için sıcaklık konturları
(Killi toprak, $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, $A_c=40$ m²)



a) Yıllık ortalama



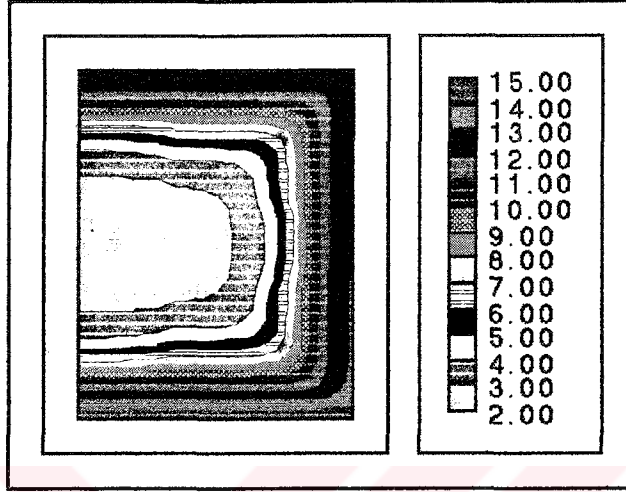
b) Doldurma periyodunun sonu



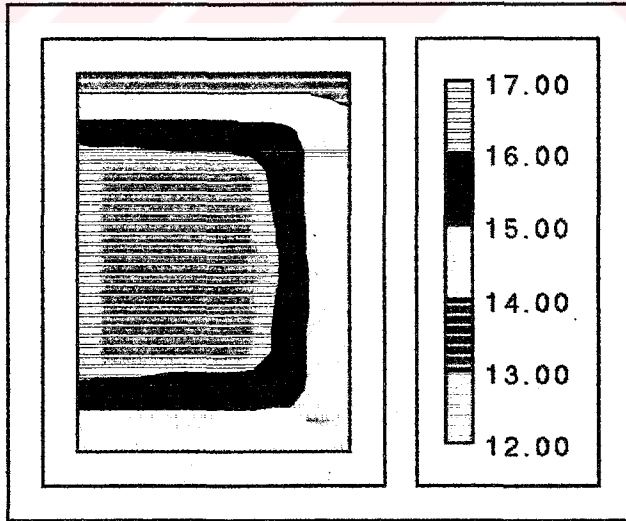
c) Boşalma periyodunun sonu

Şekil 5.3.34. $d_1=100.0$ m için sıcaklık konturları.

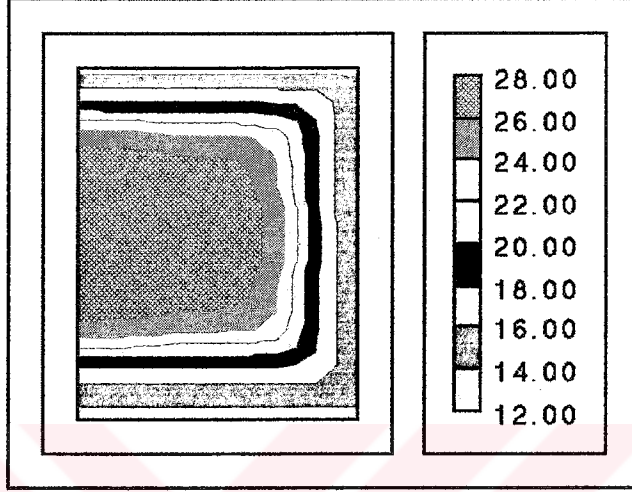
(Killi toprak, $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, $Ac=40$ m²)



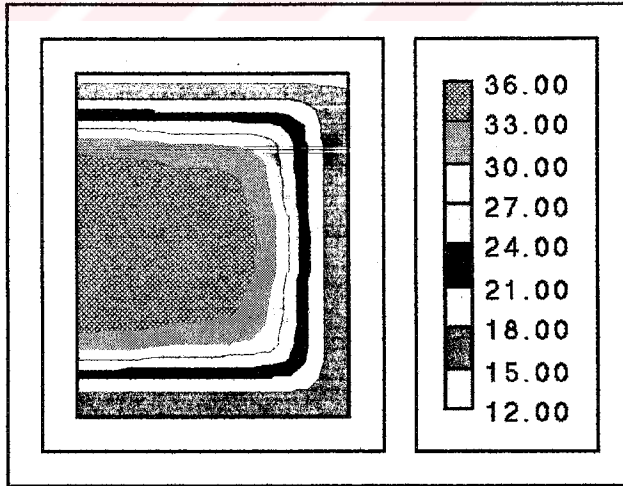
Şekil 5.3.35. $A_c=10$ m² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı.
(Killi toprak, $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, $d_1=100$ m)



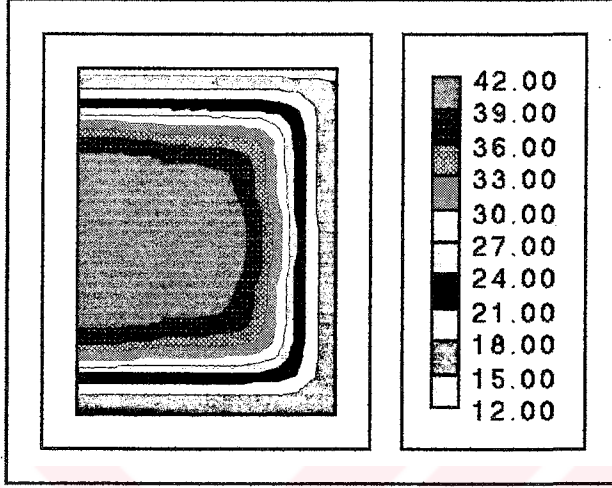
Şekil 5.3.36. $A_c=20$ m² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı.
(Killi toprak, $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, $d_1=100$ m)



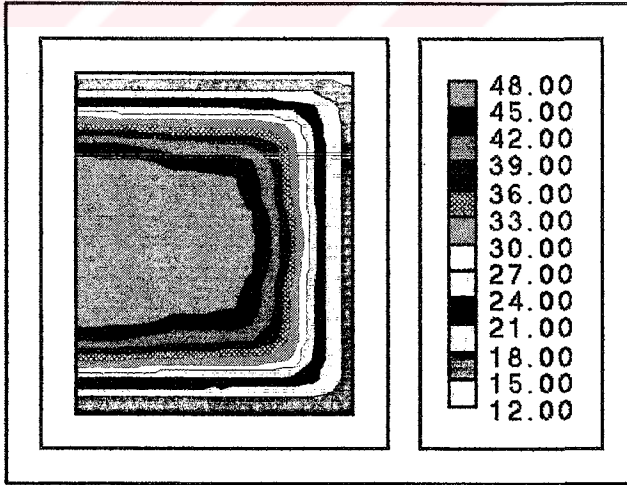
Şekil 5.3.37. $A_c=30$ m² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı.
(Killi toprak, $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, $d_1=100$ m)



Şekil 5.3.38. $A_c=40$ m² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı.
(Killi toprak, $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, $d_1=100$ m)



Şekil 5.3.39. $A_c=50$ m² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı.
(Killi toprak, $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, $d_1=100$ m)



Şekil 5.3.40. $A_c=60$ m² için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı.
(Killi toprak, $V=653$ m³, $R_1=4.0$ m, $h=13.0$ m, $d_1=100$ m)

5.4. Sonuçların Literatür İle Karşılaştırılması

Küresel depo için elde edilen teorik sonuçlar ile literatürdeki bazı teorik çalışmaların sonuçları ve mevcut tam teşekküllü ısıtma sistemlerinde ölçülen değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Kenisarin vd. (1988), Taşkent için elde ettiği sonuçlar ile bu çalışmada elde edilen sonuçların karşılaştırılması, Tablo 5.4.1 'de sunulmuştur.

Tablo 5.4.1. Taşkent' in iklim özellikleri(Kenisarin vd.,1988) kullanılarak elde edilen sonuçlar ile mevcut çalışmanın mukayesesi.

İklim özellikleri

	<u>Taşkent</u>	<u>Elazığ</u>
Enlem	41°	38.7°
Denizden Yükseklik (m)	427	1020
Yıllık Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	14.0	13.0
Temmuz Ayı Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	27.4	27.2
Ocak Ayı Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	-0.5	-1.3
Yıllık Ortalama Yatay Yüzey Güneş Işınımı (MJ/m ²)	5824	5030
Temmuz Ayı Ortalama Yüzey Güneş Işınımı (MJ/m ²)	847	659
Ocak Ayı Ortalama Yüzey Güneş Işınımı (MJ/m ²)	157	154
Yıllık Derece - Gün Sayısı	2236 (18° esas)	3122 (20° esas)

Isıtma Yüğü

Konut Sayısı	50	50
(UA) _k (W/K)	230	312.5

Güneş Toplayıcısı Özellikleri

Tip	Düz toplayıcı	Düz toplayıcı
F _R	0.95	0.95
F _R U _L	2.8	4.3
Yüzey Alanı	500-4000	500-3000
Eğim Açısı	27°	38.7°

Isı Deposu

Tip	Silindirik Su Çukuru	Küresel Su Deposu
Hacim (m ³)	1077-25000	1077-25000
Toprak Yüzeyindeki Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² K)	10	Derinde Gömülü
Yalıtılmış Yüzeydeki Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² K)	0.5-1.0	Yalıtım Yok
Toprağın İletkenliği (W/mK)	2.0	3.0
Toprağın Isıl Kapasitesi (MJ/m ³ K)	2.2	2.1
<u>Isı Pompası</u>	Yok	Var

Elektrikli Isıtıcı

Var

Yok

Yıllık Güneş KatkısıV=1077 m³

	A _c =10	A _c =20	A _c =30	A _c =40	A _c =50	A _c =60
Taşkent	0.18	0.22	0.30	0.40	0.45	0.50
Elazığ	0.32	0.46	0.57	0.66	0.72	0.77

Yıllık Güneş KatkısıV=25000 m³

	A _c =10	A _c =20	A _c =30	A _c =40	A _c =50	A _c =60
Taşkent	0.10	0.30	0.60	0.70	0.80	0.90
Elazığ	0.48	0.74	0.89	0.97	1.00	1.00

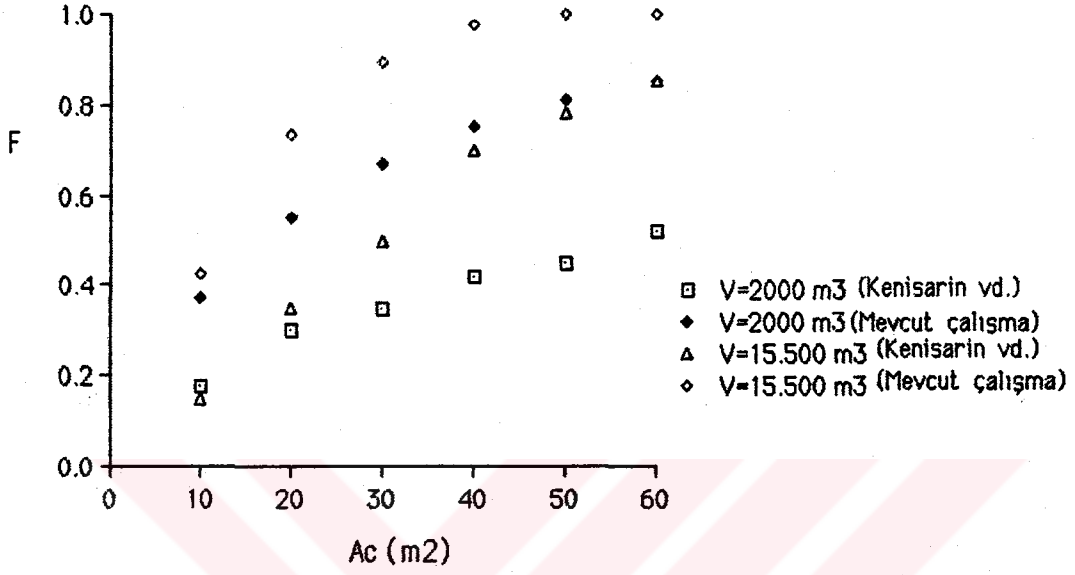
Sonuçlardan görüleceği üzere, Taşkent ile Elazığ için yapılan karşılaştırmada, güneş katkısında %10-40 arasında farklılık gözlenmektedir. Taşkent'in meteorolojik özellikleri kullanılarak incelenen sistemde ısı pompası bulunmamaktadır. Isı pompası, sistemde güneş katkısını artırmaktadır.

Tablo 5.4.2. Tam teşekküllü mevsimlik ısı depolu güneş ısıtma tesislerinin parametrik değerleri ve ölçülen yıllık güneş katkısı (Lund vd, 1987).

Sistem	Ingelstad (a)	Ingelstad (b) ⁺	Lambohov	Lyckebo	Kerava
GENEL					
Yıl	1979	1984	1982	1983	1983
Enlem (°N)	56	56	58	60	60
Konut sayısı	52	52	55	550	44
TOPLAYICILAR					
Tip	Yoğunlaştırıcı	Düz Plakalı	Düz Plakalı	Düz Plakalı	Düz Plakalı
U_L (W/m ² K)	1.3	2.7	4.0	2.7	6.8
A_c (m ²)	1320	1425	2800	4300	1100
DEPO					
Tip	Toprak üzerinde İzoleli tank	Toprak üzerinde İzoleli tank	Kaya Çukuru + Isı Pompası	Kaya Mağara	Kaya Çukuru + Isı Pompası
Hacim, m ³	5000	5000	10000	100000	1500
GÜNEŞ KATKISI					
F	0.2(0.5)*	0.4	0.69(0.85)*	0.85**	0.50
+ Ingelstad'ın yeniden düzenlenmiş şekli					
* Tasarım değerleri					
** Bir elektrikli ısıtıcı ile takviyeli sistem					

Mevcut çalışmadaki yöntem ve Elazığ ili meteorolojik özellikleri kullanılarak, Tablo 5.4.2 'deki ısıtma sistemlerine ait konut sayısı, depo hacmi ve toplayıcı yüzey alanları için yıllık güneş katkısı (F) hesaplanmıştır. Ingelstad (a) için $F=0.72$, Ingelstad(b) için $F=0.75$, Lambohov uygulaması için $F=0.97$ elde edilmiştir. Ayrıca çözümlerden Lyckebo için $F=0.33$, Kerava güneş köyü için $F= 0.56$ değeri bulunmuştur. Bu uygulama sonuçları ile mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında farklılıklar bulunmaktadır. Gerek ölçüm yapılan bölgelerin iklim özellikleri ve gerekse her uygulamanın kendine ait özelliklerinin olması, bu farklılığa sebep olmaktadır. Ayrıca bu çalışmada küresel deponun toprakta sonsuz derinde olması gözardı edilmemelidir. Bu tezdeki kuramsal çalışma, sistemin periyodik çalışma durumu için geçerli olduğundan, periyodik rejime girmemiş deneysel sonuçlardan daha yüksek F değerlerinin elde edilmesi daha mantıklı gözükmektedir. Kenisarin vd (1988) Taşkent'in iklim şartlarında incelediği, silindirik depolu fakat ısı pompası olmayan bir güneş enerjisi ısıtma sistemine ait depo hacmi, toplayıcı yüzey alanı ve konut sayısı kullanılarak bu çalışmadaki yöntem ile çözüm elde edilmiştir. Bu incelemede, killi toprak ve Elazığ'ın iklim şartları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması Şekil 5.4.1 'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi mevcut çalışmada elde edilen F oranları, yukarıda bahsedilen çalışma değerlerinden daha büyük çıkmaktadır. Bu sistemin daha önceden bahsedildiği gibi ısı pompasız oluşu dikkate alınmalıdır. Ayrıca, Kenisarin vd (1988) bu çalışmada 3 yıllık depolama işlemi sonunda güneş katkısını hesaplamışlardır.

Yabancı literatürde, depo su sıcaklığının yıl boyunca değişimi konusunda araştırmalara rastlanmamıştır. Yumrutaş(1991) 'ın Gaziantep meteorolojik özellikleri için küresel depolu mevsimlik ısıtma sisteminde elde edilen sonuçlar ile mevcut çalışmada elde edilen sonuçların tek konutlu ısıtma sistemi için uyumu iyi, fakat 500 konutlu ve büyük depolu sistemler için uyumsuz olduğu saptanmıştır. Yumrutaş ile yapılan görüşme sonucunda, tezde (Yumrutaş,1991) 500 konutlu ve büyük depolu sistemler için elde edilen sonuçlardaki hatanın kaynağı konusunda mutabakat sağlanmıştır.



Şekil 5.4.1. Mevcut çalışma sonuçları ile Kenisarin vd (1988)' in sonuçlarının karşılaştırılması.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, küresel ve silindirik mevsimlik ısı depolu, güneş enerjisi takviyeli ve ısı pompalı konut ısıtma sistemlerinin, yıllık performansı araştırılmıştır. Deponun bulunduğu ortamın fiziksel özellikleri, deponun geometrik özellikleri, toplayıcı yüzey alanı ve toplayıcı eğiminin ısıtma sistemi performansı üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ana hatlarıyla aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Depo hacmi arttıkça, depo suyunun yıllık ortalama sıcaklığı ve depo su sıcaklığının genliği azalmaktadır.

En yüksek depo su sıcaklığı kumlu toprakta, en düşüğü ise granitte meydana gelmektedir.

En yüksek depo su sıcaklığı Eylül - Ekim aylarında, en düşüğü ise Mart - Nisan aylarında meydana gelmektedir.

En yüksek toplayıcı verimi ve toplayıcı faydalı ısı akısı granitte, en düşük toplayıcı verimi ve toplayıcı faydalı akısı ise kumlu toprakta meydana gelmektedir.

Toplayıcı yüzey alanı arttıkça, yıllık güneş katkısı artmaktadır.

Yıllık güneş katkısı, depo hacminin belli bir değerine kadar artmakta, daha sonra azalmaktadır. Dolayısıyla bir optimum depo hacmi söz konusudur. Bu çalışmada incelenen tek konutlu sisteme ait veriler ve Elazığ iklim şartları için küresel ısı depolu sistemde, $A_c=10 \text{ m}^2$ iken optimum depo yarıçapı $R_1=10 \text{ m}$; $A_c=20 \text{ m}^2$ iken optimum depo yarıçapı $R_1=7.5 \text{ m}$; $A_c=30 \text{ m}^2$, $A_c=40 \text{ m}^2$, $A_c=50 \text{ m}^2$ ve $A_c=60 \text{ m}^2$ için de optimum depo yarıçapı $R_1=5.0 \text{ m}$ olarak bulunmuştur. İncelenen silindirik ısı depolu sistemlerde, optimum hacmin $V=653 \text{ m}^3$ olduğu saptanmıştır.

En yüksek ısı pompası COP değerini kumlu toprak, en düşüğünü ise granitli toprak vermektedir. Toplayıcı yüzey alanı arttıkça COP değeri artmaktadır.

En yüksek depo su sıcaklığı, toplayıcı eğim açısının (β), toplayıcının bulunduğu mahallin enlem açısına (θ) eşit olması durumunda elde edilmektedir.

Türkiye'nin değişik bölgelerinde seçilen iller için yapılan araştırmada en yüksek güneş katkısı Gaziantep' de, en düşüğü ise Trabzon' da elde edilmiştir.

500 konutlu bir site için yapılan ısı hesaplamalarda $R_1=40$ m'den büyük küresel bir depo kullanılması halinde, deponun bulunduğu jeolojik ortamın etkisi önemsizdir. Dolayısıyla, çok konutlu site durumunda jeolojik ortamın seçimi gereksizdir.

Aynı hacimli küresel ve silindirik depolu ısıtma sistemleri karşılaştırıldığında, silindirik depolu ısıtma sisteminin yıllık güneş katkısı daha büyük olarak elde edilmiştir.

İncelenen ısı sistemlerde, Türkiye'nin herhangi bir bölgesi için, $A_c=60$ m²/konut toplayıcı yüzey alanından daha büyük toplayıcı yüzey alanı seçmenin önemli bir faydası olmadığı saptanmıştır.

Silindirik depolu ısı sistemlerde, deponun toprak yüzeyine olan mesafesinin azalması, yıllık güneş katkısını düşürmektedir.

Mevsimsel ısı depolu sistem tasarımı yapılırken, aşağıdaki parametreler dikkate alınmalıdır :

- Toplayıcı yüzey alanı
- Toplayıcı tipi
- Toplayıcı eğim açısı
- Depo hacmi
- Deponun toprak yüzeyine olan mesafesi
- Isıtılacak konut sayısı
- Konutun ısı yükü ve $(UA)_k$ değeri
- Isı pompası tipi ve ısı özellikleri
- Deponun bulunduğu jeolojik yapının fiziksel özellikleri
- Yeraltı sularının etkisi

Bu araştırmada incelenmeyen ve bundan sonraki çalışmalar için tavsiyeler ise aşağıda belirtilmiştir.

Bu çalışmada yeraltı sularının etkisi ihmal edilmiştir. Toprak içerisindeki sıcaklık problemi incelenirken, ısı iletim denklemi yerine genel enerji denklemi kullanılarak çözüm yapıp yeraltı sularının etkisi araştırılmalıdır.

Bu çalışmada mevsimlik ısı depolu ısıtma sisteminin ekonomik analizi yapılmamıştır. Bu sistemlerde masrafları oluşturan toplayıcı ve depo imalat maliyetleri hesaplanarak geri ödeme süreleri araştırılmalıdır. Özellikle, çok konutlu site ve büyük ısı depolu sistemler incelenmelidir. Ayrıca depo masraflarını azaltmak için, yeraltında kendiliğinden oluşmuş jeolojik kuyular (tuz kuyuları, sondaj kuyuları vs.) bulunduğu takdirde bu tür sistemlerin de ısı analizi yapılmalıdır. Böylece depo maliyeti önemli oranda azalacaktır.

Yeraltı mevsimlik ısı depolu konut ısıtma sistemlerinde depo etrafında yalıtım olması halî, ayrıca araştırılmalıdır.

Toplayıcı tipinin ısı sistem performansı üzerindeki etkileri incelenmelidir.

Mevcut çalışmada güneş enerjisi depolanırken, toprağa kaybolan enerji dışında başka bir kayıp enerjinin olmadığı dikkate alınmıştır. Özellikle ısı taşıyan akışkanın nakli esnasında meydana gelen kayıplar da gözönüne alınarak, daha gerçekçi sonuçlar bulmak mümkündür.

Daha hızlı ve daha büyük bellekli bilgisayarlar kullanılarak, incelenen ısı sistemde, her bir alt ısı sistem için saat-saat analiz yapılarak karşılaştırma yapılabilecektir.

Mevcut çalışma, sistemin periyodik çalışma durumu için geçerlidir. Gerçekte sistemin periyodik çalışma rejimine girmesi 5-15 yıllık süre gerektirebilir. Bu tür sistemlerin periyodik çalışma rejimine girinceye kadar geçen süre içindeki ısı performanslarının da incelenmesi önem taşımaktadır. Böyle bir çalışma, bu tezde elde edilen sonuçlar ile Tablo 5.4.1 'de Taşkent için, Tablo 5.4.2 'de ise Ingelstad, Lambohov, Lyckebo ve Kerava'nın deneysel sonuçları ile oluşan farklılıkların açıklanmasında yararlı katkıları olabilecektir.

KAYNAKLAR

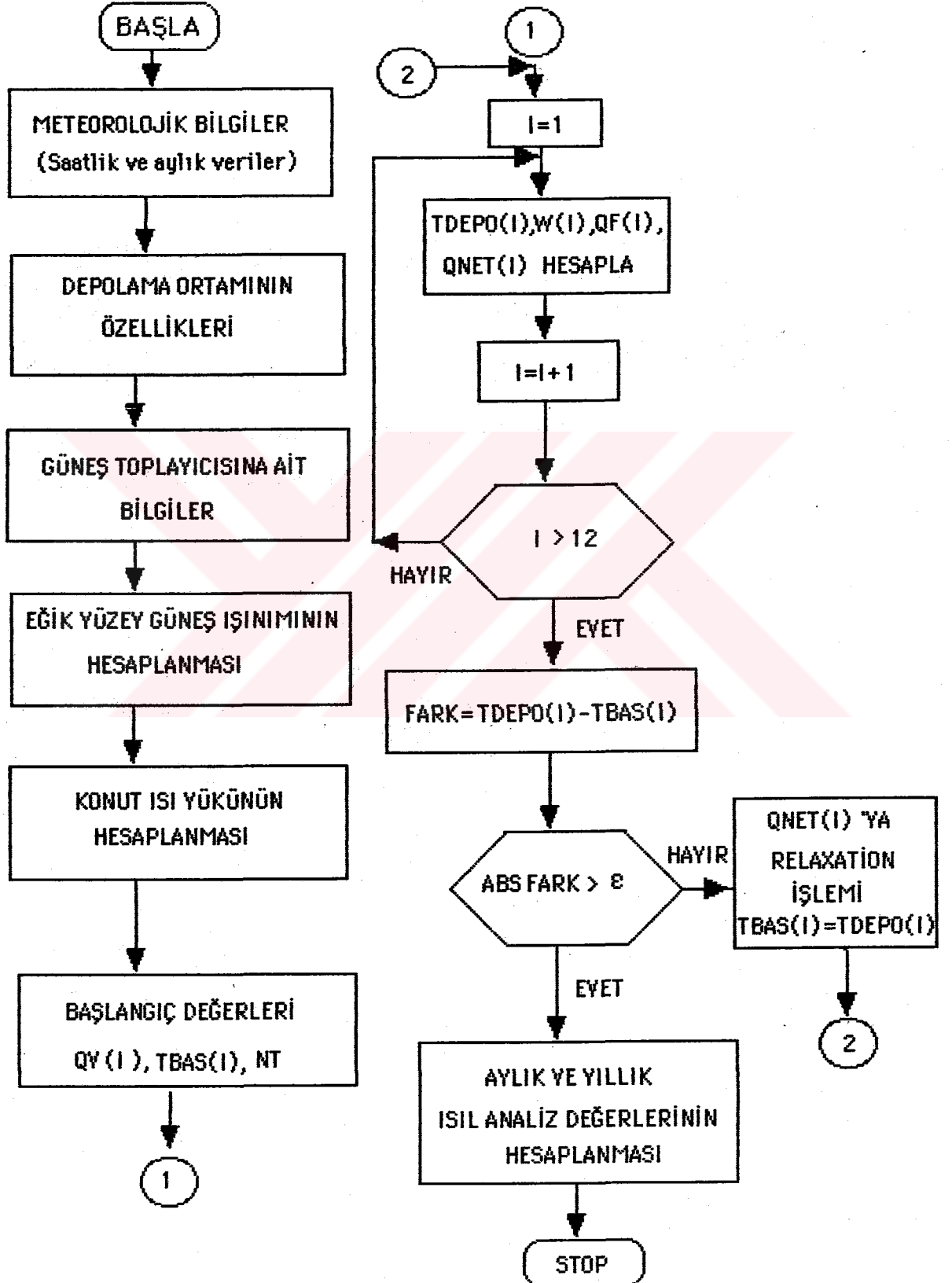
- ARPACI, V.S., 1966. **Conduction Heat Transfer**. Addison - Wesley Series in Mechanics and Thermodynamics.
- BANKSTON, C.A., 1988. The Status and Potential of Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage : **An International Report**. Advances in Solar Energy. Plenum Press. 352-444.
- BENNET, J., CLAESSON, J. and HELLSTRÖM, G., 1987. Multipole Method to Compute the Conductive Heat Flows to and Between Pipes in a Composite Cylinder . **Notes on Heat Transfer**. University of Lund.
- BRUNSTRÖM, C., LARSSON, M., HOLST, P., ZINKO, H. and HILLSTRÖM, C.G., 1985. The Lyckebo Project a Swedish Central Solar Heating Plant with Seasonal Storage. Report nr UL-FUD-B 85: 13.
- BRUNSTRÖM, C. and LARSSON, M., 1986. The Lyckebo Rock Cavern Seasonal Storage Plant - Performance and Economy . Report no UL-FUD-B 86 : 6.
- BRUNSTRÖM, C., LARSSON, M. and PILEBRÖ, H., 1986. The Lyckebo Project- Thermal Energy Storage in a Rock Cavern . Report nr UL-FUD-B 86: 15.
- BRUNSTRÖM, C. and HILLSTRÖM, C.G., 1987 . The Lyckebo Project, Solar District Heating with Seasonal Storage in a Rock Cavern. Swedish Council for Building Research, Document D20.
- CARNAHAN, B., LUTHER, H.A. and WILKES, O.J., 1969. **Applied Numerical Methods**. John Wiley and Sons, Inc.
- CLAESSON, J. and BENNET, J., 1987. Multipole Method to Compute the Conductive Heat Flows to and Between Pipes in a Cylinder. **Notes on Heat Transfer**. University of Lund.
- CLAESSON, J. and HELLSTRÖM, G., 1988. Theoretical and Experimental Study of the Local Heat Transfer in a Borehole with Heat Exchanger Pipes . JIGASTOCK 88. Vesailles, France.
- CLAESSON, J. and ESKILSON, P., 1988. Conductive Heat Extraction to a Deep Borehole : Thermal Analyses and Dimensioning Rules. **Energy**. Vol.13, No.6, 509-527.

- DREW, M.S. and SELVAGE, R.B.G., 1980. Sizing Procedure and Economic Optimization Methodology for Seasonal Storage Solar Systems. **Solar Energy**. Vol.25, 79-83
- DUFFIE, J.A. and BECKMAN, W.A., 1980. **Solar Engineering of Thermal Processes**. John Wiley and Sons. Inc.
- ESKILSON, P. and HELLSTRÖM, G., 1987. Response Test for a Heat Store with 25 Boreholes Measured Data. **Notes on Heat Transfer**. Lund Institute of Technology.
- ESKILSON, P. and HELLSTRÖM, G., 1987. Response Test for a Heat Store with 25 Boreholes. **Notes on Heat Transfer**. Lund Institute of Technology.
- ESKILSON, P., 1987. Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes. **Notes on Heat Transfer**. University of Lund.
- GARG, H.P., MULLICK, S.C. and BHARGAVA, A.K., 1985. **Solar Thermal Energy Storage**. D. Reidel Publishing Company.
- GIVONI, B., 1977. Underground Long Term Storage of Solar Energy- an Overview. **Solar Energy**. 19. 617-623.
- GOSWAMI, D.Y. and DHALIWAL, A.S., 1985. Heat Transfer Analysis in Environmental Control Using an Underground Air Tunnel. **Journal of Solar Energy Engineering**. Vol.107, 141-145.
- KAKAÇ, S. and YENER, Y., 1979. **Heat Conduction**. Middle East Technical University, Ankara, Publication Number : 60.
- KENISARIN, M.M., LUND, P.D. and KARABAEV, M.K., 1988. Numerical Modeling of a Centralized Solar Heating System with Seasonal Thermal Storage. **Applied Solar Energy**. Vol.24, No.2, 52-56.
- KILIÇ, A. ve ÖZTÜRK, A., 1983. **Güneş Enerjisi**. Kipaş Dağıtımçılık.
- KREYSZIG, E., 1988. **Advanced Engineering Mathematics**. John Wiley and Sons. Newyork.
- LUND, P.D. and KANGAS, M.T., 1983. Net Energy Analysis of District Solar Heating with Seasonal Heat Storage. **Energy**. 8 : No 10, 813-819.
- LUND, P.D. and OSTMAN, M.B., 1985. A Numerical Model for Seasonal Storage of Solar Heat in the Ground by Vertical Pipes. **Solar Energy**. 34: no.4/5, 351-366.

- LUND, P.D., 1986 . Computational Simulation of District Solar Heating System with Seasonal Thermal Energy Storage. **Solar Energy**. 36: no.5, 397-408.
- LUND, P.D., 1986. Effect of Storage Thermal Behavior in Seasonal Storage Solar Heating System . Report TTK-F-A604. Otaniemi.
- LUND, P.D., KENISARIN, M.M. and KARABAEV, M.K., 1987. A Feasibility Study of Seasonal Thermal Storage in Solar Heating System for Southern Climates . Report TTK-F-A-617 . Otaniemi.
- LUND, P.D., 1987. Performance Comparison of Storage Control Strategies in CSHPSS. **Journal of Solar Energy Engineering**. 109.
- LUND, P.D. and PELTOLA, S.S., 1987. Verification of a CSHPSS Simulation Program with Emphasis on System Control. **Solar Energy**. 39: no.6, 513- 519.
- LUND, P.D., 1987 . Fundamentals of Thermal Processes in a Hybrid Thermal Energy Storage . Report TTK-F-A609- Otaniemi.
- LUND, P.D., 1988. Effect of Storage Thermal Behavior in Seasonal Storage Solar Heating System . **Solar Energy** . 40: no.3, 249-258.
- LUND, P.D., 1989 . Optimization of a Community Solar Heating System with a Heat Pump and Seasonal Storage . **Solar Energy**. 33 : no 3/4, 353-361.
- LUND, P.D., 1989 . A General Design Methodology for Seasonal Storage Solar Systems. **Solar Energy**. 42: no.3, 235-251.
- LUND, P.D., 1989. Effect of Climates on Major CSHPSS Design Parameters . **Solar Energy**. 42: no. 6, 487-494.
- LUNDE, P. J., 1979 . Prediction of the Performance of Solar Heating System Utilizing Annual Storage . **Solar Energy**. Vol.22, 69-75.
- MAKINEN, R. and LUND, P.D., 1983 . Kerava Solar Village- Assisted Heat Pump System with Long- Term Heat Storage. Report TTK-F-A521- Otaniemi.
- MATSUMOTO, M. and KOTERA, N ., 1988. "An Analysis of the Heat Storage Process in Wet Soil Solved as a Coupled Problem . **Energy and Buildings**. 11: 239-247.

- MUSTACCHI, C., CENA, V. and ROCCHI, M., 1981. Long-Term Storage of Solar Heat. **Energy and Buildings**. 3: 77-114.
- SHELTON, J., 1975. Underground Storage of Heat in Solar Heating System. **Solar Energy**. 17. 137-143.
- PATANKAR, S.V., 1980. **Numerical Heat Transfer and Fluid Flow**. Mc.Graw-Hill.
- ÜNSAL, M. and DOĞANTAN, Z.S., 1980. **Solar Tables, Design Data for Solar Aided Space Heating System**. Middle East Technical University, Gaziantep Campus.
- ÜNSAL, M., 1981. Güneş Enerjisi Takviyeli Isıtma Sistemleri İçin Aylık Ortalama Geçiş - Yutma Sayısı. **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, Cilt 4. Sayı 2. 35-44.
- ÜNSAL, M., 1981. Güneş Enerjisi Takviyeli Bina Isıtılmasında Yararlı Enerjinin Hesaplanması. **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**. Cilt 3. sayı 3. 29-33.
- ÜNSAL, M. ve YUMRUTAŞ, R., 1989. Güneş Enerjisinin Toprak Altında Mevsimlik Depolanması ve Isı Pompası Eşliğinde Konutların Isıtılması. **Isı Bilimi ve Tekniği 7. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı**. 334-346.
- ÜNSAL, M., 1991. Yeraltında Küresel Tanklarda Güneş Enerjisinin Mevsimlik Depolanmasında Toprak ve Depo Sıcaklıklarının Kuramsal Yöntemle Öngörülmesi. **II. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu, Isı ve Enerji Grubu Bildiri Kitabı**. 153-157.
- VAN DEN BRINK, G.J. and HOOGENDOORN, C.J., 1983. Ground Water Flow Heat Losses for Seasonal Heat Storage in the Soil. **Solar Energy**. 30: No.4, 367-371.
- WIJSMAN, A.J.Th.M. and HAVINGA, J., 1985. Groningen Project : 96 Solar Houses with Seasonal Heat Storage in the Soil.
- WIJSMAN, A.J.Th.M. and HAVINGA, J., 1988. National Evaluation Summary of the Netherlands the Groningen CSHPSS.
- YUMRUTAŞ, R., 1991. Computer Simulation of Solar Aided Heat Pump Systems with Underground Spherical Thermal Energy Store. **A Master Thesis**. Gaziantep University.
- Saatlik Güneş Işınları Şiddetinin Saatlik Ortalama Değerleri Tablosu ve Saatlik Hava Sıcaklığı (Termograf) Tablosu. Elazığ Meteoroloji İstasyonu, 1990.

EK 1. KÜRESEL ISI DEPOLU ISITMA SİSTEMİNİN AKIŞ DİYAGRAMI VE BİLGİSAYAR PROGRAM LİSTESİ



C BU PROGRAM KÜRESEL MEVSİMLİK ISI DEPOLU, GÜNEŞ ENERJİSİ TAKVİYELİ,
 C ISI POMPALI KONUT ISITMA SİSTEMİNDE GEÇİŞLİ ISI TRANSFER PROBLEMİNİ
 C ÇÖZEREK, ISIL SİSTEMİNİN YILLIK GÜNEŞ KATKISI DEĞERİNİ VE DİĞER
 C YILLIK ENERJİ BİLANÇOLARINI HESAPLAR.
 C
 C
 C

```

REAL H(8760),TA(8760),RO(12),DELTA(12),HO(12),KT(12),HDH(12),KTOP
REAL HDF(12),WS1(12),WS2(12),WSP(12),RBA(12),RB(12)
REAL A1(12),B1(12),RT(12),RDK(12),RN(12),HT(12),DT(12)
REAL R(12),DK(12),QV(12),QB(12),RJ(13),ETA3(12),ETA4(12),E1(13)
REAL TDEPO(12),XC(12),S(12),FIBAR(12),QU(12),FW(14),QS(12),HK(12)
REAL RP(12),TAG(14),FA(8760),A(12),B(12),C(12),WB(12),WSK(12)
REAL WS(12),QD(12),FARK(12),TG(12),RBAR(12),COP(12),QG(12),EF(12)
REAL ITC(12),W(8760),QIC(12),QKAYIP(12),RK(12),FWD(12),FAA(12)
REAL TDH(13),TILK(12),TMAV(12),HMAV(12),TAL(12),TALB(12)
INTEGER IAY(12),LAY(12),KAY(12)
CHARACTER*7 AYLAR(12)
DATA DK/0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,0.0,0.0/
DATA R1, KSA, AC, ITCINS, KMARKA, URK, CEF/
* 60.0, 500, 40, 1, 2, 0.001, 0.5/
OPEN(1,FILE='FKURE.DAT')
OPEN(3,FILE='R60.DAT')

```

C
 C YATAY YUZEYE GELEN SAATLIK ISIMA DEGERLERININ VE
 C SAATLIK DIS ORTAM SICAKLIK DEGERLERININ OKUTULMASI

```
READ(1,10)(H(I),I=1,8760)
```

```
10 FORMAT(12F5.2)
```

```
READ(1,20)(TA(I),I=1,8760)
```

```
20 FORMAT(12F5.1)
```

C AYLARDAKI GUN SAYISININ OKUTULMASI

```
READ(1,30)(IAY(I),I=1,12)
```

```
30 FORMAT(12I2)
```

C AYLARIN GUN UZUNLUKLARININ OKUTULMASI

```
READ(1,40)(LAY(I),I=1,12)
```

```
40 FORMAT(12I3)
```

```
READ(1,50)(KAY(I),I=1,12)
```

```
50 FORMAT(12I3)
```

C TOPRAGIN YANSIMA KATSAYISININ OKUTULMASI

```
READ(1,60)(RO(K),K=1,12)
```

```
60 FORMAT(12F3.1)
```

```

READ(1,70)(AYLAR(K),K=1,12)
70 FORMAT(6(A7))
PI=4.*ATAN(1.0)
C WRITE(3,*)'TOPLAYICI EGIM ACISI'
C READ(1,*)BT
BT=38.7
C ELAZIG ENLEM DERECESI'TETA'
TETA=38.7
C
C GUNLUK GUNES ISINIMIN AYLIK ORTALAMA DEGERLERI VE
C AYLIK ORTALAMA DIS ORTAM SICAKLIK DEGERLERININ ELDESI
J1=1
TC=0.0
HM=0.0
DO 80 I=1,12
TC=TC+TA(I)
HM=HM+H(I)
KM=KAY(J1)*24
IF(I.LT.KM) GO TO 80
TMAV(J1)=TC/(IAY(J1)*24)
HMAV(J1)=HM/IAY(J1)*4.1868/100.
TG(J1)=TMAV(J1)+2.0
J1=J1+1
TC=0.0
HM=0.0
80 CONTINUE
HMAV(1)=20.9
HMAV(2)=19.9
HMAV(3)=15.6
HMAV(4)=10.2
HMAV(5)=5.9
HMAV(6)=4.6
HMAV(7)=4.9
HMAV(8)=8.00
HMAV(9)=10.9
HMAV(10)=15.3
HMAV(11)=17.2
HMAV(12)=21.1
TMAV(1)=27.2
TMAV(2)=27.0

```

```
TMAV(3)=22.0
TMAV(4)=14.8
TMAV(5)= 7.8
TMAV(6)= 1.5
TMAV(7)=-1.3
TMAV(8)= 0.0
TMAV(9)= 4.7
TMAV(10)=11.8
TMAV(11)=17.40
TMAV(12)=22.9
DO 82 I=1,12
  TG(I)=TMAV(I)+2.0
82 CONTINUE
C  WRITE(4,200)
C 200 FORMAT(5X,'TOPLAYICININ MARKASI ')
C  READ(1,*) KMARKA
C
  IF(KMARKA.EQ.1) GOTO 85
  IF(KMARKA.EQ.2) GOTO 86
  IF(KMARKA.EQ.3) GOTO 87
  IF(KMARKA.EQ.4) GOTO 88
85 UL=7.40
  TALN=0.89
  FRR=0.90
  B0=0.078
  WRITE(3,91)
91 FORMAT(80('*'),/' TOPLAYICI TIPI = SIYAH BOYA - TEK CAM ')
  GO TO 90
86 UL=4.50
  TALN=0.76
  FRR=0.95
  B0=0.15
  WRITE(3,92)
92 FORMAT(80('*'),/' TOPLAYICI TIPI = SIYAH BOYA - CIFT CAM ')
  GO TO 90
87 UL=5.0
  TALN=0.80
  FRR=0.95
  B0=0.11
  WRITE(3,93)
93 FORMAT(80('*'),/' TOPLAYICI TIPI = SECICI YUZEY - TEK CAM ')
```

```

GO TO 90
88 UL=3.20
   TALN=0.74
   FRR=0.94
   B0=0.16
   WRITE(3,94)
94 FORMAT(80('*'),/' TOPLAYICI TIPI = SECICI YUZEY - CIFT CAM ')
90 WW=0.0
   GS=1353.0
   TETAA=TETA*PI/180.
   BTT=BT*PI/180.
C
C  AYLIK ORTALAMA EGİK YUZEY İSİMA DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI
DO 100 I=1,12
DELTA(I)=(23.45*SIN(2*PI*(284.+LAY(I))/365.))*PI/180.
WSK(I)=ACOS(-1.*TAN(TETAA)*TAN(DELTA(I)))
HQ=86400*GS/PI*(1.+0.033*COS(2.*PI*LAY(I)/365.))*(COS(TETAA)*
*COS(DELTA(I))*SIN(WSK(I))+WSK(I)*SIN(TETAA)*SIN(DELTA(I)))/10**6
HO(I)=ABS(HQ)
KT(I)=HMAV(I)/HO(I)
HDH(I)=0.775+0.00653*(WSK(I)*180./PI-90.)-(0.505+0.00455*(WSK(I)*
*180./PI-90.))*(COS((115.*KT(I)-103.)*PI/180.))
WS1(I)=ACOS(-1.*TAN(TETAA)*TAN(DELTA(I)))
WS2(I)=ACOS(-1.*TAN(TETAA-BTT)*TAN(DELTA(I)))
XC1=WS1(I)-WS2(I)
IF(XC1.GE.0.0) GO TO 110
WSP(I)=WS1(I)
GO TO 120
110 WSP(I)=WS2(I)
120 RA=(COS(TETAA-BTT)*COS(DELTA(I))*SIN(WSP(I))+WSP(I)*
*SIN(TETAA-BTT)*SIN(DELTA(I)))/(COS(TETAA)*COS(DELTA(I))*
*SIN(WSK(I))+WSK(I)*SIN(TETAA)*SIN(DELTA(I)))
RBA(I)=ABS(RA)
R(I)=(1.-HDH(I))*RBA(I)+HDH(I)*(1.+COS(BTT))/2.+RO(I)*(1.-COS(BTT)
*)/2.
HT(I)=R(I)*HMAV(I)
C
C  FİBAR YONTEMI İLE İLGİLİ DEĞERLERİN ELDESİ
C
A1(I)=0.409+0.5016*SIN(WSK(I)-(PI/3.))

```

```

B1(I)=0.6609-0.4767*SIN(WSK(I)-(PI/3.))
RT(I)=(PI/24.*(A1(I)+B1(I)*COS(WW))*(COS(WW)-COS(WSK(I))))/
*(SIN(WSK(I))-WSK(I)*COS(WSK(I)))
RDK(I)=PI/24.*(COS(WW)-COS(WSK(I)))/(SIN(WSK(I))-WSK(I)*
*COS(WSK(I)))
HDF(I)=1.188-2.272*KT(I)+9.473*KT(I)**2-21.865*KT(I)**3+
*14.648*KT(I)**4
IF(KT(I).LE.0.17) HDF(I)=0.99
IF(KT(I).GE.0.80) HDF(I)=0.20
RB(I)=ABS((COS(TETAA-BTT)*COS(DELTA(I))*COS(WW)+SIN(TETAA-BTT)*
*SIN(DELTA(I)))/(COS(TETAA)*COS(DELTA(I))*COS(WW)+SIN(TETAA)*
*SIN(DELTA(I))))
RN(I)=(1.-RDK(I)*HDF(I)/RT(I))*RB(I)+RDK(I)/RT(I)*HDF(I)*(1.+
*COS(BTT))/2.+RO(I)*(1.-COS(BTT))/2.
A(I)=2.943-9.271*KT(I)+4.031*KT(I)**2
B(I)=-4.345+8.853*KT(I)-3.602*KT(I)**2
C(I)=-0.170-0.306*KT(I)+2.936*KT(I)**2
RP(I)=RN(I)/R(I)
RBAR(I)=1./RP(I)

```

100 CONTINUE

C

C YUTMA- GECIRME KATSAYISININ AYLIK ORTALAMASININ ELDESİ

C

```

TETAT= 89.8-0.5788*TETA+0.002693*TETA**2
TETAR=PI*TETAT/180.
TALR=TALN*(1.+B0*(1.-1./COS(TETAR)))
TETAD=PI/3.
TALD=TALN*(1.+B0*(1.-1./COS(TETAD)))
DO 130 I=1,12
TETAB=ACOS(COS(TETAA-BTT)*COS(DELTA(I))*COS(5.*PI/24.)
*+SIN(TETAA-BTT)*SIN(DELTA(I)))
TALB(I)=TALN*(1.+B0*(1.-1./COS(TETAB)))
TALP=(1.-HDH(I))*RBA(I)*TALB(I)+HDH(I)*TALD*(1.+COS(BTT))/2.
*+RO(I)*TALR*(1.-COS(BTT))/2.
TALPD=(1.-HDH(I))*RBA(I)+HDH(I)*(1.+COS(BTT))/2.+RO(I)*(1.-COS(
*BTT))/2.
TAL(I)=TALP/TALPD

```

130 CONTINUE

WRITE(3,140)

140 FORMAT(128('-',),/ ,2X,'AY',6X,'TA',7X,'H',7X,'HT',6X,'HO',7X,'KT')

```

DO 150 I=1,12
  WRITE(3,160) AYLAR(I),TMAV(I),HMAV(I),HT(I),HO(I),KT(I)
160 FORMAT(A7,2X,F5.2,2X,F7.3,2X,F7.3,2X,F7.3,2X,F7.3)
150 CONTINUE
  WRITE(3,170)
170 FORMAT(128('-',),/,2X,'AY',6X,'RB',6X,'R',7X,'RT',7X,'RN',7X,
  *'HD/H',6X,TAL')
  DO 180 I=1,12
    WRITE(3,190) AYLAR(I),RB(I),R(I),RT(I),RN(I),HDH(I),TAL(I)
190 FORMAT(A7,2X,F7.3,2X,F7.3,2X,F7.3,2X,F7.3,2X,F7.3,3X,F6.2)
180 CONTINUE
C DO 195 I=1,12
C TAL(I)=0.96*TALN
C 195 CONTINUE
C
C TOPRAK CINSININ BELIRLENMESI
C WRITE(4,206)
C 206 FORMAT(5X,' TOPRAK CINSI ')
C READ(1,*)ITCINS
C
C TOPRAGIN FIZIKSEL OZELIKLERININ TESPITI
650 IF(ITCINS.EQ.1) GO TO 401
  IF(ITCINS.EQ.2) GO TO 402
  IF(ITCINS.EQ.3) GO TO 403
  IF(ITCINS.EQ.4) GO TO 404
C
401 ROT=1500.
  CT=848.
  KTOP=1.4
  ALFAT=1.1E-6
  WRITE(3,695)
695 FORMAT(80('*'),/' TOPRAK CINSI = KIL')
  GOTO 200
402 ROT=1500.
  CT=800.
  KTOP=0.3
  ALFAT=2.5E-7
  WRITE(3,696)
696 FORMAT(80('*'),/' TOPRAK CINSI = KUM')
  GOTO 200
403 ROT=2640.

```

```

CT=811.
KTOP=3.0
ALFAT=1.4E-6
WRITE(3,697)
697 FORMAT(80('*'),/' TOPRAK CINSI = GRANIT')
GOTO 200
404 ROT=2050.
CT=1842.
KTOP=0.519
ALFAT=1.39E-7
WRITE(3,698)
698 FORMAT(80('*'),/' TOPRAK CINSI = IRI CAKILLI ')
C
C
C DK, DUZELTME KATSAYILARI
C URK, UNDERRELAXATION KATSAYISI,
C CEF, VARSAYILAN TOPLAYICI VERIMI,
C AC, TOPLAYICI YUZEY ALANI,
C KSA, KONUT SAYISI,
C BASLANGICTA VARSAYILAN ISININ AYLIK BILESENLERININ HESABI
C
200 DO 210 I=1,12
    QG(I)=HT(I)*10**6/(24.*3600)
    QV(I)=KSA*AC*CEF*QG(I)
210 CONTINUE
    DO 292 I=1,12
        WRITE(3,293) QV(I)
293 FORMAT(F7.2)
292 CONTINUE
C R1 KURESEL DEPONUN YARICAPI (M)
VKURE=(4./3*PI*R1**3)
RATIO=VKURE/AC
C
C SUYUN FIZIKSEL OZELIKLERININ TESPITI
ROSU=1000.
CSU=4187.
C P BOYUTSUZ PARAMETRESININ HESABI
P=(ROSU*CSU)/(3.*ROT*CT)
C BIR YIL UZERINDEN BOYUTSUZ ZAMAN DEGERI
Y=ALFAT*31536000/(R1*R1)

```


C
 C KONUT VE ISI POMPASI ILE ILGILI SABIT PARAMETRELERIN SECILMESI
 C TI IC TASARIM SICAKLIGI, TSONZ DERIN TOPRAK SICAKLIGI
 C UD KONUTUN (UA) DEGERININ ISI DEGISTIRICISININ (UA)
 C DEGERINE OLAN ORANI, BETA ISI POMPASI KARAKTERISTIK DEGERI

TI=20.0
 TSONZ=15.0
 TMUT=TSONZ+273.
 FI=(TI-TSONZ)/TMUT
 UD=1.0
 BETA=0.25

C
 C QHT; KONUT TASARIM ISI YUKU (W), TTAS; TASARIM SICAKLIGI

QHT=10000.0
 TTAS=-12.0
 UA=QHT/(TI-TTAS)
 GAMA=(4.*PI*R1*KTOP)/(UA*KSA)
 PC1=4.*PI*R1*KTOP*TMUT
 C3=(KSA*AC)/PC1
 C4=(KSA*UA)/PC1
 WRITE(3,220) UA,PC1,C3,C4,P,TSONZ

220 FORMAT('UA=',F7.2,1X,'PC1=',F10.2,1X,'C3=',F7.3,1X,'C4=',F7.3,1X
 *,'P=',F7.3,1X,'TSONZ=',F4.1)

C
 I=1
 TS=ALFAT*3600./(R1*R1)
 DO 230 N=1,8760
 TOG=N*TS
 FA(N)=(TA(N)-TSONZ)/TMUT
 IK=KAY(I)*24
 IF(N.NE.IK) GO TO 230
 TAG(I)=(TOG-Y/2.)/Y
 DT(I)=ALFAT*3600.*24.*IAY(I)/(R1*R1)
 FAA(I)=(TMAV(I)-TSONZ)/TMUT
 HK(I)=DK(I)*C4*(TI-TMAV(I))
 I=I+1

230 CONTINUE
 TAG(13)=(TS-Y/2.)/Y
 TAG(14)=-0.5

C
 C BOYUTSUZ ISI AKISI DEGERLERININ HESABI

```

      DO 240 I=1,12
      QB(I)=QV(I)/(4*PI*R1*KTOP*TMUT)
240 CONTINUE
C
C
C   NT SONSUZ SERIDEKI ELEMAN SAYISI
      NT=10
      TOP1=0.0
      DO 250 J=1,12
        TOP1=TOP1+QB(J)
250 CONTINUE
      A0=TOP1/12.
C
      DO 260 J=1,13
        RJ(J)=(J-7)/12.
260 CONTINUE
C
C   BASLANGIC DEGERLERININ GIRILMESI
      DO 270 I=1,12
        TILK(I)=TSONZ
270 CONTINUE
      NP=1
C
410 DO 280 I=1,14
      SUMG=0.0
      DO 290 NI=1,NT
        RD=2.*PI*NI
        T2=P*RD/Y
        QR=SQRT(NI*P/Y)
        ETA1=1.+QR
        ETA2=QR+T2
        SQ1=ETA1*ETA1
        SQ2=ETA2*ETA2
        ACNS=1./(PI*NI*(SQ1+SQ2))
        SUMA=0.0
        SUMB=0.0
        DO 300 J=1,12
          D1=RD*RJ(J+1)
          D2=RD*RJ(J)

```

```

ETA3(J)=SIN(D1)-SIN(D2)
ETA4(J)=COS(D1)-COS(D2)
SUMA=SUMA+QB(J)*(ETA1*ETA3(J)+ETA2*ETA4(J))
SUMB=SUMB+QB(J)*(ETA2*ETA3(J)-ETA1*ETA4(J))
300 CONTINUE
E1(I)=RD*TAG(I)
SUMG=SUMG+ACNS*(COS(E1(I))*SUMA+SIN(E1(I))*SUMB)
290 CONTINUE
FW(I)=A0+SUMG
280 CONTINUE
C
FWD(1)=(FW(1)+FW(12))/2.
FWD(12)=(FW(11)+FW(12))/2.
DO 310 I=2,11
FWD(I)=(FW(I)+FW(I-1))/2.
310 CONTINUE
C WP=0.0
C I=1
C DO 320 N=1,8760
C CF=DK(I)*UD*(FI-FA(N))+FI
C W(N)=DK(I)*(FI-FA(N))*(CF-FWD(I))/(BETA*(CF+1))
C IF(FWD(I).GE.CF) W(N)=0.0
C WP=WP+W(N)
C IK=KAY(I)*24
C KM=IAY(I)*24
C IF(N.NE.IK) GO TO 320
C WD(I)=WP/KM
C WP=0.0
C I=I+1
C 320 CONTINUE
DO 330 I=1,13
TDH(I)=(FW(I)+1.)*TMUT-273.
330 CONTINUE
C
DO 340 I=1,12
TDEPO(I)=(FWD(I)+1.)*TMUT-273.
ITC(I)=UL*(TDEPO(I)-TG(I))/TAL(I)
IF(ITC(I).LE.0.0) ITC(I)=0.0
XC(I)=(ITC(I)*3600.)/(RT(I)*RN(I)*HT(I)*10**6)
FIBAR(I)=EXP((A(I)+(B(I)*RP(I)))*(XC(I)+C(I)*XC(I)**2))

```

```

QU(I)=FRR*TAL(I)*HT(I)*FIBAR(I)*10**6/(24.*3600.)
S(I)=C3*QU(I)
CF=DK(I)*UD*(FI-FAA(I))+FI
WO(I)=DK(I)*(FI-FAA(I))*(CF-FWD(I))/(BETA*(CF+1))
IF(FWD(I).GE.CF) WO(I)=0.0
WS(I)=WO(I)/GAMA
QS(I)=S(I)-HK(I)+WS(I)
340 CONTINUE
  KK=12
  DO 350 J=1,12
    FARK(J)=TDEPO(J)-TILK(J)
    IF(ABS(FARK(J)).GE.1.E-3) GO TO 350
    KK=KK-1
350 CONTINUE
  IF(MOD(NP,100).EQ.0) GO TO 360
  GO TO 370
360 WRITE(3,375)NP,TDEPO(1),TDEPO(3),TDEPO(6),TDEPO(9),TDEPO(12)
375 FORMAT('ITER=',I4,2X,'T1=',F7.4,2X,'T3=',F7.4,2X,'T6=',F7.4,2X,
  *'T9=',F7.4,2X,'T12=',F7.4)
370 IF(KK.EQ.0.OR.NP.EQ.6000) GO TO 380
C
C  UNDER RELAXATION ISLEMI
  DO 390 JJ=1,12
    QD(JJ)=QB(JJ)+URK*(QS(JJ)-QB(JJ))
    QB(JJ)=QD(JJ)
    TILK(JJ)=TDEPO(JJ)
390 CONTINUE
C
  NP=NP+1
  TOP1=0.0
  DO 400 J=1,12
    TOP1=TOP1+QD(J)
400 CONTINUE
  A0=TOP1/12.
  GO TO 410
380 DO 420 I=1,12
  EF(I)=QU(I)/QG(I)
  IF(WS(I).LE.0.001) GO TO 430
  COP(I)=HK(I)/WS(I)
  GO TO 420

```

430 COP(I)=0.0

420 CONTINUE

C

TOPY1=0.0

QIC(1)=P*(FW(1)-FW(13))

DO 440 I=1,12

II=I+1

QIC(II)=P*(FW(I+1)-FW(I))

440 CONTINUE

C

C ENERJI BILANCOSU ICIN SAGLAMA ISLEMI

DO 450 I=1,12

QKAYIP(I)=QS(I)-QIC(I)

RK(I)=S(I)+WS(I)-QIC(I)-QKAYIP(I)-HK(I)

450 CONTINUE

C

C YILLIK ISIL ANALIZIN YAPILMASI

QYSOL=0.0

QYI=0.0

QYKON=0.0

QYKAY=0.0

WYYIL=0.0

QYNET=0.0

EFY=0.0

C

DO 460 I=1,12

QYI=QYI+QIC(I)

QYKAY=QYKAY+QKAYIP(I)*DT(I)

QYKON=QYKON+HK(I)*DT(I)

QYSOL=QYSOL+S(I)*DT(I)

QYNET=QYNET+QS(I)*DT(I)

WYYIL=WYYIL+WD(I)*DT(I)

EFY=EFY+EF(I)

460 CONTINUE

EFY=EFY/12.

WYYIL=WYYIL/GAMA

RS=QYSOL+WYYIL

RS1=QYSOL/RS

RS2=WYYIL/RS

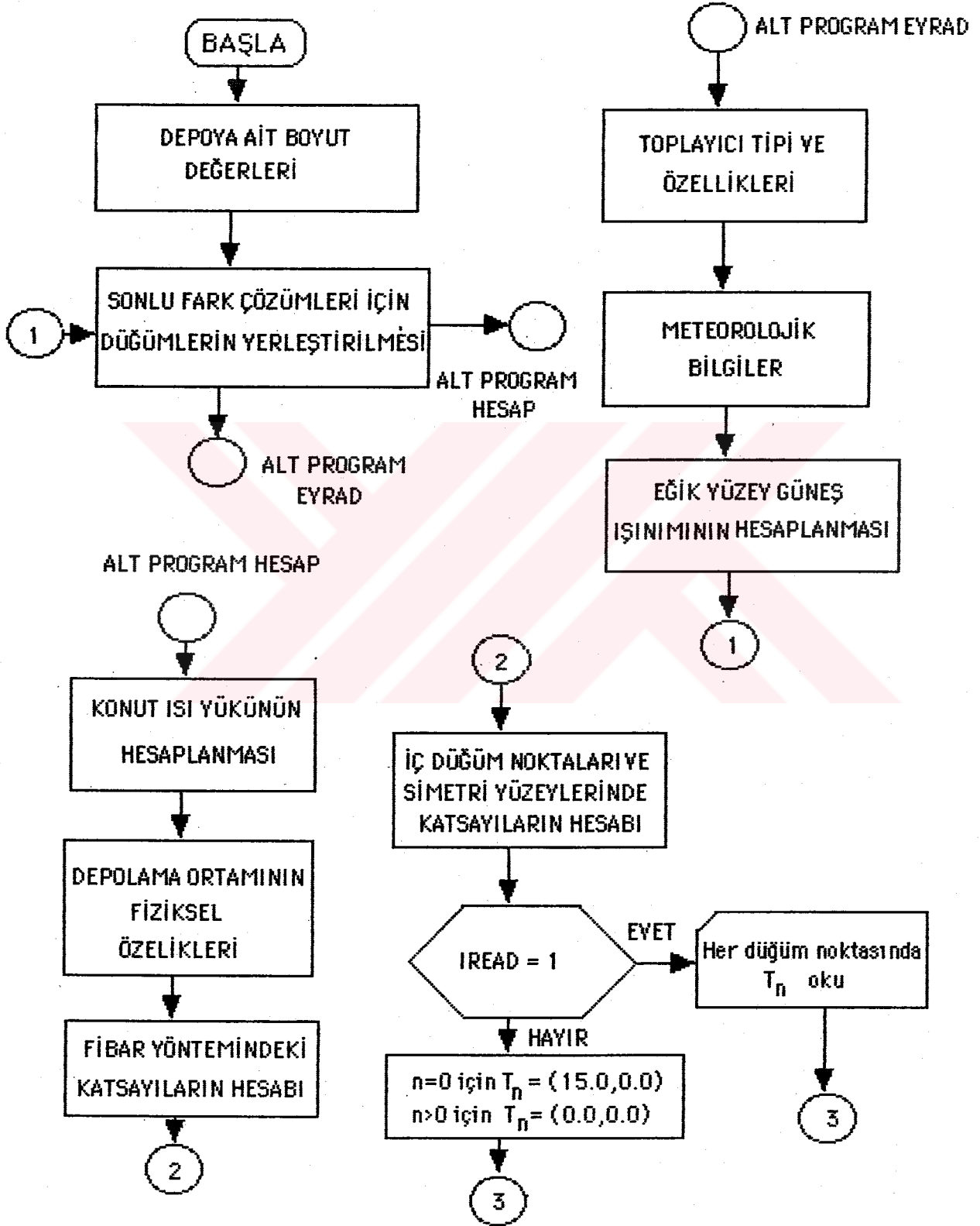
```

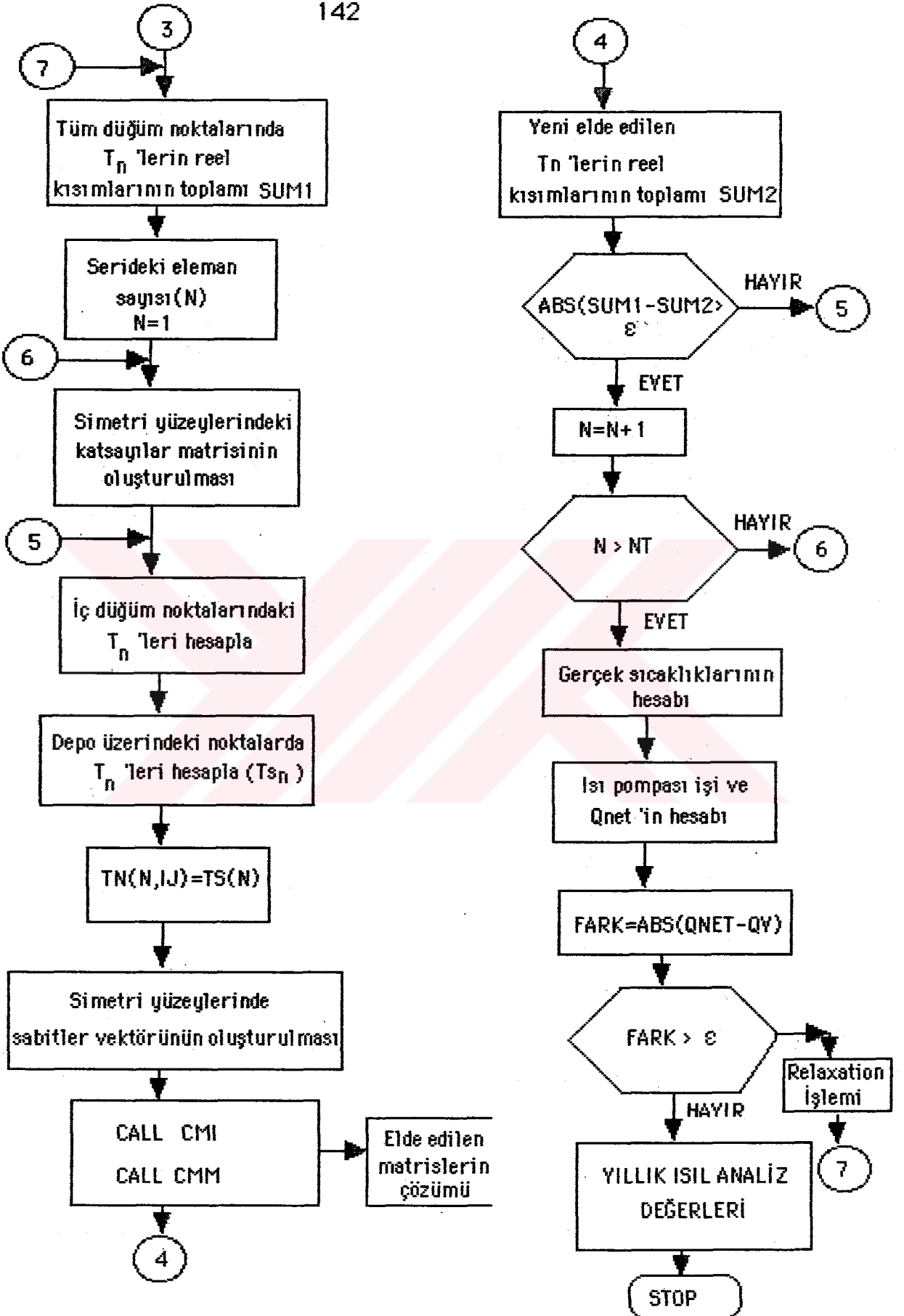
RS3=QYI/RS
C RS4=QYNET/RS
  RS4=QYKAY/RS
  RS5=QYKON/RS
C
  WRITE(3,470)
470 FORMAT(98('-',),/,5X,'AY',9X,'XC',8X,'ITC',8X,'FIBAR',5X,'RBAR'
  *,7X,'QU',7X,'QG')
C
  DO 480 I=1,12
    WRITE(3,490) AYLAR(I),XC(I),ITC(I),FIBAR(I),RBAR(I),QU(I),QG(I)
480 CONTINUE
490 FORMAT(2X,A7,5X,F6.3,5X,F6.2,5X,F6.3,5X,F5.3,5X,F6.2,
  *3X,F6.2)
  IF(WYYIL.EQ.0.0) GO TO 500
  COPY=QYKON/WYYIL
  GO TO 510
500 COPY=0.0
510 FSOL1=1-WYYIL/QYKON
  FSOL2=(QYSOL-QYKAY)/QYKON
  DEFENC=QYKON/(QYSOL+WYYIL)
  TORT=A0*TMUT+TSONZ
C
  WRITE(3,520)
520 FORMAT(98('-',),/,3X,'AY',7X,'TDEPO',6X,'HKON',7X,'S',9X,'QS'
  *,10X,'WS',9X,'FARK')
  DO 530 I=1,12
    WRITE(3,540) AYLAR(I),TDEPO(I),HK(I),S(I),QS(I),WS(I),FARK(I)
530 CONTINUE
540 FORMAT(2X,A7,2X,F7.2,3X,F7.3,3X,F6.3,4X,F8.3,4X,F8.5,4X,
  *F8.5)
C
C
  WRITE(3,550)
550 FORMAT(98('-',),/,4X,'AY',9X,'QIC',10X,'QKAY',8X,'RK',13X,'COP',
  *10X,'EF')
C
  DO 560 I=1,12
    WRITE(3,570)AYLAR(I),QIC(I),QKAYIP(I),RK(I),COP(I),EF(I)
560 CONTINUE
570 FORMAT(1X,A7,5X,F7.3,5X,F7.3,6X,F6.4,6X,F8.2,6X,F6.3)

```

```
WRITE(3,580) QYSOL,QYKAY,QYKON,WYYIL
580 FORMAT('QSO=',F10.6,1X,'QKA=',F8.6,1X,'QKO=',F10.6,1X,'WY=',F11.7)
C
WRITE(3,590) QYI,P,EFY,COPY
590 FORMAT('QYI=',F12.9,2X,'P=',F7.4,1X,'EFY=',F6.3,1X,'COPY=',F6.2)
C
WRITE(3,600)RS1,RS2,RS3,RS4,RS5
600 FORMAT('RS1=',F6.3,2X,'RS2=',F6.3,2X,'RS3=',F6.3,2X,
*'RS4=',F6.3,2X,'RS5=',F6.3)
C
WRITE(3,610) NP,R1,AC,KSA,VKURE
610 FORMAT('ITER=',I4,2X,'R1=',F6.2,2X,'AC=',F6.2,2X,'KONUT=',I4,2X,
*'VKURE=',F14.2)
C
WRITE(3,620) KK,URK,RATIO,BT
620 FORMAT('KK=',I2,1X,'URK=',F6.4,1X,'V/AC=',F10.2,1X,'TOP EG=',F5.2)
WRITE(3,630) FSOL1,FSOL2,DEFENC,TORT
630 FORMAT('FSOL1=',F6.3,1X,'FSOL2=',F6.3,1X,'DEP VER=',F6.3,1X,
*'TORT=',F7.3)
C
ITCINS=ITCINS+1
IF(ITCINS.GT.4) GO TO 640
GO TO 650
640 STOP
END
```

EK2. SİLİNDİRİK ISI DEPOLU ISITMA SİSTEMİNİN AKIŞ DİYAGRAMI VE BİLGİSAYAR PROGRAM LİSTESİ





C BU PROGRAM SİLİNDİRİK ISI DEPOLU, GÜNEŞ ENERJİSİ TAKVİYELİ, ISI
 C POMPALI, KONUT ISITMA SİSTEMİNİN YILLIK PERFORMANSINI HESAPLAR.
 C
 C

```

REAL TAO(40,40),T1(8,40,40),TTOP(8,40,40)
REAL E1(40),W1(40),N1(40),S1(40),S2(40),N2(40),E2(40),E3(40)
REAL N3(40),S3(40),DX(40),DY(40)
REAL DXK(40),DYK1(40),DYK2(40),RD(8),DYB(40),A4(8)
REAL SUM(8),SUM1(8),SUM2(8),X(40),Y(40),XX(40),YY(40)
REAL HT(12),RN(12),KT(12),RT(12),TAL(12),R(12)
REAL TMAV(12),TG(12),TA(8760)
COMPLEX A1(8,40,40),A2(8,40),A3(8,40),SUM6(8,40,40)
COMPLEX CA1(40),CA2(40),MAT1(40),MAT2(40)
COMPLEX TAA(8),QBB(8),TSN(8),TN1(8,40,40)
COMPLEX TAM1(40,40),TAM2(40,40),TTAM1(40,40)
COMPLEX TN(8,40,40),TTAM2(40,40)

```

```
COMMON /SERIS/NT
```

```
COMMON /SAB/ R1,R2
```

```
COMMON /BAB/ D1,D2,D3
```

```
COMMON /IBOY/ M1,M2,L1,L2,L3,L4,L5,L6,L7,L8
```

C DATA NT/ 4/

```
DATA MX1,MX2,NZ1,NZ2,NZ3/
```

```
* 6, 10, 8, 6, 8/
```

```
DATA BETA1,BETA2,BETA3,BETA4,BETA5/
```

```
* 0.0, 2.0, 2.0, 0.0, 2.0/
```

C DATA R1, R2, D1, D2, D3/

C * 4.0, 104.0, 100.0, 113.0, 213.0/

```
OPEN(1,FILE='FSIL.DAT')
```

```
OPEN(3,FILE='V1.DAT')
```

```
OPEN(6,FILE='BASL.DAT')
```

```
NT=7
```

C DEPO BOYUT DEGERLERI

```
R1=2.0
```

```
R2=102.0
```

```
D1=100.
```

```
D2=106.0
```

```
D3=206.0
```

C

C R1 DEPONUN YARICAPI

```

C WRITE(4,201)
C 201 FORMAT(5X,'DEPONUN YARICAPI')
C R2 INCELENEN TOPRAGIN YARICAPI
C WRITE(4,202)
C 202 FORMAT(5X,'INCELENEN TOPRAGIN YARICAPI')

C D1 DEPO UST YUZEYININ TOPRAK YUZEYINE OLAN MESAFESI
C WRITE(4,203)
C 203 FORMAT(5X,'DEPO UST YUZEYININ TOPRAK YUZEYINE OLAN MESAFESI')
C D2 DEPO DIBININ TOPRAK YUZEYINE OLAN MESAFESI
C WRITE(4,204)
C 204 FORMAT(5X,'DEPO DIBININ TOPRAK YUZEYINE OLAN MESAFESI')
C D3 TOPRAGIN SONSUZ DERINLIGI
C WRITE(4,205)
C 205 FORMAT(5X,'TOPRAGIN SONSUZ DERINLIGI ')
C PROBLEMİN BOYUTSUZ GEOMETRİSİNİN HESABI
  XM=R2/R1
  EPS1=D1/R1
  EPS2=D2/R1
  EPS3=D3/R1
  WRITE(3,206) R1,R2,D1,D2,D3
  WRITE(3,207) XM,EPS1,EPS2,EPS3
206 FORMAT('R1=',F6.2,2X,'R2=',F7.2,2X,'D1=',F7.2,2X,'D2=',F7.2,2X,
  *'D3=',F7.2)
207 FORMAT('XM=',F9.3,2X,'EPS1=',F9.3,2X,'EPS2=',F9.3,2X,'EPS3=',F9.3)
C
C MX1 DEPO ÜZERİNDE X- YÖNÜNDE DUGUM SAYISI
C BETA1 BUYULTME KATSAYISI
  M1=MX1
  TOP1=0.0
  DO 208 I=1,MX1-2
    TOP1=TOP1+(1.+BETA1)**I
208 CONTINUE
  DX1=1./(1.+TOP1)
  DX(I)=DX1
  DO 209 I=2,MX1-1
    DX(I)=DX1*((1.+BETA1)**(I-1))
209 CONTINUE
C MX2 DEPO İLE İZOLASYON YUZEYİ ARASINDAKİ DUGUM SAYISI
C BETA2 BUYULTME KATSAYISI

```

```

TOP2=0.0
DO 210 I=1,MX2-2
TOP2=TOP2+(1.+BETA2)**I
210 CONTINUE
DX2=(XM-1)/(1.+TOP2)
DX(MX1)=DX2
DO 211 I=2,MX2-1
DXK(I)=DX2*((1.+BETA2)**(I-1))
DX(MX1+I-1)=DXK(I)
211 CONTINUE
MXX=MX1+MX2-2
M2=MX1+MX2-1
X(1)=DX(1)
DO 212 I=2,MXX
X(I)=X(I-1)+DX(I)
212 CONTINUE
C NZ1 DEPO ILE UST YUZEY ARASINDA Z- YONUNDEKI DUGUM SAYISI
C BETA3 BUYULTME KATSAYISI
L1=NZ1
TOP3=0.0
DO 213 I=1,NZ1-2
TOP3=TOP3+(1.+BETA3)**I
213 CONTINUE
DY1=EPS1/(1.+TOP3)
DO 214 I=2,NZ1-1
DYB(I)=DY1*((1.+BETA3)**(I-1))
214 CONTINUE
DY(NZ1-1)=DY1
DO 227 I=2,NZ1-1
II=I-1
DY(NZ1-1-II)=DYB(I)
227 CONTINUE
C NZ2 DEPO UST YUZEYI ILE ALT YUZEY ARASINDA
C Z- YONUNDEKI DUGUM SAYISI
C BETA4 BUYULTME KATSAYISI
TOP4=0.0
DO 215 I=1,NZ2-2
TOP4=TOP4+(1.+BETA4)**I
215 CONTINUE
DY2=(EPS2-EPS1)/(1.+TOP4)

```

```

DY(NZ1)=DY2
DO 216 I=2,NZ2-1
DYK1(I)=DY2*((1.+BETA4)**(I-1))
DY(NZ1+I-1)=DYK1(I)
216 CONTINUE
L2=NZ1+NZ2-1
C NZ3 DEPO ALT YUZEYI ILE ALT YUZEY ARASINDA
C Z- YONUNDEKI DUGUM SAYISI
C BETA5 BUYULTME KATSAYISI
TOP5=0.0
DO 217 I=1,NZ3-2
TOP5=TOP5+(1.+BETA5)**I
217 CONTINUE
DY3=(EPS3-EPS2)/(1.+TOP5)
DY(NZ1+NZ2-1)=DY3
DO 218 I=2,NZ3-1
DYK2(I)=DY3*((1.+BETA5)**(I-1))
DY(NZ1+NZ2+I-2)=DYK2(I)
218 CONTINUE
NN1=NZ1+NZ2+NZ3-3
Y(1)=DY(1)
DO 219 J=2,NN1
Y(J)=Y(J-1)+DY(J)
219 CONTINUE
L3=NZ1+NZ2+NZ3-2
DO 220 I=1,MXX
WRITE(3,221) I,X(I),DX(I)
221 FORMAT('I=',I3,5X,'X=',F9.4,5X,'DX=',F9.4)
220 CONTINUE
DO 222 J=1,NN1
WRITE(3,223) J,Y(J),DY(J)
223 FORMAT('J=',I3,5X,'Y=',F9.3,5X,'DY=',F9.4)
222 CONTINUE
WRITE(3,224) DX1,DX2,DY1,DY2,DY3
224 FORMAT('DX1=',F9.4,1X,'DX2=',F9.4,1X,'DY1=',F9.4,1X,'DY2=',F9.4,
*1X,'DY3=',F9.4)
WRITE(3,225) BETA1,BETA2,BETA3,BETA4,BETA5
225 FORMAT('BETA1=',F8.3,1X,'BETA2=',F8.3,1X,'BETA3=',F8.3,1X,
*BETA4=',F8.3,1X,'BETA5=',F8.3)
C

```

```

L4=L3-L2+L1-3
L5=L2-L1-1
L6=L3-2
L7=L3-3
L8=L2-L1+2
WRITE(3,226) M1,M2,L1,L2,L3,L4,L5,L6,L7,L8
226 FORMAT('M1=',I3,1X,'M2=',I3,1X,'L1=',I3,1X,'L2=',I3,1X,'L3=',I3,
*1X,'L4=',I3,1X,'L5=',I3,1X,'L6=',I3,1X,'L7=',I3,1X,'L8=',I3)
C
CALL EYRAD(HT,TA,TMAV,TG,R,RN,RT,KT,TAL,FRR,UL)
CALL HESAP(HT,TA,TMAV,TG,R,RN,RT,KT,TAL,FRR,UL,
*DX,DY,X,CA1,CA2, MAT1, MAT2, TAM1,TAM2,TTAM1,TTAM2,TN,TN1
*,TA0,T1,TTOP,QBB,TAA,TSN,A1,E1,W1, N1,S1,A2,S2,N2,E2,A3,E3
*,N3,S3,RD,A4,SUM,SUM1,SUM2,SUM6,Y,XX,YY)
STOP
END
C
SUBROUTINE EYRAD(HT,TA,TMAV,TG,R,RN,RT,KT,TAL,FRR,UL)
REAL HT(12),TA(8760),TMAV(12),TG(12),R(12)
REAL RN(12),KT(12),TAL(12),RT(12)
REAL H(8760),RD(12),DELTA(12),WS(12),H0(12)
REAL HDF(12),WS1(12),WS2(12),WSP(12),RBA(12),RB(12)
REAL A(12),B(12),RDK(12)
REAL HDH(12),HMAV(12),TALB(12)
INTEGER IAY(12),LAY(12),KAY(12)
CHARACTER*7 AYLAR(12)
DATA KMARKA/ 2/
C
C YATAY YUZEYE GELEN GUNLUK ISIMA DEGERLERININ AYLIK ORTALAMASI VE
C AYLIK ORTALAMA CEVRE SICAKLIK DEGERLERININ OKUTULMASI
READ(1,1)(H(I),I=1,8760)
1 FORMAT(12F5.2)
READ(1,2)(TA(I),I=1,8760)
2 FORMAT(12F5.1)
C AYLARDAKI GUN SAYISININ OKUTULMASI
READ(1,3)(IAY(I),I=1,12)
3 FORMAT(12I2)
C AYLARIN GUN UZUNLUKLARININ OKUTULMASI
READ(1,4)(LAY(I),I=1,12)
4 FORMAT(12I3)

```

```

READ(1,5)(KAY(I),I=1,12)
5 FORMAT(12I3)
C  TOPRAGIN YANSIMA KATSAYISININ OKUTULMASI
READ(1,6)(RO(K),K=1,12)
6 FORMAT(12F3.1)
READ(1,7)(AYLAR(I),I=1,12)
7 FORMAT(6(A7))
PI=4.*ATAN(1.0)
C  WRITE(4,113)
C 113 FORMAT(5X,' TOPLAYICININ MARKASI ')
C  READ(1,*) KMARKA
C
IF(KMARKA.EQ.1) GOTO 114
IF(KMARKA.EQ.2) GOTO 115
IF(KMARKA.EQ.3) GOTO 116
IF(KMARKA.EQ.4) GOTO 117
C
114 UL=7.4
TALN=0.89
FRR=0.90
B0=0.078
WRITE(3,101)
101 FORMAT(80('*'),/' TOPLAYICI TIPI = SIYAH BOYA - TEK CAM ')
GO TO 15
115 UL=4.5
TALN=0.76
FRR=0.95
B0=0.15
WRITE(3,102)
102 FORMAT(80('*'),/' TOPLAYICI TIPI = SIYAH BOYA - CIFT CAM ')
GO TO 15
116 UL=5.0
TALN=0.80
FRR=0.95
B0=0.11
WRITE(3,103)
103 FORMAT(80('*'),/' TOPLAYICI TIPI = SECICI YUZEY - TEK CAM ')
GO TO 15
117 UL=3.20
TALN=0.74
FRR=0.94

```

```

B0=0.16
WRITE(3,104)
104 FORMAT(80('*'),/' TOPLAYICI TIPI = SECICI YUZEY - CIFT ')
C
C  WRITE(3,*)'TOPLAYICI EGIM ACISI'
C  READ(1,*)BT
15  BT=38.7
C  ELAZIG ENLEM DERECESI'TETA'
    TETA=38.7
C
    J1=1
    TC=0.0
    HM=0.0
    DO 8 I=1,8760
    TC=TC+TA(I)
    HM=HM+H(I)
    KM=KAY(J1)*24
    IF(I.LT.KM) GO TO 8
    TMAV(J1)=TC/(IAY(J1)*24)
    HMAV(J1)=HM/IAY(J1)*4.1868/100.
    TG(J1)=TMAV(J1)+2.0
    J1=J1+1
    TC=0.0
    HM=0.0
8  CONTINUE
    HMAV(1)=20.9
    HMAV(2)=19.9
    HMAV(3)=15.6
    HMAV(4)=10.2
    HMAV(5)= 5.9
    HMAV(6)= 4.6
    HMAV(7)= 4.9
    HMAV(8)= 8.0
    HMAV(9)=10.9
    HMAV(10)=15.3
    HMAV(11)=17.2
    HMAV(12)=21.1
    TMAV(1)=27.2
    TMAV(2)=27.0
    TMAV(3)=22.0

```


TMAV(4)=14.8
 TMAV(5)=7.8
 TMAV(6)=1.5
 TMAV(7)=-1.3
 TMAV(8)=0.0
 TMAV(9)=4.7
 TMAV(10)=11.8
 TMAV(11)=17.4
 TMAV(12)=22.9

C

DO 16 I=1,12
 TG(I)=TMAV(I)+2.0

16 CONTINUE

C

WW=0.0
 GS=1353.
 TETAA=TETA*PI/180.
 BTT=BT*PI/180.

C

C AYLIK ORTALAMA EGİK YUZEY ISIMA DEGERLERININ HESAPLANMASI

DO 9 I=1,12

DELTA(I)=(23.45*SIN(2*PI*(284.+LAY(I))/365.))*PI/180.

WS(I)=ACOS(-1.*TAN(TETAA)*TAN(DELTA(I)))

HQ=86400*GS/PI*(1.+0.033*COS(2.*PI*LAY(I)/365.))*

*(COS(TETAA)*COS(DELTA(I))*SIN(WS(I))+WS(I)*SIN(TETAA))*
 *SIN(DELTA(I)))/10**6

H0(I)=ABS(HQ)

KT(I)=HMAV(I)/H0(I)

HDH(I)=0.775+0.00653*(WS(I)*180./PI-90.)-(0.505+0.00455*

*(WS(I)*180./PI-90.))*(COS((115.*KT(I)-103.)*PI/180.))

WS1(I)=ACOS(-1.*TAN(TETAA)*TAN(DELTA(I)))

WS2(I)=ACOS(-1.*TAN(TETAA-BTT)*TAN(DELTA(I)))

XC=WS1(I)-WS2(I)

IF(XC.GE.0.0) GO TO 11

WSP(I)=WS1(I)

GO TO 10

11 WSP(I)=WS2(I)

10 RA=(COS(TETAA-BTT)*COS(DELTA(I))*SIN(WSP(I))+WSP(I)*

*SIN(TETAA-BTT)*SIN(DELTA(I)))/(COS(TETAA)*COS(DELTA(I))*

*SIN(WS(I))+WS(I)*SIN(TETAA)*SIN(DELTA(I)))

RBA(I)=ABS(RA)

$$R(I) = (1 - HDH(I)) * RBA(I) + HDH(I) * (1 + \cos(BTT)) / 2 + RO(I) * (1 - \cos(BTT)) / 2$$

$$HT(I) = R(I) * HMAV(I)$$

C
C
C

FIBAR YONTEMI ILE ILGILI DEGERLER

$$A(I) = 0.409 + 0.5016 * \sin(WS(I) - (PI/3))$$

$$B(I) = 0.6609 - 0.4767 * \sin(WS(I) - (PI/3))$$

$$RT(I) = (PI/24 * (A(I) + B(I) * \cos(WW)) * (\cos(WW) - \cos(WS(I)))) / (\sin(WS(I)) - WS(I) * \cos(WS(I)))$$

$$RDK(I) = PI/24 * (\cos(WW) - \cos(WS(I))) / (\sin(WS(I)) - WS(I) * \cos(WS(I)))$$

$$HDF(I) = 1.188 - 2.272 * KT(I) + 9.473 * KT(I)**2 - 21.865 * KT(I)**3 + 14.648 * KT(I)**4$$

$$\text{IF}(KT(I) \leq 0.17) \text{ HDF}(I) = 0.99$$

$$\text{IF}(KT(I) \geq 0.8) \text{ HDF}(I) = 0.20$$

$$RB(I) = \text{ABS}((\cos(TETAA - BTT) * \cos(\Delta(I)) * \cos(WW) + \sin(TETAA - BTT) * \sin(\Delta(I))) / (\cos(TETAA) * \cos(\Delta(I)) * \cos(WW) + \sin(TETAA) * \sin(\Delta(I))))$$

$$RN(I) = (1 - RDK(I) * HDF(I) / RT(I)) * RB(I) + RDK(I) / RT(I) * HDF(I) * (1 + \cos(BTT)) / 2 + RO(I) * (1 - \cos(BTT)) / 2$$

9 CONTINUE

C
C
C

YUTMA - GEÇİRME KATSAYISININ AYLIK ORTALAMASININ HESABI

$$TETAT = 89.8 - 0.5788 * TETA + 0.002693 * TETA**2$$

$$TETAR = PI * TETAT / 180$$

$$TALR = TALN * (1 + B0 * (1 - 1 / \cos(TETAR)))$$

$$TETAD = PI / 3$$

$$TALD = TALN * (1 + B0 * (1 - 1 / \cos(TETAD)))$$

DO 17 I=1,12

$$TETAB = \text{ACOS}(\cos(TETAA - BTT) * \cos(\Delta(I)) * \cos(5 * PI / 24) + \sin(TETAA - BTT) * \sin(\Delta(I)))$$

$$TALB(I) = TALN * (1 + B0 * (1 - 1 / \cos(TETAB)))$$

$$TALP = (1 - HDH(I)) * RBA(I) * TALB(I) + HDH(I) * TALD * (1 + \cos(BTT)) / 2 + RO(I) * TALR * (1 - \cos(BTT)) / 2$$

$$TALPD = (1 - HDH(I)) * RBA(I) + HDH(I) * (1 + \cos(BTT)) / 2$$

$$+ RO(I) * (1 - \cos(BTT)) / 2$$

$$TAL(I) = TALP / TALPD$$

17 CONTINUE

```

WRITE(3,18)
18 FORMAT(128('*'),/,4X,'AY',4X,'TA',9X,'H',8X,'HT',8X,'KT',8X,
*'RO',8X,'TAL')
DO 19 I=1,12
WRITE(3,20) AYLAR(I),TMAV(I),HMAV(I),HT(I),KT(I),RO(I),TAL(I)
20 FORMAT(A7,2X,F6.2,4X,F6.2,4X,F6.2,4X,F6.3,4X,F5.2,4X,F5.2)
19 CONTINUE
RETURN
END

```

C

```

SUBROUTINE HESAP(HT,TA,TMAV,TG,R,RN,RT,KT,TAL,FRR,UL,
*DX,DY,X,CA1,CA2,MAT1,MAT2,TAM1,TAM2,TTAM1,TTAM2,
*TN,TN1,TA0,T1,TTOP,QBB,TAA,TSN,A1,E1,W1,N1,S1,A2,S2,
*N2,E2,A3,E3,N3,S3,RD,A4,SUM,SUM1,SUM2,SUM6,Y,XX,YY)
REAL HT(12),TA(8760),TMAV(12),TG(12),R(12)
REAL RN(12),KT(12),TAL(12),RT(12)
REAL QB(12),ETA3(12),ETA4(12),QV(12),RJ(13)
REAL TTOP(13,M2,L3),T1(13,M2,L3),TA0(M2,L3),QD(12)
REAL DK(12),TAG(14),AA(12),BB(12),CC(12),FA(8760)
REAL QKAYIP(12),QIC(12),RK(12),RN1(12),FWD(13),TDEPO(13)
REAL HK(12),XC(12),ITC(12),FIBAR(12),QU(12),FW(13)
REAL WO(12),S(12),QS(12),WS(12),FAA(12)
REAL RD(NT),A4(NT),X(M2),DX(M2),DY(L3),Y(L3),XX(M2),YY(L3)
REAL SUM(NT),SUM1(NT),SUM2(NT),TD(13)
REAL KTOP,MSU,FARK(12),QY(12),QG(12),EF(12),COP(12)
COMPLEX A1(NT,M2,L3),A2(NT,L3),A3(NT,L3),SUM6(NT,M2,L3)
COMPLEX CA1(L4),CA2(L6),MAT1(L4),MAT2(L6),TN(NT,M2,L3)
COMPLEX TAM2(L6,L6),TTAM1(L4,L4),TTAM2(L6,L6),TSN(NT)
COMPLEX TAA(NT),TN1(NT,M2,L3),TAM1(L4,L4),QBB(NT)
COMPLEX U(12),TOP3,TOP4,A5,A6,A7,PAYDA,F,F3
REAL E1(M2),W1(M2),N1(L3),S1(L3),S2(L3),N2(L3),E2(L3)
REAL E3(L3),N3(L3),S3(L3)
INTEGER KAY(12),IAY(12)
CHARACTER*7 AYLAR(12)
COMMON /SERIS/NT
COMMON /SAB/ R1,R2
COMMON /BAB/ D1,D2,D3
COMMON /IBOY/ M1,M2,L1,L2,L3,L4,L5,L6,L7,L8
READ(1,110)(KAY(I),I=1,12)
110 FORMAT(12I3)

```

```

      READ(1,111)(IAY(I),I=1,12)
111 FORMAT(12I2)
      READ(1,112)(AYLAR(I),I=1,12)
112 FORMAT(6(A7))
      DATA KSA, AC,ITCINS, URK, CEF/
      *    1, 20.0,  4, 0.3, 0.5/
      DATA MAXIT1,MAXIT2,EPSIL1,EPSIL2/
      *    100 , 150, 1.0E-4, 1.0E-3/
      DATA DK/0.0,0.0,0.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,0.0,0.0/
      PI=4.*ATAN(1.0)
C
C  DUZELTME KATSAYILARI DK
C  URK= UNDER RELAXATION KATSAYISI
C
C  TOPLAYICI ALANI= AC, KONUT SAYISI=KSA
C
C  BASLANGICTA VARSAYILAN ISININ HESABI
      DO 119 I=1,12
      QG(I)=HT(I)*10**6/(24*3600.)
      QV(I)=KSA*AC*CEF*QG(I)
119 CONTINUE
C  WRITE(3,120)(QV(I),I=1,12)
C 120 FORMAT('VAR FAY.ISI =',12(1X,F8.2))
C
C  TOPRAK CINSININ BELIRLENMESI
C  WRITE(4,121)
C 121 FORMAT(5X,' TOPRAK CINSI ')
C  READ(1,*)ITCINS
C  TOPRAGIN FIZIKSEL OZELIKLERININ TESPITI
      IF(ITCINS.EQ.1) GO TO 122
      IF(ITCINS.EQ.2) GO TO 123
      IF(ITCINS.EQ.3) GO TO 124
      IF(ITCINS.EQ.4) GO TO 125
C
122 ROT=1500.
      CT=848.
      KTOP=1.4
      ALFAT=1.1E-6
      WRITE(3,105)
105 FORMAT(80('*),' TOPRAK CINSI = KIL')

```

```

GOTO 126
123 ROT=1500.
CT=800.
KTOP=0.3
ALFAT=2.5E-7
WRITE(3,106)
106 FORMAT(80('*'),/' TOPRAK CINSI = KUM')
GOTO 126
124 ROT=2640.
CT=811.
KTOP=3.0
ALFAT=1.4E-6.
WRITE(3,107)
107 FORMAT(80('*'),/' TOPRAK CINSI = GRANIT')
GOTO 126
125 ROT=2050.
CT=1842.
KTOP=0.519
ALFAT=1.39E-7
WRITE(3,108)
108 FORMAT(80('*'),/' TOPRAK CINSI = IRI CAKILLI ')
C
C SUYUN FIZIKSEL OZELIKLERININ TESPITI
126 ROSU=1000.
CSU=4187.
C DEPO ICINDEKI SU MIKTARININ HESABI
MSU=PI*R1**2*(D2-D1)*ROSU
C P BOYUTSUZ PARAMETRESININ HESABI
P=(MSU*CSU)/(2*PI*R1*R1*R1*ROT*CT)
C BIR YIL UZERINDEN BOYUTSUZ ZAMAN DEGERI
YYIL=ALFAT*31536000/(R1*R1)
C
C KONUT VE ISI POMPASI ILE ILGILI SABIT PARAMETRELERIN SECILMESI
TI=20.0
TSONZ=15.0
TMUT=TSONZ+273.
FI=(TI-TSONZ)/TMUT
UD=1.0
BETA=0.25
C QHT KONUT TASARIM ISI YUKU (W), TTAS DIS TASARIM SICAKLIGI(OC)

```

QHT=10000.
 TTAS=-12.0
 UA=QHT/(TI-TTAS)

C

GAMA=(2.*PI*R1*KTOP)/(UA*KSA)
 PC1=2.*PI*R1*KTOP*TMUT
 C33=(KSA*AC)/PC1
 C44=(KSA*UA)/PC1
 DT=ALFAT*3600./(R1*R1)
 WRITE(3,126) C33,C44,PC1,GAMA,UA

126 FORMAT('C3=',F10.4,2X,'C4=',F10.4,2X,'PC=',F10.4,2X,'GAMA=',F10.5,
 *2X,'UA=',F8.3)

C

NP=1
 I=1
 TS=ALFAT*3600./(R1*R1)
 DO 127 N=1,8760
 TOG=N*TS
 FA(N)=(TA(N)-TSONZ)/TMUT
 IK=KAY(I)*24
 IF(N.NE.IK) GO TO 1277
 TAG(I)=(TOG-YYIL/2.)/YYIL
 HK(I)=DK(I)*C44*(TI-TMAV(I))
 FAA(I)=(TMAV(I)-TSONZ)/TMUT
 I=I+1

127 CONTINUE

TAG(13)=(TS-YYIL/2.)/YYIL
 TAG(14)=-0.500

C

C FI BAR YONTEMINDEKI KATSAYILARIN ELDESI

DO 128 I=1,12
 AA(I)=2.943-9.271*KT(I)+4.031*KT(I)**2
 BB(I)=-4.345+8.853*KT(I)-3.602*KT(I)**2
 CC(I)=-0.170-0.306*KT(I)+2.936*KT(I)**2
 RN1(I)=RN(I)/R(I)

128 CONTINUE

C BOYUTSUZ ISI AKISI DEGERLERININ HESABI

DO 129 I=1,12
 QB(I)=QV(I)/(2*PI*R1*KTOP)

129 CONTINUE

WRITE(3,130)

```
130 FORMAT(2X,'NP',2X,'NI',2X,'ITER',5X,'DIF',9X,'TSN',13X,'T5',15X,
  *'SUM2',12X,'QBB')
```

```
C
```

```
TOP1=0.0
TOP2=0.0
DO 131 J=1,12
TOP1=TOP1+QB(J)
TOP2=TOP2+TMAV(J)
```

```
131 CONTINUE
```

```
QBB(1)=TOP1/12.
TAA(1)=TOP2/12.
T5=TAA(1)
DO 132 J=1,13
RJ(J)=(J-7)/12.
```

```
132 CONTINUE
```

```
C NI=0 COZUMU ICIN SINIR SARTLARININ BELIRLENMESI
```

```
DO 133 I=1,M2
TN(1,I,1)=CMPLX(T5,0.0)
```

```
133 CONTINUE
```

```
DO 134 I=1,M2
TN(1,I,L3)=CMPLX(TSONZ,0.0)
```

```
134 CONTINUE
```

```
C
```

```
A4(1)=0.0
```

```
C
```

```
DO 135 NI=2,NT
TOP3=(0.0,0.0)
TOP4=(0.0,0.0)
RD(NI)=2.*PI*(NI-1)
A4(NI)=RD(NI)/YYIL
DO 136 J=1,12
D4=RD(NI)*RJ(J+1)
D5=RD(NI)*RJ(J)
ETA3(J)=SIN(D4)-SIN(D5)
ETA4(J)=COS(D4)-COS(D5)
U(J)=CMPLX(ETA3(J),ETA4(J))
TOP3=TOP3+QB(J)*U(J)
TOP4=TOP4+TMAV(J)*U(J)
```

```
136 CONTINUE
```

QBB(NI)=(1./RD(NI))*TOP3
 TAA(NI)=(1./RD(NI))*TOP4

C

C NI SIFIRDAN FARKLI DEGERLERI ICIN SINIR SARTLARININ IFADESI

C UST YUZEY SINIR SARTI

DO 137 I=1,M2

TN(NI,I,1)=TAA(NI)

137 CONTINUE

C

C ALT YUZEY SINIR SARTI

DO 138 I=1,M2

TN(NI,I,L3)=(0.0,0.0)

138 CONTINUE

135 CONTINUE

C

C DO 139 NI=1,NT

C WRITE(3,140) TAA(NI),QBB(NI)

C 140 FORMAT('TAA=',2F9.3,2X,'QBB=',2F9.3)

C 139 CONTINUE

RR=R2/R1

C IC DUGUM NOKTALARI ICIN GECERLI KATSAYILAR

C

DO 141 I=1,M2-2

E1(I)=(2.*(X(I)+DX(I+1)/2.))/(X(I)*DX(I+1)*(DX(I)+DX(I+1)))

W1(I)=(2.*(X(I)-DX(I)/2.))/(X(I)*DX(I)*(DX(I)+DX(I+1)))

141 CONTINUE

DO 142 J=1,L3-2

N1(J)=2./(DY(J)*(DY(J)+DY(J+1)))

S1(J)=2./(DY(J+1)*(DY(J)+DY(J+1)))

142 CONTINUE

DO 143 NI=1,NT

DO 143 I=1,M2-2

DO 143 J=1,L3-2

A711=A4(NI)

A71=E1(I)+W1(I)+N1(J)+S1(J)

A1(NI,I,J)=CMLPX(A71,A711)

143 CONTINUE

C

C DEPO TARAFINDAKI SIMETRI YUZEYI ICIN GECERLI KATSAYILAR


```

DO 144 J=1,L3-2
  S2(J)=1./DY(J+1)
  N2(J)=1./DY(J)
  E2(J)=2.*(DY(J)+DY(J+1))/(DX(1)*DX(1))
144 CONTINUE
DO 145 NI=1,NT
DO 145 J=1,L3-2
  A22=S2(J)+N2(J)+E2(J)
  A222=A4(NI)*DY(J)
  A2(NI,J)=CMPLX(A22,A222)
145 CONTINUE
C
C DEPODAN UZAK TARAFTAKI SIMETRI YUZEYI ICIN GECERLI KATSAYILAR
DO 146 NI=1,NT
DO 246 J=1,L3-2
  E3(J)=(RR-0.5*DX(M2-1))*((DY(J)+DY(J+1))/DX(M2-1))
  N3(J)=(RR*DX(M2-1)-0.25*DX(M2-1)*DX(M2-1))*1./DY(J)
  S3(J)=(RR*DX(M2-1)-0.25*DX(M2-1)*DX(M2-1))*1./DY(J+1)
  A33=E3(J)+N3(J)+S3(J)
  A333=(RR*DX(M2-1)-0.25*DX(M2-1)*DX(M2-1))*
* 0.5*(DY(J)+DY(J+1))*A4(NI)
  A3(NI,J)=CMPLX(A33,A333)
246 CONTINUE
146 CONTINUE
C
C DEPO UZERINDEKI DUGUM NOKTALARI ICIN GECERLI KATSAYILAR
D01=DY(L1)/(2.0*DX(M1))
D02=DY(L2-1)/(2.0*DX(M1))
D03=(DX(1)*DX(1))/(8.*DY(L1-1))
D04=DX(1)*DX(1)/(8.*DY(L2))
D05=(4.*DX(M1-1)-DX(M1-1)*DX(M1-1))/(8.*DY(L1-1))
D06=(4.*DX(M1-1)-DX(M1-1)*DX(M1-1))/(8.*DY(L2))
C
SUMM1=0.0
SUMM2=0.0
SUMM3=0.0
DO 147 J=L1+1,L2-1
  SUMM1=SUMM1+DY(J-1)/DX(M1)
147 CONTINUE
DO 148 I=2,M1-1
  SUMM2=SUMM2+(X(I-1)*DX(I-1)/DY(L1-1))

```

```

      SUMM3=SUMM3+(X(I-1)*DX(I-1)/DY(L2))
148 CONTINUE
C
      IREAD=0
      IF(IREAD.EQ.1) GO TO 149
      GO TO 150
149 READ(1,151)((TN(NI,I,J),I=1,M2),J=1,L3),NI=1,NT)
151 FORMAT(10(2F7.2))
      READ(1,510)(QBB(NI),NI=1,NT)
510 FORMAT(4(2F9.3))
      READ(1,1501)(QB(J),J=1,12)
1501 FORMAT(5(F7.3))
      GO TO 152
C
C   BASLANGIC SARTLARININ TAYINI
C
150 DO 153 NI=2,NT
      DO 153 I=1,M2
      DO 153 J=2,L3-1
C      TN(NI,I,J)=(0.0,0.0)
      TN(1,I,J)=CMPLX(TSONZ,0.0)
      TN(NI,I,J)=CMPLX(TSONZ,0.0)
153 CONTINUE
152 DO 154 NI=1,NT
      SUM1(NI)=0.0
      ITER=1
      DO 155 I=1,M2
      DO 155 J=1,L3
          SUM1(NI)=SUM1(NI)+REAL(TN(NI,I,J))
155 CONTINUE
      DO 156 I=1,L4
      DO 156 J=1,L4
          TAM1(I,J)=(0.0,0.0)
156 CONTINUE
C
C   DEPO TARAFINDAKI SIMETRI YUZEYI ICIN
C   KATSAYILAR MATRISININ OLUSTURULMASI
      TAM1(1,1)=A2(NI,1)
      TAM1(1,2)=-S2(1)

```

```

TAM1(L4,L4)=A2(NI,L3-2)
TAM1(L4,L4-1)=-N2(L3-2)
DO 157 I=2,L4-1
IF(I.EQ.(L1-2)) GOTO 158
IF(I.EQ.(L1-1)) GOTO 159
IF(I.GE.L1) GOTO 160
N=I
TAM1(N,I+1)=-S2(I)
TAM1(N,I)=A2(NI,I)
TAM1(N,I-1)=-N2(I)
GO TO 157
158 N=I
TAM1(N,I-1)=-N2(I)
TAM1(N,I)=A2(NI,I)
GO TO 157
159 N=I
TAM1(N,I+1)=-S2(I+L8-1)
TAM1(N,I)=A2(NI,I+L8-1)
GO TO 157
160 N=I
TAM1(N,I+1)=-S2(I+L8-1)
TAM1(N,I)=A2(NI,I+L8-1)
TAM1(N,I-1)=-N2(I+L8-1)
157 CONTINUE
C
DO 161 I=1,L6
DO 161 J=1,L6
TAM2(I,J)=(0.0,0.0)
161 CONTINUE
C
DO 162 I=2,L7
N=I
TAM2(N,I+1)=-S3(I)
TAM2(N,I)=A3(NI,I)
TAM2(N,I-1)=-N3(I)
162 CONTINUE
TAM2(1,1)=A3(NI,1)
TAM2(1,2)=-S3(1)
TAM2(L6,L6)=A3(NI,L3-2)
TAM2(L6,L7)=-N3(L3-2)

```

```

C PRINT*, 'MATRISLER OLUSTU'
C IC DUGUM DEGERLERININ HESAPLANMASI
900 DO 163 I=2,M2-1
    DO 164 J=2,L1-1
        TN(NI,I,J)=E1(I-1)/A1(NI,I-1,J-1)*TN(NI,I+1,J)+W1(I-1)/A1(NI,I-1,
        *J-1)*TN(NI,I-1,J)+S1(J-1)/A1(NI,I-1,J-1)*TN(NI,I,J+1)+N1(J-1)/A1
        *(NI,I-1,J-1)*TN(NI,I,J-1)
164 CONTINUE
163 CONTINUE
C
    DO 165 I=M1+1,M2-1
        DO 166 J=L1,L2
            TN(NI,I,J)=E1(I-1)/A1(NI,I-1,J-1)*TN(NI,I+1,J)+W1(I-1)/A1(NI,I-1,
            *J-1)*TN(NI,I-1,J)+S1(J-1)/A1(NI,I-1,J-1)*TN(NI,I,J+1)+N1(J-1)/A1
            *(NI,I-1,J-1)*TN(NI,I,J-1)
166 CONTINUE
165 CONTINUE
C
    DO 167 I=2,M2-1
        DO 168 J=L2+1,L3-1
            TN(NI,I,J)=E1(I-1)/A1(NI,I-1,J-1)*TN(NI,I+1,J)+W1(I-1)/A1(NI,I-1,
            *J-1)*TN(NI,I-1,J)+S1(J-1)/A1(NI,I-1,J-1)*TN(NI,I,J+1)+N1(J-1)/A1
            *(NI,I-1,J-1)*TN(NI,I,J-1)
168 CONTINUE
167 CONTINUE
C
C DEPO UZERINDEKI DUGUM DEGERLERININ HESABI(TSN)
A5=(0.0,0.0)
DO 169 J=L1+1,L2-1
    A5=A5+(DY(J-1)/DX(M1))*TN(NI,M1+1,J)
169 CONTINUE
A6=(0.0,0.0)
DO 170 I=2,M1-1
    A6=A6+(X(I-1)*DX(I-1)/DY(L1-1))*TN(NI,I,L1-1)
170 CONTINUE
A7=(0.0,0.0)
DO 171 I=2,M1-1
    A7=A7+(X(I-1)*DX(I-1)/DY(L2))*TN(NI,I,L2+1)
171 CONTINUE
PAYDA1=P*A4(NI)

```

```

PAYD11=(D01+D02+D03+D04+D05+D06+SUMM1+SUMM2+SUMM3)
PAYDA=CMPLX(PAYD11,PAYDA1)
TSN(NI)=(QBB(NI)+D01*TN(NI,M1+1,L1)+D02*TN(NI,M1+1,L2)+A5+
*D03*TN(NI,1,L1-1)+D04*TN(NI,1,L2+1)+D05*TN(NI,M1,L1-1)+
*D06*TN(NI,M1,L2+1)+A6+A7)/PAYDA

```

C

```

DO 172 I=1,M1
DO 173 J=L1,L2
    TN(NI,I,J)=TSN(NI)

```

173 CONTINUE

172 CONTINUE

C

```

C DEPO TARAFINDAKI DUGUM NOKTALARI ICIN
C SABITLER VEKTORUNUN OLUSTURULMASI

```

C

```

CA1(1)=N2(1)*TAA(NI)+E2(1)*TN(NI,2,2)
CA1(L4)=S2(L3-2)*TN(NI,1,L3)+E2(L3-2)*TN(NI,2,(L3-1))
CA1(L1-2)=S2(L1-2)*TSN(NI)+E2(L1-2)*TN(NI,2,(L1-1))
CA1(L1-1)=N2(L2)*TSN(NI)+E2(L2)*TN(NI,2,(L2+1))
DO 174 I=2,L1-3
    CA1(I)=E2(I)*TN(NI,2,(I+1))

```

174 CONTINUE

C

```

C IF(L1.LT.(L4-1)) GO TO 175
DO 176 I=L1,L4-1
    CA1(I)=E2(I+L8-1)*TN(NI,2,(I+L8))

```

176 CONTINUE

```

CALL CMI (TTAM1,TAM1,L4,L4)
CALL CMM (MAT1,TTAM1,CA1,L4,L4,L4,1)

```

C PRINT*,'MAT 1 COZULDU'

C

C DEPONUN UZAK KOSESINDEKI DUGUM DEGERLERININ HESAPLANMASI

C

C DEPONUN UZAK KOSESİ ICİN SABITLER VEKTORUNUN OLUSTURULMASI

C

```

CA2(1)=E3(1)*TN(NI,M2-1,2)+N3(1)*TAA(NI)
CA2(L6)=E3(L3-2)*TN(NI,M2-1,L3-1)+S3(L3-2)*TN(NI,M2,L3)
DO 177 J=2,L7
    CA2(J)=E3(J)*TN(NI,M2-1,J+1)

```

177 CONTINUE

```

C
  CALL CMI(TTAM2,TAM2,L6,L6)
  CALL CMM(MAT2,TTAM2,CA2,L6,L6,L6,1)
C  PRINT*,'MAT2 COZULDU'
C
  DO 178 I=2,L1-1
    TN(NI,1,I)=MAT1(I-1)
178 CONTINUE
    DO 179 I=L2+1,L3-1
      TN(NI,1,I)=MAT1(I-L8)
179 CONTINUE
C
  DO 180 I=2,L3-1
    TN(NI,M2,I)=MAT2(I-1)
180 CONTINUE
C
  SUM(NI)=0.0
  DO 181 I=1,M2
    DO 181 J=1,L3
      SUM(NI)=SUM(NI)+REAL(TN(NI,I,J))
181 CONTINUE
  SUM2(NI)=SUM(NI)
  DIF=SUM2(NI)-SUM1(NI)
  IF(MOD(ITER,10).EQ.0.0) GO TO 182
  GO TO 183
C 182 WRITE(3,184) NP,NI,ITER,DIF,TSN(NI),TN(NI,M2,5),SUM2(NI),QBB(NI)
C  PRINT*,'MATRISLER OLUSTU'
182 PRINT*,' NP=',NP,'NI=',NI,'ITER=',ITER,'DIF=',DIF,
  *'TSN(NI)=' ,TSN(NI)
C 184 FORMAT(I4,1X,I2,1X,I4,1X,F11.5,1X,2F9.4,1X,2F9.4,1X,F9.2,1X,2F9.2)
183 IF(ABS(DIF).LE.EPSIL1.OR.ITER.EQ.MAXIT1) GO TO 154
  SUM1(NI)=SUM2(NI)
  ITER=ITER+1
  GO TO 900
154 CONTINUE
C
  DO 185 I=1,M2
    DO 185 J=1,L3
      TAO(I,J)=TN(1,I,J)
185 CONTINUE
  DO 186 NI=2,NT

```

```

DO 186 I=1,M2
DO 186 J=1,L3
  TN1(NI,I,J)=CONJG(TN(NI,I,J))
186 CONTINUE
SUM5=0.0
C
DO 187 I=1,13
DO 188 II=1,M2
DO 189 JJ=1,L3
DO 190 NI=2,NT
  F1=COS(2.*PI*(NI-1)*TAG(I))
  F2=SIN(2.*PI*(NI-1)*TAG(I))
  F=CMPLX(F1,F2)
  F3=CONJG(F)
  SUM5=SUM5+TN(NI,II,JJ)*F+TN1(NI,II,JJ)*F3
  T1(I,II,JJ)=SUM5
190 CONTINUE
SUM5=0.0
189 CONTINUE
SUM5=0.0
188 CONTINUE
187 CONTINUE
C
DO 191 I=1,13
DO 191 II=1,M2
DO 191 JJ=1,L3
  TTOP(I,II,JJ)=TA0(II,JJ)+T1(I,II,JJ)
191 CONTINUE
DO 192 I=1,13
  FW(I)=(TTOP(I,1,L1)-TSONZ)/TMUT
  TD(I)=(FW(I)+1.)*TMUT-273.
192 CONTINUE
FWD(1)=(FW(1)+FW(12))/2.
FWD(12)=(FW(11)+FW(12))/2.
DO 193 I=2,11
  FWD(I)=(FW(I)+FW(I-1))/2.
193 CONTINUE
C WP=0.0
C I=1
C DO 194 N=1,8760

```

```

C      CF=DK(I)*UD*(FI-FA(N))+FI
C      W(N)=DK(I)*(FI-FA(N))*(CF-FWD(I))/(BETA*(CF+1))
C      IF(FWD(I).GE.CF) W(N)=0.0
C      WP=WP+W(N)
C      IKL=KAY(I)*24
C      KS=IAY(I)*24
C      IF(N.NE.IKL) GO TO 194
C      WO(I)=WP/KS
C      WP=0.0
C      I=I+1
C 194 CONTINUE
      DO 195 I=1,13
          TDEPO(I)=(FWD(I)+1.)*TMUT-273.
195 CONTINUE
      DO 196 I=1,12
          ITC(I)=UL*(TDEPO(I)-TG(I))/TAL(I)
          IF(ITC(I).LE.0.0) ITC(I)=0.0
          XC(I)=(3600.*ITC(I))/(RT(I)*RN(I)*HT(I)*10**6)
          FIBAR(I)=EXP((AA(I)+(BB(I)*RN1(I)))*(XC(I)+CC(I)*XC(I)**2))
          QU(I)=FRR*TAL(I)*HT(I)*FIBAR(I)*10**6/(24*3600.)
          S(I)=C33*QU(I)
          CF=DK(I)*UD*(FI-FAA(I))+FI
          WO(I)=DK(I)*(FI-FAA(I))*(CF-FWD(I))/(BETA*(CF+1))
          IF(FWD(I).GE.CF) WO(I)=0.0
          WS(I)=WO(I)/GAMA
          QS(I)=S(I)-HK(I)+WS(I)
196 CONTINUE
C
C      COZUMUN CONVERGE EDIP ETMEDIGININ KONTROLU
      KK=12
      DO 197 J=1,12
          QY(J)=QS(J)*TMUT
          FARK(J)=QB(J)-QY(J)
          IF(ABS(FARK(J)).GE.EPSIL2) GO TO 197
          KK=KK-1
197 CONTINUE
      IF(KK.EQ.0.OR.NP.EQ.MAXIT2) GO TO 301
C      PRINT*,'NP=',NP
C
C      UNDER RELAXATION ISLEMI

```



```

DO 302 JJ=1,12
  QD(JJ)=QB(JJ)+URK*(QY(JJ)-QB(JJ))
  QB(JJ)=QD(JJ)
302 CONTINUE
  NP=NP+1
DO 303 NI=1,NT
DO 303 I=1,M2
DO 303 J=1,L3
  SUM6(NI,I,J)=TN(NI,I,J)
  TN(NI,I,J)=SUM6(NI,I,J)
303 CONTINUE
TOP1=0.0
DO 304 NI=2,NT
  TOP3=(0.0,0.0)
  RD(NI)=2.*PI*(NI-1)
  A4(NI)=RD(NI)/YYIL
DO 305 J=1,12
  D4=RD(NI)*RJ(J+1)
  D5=RD(NI)*RJ(J)
  ETA3(J)=SIN(D4)-SIN(D5)
  ETA4(J)=COS(D4)-COS(D5)
  U(J)=CMPLX(ETA3(J),ETA4(J))
  TOP3=TOP3+QD(J)*U(J)
  TOP1=TOP1+QD(J)
305 CONTINUE
  QBB(NI)=(1./RD(NI))*TOP3
304 CONTINUE
  QBB(1)=TOP1/12.
  GO TO 152
C
C
C   AYLIK VE YILLIK ISIL ANALIZIN YAPILMASI
C
301 TOPY=0.0
DO 310 I=1,12
  EF(I)=QU(I)/QG(I)
  TOPY=TOPY+EF(I)
  IF(WS(I).LE.0.001) GO TO 311
  COP(I)=HK(I)/WS(I)
  GO TO 310
311 COP(I)=0.0

```

```

310 CONTINUE
    QIC(1)=P*(TD(1)-TD(13))/TMUT
    DO 312 I=1,11
        II=I+1
        QIC(II)=P*(TD(I+1)-TD(I))/TMUT
312 CONTINUE
    DO 313 I=1,12
        QKAYIP(I)=QS(I)-QIC(I)
        RK(I)=S(I)+WS(I)-QIC(I)-QKAYIP(I)-HK(I)
313 CONTINUE
    WRITE(3,80)
80  FORMAT(128('*'),/,4X,'AY',4X,'TDEPO',7X,'FIBAR',5X,'HKON',9X,
    *'S',10X,'QS',10X,'WO')
    DO 81 I=1,12
        WRITE(3,82) AYLAR(I),TDEPO(I),FIBAR(I),HK(I),S(I),QS(I),WO(I)
82  FORMAT(A7,2X,F6.2,5X,F6.3,5X,F5.3,6X,F6.3,6X,F6.3,6X,F7.4)
81  CONTINUE
    WRITE(3,83)
83  FORMAT(128('*'),/,4X,'AY',8X,'QD',9X,'ITC',8X,'VERIM',8X,'COP',
    *9X,'FARK')
    DO 84 I=1,12
        WRITE(3,85) AYLAR(I),QD(I),ITC(I),EF(I),COP(I),FARK(I)
85  FORMAT(A7,2X,F9.2,5X,F7.2,5X,F6.3,6X,F7.2,6X,F8.5)
84  CONTINUE
    WRITE(3,87)
87  FORMAT(128('*'),/,4X,'AY',7X,'QIC',12X,'QKAY',11X,'QU',14X,'RK')
    DO 88 I=1,12
        WRITE(3,89) AYLAR(I),QIC(I),QKAYIP(I),QU(I),RK(I)
89  FORMAT(A7,2X,F9.4,6X,F9.4,7X,F7.2,8X,F10.5)
88  CONTINUE
    QSY=0.0
    QLY=0.0
    WY=0.0
    QY1=0.0
    QLT=0.0
    DO 309 I=1,12
        QSY=QSY+S(I)*DT
        QLY=QLY+HK(I)*DT
        QY1=QY1+QS(I)*DT
        WY=WY+WO(I)*DT
309 CONTINUE

```

```

WY=WY/GAMA
C  QST=P*(FW(13)-FW(12))
  QST=0.0
  QLT=QY1-QST
  RS=QSY+WY
  RS1=QSY/RS
  RS2=WY/RS
  RS3=QST/RS
  RS4=QLT/RS
  RS5=QLY/RS
  WRITE(3,330)
330 FORMAT(128('*'),/)
  EFY=TOPY/12.
  FSOLAR=1-WY/QLY
  IF(WY.EQ.0.0) GO TO 314
  COPY=QLY/WY
  GO TO 315
314 COPY=0.0
315 WRITE(3,318)QSY,QLY,QY1,WY,QST,QLT
318 FORMAT('QSY=',F9.4,1X,'QLY=',F9.4,1X,'QY1=',F9.4,1X,'WY=',F9.4,1X,
  *'QST=',F9.4,1X,'QLT=',F9.4)
  WRITE(3,319)RS1,RS2,RS3,RS4,RS5
319 FORMAT('RS1=',F8.4,1X,'RS2=',F8.4,1X,'RS3=',F8.4,1X,'RS4=',F8.4,
  *1X,'RS5=',F8.4)
  WRITE(3,320)EFY,COPY,FSOLAR
320 FORMAT('EFY=',F8.3,2X,'COPY=',F8.3,2X,'F=',F5.3)
  WRITE(3,331)
331 FORMAT(128('*'),/)
  WRITE(3,332)
332 FORMAT('***** YILLIK SICAKLIK DAGILIMI *****',/)
  WRITE(3,321) ((TA0(I,J),I=1,M2),J=1,L3)
321 FORMAT(15(1X,F5.2))
  WRITE(3,342)
342 FORMAT(128('='))
  DO 324 I=1,12
  WRITE(3,325)I,TAG(I)
325 FORMAT(6X,'I=',I3,6X,'TO/Y=',F8.5)
  WRITE(3,326) ((TTOP(I,II,J),II=1,M2),J=1,L3)
326 FORMAT(15(1X,F5.2))
324 CONTINUE
  XX(1)=0.0

```

```

DO 357 I=2,M2
  XX(I)=X(I-1)
357 CONTINUE
  YY(1)=0.0
  DO 328 J=2,L3
    YY(J)=Y(J-1)
328 CONTINUE
  DO 359 I=1,M2
    DO 359 J=1,L3
      WRITE(3,350)XX(I),YY(J),TA0(I,J)
350 FORMAT(F9.4,5X,F9.4,5X,F6.2)
359 CONTINUE
  DO 307 NI=1,NT
    WRITE(3,308) TSN(NI),TAA(NI),QBB(NI)
307 CONTINUE
308 FORMAT('TSN=',2F8.3,2X,'TAA=',2F8.3,2X,'QBB=',2F8.3)
    WRITE(3,306) NT,NP,KK,URK
306 FORMAT('NT=',I3,2X,'NP=',I3,2X,'KK=',I2,2X,'URK=',F6.2)
    WRITE(3,340)EPSIL1, EPSIL2,MAXIT1,MAXIT2
340 FORMAT('EPSIL1=',F8.6,2X,'EPSIL2=',F8.6,2X,'MAXIT1=',I4,2X,
  *'MAXIT2=',I4)
    WRITE(3,327)((TN(NI,I,J),I=1,M2),J=1,L3),NI=1,NT)
327 FORMAT(10(2F7.2))
    WRITE(6,387)((TN(NI,I,J),I=1,M2),J=1,L3),NI=1,NT)
387 FORMAT(10(2F7.2))
    WRITE(6,388)(QBB(NI),NI=1,NT)
388 FORMAT(4(2F11.4))
    WRITE(6,389)(QB(J),J=1,12)
389 FORMAT(5(F9.3))
  RETURN
  END

```

```

C
SUBROUTINE CMI(QI,Q,MO,N)
  IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
  COMPLEX QI(MO,MO),Q(MO,MO)
  DO 140 I=1,N
    DO 140 J=1,N
140 QI(I,J)=Q(I,J)
  DO 150 M=1,N
    QI(M,M)=1./QI(M,M)

```

```

DO 151 KK=1,N
IF(KK.NE.M) QI(M,KK)=-QI(M,M)*QI(M,KK)
151 CONTINUE
DO 152 KP=1,N
IF(KP.NE.M) QI(KP,M)=QI(KP,M)*QI(M,M)
152 CONTINUE
DO 150 J=1,N
DO 150 KP=1,N
IF((J.NE.M).AND.(KP.NE.M)) QI(KP,J)=QI(KP,J)+QI(KP,M)*QI(M,J)/
*QI(M,M)
150 CONTINUE
RETURN
END

```

C

```

SUBROUTINE CMM(A,B,C,MO,N,NM,M)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
COMPLEX A(MO,MO),B(MO,MO),C(MO,MO)
DO 301 I=1,N
DO 301 J=1,M
A(I,J)=(0.0,0.0)
DO 301 K=1,NM
301 A(I,J)=A(I,J)+B(I,K)*C(K,J)
RETURN
END

```