

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE MEVSİMLİK YERALTI DEPOLU
MERKEZİ ISITMA SİSTEMLERİNİN ISIL VE
EKONOMİK ANALİZİ**

Aynur UÇAR

Tez Yöneticisi:
Doç. Dr. Mustafa İNALLI

DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2005

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE' DE MEVSİMLİK YERALTI DEPOLU
MERKEZİ ISITMA SİSTEMLERİNİN ISIL VE
EKONOMİK ANALİZİ**

Aynur UÇAR

DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 08.11.2005.... tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı/ başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mustafa İNALLI

Üye: Prof. Dr. Seyhan U. ONBASIOĞLU

Üye: Prof. Dr. Vedat TANYILDIZI

Üye: Prof. Dr. Hâzım DİKBİLİR

Üye: Y. Doç. Dr. Mehmet ESEN

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 30.11.2005 tarih ve 2005/40...-5..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tezin yürütölmesini sağlayan ve her türlü yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Mustafa İNALLI 'ya sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Tez süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Prof.Dr. Vedat TANYILDIZI 'na, Prof.Dr. Kazım PIHTILI 'ya, Yrd. Doç. Dr. İhsan DAĞTEKİN 'e teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamın bilgisayar programı kısmında yardımlarına başvurduğum Arş.Gör. Muhammed KARATON ve Arş. Gör. Oğuz YAKUT 'a ve ayrıca manevi desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Nevin ÇELİK 'e teşekkür ederim.

Aynur ÜÇAR



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ	XIV
EKLERİN LİSTESİ	XV
SİMGELER LİSTESİ	XVI
ÖZET	XIX
ABSTRACT	XX
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. MEVSİMLİK GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMALI BİR KONUT ISITMA SİSTEMİNİN ANALİZİ	9
3.1. Isıtma Sisteminin Tanıtımı	9
3.1.1. Güneş Kollektörleri	10
3.1.2. Isı Deposu	12
3.1.3. Isı Pompası	14
3.2. Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Bir Konut Isıtma Sisteminin Ekonomik Analizi	15
4. MEVSİMLİK GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMALI KONUT ISITMA SİSTEMİNİN SAYISAL MODELLENMESİ	17
4.1. Sonlu Elemanlar Metodu	17
4.1.1. Sonlu Elemanlar Yönteminin Tanımı	18
4.1.2. Niçin Sonlu Elemanlar Yöntemi Tercih Edilmektedir?	18
4.1.3. Sonlu Elemanlar Yönteminin Diğer Metotlara Göre Üstünlükleri Nelerdir?	19
4.1.4. Sonlu Elemanlar Metodunun Yaraları Nelerdir?	19
4.1.5. h ve p Elemanları Nelerdir?	20
4.1.6. Cismin Sonlu Elemanlara Bölünmesi	20
4.1.7. İnterpolasyon Fonksiyonları	22
4.1.8. Bir Değişkenli İnterpolasyon Fonksiyonu	22
4.1.9. İki Değişkenli İnterpolasyon Fonksiyonu	22
4.1.10. Üç Değişkenli İnterpolasyon Fonksiyonu	24
4.1.11. Bir Boyutlu Elemanlarda İnterpolasyon Fonksiyonu Olarak Lagrange Polinomların Kullanılması	24

4.1.12. İki Boyutlu Elemanlarda İnterpolasyon Fonksiyonu Olarak Lagrange Polinomların Kullanılması.....	26
4.2. Sayısal Modelleme.....	29
4.2.1. Trapez Depolu Bir Konut Isıtma Sisteminde Sıcaklık Dağılımı Probleminin Tanıtımı..	29
4.2.2. Temel İletim Denklemi.....	31
4.2.3. İzoparatik Formülasyon.....	33
4.2.4. Sonlu Eleman Formülasyonu	36
4.2.5. Sonlu Eleman Ağınnın Üretilmesi.....	41
4.2.6. Bulgular.....	42
4.3. Topraktaki Geçici Rejim Sıcaklık Dağılımı Probleminin ANSYS Programı ile Çözümü.....	52
4.3.1. Giriş.....	51
4.3.2. ANSYS Yazılımı.....	52
4.3.2.1. Giriş Modülü (Preprocessing).....	52
4.3.2.2. Hesap Modülü (Solution).....	53
4.3.2.3. Çıkış Modülü (General Postprocessing).....	54
4.3.3. Elaman tipinin seçimi.....	55
4.3.4. Malzeme özelliklerin belirlenmesi.....	57
4.3.5. Ağ yapısının oluşturulması.....	57
4.3.6. Sonlu Eleman Ağında Düğüm Sayısı Optimizasyonu.....	60
4.3.7. Silindirik, Trapez ve Prizmatik Depolu Isıtma Sistemlerinin Sonlu Eleman Analizi Sonuçları.....	61
4.3.7.1. Silindirik Deponun Farklı Türdeki Toprak İçerisine Gömülmesi Durumunda Sonlu Eleman Analizi Sonuçları.....	62
4.3.7.2. Silindirik Depolu Sistemlerde; Deponun Gömüldüğü Toprağın Kompozisyonun Isıl Sistem Performansına Etkisinin İncelenmesi	75
4.3.7.3. Trapez Deponun Farklı Türdeki Toprak İçerisine Gömülmesi Durumunda Sonlu Eleman Analizi Sonuçları.....	85
4.3.7.4. Trapez Depolu Sistemlerde; Deponun Gömüldüğü Toprağın Kompozisyonun Isıl Sistem Performansına etkisinin İncelenmesi	94
4.3.7.5. Prizmatik Deponun Farklı Türdeki Toprak İçerisine Gömülmesi Durumunda Sonlu Eleman Analizi Sonuçları.....	103
4.3.7.6. Trapez, Silindirik ve Prizmatik Depolu Sistemlerin Sonlu Eleman Analizi Sonuçlarının Kıyaslanması.....	113
4.3.7.7. Silindirik Deponun Yüzeyde ve Farklı Yalıtım Kalınlıklarında Yalıtılması Durumunda	

Sonlu Eleman Analizi Sonuçları.....	120
4.3.8. Silindirik Depolu Sistem için ANSYS programı ile Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçlarının Kıyaslanması.....	129
4.3.9. Bulguların Literatür İle Mukayesesi.....	129
5. MEVSİMLİK GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMALI ISITMA SİSTEMLERİNİN EKONOMİK ANALİZİ.....	132
5.1. Ekserji-Ekonomik Analiz.....	132
5.1.1. Ekserji Analizi.....	132
5.1.2. Ekserji-Ekonomik Analiz ve Optimizasyonu.....	134
5.1.3. Bulgular ve Tartışma.....	135
5.2. Termo-ekonomik Analiz.....	138
5.2.1. Termo-Ekonomik Analizi Sonuçları ve Tartışma.....	139
5.3. Ekserji-Ekonomik Analiz ile Termo-Ekonomik Analiz Sonuçlarının Mukayesesi....	147
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	149
KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Mevsimlik depolamalı merkezi güneş ısıtma sisteminde kullanılan ısı enerjisi depolama teknikleri	1
Şekil 3.1.	Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı konut ısıtma sisteminin şeması	9
Şekil 3.2.	Trapez, silindirik ve prizmatik depoların geometrik özellikleri	13
Şekil 4.1.	SEY' in tasarım aşamasındaki yeri.....	17
Şekil 4.2.	Tek boyutlu elemanlar.....	20
Şekil 4.3.	Çeşitli iki boyutlu elemanlar	21
Şekil 4.4.	Çeşitli üç boyutlu elemanlar	21
Şekil 4.5.	Dönel elemanlar	22
Şekil 4.6.	İki değişkenli bir polinomda terimlerin düzeni	23
Şekil 4.7.	İki boyutlu elemanların dönüşümü	26
Şekil 4.8.	Dört düğümlü dikdörtgen eleman	27
Şekil 4.9.	Düğüm noktaları 4 'den 9 'a kadar değişebilen iki boyutlu elemanların interpolasyon fonksiyonları	28
Şekil 4.10.	Toprak içerisinde sıcaklık dağılımı probleminin geometrisi.....	30
Şekil 4.11.	Genel bir Ω alanı için dörtkenarlı ve dört düğümlü bir elemanın kullanımı.....	31
Şekil 4.12.	Dört düğümlü ve iki boyutlu izoparatik elemanın düğüm numaraları ve koordinatları	33
Şekil 4.13.	Toprak ve toprağa gömülü silindirik deponun sonlu elemanlar modeli	41
Şekil 4.14.	Bazı elemanlar ve düğüm noktaları	42
Şekil 4.15.	Kollektör alanı 20 m^2 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$)	43
Şekil 4.16.	Kollektör alanı 30 m^2 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$)	43
Şekil 4.17.	Kollektör alanı 40 m^2 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$)	44
Şekil 4.18.	Kollektör alanı 50 m^2 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$)	44
Şekil 4.19.	Kumlu toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A=30 \text{ m}^2$, $R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$)	45
Şekil 4.20.	İri çakıllı toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A=30 \text{ m}^2$, $R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$)	45
Şekil 4.21.	Killi toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı	

	(A=30 m ² , R=8 m, H=16 m, D ₁ =10 m)	46
Şekil 4.22.	Granitli toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (A=30 m ² , R=8 m, H=16 m, D ₁ =10 m)	46
Şekil 4.23.	Depo hacmi 170 m ³ için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, A=30 m ² , R=3 m, H=6 m, D ₁ =10 m)	47
Şekil 4.24.	Depo hacmi 401 m ³ için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, A=30 m ² , R=4 m, H=8 m, D ₁ =10 m)	47
Şekil 4.25.	Depo hacmi 785 m ³ için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, A=30 m ² , R=5 m, H=10 m, D ₁ =10 m)	48
Şekil 4.26.	Depo hacmi 1356 m ³ için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, A=30 m ² , R=6 m, H=12 m, D ₁ =10 m)	48
Şekil 4.27.	Depo hacmi 3215 m ³ için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, A=30 m ² , R=8 m, H=16 m, D ₁ =10 m)	49
Şekil 4.28.	Depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine mesafesi 1 m iken yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, A=30 m ² , R=6 m, H=12 m)	49
Şekil 4.29.	Depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine mesafesi 5 m iken yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, A=30 m ² , R=6 m, H=12 m)	50
Şekil 4.30.	Depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine mesafesi 10 m iken yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, A=30 m ² , R=6 m, H=12 m)	50
Şekil 4.31.	Depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine mesafesi 50 m iken yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, A=30 m ² , R=6 m, H=12 m)	51
Şekil 4.32.	ANSYS Plane 55 elemanı	55
Şekil 4.33.	ANSYS' de eleman tipi seçimi.....	56
Şekil 4.34.	ANSYS Solid 70 elemanı	56
Şekil 4.35.	ANSYS 'de malzeme özelliklerinin girilmesi.....	57
Şekil 4.36.	ANSYS' de bölüm sayısının girilmesi.....	58
Şekil 4.37.	Toprak ve toprağa gömülü silindirik deponun sonlu elemanlar modeli.....	59
Şekil 4.38.	Toprak ve toprağa gömülü trapez deponun sonlu elemanlar modeli.....	59
Şekil 4.39.	Depo su sıcaklıklarının düğüm sayısı ile değişimi.....	60
Şekil 4.40.	Toprak ve toprağa gömülü trapez deponun sonlu elemanlar modeline ANSYS' de sınır şartlarının uygulanması.	61
Şekil 4.41.	Farklı türdeki toprak içerisine gömülü olan silindirik deponun prensip şeması.	62
Şekil 4.42.	Silindirik deponun kumlu toprak içerisine gömülmesi durumunda depo su sıcaklığının zamana göre değişimi.....	63

Şekil 4.43.	Silindirik deponun iri çakıllı toprak içerisine gömülmesi durumunda depo su sıcaklığının zamana göre değişimi.....	63
Şekil 4.44.	Silindirik deponun killi toprak içerisine gömülmesi durumunda depo su sıcaklığının zamana göre değişimi.....	64
Şekil 4.45.	Silindirik deponun granitli toprak içerisine gömülmesi durumunda depo su sıcaklığının zamana göre değişimi.....	64
Şekil 4.46.	Farklı toprak türleri içerisine gömülmüş silindirik depodaki su sıcaklığının yıllık değişimi (R=8 m, H=16 m, A=30 m ² , 1 konut)	65
Şekil 4.47.	Silindirik deponun kumlu toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (R=8 m, H=16 m, A=30 m ² , 1 konut)	65
Şekil 4.48.	Silindirik deponun iri çakıllı toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (R=8 m, H=16 m, A=30 m ² , 1 konut)	66
Şekil 4.49.	Silindirik deponun killi toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (R=8 m, H=16 m, A=30 m ² , 1 konut)	66
Şekil 4.50.	Silindirik deponun granitli toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (R=8 m, H=16 m, A=30 m ² , 1 konut)	67
Şekil 4.51.	Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=8 m, H=16 m, 1 konut)	68
Şekil 4.52.	Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=30 m, H=60 m, 50 konut)	68
Şekil 4.53.	Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=60 m, H=120 m, 500 konut)	69
Şekil 4.54.	Silindirik depolu bir sistemin kazancının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=8 m, H=16 m, 1 konut).....	69
Şekil 4.55.	Silindirik depolu bir sistemin kazancının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=30 m, H=60 m, 50 konut).....	70
Şekil 4.56.	Silindirik depolu bir sistemin kazancının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=60 m, H=120 m, 500 konut).....	70
Şekil 4.57.	Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının kolektör alanına bağlı olarak yük ile değişimi (Killi toprak).....	71
Şekil 4.58.	Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (A=30 m ² , 1 konut)	72
Şekil 4.59.	Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (A=30 m ² /konut, 50 konut)	72
Şekil 4.60.	Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı	

	olarak toprak türüne göre değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut)	73
Şekil 4.61.	Silindirik depolu bir sistemin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=30 \text{ m}^2$, 1 konut)	73
Şekil 4.62.	Silindirik depolu bir sistemin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut)	74
Şekil 4.63.	Silindirik depolu bir sistemin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut)	74
Şekil 4.64.	Etrafındaki yapının farklı kompozit yapıda olması durumunda silindirik deponun prensip şeması.....	75
Şekil 4.65.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumda depo su sıcaklığının yıllık değişimi ($R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, 1 konut.)	76
Şekil 4.66.	Silindirik deponun kumlu kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).	76
Şekil 4.67.	Silindirik deponun killi kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).	77
Şekil 4.68.	Silindirik deponun granitli kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).	77
Şekil 4.69.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumda güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi ($R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, 1 konut).....	78
Şekil 4.70.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumda güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi ($R=30 \text{ m}$, $H=60 \text{ m}$, 50 konut).....	78
Şekil 4.71.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumda güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi ($R=60 \text{ m}$, $H=120 \text{ m}$, 500 konut).....	79
Şekil 4.72.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumda sistemin yıllık kazancının kollektör alanı ile değişimi ($R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, 1 konut).....	80
Şekil 4.73.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumda sistemin yıllık kazancının kollektör alanı ile değişimi ($R=30 \text{ m}$, $H=60 \text{ m}$, 50 konut).....	80
Şekil 4.74.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumda sistemin yıllık kazancının kollektör alanı ile değişimi ($R=60 \text{ m}$, $H=120 \text{ m}$, 500 konut).....	81
Şekil 4.75.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut)	82
Şekil 4.76.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut)	82
Şekil 4.77.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut)	83

Şekil 4.78.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda sistemin yıllık kazancının depo hacmi ile değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut) .....83
Şekil 4.79.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda sistemin yıllık kazancının depo hacmi ile değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut) .....84
Şekil 4.80.	Silindirik deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda sistemin yıllık kazancının depo hacmi ile değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut) .....84
Şekil 4.81.	Farklı türdeki toprak içerisine gömülü olan trapez deponun prensip şeması....85
Şekil 4.82.	Trapez deponun kumlu toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A=28 \text{ m}$, $B=14 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $A=30 \text{ m}^2$, 1 konut).....86
Şekil 4.83.	Trapez deponun iri çakıllı toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A=28 \text{ m}$, $B=14 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $A=30 \text{ m}^2$, 1 konut)....86
Şekil 4.84.	Trapez deponun killi toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A=28 \text{ m}$, $B=14 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $A=30 \text{ m}^2$, 1 konut)..... 87
Şekil 4.85.	Trapez deponun granitli toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A=28 \text{ m}$, $B=14 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $A=30 \text{ m}^2$, 1 konut).....87
Şekil 4.86.	Trapez depolu bir sistemde güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=28 \text{ m}$, $B=14 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, 1 konut) .....88
Şekil 4.87.	Trapez depolu bir sistemde güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=72 \text{ m}$, $B=36 \text{ m}$, $C=72 \text{ m}$, 50 konut) .....88
Şekil 4.88.	Trapez depolu bir sistemde güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=180 \text{ m}$, $B=90 \text{ m}$, $C=180 \text{ m}$, 500 konut) .....89
Şekil 4.89.	Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=28 \text{ m}$, $B=14 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, 1 konut) .....89
Şekil 4.90.	Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=72 \text{ m}$, $B=36 \text{ m}$, $C=72 \text{ m}$, 50 konut) .....90
Şekil 4.91.	Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=180 \text{ m}$, $B=90 \text{ m}$, $C=180 \text{ m}$, 500 konut) .....90
Şekil 4.92.	Trapez depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut) .....91
Şekil 4.93.	Trapez depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut) .....91
Şekil 4.94.	Trapez depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut) .....92
Şekil 4.95.	Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut) .....92

Şekil 4.96.	Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut) .....93
Şekil 4.97.	Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut) .....93
Şekil 4.98.	Etrafındaki yapı farklı kompozit yapıda olan trapez deponun prensip şeması ..94
Şekil 4.99.	Trapez deponun kumlu kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A=28 \text{ m}$, $B=14 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $A=30 \text{ m}^2$, 1 konut)...95
Şekil 4.100.	Trapez deponun killi kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A=28 \text{ m}$, $B=14 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $A=30 \text{ m}^2$, 1 konut) ...95
Şekil 4.101.	Trapez deponun granitli kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A=28 \text{ m}$, $B=14 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $A=30 \text{ m}^2$, 1 konut) ...96
Şekil 4.102.	Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi ($A=28 \text{ m}$, $B=14 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$ 1 konut)....96
Şekil 4.103.	Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi ($A=72 \text{ m}$, $B=36 \text{ m}$, $C=72 \text{ m}$, 50 konut)..97
Şekil 4.104.	Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi ($A=180 \text{ m}$, $B=90 \text{ m}$, $C=180 \text{ m}$, 500 konut).....97
Şekil 4.105.	Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda sistemin kazancının kollektör alanı ile değişimi ($A=28 \text{ m}$, $B=14 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$ 1 konut)...98
Şekil 4.106.	Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda sistemin kazancının kollektör alanı ile değişimi ($A=72 \text{ m}$, $B=36 \text{ m}$, $C=72 \text{ m}$, 50 konut)98
Şekil 4.107.	Trapez deponun yarısının farklı toprak içerisine gömülü olması durumunda sistemin kazancının kollektör alanı ile değişimi ($A=180 \text{ m}$, $B=90 \text{ m}$, $C=180 \text{ m}$, 500 konut).....99
Şekil 4.108.	Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A=30 \text{ m}^2$, 1 konut) .....100
Şekil 4.109.	Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A=30 \text{ m}^2$, 50 konut) .....100
Şekil 4.110.	Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A=30 \text{ m}^2$, 500 konut) .....101
Şekil 4.111.	Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda sistemin kazancının depo hacmi ile değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut).....101
Şekil 4.112.	Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda sistemin kazancının depo hacmi ile değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut) .....102

Şekil 4.113.	Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisinde olması durumunda sistemin kazancının depo hacmi ile değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut) .....102
Şekil 4.114.	Farklı türdeki toprak içerisine gömülü olan prizmatik deponun prensip şeması.....103
Şekil 4.115.	Prizmatik deponun farklı toprak içerisine gömülü olması durumunda depo su sıcaklığının yıllık değişimi ($a=7.4 \text{ m}$, $b=14.8 \text{ m}$, 1 konut).....104
Şekil 4.116.	Prizmatik deponun kumlu toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($a=7.4 \text{ m}$, $b=14.8 \text{ m}$, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).....104
Şekil 4.117.	Prizmatik deponun iri çakıllı toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($a=7.4 \text{ m}$, $b=14.8 \text{ m}$, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).....105
Şekil 4.118.	Prizmatik deponun killi toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($a=7.4 \text{ m}$, $b=14.8 \text{ m}$, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).....105
Şekil 4.119.	Prizmatik deponun granitli toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($a=7.4 \text{ m}$, $b=14.8 \text{ m}$, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).....106
Şekil 4.120.	Prizmatik depolu ısıl sistemde farklı kolektör alanları için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi ($a=7.4 \text{ m}$, $B=14.8 \text{ m}$, 1 konut).....106
Şekil 4.121.	Prizmatik depolu ısıl sistemde farklı kolektör alanları için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi ($a=44 \text{ m}$, $B=88 \text{ m}$, 50 konut).....107
Şekil 4.122.	Prizmatik depolu ısıl sistemde farklı kolektör alanları için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi ($a=85 \text{ m}$, $B=170 \text{ m}$, 500 konut).....107
Şekil 4.123.	Prizmatik depolu ısıl sistemde farklı kolektör alanları için toprak türünün sistemin kazancına etkisi ($a=7.4 \text{ m}$, $B=14.8 \text{ m}$, 1 konut).....108
Şekil 4.124.	Prizmatik depolu ısıl sistemde farklı kolektör alanları için toprak türünün sistemin kazancına etkisi ($a=44 \text{ m}$, $B=88 \text{ m}$, 50 konut).....108
Şekil 4.125.	Prizmatik depolu ısıl sistemde farklı kolektör alanları için toprak türünün sistemin kazancına etkisi ($a=85 \text{ m}$, $B=170 \text{ m}$, 500 konut).....109
Şekil 4.126.	Prizmatik depolu ısıl sistemde farklı depo hacimleri için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut).....110
Şekil 4.127.	Prizmatik depolu ısıl sistemde farklı depo hacimleri için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).....110
Şekil 4.128.	Prizmatik depolu ısıl sistemde farklı depo hacimleri için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut).....111
Şekil 4.129.	Prizmatik depolu ısıl sistemde farklı depo hacimleri için toprak türünün sistemin yıllık kazancına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut).....111

Şekil 4.130.	Prizmatik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacimleri için toprak türünün sistemin yıllık kazancına etkisi ($A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).....	112
Şekil 4.131.	Prizmatik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacimleri için toprak türünün sistemin yıllık kazancına etkisi ($A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut).....	112
Şekil 4.132.	Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin kolektör alanına bağlı olarak yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $V=3215 \text{ m}^3$, 1 konutlu).....	113
Şekil 4.133.	Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin kolektör alanına bağlı olarak yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $V=169560 \text{ m}^3$, 50 konut).....	114
Şekil 4.134.	Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin kolektör alanına bağlı olarak yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $V=1356480 \text{ m}^3$, 500 konut)....	114
Şekil 4.135.	Trapez, silindirik ve trapez depolu sistemlerin kolektör alanına bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $V=3215 \text{ m}^3$, 1 konutlu).....	115
Şekil 4.136.	Trapez, silindirik ve trapez depolu sistemlerin kolektör alanına bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $V=169560 \text{ m}^3$, 50 konut)...	115
Şekil 4.137.	Trapez, silindirik ve trapez depolu sistemlerin kolektör alanına bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $V=1356480 \text{ m}^3$, 500 konut).116	
Şekil 4.138.	Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1konutlu).....	117
Şekil 4.139.	Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konutlu).....	117
Şekil 4.140.	Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konutlu).....	118
Şekil 4.141.	Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konutlu).....	118
Şekil 4.142.	Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konutlu).....	119
Şekil 4.143.	Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konutlu).....	119
Şekil 4.144.	Mevsimlik güneş enerjisi depolu ısıtma sisteminin prensip şeması.....	120

Şekil 4.145.	Yüzeydeki silindirik depoda su sıcaklığının farklı yalıtım kalınlıklarına göre değişimi.....	121
Şekil 4.146.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde yalıtım kalınlıkları için depo su sıcaklığının zamana göre değişimi ($D_1=10$ m).....	122
Şekil 4.147.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı kolektör alanları için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($R=8$ m, $H=16$ m, 1 konut).....	122
Şekil 4.148.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı kolektör alanları için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($R=30$ m, $H=60$ m, 50 konut).....	123
Şekil 4.149.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı kolektör alanları için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($R=40$ m, $H=80$ m, 500 konut).....	123
Şekil 4.150.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı kolektör alanları için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi ($R=8$ m, $H=16$ m, 1 konut).....	124
Şekil 4.151.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı kolektör alanları için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi ($R=30$ m, $H=60$ m, 50 konut).....	125
Şekil 4.152.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı kolektör alanları için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi ($R=40$ m, $H=80$ m, 500 konut).....	125
Şekil 4.153.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($A_k=30$ m ² /konut, 1 konut).....	126
Şekil 4.154.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($A_k=30$ m ² /konut, 50 konut).....	126
Şekil 4.155.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($A_k=30$ m ² /konut, 500 konut).....	127
Şekil 4.156.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi ($A_k=30$ m ² /konut, 1 konut).....	127
Şekil 4.157.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi ($A_k=30$ m ² /konut, 50 konut).....	128
Şekil 4.158.	Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi ($A_k=30$ m ² /konut, 500 konut).....	128
Şekil 4.159.	Sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlar ile ANSYS paket programı kullanılarak elde edilen sonuçların mukayesesi.....	129
Şekil 4.160.	Literatür sonuçları (Lund, 1989) ile mevcut çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.....	130
Şekil 5.1.	Bir konutlu bir sistemin toplam maliyet ve ikinci kanun veriminin kolektör alanı ile değişimi.....	136
Şekil 5.2.	50 konutlu bir sistemin toplam maliyet ve ikinci kanun veriminin kolektör alanı	

	ile değişimi.....	137
Şekil 5.3.	500 konutlu bir sistemin toplam maliyet ve ikinci kanun veriminin kolektör alanı ile değişimi.....	137
Şekil 5.4.	Elazığ’ da 1 konutlu bir sistem için optimum kolektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve kazancın değişimi.....	141
Şekil 5.5.	Elazığ’ da 50 konutlu bir sistem için optimum kolektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve kazancın değişimi.....	141
Şekil 5.6.	Elazığ’ da 500 konutlu bir sistem için optimum kolektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve kazancın değişimi.....	142
Şekil 5.7.	Adana’ da 1 konutlu bir sistem için optimum kolektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve kazancın değişimi.....	143
Şekil 5.8.	İzmir’ de 1 konutlu bir sistem için optimum kolektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve kazancın değişimi.....	143
Şekil 5.9.	İstanbul’ da 1 konutlu bir sistem için optimum kolektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve kazancın değişimi.....	144
Şekil 5.10.	Erzurum’ da 1 konutlu bir sistem için optimum kolektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve kazancın değişimi.....	144
Şekil 5.11.	Elazığ’ da 1 konutlu bir sistem için güneş katkısı ve sistem kazancı üzerinde kolektör veriminin etkisi.....	145
Şekil 5.12.	Elazığ’ da 50 konutlu bir sistem için güneş katkısı ve sistem kazancı üzerinde kolektör veriminin etkisi.....	146
Şekil 5.13.	Elazığ’ da 500 konutlu bir sistem için güneş katkısı ve sistem kazancı üzerinde kolektör veriminin etkisi.....	146
Şekil 5.14.	500 konutlu bir sistem için beş ilin geri dönüş süreleri.....	147

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	Güneş Kollektörlerine Ait Parametreler	12
Tablo 3.2.	Ekonomik Analizde Kullanılan Parametreler (Chung ve arkadaşları, 1998) ...	16
Tablo 5.1.	Silindirik depolu bir sistemin enerji ve ekserji analizi sonuçlarının kıyaslanması.....	138
Tablo 5.2.	Trapez depolu bir sistemin enerji ve ekserji analizi sonuçlarının kıyaslanması.....	138
Tablo 5.3.	Beş farklı iklim bölgesi için meteorolojik veriler (Ünsal ve Doğan, 1980)	140
Tablo 5.4.	Beş farklı bölge için hesaplanan en düşük geri dönüş süreleri.....	147



EKLERİN LİSTESİ

- EK-1. Mevsimlik Depolu Bir Isıtma Sisteminde Depo ve Deponun Bulunduğu Toprağın Sıcaklık Dağılımını Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Hesaplayan Bilgisayar Programı
- EK-2. ANSYS Sonlu Elemanlar Programında Silindirik Depo ve Etrafındaki Toprağın Sıcaklık Dağılımını Bir Yıllık Zaman İçin Çözen Program
- EK-3. Güneş Katkılı Bir Konut Isıtma Sisteminde ekserji-ekonomik olarak Optimum Kollektör Alanı ve Depo Hacmini Hesaplayan Program
- EK-4. Güneş Isıtma Sisteminde Kollektör Alanı ve Depo Hacminin Ekonomik Olarak Uygun Optimum Boyutlarını hesaplayan program



SİMGELER LİSTESİ

A	Trapez deponun eni, (m)
A_k	Kollektör alanı, (m^2)
C_T	Sistemin toplam maliyeti, (\$)
C_A	Isıtma sisteminin alana bağlı maliyeti ($\$/m^2$)
C_E	Isıtma sisteminin alandan bağımsız maliyeti,(\$)
C_F	Yakıt maliyeti, (\$/GJ)
c_s	Suyun özgül ısısı (kJ/kg K)
COP	Isı pompası performans katsayısı
D_1	Depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine olan mesafesi (m)
d_f	Yakıt fiyatındaki yıllık artış (%)
E	Ekserji kaybı, (kW)
F	Isıtma sistemin yıllık güneş katkısı
F'	Kollektör verim faktörü
F_R	Kollektör ısı kazanç faktörü
G_s	Güneş sabiti, (W/m^2)
g	Isı üretimi, (W/m^3)
h	Entalpi, ($J\ kg^{-1}$)
H	Silindirik deponun yüksekliği (m)
I	Yatay yüzey günlük ışıının aylık ortalaması, ($MJ/m^2\ gün$)
I_d	Yatay yüzey günlük yaygın ışıının aylık ortalaması, ($MJ/m^2\ gün$)
I_o	Atmosfer dışında yatay yüzey günlük ışıının aylık ortalaması, ($MJ/m^2\ gün$)
I_T	Eğik yüzey günlük ışıının aylık ortalaması, ($MJ/m^2\ gün$)
i	Yıllık iskonto oranı, (%)
k	Toprağın ısı iletim katsayısı, ($W/m\ K$)
K_T	Berraklık indeksi
m	Kütleli debi, ($kg\ s^{-1}$)
M_S	Isıtma sisteminin bakım maliyetinin ilk maliyetine oranı (%)
N_i	İnterpolasyon fonksiyonu
n_g	Aylık ortalama gün sayısı
N	Isıtma sisteminin çalışma süresi (yıl)
N_P	Sistemin geri dönüş süresi (yıl)
Q_{dg}	Depoya giren net enerji miktarı, (W)

Q_f	Faydalı güneş enerjisi, (W)
Q_{ip}	Isı pompası tarafından çekilen enerji, (W)
Q_{id}	Depodaki iç enerji değişim miktarı, (W)
Q_k	Konutun ısı yükü, (W)
Q_{kt}	Konut tasarım ısı yükü (W)
Q_{ls}	Toprağa olan ısı kaybı, (W)
R	Silindirik deponun çapı (m)
R_v	Isıtma sisteminin satış fiyatı (\$)
S	Sistemin yıllık kazancı, (\$)
S_g	Doğru ışıınım geliş açısı, ($^{\circ}$)
T	Sıcaklık, (K)
T_a	Dış ortam sıcaklığı, (K)
T_d	Dış tasarım sıcaklığı, (K)
T_h	Radyatördeki akışkan sıcaklığı, (K)
T_i	İç tasarım sıcaklığı, (K)
T_s	Depodaki suyun sıcaklığı, (K)
u	Konutun (UA) değerinin ısı değiştiricisinin (UA) değerine oranı
$(UA)_k$	Konutun (UA) değeri, (W/K)
(UA)	Isı değiştiricisinin (UA) değeri, (W/K)
U_L	Kollektör ısı kayıp katsayısı, (W/m ² K)
V_R	Rüzgar hızı (m/s)
V_s	Silindirik ve trapez deponun hacmi (m ³)
W	Isı pompası işi, (W)
W_s	Güneş doğuş saat açısı
W'_s	Eğik yüzey güneş doğuş saat açısı
$\dot{Z}$	Toplam sermaye maliyeti, (\$)
ρ_s	Suyun yoğunluğu (kg/m ³)
θ	Enlem açısı, ($^{\circ}$)
β	Kollektör eğim açısı, ($^{\circ}$)
β_p	Isı pompası karakter katsayısı
δ	Deklinasyon açısı
$(\overline{\tau\alpha})$	Ortalama yutma-geçirme katsayısı
$(\overline{\tau\alpha})_r$	Yansıyan ışıınım için ortalama yutma-geçirme katsayısı
η_{II}	İkinci kanun verimi

η_k Kollektör verimi

alt indisler

a Akışkan

depo Depo

j Eleman sayısı

k Eşitlik sınırlayıcıların sayısı

kol Kollektör

kon Konut

l Eşitsizlik sınırlayıcıların sayısı

T Toplam

0 Ötüşme



ÖZET
Doktora Tezi

**TÜRKİYE’DE MEVSİMLİK YERALTI DEPOLU MERKEZİ
ISITMA SİSTEMLERİNİN ISIL VE EKONOMİK ANALİZİ**

Aynur UÇAR

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

2005, Sayfa:171

Bu çalışmada, mevsimlik yeraltı depolu güneş katkılı konut ısıtma sistemlerinin ‘uzun süreli’ performansı incelenmiştir. Silindirik, prizmatik ve trapez tipi depoların kullanıldığı önerilen sistemde, ısı ve ekonomik performanslar incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu tür bir ısıtma sisteminin analizinde toprak içerisindeki sıcaklık dağılımı problemi, sonlu elemanlar metodu ve ANSYS genel amaçlı paket programı kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen su ve toprak sıcaklıklarından faydalanılarak sistemin yıllık güneş katkısı ve kazancı hesaplanmış ve grafikler halinde gösterilmiştir. Ayrıca, bu tür ısıtma sistemine İkinci Kanun analizi uygulanmış ve sistemdeki her bir elemanın ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Bu sistem için ‘enerji ekonomisi açısından’ ekserji kayıplarını içeren bağıntılar tanımlanarak, önerilen ısıtma sistemi için bir *ekserji-ekonomik metod* geliştirilmiştir. Ayrıca, kolektör alanı ve depo hacminin ekonomik olarak en uygun boyutları termo-ekonomik optimizasyon yöntemi kullanılarak bulunmuştur.

Teorik analizlerde, trapez depolu sistemde yıllık güneş katkısı, silindirik ve prizmatik depolu sistemlere göre daha yüksek olarak tespit edilmiş olup, dolayısıyla bu tür sistemlerin kazancı, diğer depolu sistemlere göre daha yüksek olarak hesaplanmıştır. Isıl ve ekonomik analiz sonuçları, bu tür ısıtma sistemlerinin ülkemizin bütün bölgeleri için alternatif bir ısıtma sistemi olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: güneş enerjisi, konut ısıtma, mevsimlik depolama, ekonomik analiz, ekserji analizi, ekserji-ekonomik.

ABSTRACT

PhD Thesis

THERMAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF CENTRAL SOLAR HEATING SYSTEMS WITH UNDERGROUND SEASONAL STORAGE IN TURKEY

Aynur UÇAR

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

2005, Page:171

In this study, the long-term performance of a solar assisted house heating system with underground seasonal storage is investigated. Three types of underground storage are chosen: trapeze, cylindrical and prism. The thermal and economical performances of these three types of storage are compared with each other. In the analysis of the solar heating systems, the transient temperature distribution problem in the ground is solved by using a finite element analysis and ANSYS software. By using water and ground temperatures obtained from simulation, the annual solar fractions and savings of system are calculated and the results are presented in the graphical form. The exergy losses in the system are evaluated by applying a general exergy balance over each of the components of the solar heating system. An exergoeconomic method which combined the exergy losses with economic relations is developed for analysis of solar heating systems. Further, the economically optimal dimensions of collector area and storage volume are determined by using the thermo-economical optimization analysis.

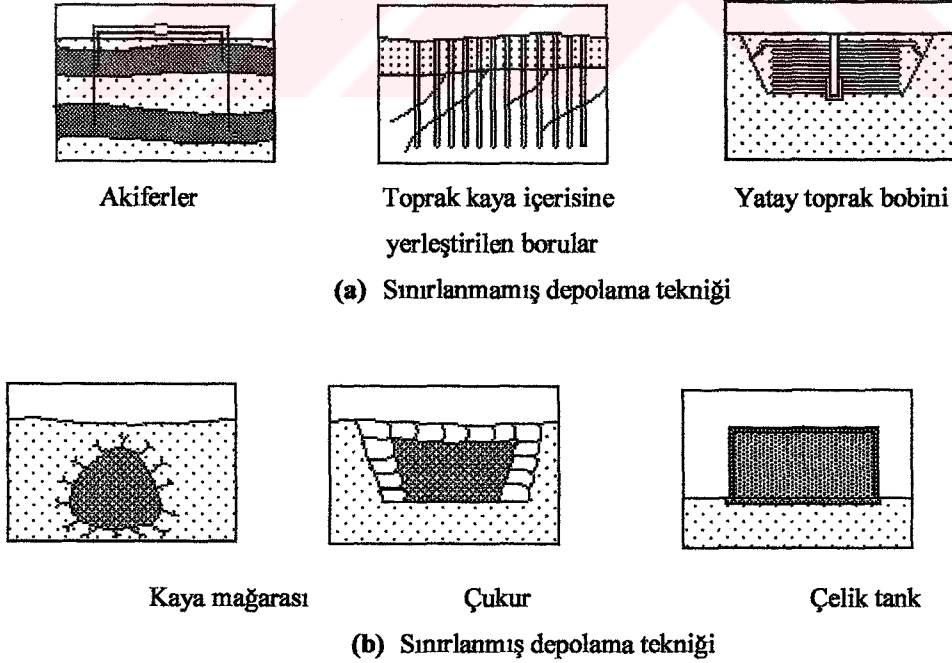
The simulation results have shown that the annual solar fractions of a trapeze tank system are higher than that of the cylindrical tank system. Therefore, saving of trapeze tank system is higher, compared with the other two tank systems. It is observed from the present results that the central solar heating systems with the seasonal storage in all regions of Turkey are promising both technologically and economically.

Keywords: Solar energy, house heating, seasonal storage, economical analysis, exergy analysis, exergo-economic.

1. GİRİŞ

Günümüzde artan enerji tüketimine karşılık fosil kökenli enerji kaynaklarının azalmasıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve dolayısıyla ilgili çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Endüstriyel tesislerde, konutlarda enerji ihtiyacı, kullanıma bağlı olarak gün boyunca, haftadan haftaya veya mevsimlik olarak değişim göstermektedir. Enerjinin depolanarak “üretim ve tüketim arasındaki farkı dengeleyecek şekilde” bir başka zaman diliminde kullanılması, enerji tasarrufu açısından dikkate değer bir çözümdür. Yazın bol ve ucuz olan “güneş enerjisinin” kışın kullanılabilmesi için güneş enerjisinin uygun ortamlarda, “mevsimlik” depolanması gerektirmektedir. Mevsimlik depolu güneş ısıtma sistemleri özellikle toplu konut sitelerin ısıtılmasında ve endüstriyel işlemlerde kullanılması uygundur. Literatürde karşılaşılan mevsimlik depo türleri, yer üstünde veya yer altına yerleştirilmiş çelik depolar, içerisine yatay veya düşey ısı değiştirici boruların yerleştirildiği toprak, akifer, kaya mağaralar ve jeolojik çukurlardır. Mevsimlik depolamalı merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan bazı ısıtma enerji depolama teknikleri Şekil 1.1’de gösterilmektedir [1].

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ısıtım şiddeti verilerinden



Şekil 1.1. Mevsimlik depolamalı merkezi güneş ısıtma sisteminde kullanılan ısıtma enerji depolama teknikleri

yararlanarak EIE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışıyım şiddetinin $1311 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ (günlük toplam 3.6 kWh/m^2) olduğu tespit edilmiştir. 100 m^2 bir binanın çatısına düşen enerji miktarı, $150\,000 \text{ kWh}$ olarak hesaplanmıştır. Başka bir deyişle, her bina, sadece kendi üstüne düşen enerji ile kendi enerjisini sağlayacak bir potansiyeli vardır. Bu açıdan da önemli avantajlara sahip olduğumuz kuşkusuzdur. Sadece bina çatılarına düşen enerjinin bir bölümünün kullanılması bile, Türkiye' nin enerji gereksinmesine önemli katkılar yapabilecektir. Nitekim gelişmiş ülkelerde binaların, enerji tüketen değil enerji üreten sistemlere dönüştürülmesi ciddi olarak başlatılmıştır. Güneş odaklı alternatif enerji kaynakları, bugünün basit ve tehlikesiz teknolojileri ile Türkiye' nin bugünkü ve gelecekteki enerji ihtiyaçlarını karşılayabilecektir. Nitekim, Türkiye'nin güneşe bağlı doğal enerji potansiyeli, geliştirilen teknolojiler bazında değerlendirildiğinde, bugünkü enerji üretiminin önemli bir bölümünü karşılayabileceği anlaşılmaktadır. Türkiye'de güneş enerjisinin en yaygın kullanımı sıcak su ısıtma sistemleridir. Halen ülkemizde kurulu olan güneş kollektör miktarı 2001 yılı için 7.5 milyon metre kare civarındadır.

Enerji açısından güneş, sonsuz denecek kadar bir rezerve sahiptir. 5 milyar yıl süreceği tahmin edilen güneş enerjisi periyodik olarak yenilenebilir özellik taşır. Bu nedenle uzun vadeli ve tükenme endişesi olmadan kullanılabilen güneş enerjisi sistemlerinin ısıl performanslarının araştırılması ülkemizin ekonomisi açısından oldukça önem taşımaktadır.

Altı bölümden oluşan bu tezde, konut ısıtmada kullanılmak üzere güneş enerjisinin yer altına yerleştirilmiş değişik geometrili tanklarda mevsimlik depolanması incelenmiş ve ısıtma sisteminin uzun yıllar için performansı araştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde güneş katkılı ısıtma sistemleri ile ilgili yapılan literatür araştırmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Mevsimlik güneş enerjisi depolamalı konut ısıtma sisteminin analizi ise üçüncü bölümde yapılmıştır. Sistemi oluşturan her bir eleman detaylandırılmış ve ayrıca bu tür sistemlerin ekonomik analiz için gerekli denklemler tanımlanmıştır. Dördüncü bölümde ise bu çalışmada topraktaki sıcaklık dağılımı probleminin çözümünde kullanılan sonlu elemanlar metodu hakkında bilgiler verilerek, trapez depolu güneş enerjisi depolamalı ısıl sistemin analizi yapılmıştır. Deponun gömüldüğü toprak türünün, kollektör alanı ve deponun boyutları gibi etken parametrelerin etkisi incelenmiştir. Ayrıca, bu bölümde silindirik, prizmatik ve trapez depolu güneş enerjisi depolamalı konut ısıtma sistemlerinin ANSYS genel amaçlı sonlu elemanlar programı ile sayısal modellenmesi yapılmıştır. Depo ve çevresindeki toprağın ANSYS sonlu elemanlar modeli oluşturulduktan sonra, uzun yıllar performansı araştırılmıştır. Bulunan sonuçlar kullanılarak, her bir depo türü için, farklı toprak türleri, kollektör alanı ve depo boyutları dikkate alınarak sistemlerin yıllık güneş katkısı ve kazançları hesaplanarak

sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir. Depoların toprak içerisinde farklı konfigürasyonlarının ısıtma sisteminin performansı üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Ayrıca, bulunan sonuçların literatürdeki çalışmalarla mukayesesi yapılarak sonuçların doğruluğu tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise, mevsimlik güneş enerjisi depolamalı sistemlerin ekserji-ekonomik ve termo-ekonomik analizleri gerçekleştirilmiştir. Silindirik ve trapez depolu sistemler için maliyeti minimum yapan yeni bir amaç fonksiyonu tanımlanmış ve Matlab Optimizasyon Toolbox 'ı kullanılarak çözülmüştür. Silindirik depolu ısıtma sisteminin termo-ekonomik optimizasyonu yapılarak, sistemin yıllık kazancını maksimum yapan yeni bir amaç fonksiyonu tanımlanmış ve yine Matlab Optimizasyon Toolbox 'ı kullanılarak Türkiye 'nin beş farklı iklim bölgesi için çözülmüştür. Her bir il için optimum kollektör alanı ve depo hacmi hesaplanmıştır. Ayrıca, farklı kollektör tiplerinin etkisi de incelenerek, kollektör tipleri için optimum kollektör alanları tespit edilmiştir. Altıncı bölümde ise, sonuçların genel bir değerlendirmesi yapılmıştır.

Literatürdeki çalışmalarda, mevsimlik ısı depolamalı güneş ısıtma sistemlerin analizinde yaygın olarak sonlu farklar metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, bu tür ısıtma sistemlerin çözümü için sonlu elemanlar metodu seçilmiştir. Literatürde karşılaşılan en yaygın depo türlerinden (toprak altına yerleştirilmiş elik depolar, dikey ve yatay ısı değiştirgeçleri) farklı olarak, geometrik özellikleri farklı olan trapez, silindirik ve prizma depolar seçilmiştir. Ayrıca, depolar toprak içerisinde farklı konfigürasyonlarda yerleştirilerek performansları araştırılmıştır. İlk yatırım maliyetleri yüksek olan bu tür ısıtma sistemlerinin ekserji-ekonomik analizi, gerçek maliyetlerinin belirlenmesi, tasarımlarının en iyi şekilde yapılması ve işletme parametrelerin seçimi bakımından oldukça önem kazanmıştır. Bu çalışmada, güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça şanslı olanlkemizin ekonomisine katkısı olan mevsimlik ısı depolamalı güneş ısıtma sistemlerinin ekserji-ekonomik analizi yapılarak, kollektör alanı ve depo hacminin optimum değerleri hesaplanmıştır. Bu metot kullanılarak, bu tür ısıtma sistemlerin ekonomik açıdan uygun tasarımının yapılması,ülkemizdeki yatırımcılar için oldukça önemli olmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Lund ve Kangas [2], mevsimlik ısı depolamalı bölgesel güneş enerjili ısıtma sisteminin enerji analizini alternatif sistemler için yapmışlardır. Isı deposunun hacmini 500, 1500 ve 3000m³ olarak seçerek, kollektör tiplerinin ve ısı pompasının etsini incelemişlerdir. Bu çalışmadaki sistemin geri dönüş süresi 500 m³ depo hacmi için 3.8 yıl, 1500 m³ depo hacmi için 5.7 yıl ve 3000 m³ depo hacmi için 6.9 yıl olarak hesaplanmıştır.

Lund [3], mevsimlik ısı depolu bir toplu konut sitesinin performansının tayini için bilgisayar programı yazmış ve kaya içerisine yerleştirilen yalıtımsız bir su tanklı ısıl sistemin matematiksel modellemesini yapmıştır. Deponun etrafındaki toprağın ısıl kapasitesini artırmak için düşey ısı değiştirici borular kullanmış ve özellikle soğuk iklimli kuzey ülkelerinde bu sistemin performansını araştırmıştır. Bu bölgede kurulmuş olan Kerava güneş evinde ölçülen sonuçlarla geliştirdiği bilgisayar programından bulduğu teorik sonuçları karşılaştırmıştır.

Zaheer ve Fazio [4], bir depolama tankının olduğu ısı pompa sisteminin optimum kontrolü için bir model geliştirmişlerdir. Sabit sınır şartlarından birini, serbest sınır şartlarından birine dönüştürerek sayısal çözüm metodu geliştirmişlerdir. Bu sayısal çözüm metodunu, ortam ve sıcaklık dağılımının değiştiği ısı pompası sistemini kontrol eden bir modelin çözümünde kullanmışlardır. Bu çalışmada aynı zamanda optimum maliyet üzerinde kaynak sıcaklığı ve kütle depolamasının etkileri de araştırılmıştır.

Lund [5], mevsimlik depolamalı merkezi bir güneş enerjisi destekli ısı pompalı ısıtma sistemin (CSHPSS) ana ünitelerinin optimum boyutlarını (depo hacmi, kollektör alanı, vs.) tespit eden bir yarı analitik bir yöntem geliştirmiştir. Bu çalışmada iki farklı CSHPSS sistemi incelenmiştir. Biri yüksek sıcaklığa sahip bir CSHPSS sistemi, diğeri ise bir ek ısı pompasının kullanıldığı düşük sıcaklıklı bir CSHPSS sistemidir. Temel CSHPSS denklemleri SOLCHIPS adı verilen bir FORTRAN 77 programı kullanılarak çözülmüştür. Sabit iklim şartları için güneş katkısı ile güneş kollektörü arasındaki ilişkinin lineer bir fonksiyonla ($f=\alpha A_c$) ifade edilebileceğini göstermiş ve sabit bir değer olan α 'ya etki eden parametreleri araştırmıştır.

Reuss ve diğerleri [6], doymamış toprakta düşey ısı değiştirgeçli depolama sisteminde ısı ve kütle transferini deneysel olarak incelemişler ve sistemin matematiksel modelini geliştirmişlerdir. Model, değişkenleri hacimsel nem ve sıcaklık olan iki parabolik diferansiyel denklemden oluşmuştur. Bu denklemlerin çözümünde sonlu farklar metodunu kullanmışlardır. Bu teorik çalışmaya bağlı olarak, endüstriyel artıkların ısısının mevsimlik depolanması için bir fabrika yapılabileceğini göstermişlerdir. Aynı zamanda bu çalışmada, bir ısı ve güç ünitesinin (174kW) yaz boyunca 15000 m³ toprak içerisinde 30 m derinlikteki 140 düşey ısı değiştirgecine ısı sağlayabildiği görülmüştür.

Argiriou [7], Yunanistan 'daki bir mevsimlik depolamalı bir merkezi güneş enerjili ısıtma sisteminin (CSHPSS) optimum boyutlarını, MINSUN ve SOLCHIPS olmak üzere iki CSHPSS simülasyon programı kullanarak hesaplamış ve sonuçları karşılaştırmıştır. Yunanistan iklim şartlarında bir CSHPSS 'nin projelendirilmesinde bu iki paket programın kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada ayrıca Yunanistan 'ın dört farklı iklim bölgesindeki üç farklı tipteki CSHPSS sisteminin teknik ve ekonomik açılardan olasırlığı SOLCHIPS programı kullanılarak araştırılmıştır. Bu sonuçlar, şimdiye kadar kuzey bölgelerde kullanılan CSHPSS' nin, güney bölgelerde de kullanılabileceğini göstermiştir.

Chung ve arkadaşları [8], Kore iklim şartları için mevsimlik depolamalı güneş enerjili bir ısıtma sisteminin (CSHPSS) ısı ve ekonomik analizini TRNSYS bilgisayar programı ile gerçekleştirmişlerdir. Kore 'nin güneyine yerleştirdikleri bu ısıtma sistemi, iki kollektör, bir yer üstü depolama tankı ve iki ısı yükten (sera ve ofis binası) oluşmuştur. Araştırma sonuçları, Cheju (33.31°N) bölgesinde güneş katkısının diğer iç bölgelerden %50 ile %80 daha yüksek olduğunu ve bu nedenle bu bölgenin Kore'de güneş ısıtma sistemi için en uygun bölge olduğunu açıkça göstermiştir. 184 m² kollektör alanı ve 600 m³ depo hacmine sahip bu sistemin 885 000 MJ/yıl toplam ısı yükünün yaklaşık %39 'u güneşten sağlanmaktadır. Kore'nin üç farklı yerinde ve sistemin farklı boyutları için yaptıkları hesaplamalar, düşük maliyetli bir merkezi güneş enerjili ısıtma sisteminin, Kore 'nin her yerinde imal edilebileceğini fakat sistemin boyutunun yeteri kadar büyük olması gerektiğini göstermiştir.

Lindenberger ve arkadaşları [9], dinamik enerji, yayma ve maliyet optimizasyon modeli geliştirmişler ve bu modeli Bavarian araştırma merkezindeki mevsimlik depolamalı merkezi bir güneş ısıtma sistemine uygulamışlardır. Bu çalışmada, kollektör alanları ısı ihtiyacının her MWh için 1 ve 2.5 m² ve depo hacmi ise kollektör alanının birim m² için 1.2 ve 4.2 m³ olarak alınmıştır. Yoğusturucu kazanlar ve elektrik kullanıldığı referans sistemlerle karşılaştırıldığında, seçilmiş bölgelere ulaşan enerji kazançları %15 ile %35 arasında iken maliyet artışı %20 ile %140 arasında bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda, fosil olmayan enerji kaynaklarından elektriğin sağlanması halinde, fosil yakıttaki kazancın %40 'dan daha fazla olacağı sonucuna varmışlardır.

Bargach ve arkadaşları [10], düz plakalı güneş kollektörleri açık ve bulutlu günlerde test ederek, deneysel sonuçlarla teorik sonuçları kıyaslamışlardır. Teorik bir model geliştirerek, bu modeli bir seranın ısıtılmasında kullanılan düz plakalı güneş kollektörlü ısıtma sisteminin boyutlandırılmasında kullanmışlardır.

Nordel ve Hellström [11], düşük sıcaklıktaki bir binayı ısıtmak için kullanılan güneş enerjili mevsimlik depolamalı bir sistemin performansını araştırmışlardır. Bu amaçla, TRNSYS ve MINSUN paket bilgisayar programları kullanmışlardır. Anneberg 'deki 1080 MWh toplam

ısı yüküne sahip tek kişilik aileli 90 konutun ısı performansını araştırmışlardır. Isıtma sisteminin %60 güneş katkısı, 3000 m² güneş kolektöründen sağlanmıştır. Sistemin toplam maliyetini üç farklı sistem için incelemişlerdir: Güneş enerjili ısıtma sistemi (1000 SEK MWh⁻¹), küçük boyuttaki bölge ısıtma sistemi (1100 SEK MWh⁻¹) ve toprak kaynaklı ısı pompalı sistem (920 SEK MWh⁻¹). Anneberg'deki depolama sistemindeki ısı kayıplarının, toplanan güneş enerjisinin %42'si kadar olduğunu ve bu ısı kaybının daha büyük bir sistemde azalacağını tespit etmişlerdir. İnceledikleri bu güneş ısıtma sisteminin yıllık toplam maliyetinin, geleneksel diğer sistemlerden yaklaşık olarak %20 daha az olduğu sonucuna varmışlardır.

Michaelides ve Wilson [12], Kıbrıs 'ta konut için kullanılan güneş enerjili ısıtma sistemlerinin birkaç proje kriterinin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla TRNSYS programını kullanarak bir sistem modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada iki kriter üzerinde inceleme yapılmıştır. Bunlar; binanın kat alanıyla kolektör alanına bağlı kolektör kat alan kriteri (CAF) ve kolektör alanı ile binanın ısı yüküne bağlı kolektör yük kriteri (CAL) 'dır. Simülasyon sonuçları bu sistemin, dizel yakıt için karşılaştırıldığında uygun olmadığını ancak elektrik için en uygun olduğu görülmüştür.

Pahud [13] ise, mevsimlik depolamalı bir merkezi güneş ısıtma sisteminin (CSHPSS) bir TRNSYS simülasyon modelini geliştirmiştir. Bir kolektör, bir su deposu ve toprağa gömülü kanallardan oluşan sistemin simülasyonunu, İsviçre şartlarında farklı ısı yükleri için gerçekleştirmiştir. Sistemin ana parametrelerin optimizasyonu için bir yöntem geliştirerek, bu sistemin ısı davranışını incelemiştir. Simülasyon sonuçlarından, toprak içerisine kanallarla ısı depolamanın, güneş ışıının şiddetinin %50-60'dan daha fazla olması durumunda mevsimlik su depolama sistemlerinden ekonomik olarak çok daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Kusuda ve Bean [14], ısı kaybı hesaplama yöntemlerinin farklı şekillerinin incelemiş ve birbirleri ile mukayeselerini yapmışlardır. Bu inceledikleri yöntemler Green fonksiyon çözümü, Delsante Fourier transformasyon çözümü ve sonlu eleman analizinden çıkarılan Mitalas yöntemidir. Bu çalışmanın sonucunda, Green fonksiyonu ve Delsante çözümlerinin birbirleriyle uyum içinde oldukları ancak, Mitalas çözümünde tabandan ısı kaybının, diğer iki yöntemin hesapladığından kışın daha düşük, yazın ise daha yüksek olduğu görülmüştür.

Yavuztürk ve diğerleri [15], toprağa bağlı düşey ısı değiştirgeçlerinde geçici rejimde ısı transferi probleminin bir modelini geliştirmişlerdir. Bu geliştirdikleri model, iki boyutlu implicit sonlu hacim formülüne bağlıdır. Sayısal gridleri, otomatik grid üretim algoritması kullanarak, farklı boru ve delik boyutları için üretmişlerdir. Sayısal metod ve grid üretim teknikleri, analitik modele karşı onaylanmıştır. Model, iki temel amaç için geliştirilmiştir. İlki, kısa zaman ölçeğinde test istatistiklerinden sondaj deliğinin ısı özelliklerini bulmakta kullanılan yaklaşık

bir teknikte kullanmak; ikincisi ise, yıllık enerjinin modellenmesinde kullanılan boyutsuz sıcaklık yanıt faktörlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Türkiye’de bu konuda yapılan araştırmalar çok sınırlı sayıdadır. Bunlar belirli bir yörenin iklim verileri kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçlarıdır.

Yumrutaş ve Ünsal [16], küresel bir tank içerisinde mevsimlik enerji depolamalı ve ısı pompalı bir konut ısıtma sisteminin analizini Türkiye ’de Gaziantep ili için gerçekleştirmişlerdir. Bu analizde, toprağa gömülü tank içerisinde suyun sıcaklığını hesaplayan sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir.

İnalı [17], güneş enerjisinin toprak altındaki küresel ve silindirik tanklarda depolanarak ısı pompası eşliğinde konutların ısıtılmasında kullanılan ısıl sistemin yıllık performansını araştırmıştır. Toprak içerisine gömülmüş olan depodaki su sıcaklığı ve depo etrafındaki jeolojik yapı içerisindeki sıcaklık dağılımı için problem formülasyonu yapıldıktan sonra boyutsuzlaştırma işlemi yapılmıştır. Boyutsuz denklemler, kompleks sonlu Fourier dönüşüm tekniği ve sayısal yöntemler kullanarak çözmüştür. Elde edilen çözümlerden faydalanarak konut, güneş toplayıcısı, ısı deposu ve ısı pompasından meydana gelen ısıl sistemin analizini bilgisayarda yapılmıştır. En yüksek depo su sıcaklığının kumlu toprakta, en düşüğünün ise granitte ve en yüksek toplayıcı veriminin granitte, en düşük toplayıcı verimin ise kumlu toprakta meydana geldiği görülmüştür.

Literatürde, toprak içerisine U- tipi veya sondaj tipi boru şeklinde ısı değiştirgeçlerinin yerleştirildiği uygulamada, toprak içerisindeki sıcaklık dağılımı probleminin analizi, sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılmıştır [18].

Bilgen ve Takahashi [19] ısı pompalı klima sistemlerinin ekserji analizini yapmışlardır. Bunun için bir simülasyon programı geliştirmişlerdir. Bu analiz sonucunda, ısıtma ve soğutma ısı yükünün azalan bir fonksiyonuna bağlı olarak ilk kanun verimini 6.4 ile 3.85 ve ikinci kanun verimini ise 0.37 ile 0.25 olarak bulmuşlardır.

Torres-Reyes ve Gortari [20] ise güneş enerjisi takviyeli bir ısı pompasına termodinamik optimizasyon metodunu uygulamışlar ve bir hava-R22 ısı pompası için, performans katsayısı (COP) ile ikinci kanun verimini hesaplamışlardır. Geliştirdikleri modelin performansı ile gerçek sistemin performansının çok yakın olduğunu sonuçlardan tespit etmişlerdir.

Singh ve arkadaşları [21], güneş ısıl sisteminin ikinci kanun analizini gerçekleştirmişlerdir. Sistemin her bir elemanına enerji ve ekserji analizini uygulamışlardır. En fazla enerji kaybı ısı makinesinin yoğunlaştırıcı kısmında meydana gelirken, ekserji kaybının kollektörde maksimum olduğunu tespit etmişlerdir.

Badescu [22], enerji kaynağı güneş enerjisi olan bir konut ısıtma sistemi için bir model geliştirmiştir. Sistemin en önemli elemanı olan ısı pompasına ilk ve ikinci kanun analizini uygulamıştır. İkinci kanun analizi sonucunda en fazla ekserji kayıplarının kompresör ve yoğuşturucuda meydana geldiği görülmüştür.



3.1.1. Güneş Kollektörleri

Güneş kollektöründen sağlanan faydalı ısı enerjisi Q_f (Duffie ve Beckman, 1991),

$$\dot{Q}_f = \eta_k A_k I_T \quad (3.1)$$

veya

$$\dot{Q}_f = A_k F_R \left[(\overline{\tau\alpha}) I_T - U_L (T_o - T_a) \right] \quad (3.2)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada F_R kollektör ısı kazanç faktörü olup aşağıdaki eşitlikten hesaplanır :

$$F_R = \frac{\dot{m} c_p}{A_k U_L} \left[1 - e^{-\left(A_k U_L F' \right) / \left(\dot{m} c_p \right)} \right] \quad (3.3)$$

Buradaki I değeri, meteoroloji istasyonları tarafından ölçülen yatay günlük ışıma değerlerinin aylık ortalamasıdır. Eğik yüzey günlük ışımanın aylık ortalaması I_T ise,

$$I_T = R I \quad (3.4)$$

eşitliğinden hesaplanır. Bu eşitlikteki R değeri,

$$R = \left(1 - \frac{I_d}{I} \right) R_b + \left(\frac{I_d}{I} \right) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.5)$$

ifadesinden bulunur. I_d/I oranı ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (Duffie ve Beckman, 1991).

$$I_d/I = 0.775 + 0.00653(W_s - 90) - [0.55 + 0.00455(W_s - 90)] \cos(115K_T - 103) \quad (3.6)$$

Burada K_T , berraklık indeksidir ve

$$K_T = I/I_0 \quad (3.7)$$

eşitliğinden hesaplanır. I_0 değeri atmosfer dışında yatay yüzeye düşen güneş ışıdır ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$I_0 = \frac{86400 G_s}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 n_g}{365} \right) \right] \left(\cos \theta \cos \delta \sin W_s + \frac{2\pi W_s}{360} \sin \theta \sin \delta \right) \quad (3.8)$$

Burada G_s güneş sabiti olup değeri 1353 W/m^2 'dir. θ enlem açısını, W_s güneş doğuş açısını, δ ise deklinasyon açısını göstermekte olup sırasıyla,

$$W_s = \arccos(-\tan \theta \tan \delta) \quad (3.9)$$

$$\delta = 23.45 \sin \left[360(284 + n_g) / 365 \right] \quad (3.10)$$

eşitliklerinden hesaplanır. Burada, n_g ayın ortalama gün sayısını ifade etmektedir. (3.5) eşitliğindeki R_b değeri ise,

$$R_b = \frac{\cos(\theta - \beta) \cos \delta \cos W_s' + \left(\frac{\pi}{180} \right) W_s' \sin(\theta - \beta) \sin \delta}{\cos \theta \cos \delta \cos W_s + \left(\frac{\pi}{180} \right) W_s \sin \theta \sin \delta} \quad (3.11)$$

eşitliğinden bulunur. Burada W_s' ortalama gün ve eğik yüzey için güneş doğuş saat açısıdır ve

$$W_s' = \min \{ \arccos(-\tan \theta \tan \delta), \arccos(-\tan(\theta - \beta) \tan \delta) \} \quad (3.12)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. (3.2) eşitliğindeki geçiş-yutma sayısının aylık ortalaması, geliş açısı cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\overline{(\tau\alpha)} / (\tau\alpha)_n = 1 + b_0 [1 - 1/\cos S] \quad (3.13)$$

Yaygın ışıdır için aylık ortalama geçiş-yutma sayısı $\overline{(\tau\alpha)}_r$, aşağıdaki geliş açısı ifadesi kullanılarak hesaplanır:

$$S_g = 89.8 - 0.5788\theta + 0.002693\theta^2 \quad (3.14)$$

Doğru ışıınım için aylık ortalama geçiş-yutma sayısı $(\overline{\tau\alpha})_b$, $(\overline{\tau\alpha})'$ nin

$$S_g = \arccos[\cos(\theta - \beta) \cos \delta \cos(5\pi/24) + \sin(\theta - \beta) \sin \delta] \quad (3.15)$$

ifadesinden hesaplanan geliş açısından bulunur.

Bu çalışmada kullanılan güneş kolektörlerine ait parametrik değerler Tablo 3.1 'de verilmiştir.

3.1.2. Isı Deposu

Güneş kolektörlerinden sağlanan enerjinin bir kısmı depolanacak, bir kısmı ısı pompası tarafından çekilecek ve diğer bir kısmı ise toprakta kaybolacaktır. Isı deposu için enerji bilançosu,

$$\rho_s V_s c_s \frac{dT_s}{dt} = \dot{Q}_f - \dot{Q}_k - \dot{Q}_{ls} \quad (3.16)$$

olarak ifade edilir. Depoya giren enerji miktarı, güneş kolektörlerinden elde edilen enerji miktarından, ısı pompası tarafından çekilen enerji miktarının çıkarılmasıyla hesaplanır:

$$\dot{Q}_{dg} = \dot{Q}_f - \dot{Q}_{ip} \quad (3.17)$$

Tablo 3.1. Güneş Kolektörlerine Ait Parametrik Değerler

Parametreler	Değeri	Değeri
Tipi	Siyah boya-çift cam	Seçici yüzey-çift cam
Kollektör ısı kayıp katsayısı	4.5 W/m ² K	3.2 W/m ² K
Kollektör ısı kazanç faktörü	0.95	0.94
Aylık ortalama geçiş-yutma sayısı	0.76	0.74
Kollektör parametresi	0.15	0.16

Burada $\dot{Q}_{ip}$, ısı pompası tarafından çekilen enerji olup, konutun ısı yükü ile ısı pompası arasındaki farka eşittir:

$$\dot{Q}_{ip} = \dot{Q}_k - \dot{W} \quad (3.18)$$

(3.18) eşitliğini (3.17) eşitliğinde yerine konulursa,

$$\dot{Q}_{dg} = \dot{Q}_f - \dot{Q}_k + \dot{W} \quad (3.19)$$

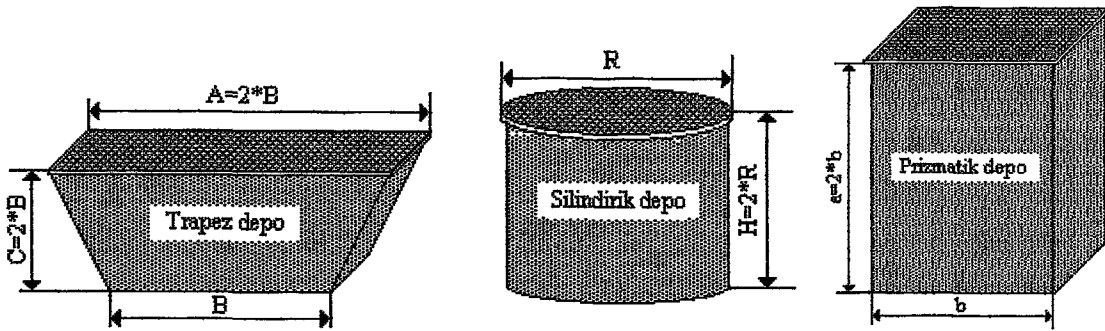
Depodan etrafındaki toprağa olan ısı kaybı,

$$\dot{Q}_{ls} = \dot{Q}_{dg} - \dot{Q}_{id} \quad (3.20)$$

ifadesiyle hesaplanır. Burada, $\dot{Q}_{id}$ depodaki iç enerji değişimi olup aşağıdaki eşitlikten bulunur:

$$\dot{Q}_{id} = \rho_s V_s c_s \frac{dT_s}{dt} \quad (3.21)$$

Bu tezde çalışılan trapez, silindirik ve prizmatik depoların geometrik özellikleri Şekil 3.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Trapez, silindirik ve prizmatik depoların geometrik özellikleri.

3.1.3. Isı Pompası

Konutların çatılarına yerleştirilmiş bulunan güneş kolektörlerinden elde edilen güneş 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 girmektedir.

Konutların anlık ısı ihtiyacı,

$$\dot{Q}_k = (UA)_k (T_i - T_a) \quad (3.22)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada konutun $(UA)_k$ parametresi, konutun tasarım ısı yükünün kış tasarım sıcaklık farkının bölünmesiyle elde edilir:

$$(UA)_k = \dot{Q}_k / (T_i - T_a) \quad (3.23)$$

Eğer, konutun enerji ihtiyacı bir ısı pompası tarafından sağlanıyorsa,

$$\dot{Q}_k = W (COP) = W \beta_p T_h / [T_h - T_s] \quad (3.24)$$

olarak yazılır. Burada β_p değeri, ısı pompasının karakterine ve ısı değiştiricilerin büyüklüklerine bağlı olarak 0.2-0.3 mertebesinde bir parametredir [17]. İhtiyaç duyulan enerjinin, konutlara bir panel tipi ısı değiştiricisi veya radyatör ile sağlandığı varsayılırsa, (3.22) eşitliği,

$$\dot{Q}_k = (UA)_{ad} (T_h - T_i) \quad (3.25)$$

şeklinde yazılır. (3.22) ve (3.25) denklemlerinden elde edilen T_h ifadesini, (3.24) eşitliğinde yerine koyulursa, ısı pompası işi,

$$W = \frac{(UA)_k (T_i - T_a) [u(T_i - T_a) + T_i - T_s]}{\beta_p [(T_i - T_a) + T_i]} \quad (3.26)$$

şeklinde elde edilir. Burada u,

$$u = \frac{(UA)_k}{(UA)_{id}} \quad (3.27)$$

ifadesiyle hesaplanır. (3.26) eşitliğinden görüleceği üzere, depo su sıcaklığı T_s , $[u(T_i - T_a) + T_i]$ değerinden büyük olduğunda ısıtma sistemindeki ısı pompası çalıştırılmayacak ve depodaki su direkt olarak konut içerisindeki radyatörlerden dolaştırılarak konutların ısıtılması sağlanacaktır.

Yıllık ısı pompası performans katsayısı (COP), aşağıdaki eşitlikten bulunur:

$$COP = \sum \dot{Q}_k / \dot{W} \quad (3.28)$$

Sistemin güneş katkısı, faydalı güneş enerjisinin toplam konut ısı yüküne oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$F = \sum [\dot{Q}_f - \dot{Q}_{ls}] / \dot{Q}_k \quad (3.29)$$

3.2. Mevsimlik Güneş Enerjisi Depolamalı Bir Konut Isıtma Sisteminin Ekonomik Analizi

Bu çalışmada, mevsimlik ısı depolu güneş enerjili ısıtma sisteminin ekonomik analizi, P_1 - P_2 metodu kullanılarak yapılmıştır [23]. Sistemin kazancı S , aşağıdaki eşitlikten hesaplanır [24]:

$$S = P_1 C_F Q_f F - P_2 C_S \quad (3.30)$$

Burada C_s ,

$$C_s = C_A A_k + C_E \quad (3.31)$$

eşitliğinden bulunur. P_1 ve P_2 ise,

$$P_1 = \left[(1 + d_f) / (d_f - i) \right] \left[1 - ((1 + i) / (1 + d_f))^N \right] \quad (3.32)$$

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - R_v (1 + d_f)^{-N} \quad (3.33)$$

eşitliğinden hesaplanır. Eşitlik (3.30) sıfıra eşitlenir ve P_1 çekilirse,

$$P_1 = P_2 C_S / C_F Q_f F = \left((1 + d_f) / (d_f - i) \right) \left[1 - (1 + i / 1 + d_f)^{N_p} \right] \quad (3.34)$$

eşitliği elde edilir. Geri dönüş periyodu N_p , eşitlik (3.34) 'den çekilerek, aşağıdaki gibi elde edilir:

$$N_p = \ln \left[1 - (P_2 C_S / C_F Q_f F) (d_f - i) / (1 + d_f) \right] / \ln \left[(1 + i) / (1 + d_f) \right] \quad (3.35)$$

Ekonomik analizde kullanılan parametrelerin değerleri Tablo 3.2 'de verilmektedir.

Tablo 3.2. Ekonomik analizde kullanılan parametreler [8]

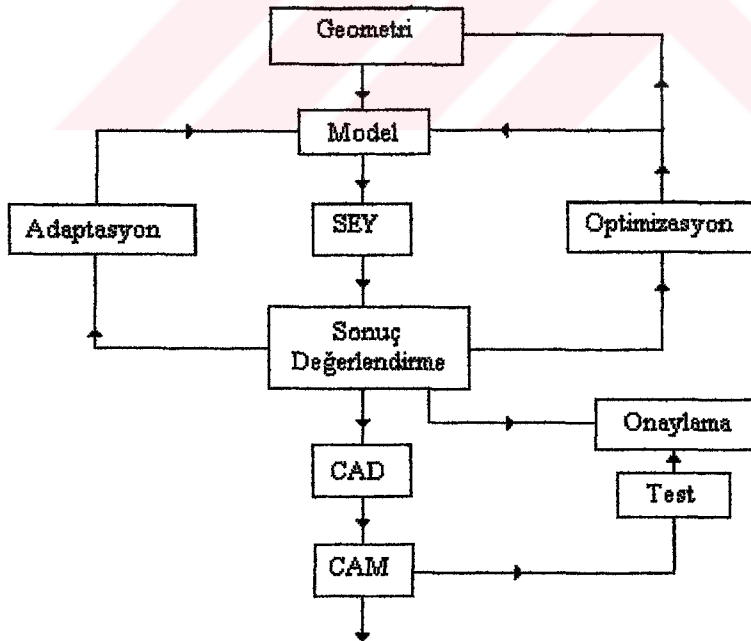
Parametre	Değer
Alana bağlı maliyet, C_A	1200 \$/m ²
Sistemin alandan bağımsız maliyeti, C_B	4000 \$
Sistemin ilk maliyetinin bakım maliyetine oranı, M_S	% 1
Yakıt fiyatındaki yıllık artış, d_f	% 5
Yıllık iskonto oranı, i	% 5
Sistemin satış fiyatı, R_v	4000 \$
Çalışma süresi, N	50 yıl

4. MEVSİMLİK GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMALI KONUT ISITMA SİSTEMİNİN SAYISAL MODELLENMESİ

4.1. Sonlu Elemanlar Metodu

Karmaşık mühendislik problemlerinin yeterli olarak çözülmesinde sayısal metotlar kullanılmaktadır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak gelişmelere bağlı olarak geliştirilen paket programlar sayısal metotların etkin kullanımını sağlamaktadır. Sonlu elemanlar metodu modellemede sağladığı esneklikler ve yazılımların metodun tatbikinde sağladığı kolaylıklar nedeniyle tercih edilmektedir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), mühendislikte malzemelerin veya sistemlerin dış etkenlere (kuvvet, ısı, elektrik, vb.) karşı davranışlarının analizinde kullanılan nümerik bir metottur. SEY 'i kullanan çok sayıda bilgisayar programı mevcuttur; ALGORTM, COSMOS/MTM, NASTRANTM, ADINATM VE ANSYSTM bunlara örnek olarak verilebilir. SEY'in kullanılması her türlü mühendislik alanında yaygınlaşmaktadır. SEY geçmişte tasarımın onaylanmasında kullanılmasına rağmen günümüzde tasarım aşamasının bir ögesi haline gelmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. SEY 'nin tasarım aşamasında yeri.

SEY 'deki temel fikir sürekli bir sistemi sonlu sayıda elemana ayırmaktır. Her elemanın davranışı gerilim veya deformasyon fonksiyonları ile belirlenir. Elemanlar birbirlerine düğüm noktalarında bağlıdır. Elemanların ve düğüm noktaların kombinasyonu sonlu elemanlar ağı olarak tanımlanır.

4.1.1. Sonlu Elemanlar Yönteminin Tanımı

Sonlu elemanlar yöntemi fizik ve mühendislikte karşılaşılan bir çok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir.

Sonlu elemanlar metodu matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Metot ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanın hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizlerinde sıcaklık alanı veya ısı akışı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük, alanın almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir önlem içerir.

Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan bir çok elemana bölünür. Elemanlar 'nod' adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler. Bu şekilde cebri bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.

4.1.2. Niçin Sonlu Elemanlar Yöntemi Tercih Edilmektedir?

Matematik modelleme işleminin, modelin varyasyonel problem olarak ifade edilmesinden sonraki aşaması, bilgisayarda çözümlenmesi hedeflenen ayrık modelin oluşturulmasıdır. Günümüzde, diferansiyel denklemlerle ilgili matematik modellerin ayrık benzeşiklerinin oluşturulması ve elde edilen ayrık problemin bilgisayarda çözümlenmesi açısından en kapsamlı ve evrensel yöntem, sonlu elemanlar yöntemidir. Bu yöntemin klasik sonlu farklar yönteminden başlıca farkı, bunun sınır değer problemi değil, varyasyonel problemi temel almasıdır.

Bu nedenle SEY, bilimsel ve teknolojik problemlerin sayısal çözümlemesinde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. SEY 'in boyutlarının büyüklüğünü göstermek için, bunun hem matematiksel analiz, hem diferansiyel denklemler, hem sayısal yöntemler, hem bilgisayar bilimleri, hem de ayrıca çeşitli mühendislik bilimleri dallarıyla iç içe olduğunu söylemek yeterlidir.

4.1.3. Sonlu Elemanlar Yönteminin Diğer Metotlara Göre Üstünlükleri Nelerdir?

Sonlu elemanlar metodunu diğer metotlara göre üstün kılan başlıca hususları şunlardır:

- a) Sonlu elemanlar, boyutları ve şekillerinin esnekliği nedeniyle, verilen bir cismi temsil edebilir, hatta karmaşık şekilli bir cisimde daha güvenilir olabilir.
- b) Çok bağlantılı bölgeler (yani bir veya çok delikli cisimler) veya köşeleri olan bölgeler zorluk çekilmeksizin incelenebilir.
- c) Değişik malzeme veya geometrik özellikleri bulunan problemler ek bir zorluk göstermez. Geometri ve malzeme özellikleri kalıtsal olsa bile (örneğin zamana bağlı) malzeme özellikleri kolaylıkla göz önüne alınabilir.
- d) Sebep-sonuç bağıntılarına ait problemler, direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Sonlu elemanlar metodunun bu özelliği problemin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.
- e) Sınır şartları kolayca uygulanır.
- f) Sonlu eleman metodunun çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda, sürekli ortam ve diğer problemlerde sebep sonuç ilişkilerini hesaplamak için çok etkin bir şekilde kullanılabilir. Analitik ve deneysel metotlardan daha hassas sonuç verir.

4.1.4. Sonlu Elemanlar Metodunun Yararları Nelerdir?

Sonlu elemanlar yönteminin günümüzdeki uygulamaları oldukça fazladır ve diferansiyel eşitliklerle düzenlenen fiziksel tüm problemleri kapsamaktadır. Sonlu elemanlar yönteminin yararları, genişçe kullanılmasına yardımcı olmaktadır. bunların bazıları;

- a) Bitişik elemanlardaki malzeme özellikleri aynı olabilir. Bu özellik birkaç malzemenin birleştirdiği cisimlerde uygulanabilmesine imkan vermektedir.
- b) Düzgün olmayan sınırlara sahip şekiller, eğri kenarlı elemanlar kullanılarak analiz edilebilir.
- c) Eleman boyutları kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Böylece önemli değişiklikler beklenen bölgelerde daha küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken, aynı parçanın diğer bölgeleri büyük elemanlara bölünerek işlem hızı artırılabilir.
- d) Süreksiz yüzey yüklemeleri gibi sınır durumları yöntem için zorluk oluşturmaz. Karışık sınır durumları kolaylıkla ele alınabilir.

4.1.5. h ve p Elemanları Nelerdir?

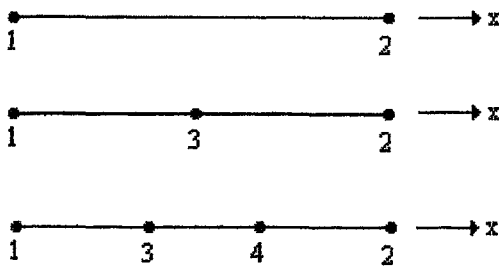
Klasik sonlu elemanlar analizinde sonuçların doğruluğu çoğunlukla eleman sayısına bağlıdır. Eleman sayısı arttıkça sonuçlar daha gerçeğe yakın çıkar. Gerilme veya ısı değişimlerinin yüksek olduğu bölgelerde eleman sayısı arttırılarak elde edilen sonucun hassasiyeti de arttırılır. Bu çözüm yöntemi h-adaptivity metodu olarak tanımlanabilir. İkinci bir yöntem ise, bu elemanların sayısını arttırarak yerine elemanların polinom derecesini arttırmaktadır. Polinom derecesi arttıkça elde edilen modelin doğruluğu da artar. Sonuçlar kullanıcı tarafından tayin edilen tolerans içine girene kadar polinom derecesi artar. Bu tür p elemanı olarak tanımlanır.

4.1.6. Cismin Sonlu Elemanlara Bölünmesi

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan analizlerde öncelikle eleman tipinin belirlenmesi gerekir. Doğru eleman tipini seçmek analiz işleminin çok önemli bir parçasıdır. Bu adım için kullanıcının yeterince sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgi sahibi olması gerekir. Çözümü istenen cismin geometrisi, analizin tipi (mukavemet, ısı transferi, manyetik analiz tipi) ve sınırları eleman seçimini etkiler.

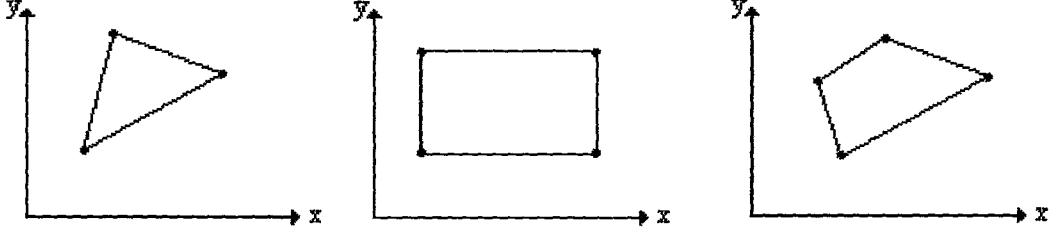
Eleman tipinin belirlenmesinden sonra çözüm bölgesi tamamen düzgün bir ağ ile bölünür. Öncelikle sistem, süreksizlik noktalarında daha küçük sonlu elemanlara ayrılmalıdır. Analizde kullanılan sonlu eleman tipinin iyi seçilmesi, o oranda daha iyi sonuçlar elde edilerek gerçek çözüme daha fazla yaklaşılmısını sağlar. Sonlu elemanlar metodunda kullanılan elemanlar boyutlarına göre dört kısma ayrılır:

a) Bir boyutlu elemanlar: Tek boyutlu ifade edilen problemlerin çözümünde kullanılır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Tek boyutlu elemanlar

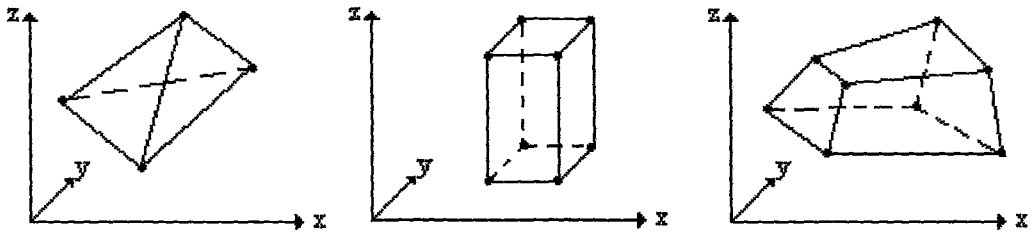
b) **İki boyutlu elemanlar:** Düzlem problemlerin çözümünde kullanılır. İki boyutlu sonlu eleman olarak en çok kullanılanı üç düğümlü üçgen elemanlardır. Üçgen elemanların altı, dokuz ve daha fazla düğüm ihtiva eden türleri de vardır. Düğüm sayısı seçilecek interpolasyon fonksiyonunun derecesine göre ayarlanır.



Şekil 4.3. Çeşitli iki boyutlu elemanlar

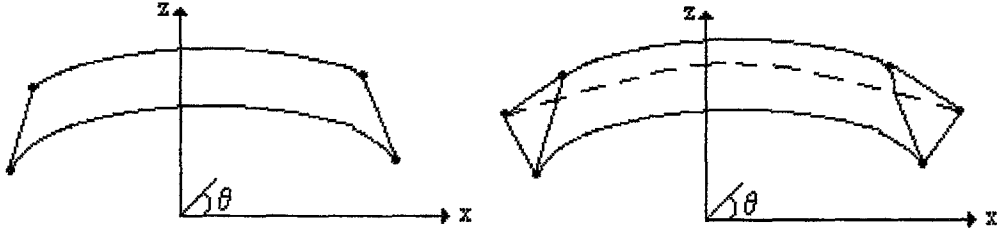
Bu grubun diğer bir elemanı dörtgen elemandır. Dörtgen elemanı çoğu zaman özel hal olan dikdörtgen eleman olarak kullanılır. Dikdörtgen elemanlarla çözüm bölgesini taramak oldukça kolaylık sağlar. Ancak çözüm bölgelerinin ifade edilmesi bakımından üçgen elemanlar daha kullanışlıdır (Şekil 4.3).

c) **Üç boyutlu elemanlar:** Bu grupta en çok kullanılan eleman üçgen piramittir. Ayrıca dikdörtgen prizması ve altı yüzlü elemanlar, üç boyutlu problemlerin çözümünde kullanılan diğer eleman tipleridir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Çeşitli üç boyutlu elemanlar

d) **Dönel elemanlar:** Eksenel simetrik özellik gösteren problemlerin çözümünde dönel elemanlar kullanılır. Bu elemanlar iki boyutlu elemanların simetri eksenini etrafında bir tam dönme yapması ile elde edilirler. Dönel elemanlar yardımı ile pratikte üç boyutlu olan problemler, iki boyutlu problem gibi ele alınarak çözülebilirler. Bu durum, dönel elemanların kullanımını oldukça yaygınlaştırmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Dönel elemanlar

4.1.7. İnterpolasyon Fonksiyonları

Literatürde, sonlu elemanlarda bir elemanın alan değişkeninin değişimini göstermekte kullanılan fonksiyonlar “interpolasyon fonksiyonları” olarak adlandırılmaktadır. Elemandaki düğüm sayısı fonksiyonun mertebesini tayin ettiğinden dolayı, interpolasyon fonksiyonu seçilen sonlu elemanın tipini belirler. Türev ve integrallerinin kolay alınması ve koordinat değişimlerinden etkilenmemeleri polinomların interpolasyon fonksiyonu olarak tercih edilmesinin başlıca nedenidir [25].

4.1.8. Bir Değişkenli İnterpolasyon Fonksiyonu

Bir boyutlu n. dereceden bir polinom

$$P_n(x) = \sum_{i=0}^{T_n^{(1)}} \alpha_i x^i \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki terimlerin sayısı $T_n^{(1)}=n+1$ ‘dir.

$$n=1 \text{ için } T_1^{(1)}=2 \text{ ve } P_1(x) = \alpha_0 + \alpha_1 x \quad (4.2)$$

$$n=2 \text{ için } T_2^{(1)}=3 \text{ ve } P_2(x) = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 \quad (4.3)$$

4.1.9. İki Değişkenli İnterpolasyon Fonksiyonu

İki değişkenli n. dereceden bir polinom aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$P_n(x,y) = \sum_{i=0}^{T_n^{(2)}} \alpha_k x^i y^j, \quad i+j \leq n \quad (4.4)$$

Burada $T_n^{(2)} = (n+1)(n+2)/2$ 'dir.

$$n=1 \text{ için } T_1^{(2)}=3 \text{ ve } P_1(x,y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \quad (4.5)$$

$$n=2 \text{ için } T_1^{(2)}=6 \text{ ve } P_2(x,y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy + \alpha_5 x^2 + \alpha_6 y^2 \quad (4.6)$$

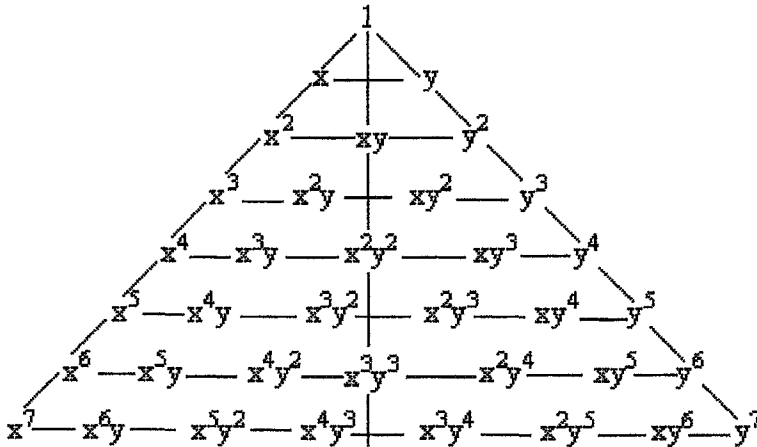
Seçilen polinomlar, değişik sonlu elemanlara uygulanabilir. Sadece köşelerinde düğüm bulunan üçgen elemanlar için interpolasyon fonksiyonu,

$$P(x,y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \quad (4.7)$$

olarak, kenarlarının ortasında da düğüm bulunan altı düğümlü üçgen eleman için,

$$P(x,y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy + \alpha_5 x^2 + \alpha_6 y^2 \quad (4.8)$$

olarak yazılabilir. İnterpolasyon fonksiyonu seçilirken özellikle geometrik izotropinin sağlanmasına özen gösterilmelidir. Örnek olarak, yedi düğümlü bir üçgen eleman için interpolasyon fonksiyonu bu şartı ancak şu şekilde sağlamaktadır:



Şekil 4.6. İki değişkenli bir polinomda terimlerin düzeni [26]

$$P(x,y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 x^2 + \alpha_5 y^2 + \alpha_6 x^3 + \alpha_7 y^3 \quad (4.9)$$

4.1.10. Üç Değişkenli İnterpolasyon Fonksiyonu

Üç boyutlu n. dereceden bir polinom,

$$P_n(x,y,z) = \sum_{i=0}^{T_n^{(3)}} \alpha_i x^i y^j z^k, \quad i+j+k \leq n \quad (4.10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, $T_n^{(3)} = (n+1)(n+2)(n+3)/6$ 'dır.

$$n=1 \text{ için } T_1^{(3)}=4 \text{ ve } P_1(x,y,z) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 z \quad (4.11)$$

$$n=2 \text{ için } T_2^{(3)}=10 \text{ ve}$$

$$P_2(x,y,z) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 z + \alpha_5 xy + \alpha_6 xz + \alpha_7 yz + \alpha_8 x^2 + \alpha_9 y^2 + \alpha_{10} z^2 \quad (4.12)$$

4.1.11. Bir Boyutlu Elemanlarda İnterpolasyon Fonksiyonu Olarak Lagrange Polinomların Kullanılması

Polinomlar içerisinde Lagrange polinomları sahip oldukları özellikler nedeni ile interpolasyon fonksiyonu olarak kullanılmaya elverişlidirler. Çünkü, interpolasyon fonksiyonları elemanların ara yüzeylerindeki sürekliliği sağlamalıdır. Süreklilik için ortak eleman düğüm koordinatları ve yer değiştirmeleri aynı olmalıdır. İnterpolasyon fonksiyonları lokal koordinat sisteminden seçilir. Çünkü global koordinatların kullanılması halinde eleman özelliklerinin çıkarılmasında bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Lagrange polinomları lokal koordinat sisteminde tanımlanıp, daha sonra bu değerler global koordinat sistemine dönüşüm edilecektir.

Lagrange polinomu genel olarak,

$$L_k(r) = \prod_{m=0, m \neq k}^n \frac{r - r_m}{r_k - r_m} = \frac{(r - r_0)(r - r_1) \dots (r - r_{k-1}) \dots (r - r_n)}{(r_k - r_0) \dots (r_k - r_{k-1})(r_k - r_{k+1}) \dots (r_k - r_n)} \quad (4.13)$$

şeklinde gösterilir. Π sembolü, bütün terimlerin çarpımını gösterir. Örneğin,

$$\prod_{i=1}^4 (i^2 + 1) = (1^2 + 1) \times (2^2 + 1) \times (3^2 + 1) \times (4^2 + 1) = 2 \times 5 \times 10 \times 17 = 1700$$

$L_k(r)$, n tane lineer faktörün çarpımını ve n ise, polinomun derecesini göstermektedir. $r=r_k$ değerini aldığı anda $L_k(r_k)$ 'nın değeri birim değere eşit olacaktır. $r=r_m$ ve $m=k$ olduğunda L_k 'nın değeri sıfıra eşit olur. Fakat, $r=r_m$ ve $m \neq k$ olduğunda polinom tanımsızdır. Bu özelliğinden dolayı Lagrange polinomları keyfi fonksiyonların tanımlanmasında oldukça elverişlidir. Lagrange polinomları kullanılarak elde edilen interpolasyon fonksiyonları tanımlanan noktalarda sürekliliği garanti ettiği için yer değiştirme fonksiyonu da sürekliliği ara yüzeylerde sağlar.

$\Phi(r)$ r ekseninde bir aralıkta keyfi bir fonksiyondur. Örneğin, $\Phi(r)$ fonksiyonun $[r_0, r_3]$ aralığında dört noktadaki değerleri verilmiş ise, bu Φ fonksiyonu üçüncü dereceden bir polinomla tesbit edilebilir ve bu aralıkta $\Phi(r)$ fonksiyonu şu şekilde yazılabilir.

$$\Phi(r) = \sum_{i=0}^3 \Phi_i L_i(r) = \Phi_0 L_0 + \Phi_1 L_1 + \Phi_2 L_2 + \Phi_3 L_3 \quad (4.14)$$

Bu ifadedeki L_i Lagrange polinomları, bazen Lagrange interpolasyon katsayısı olarak adlandırılır. Bu katsayılar sıfır ve bir arasında bir değer alır. Örneğin, Φ_3 ' in katsayısı

$$L_3(r) = \frac{(r - r_0)(r - r_1)(r - r_2)}{(r_3 - r_0)(r_3 - r_1)(r_3 - r_2)} \quad (4.15)$$

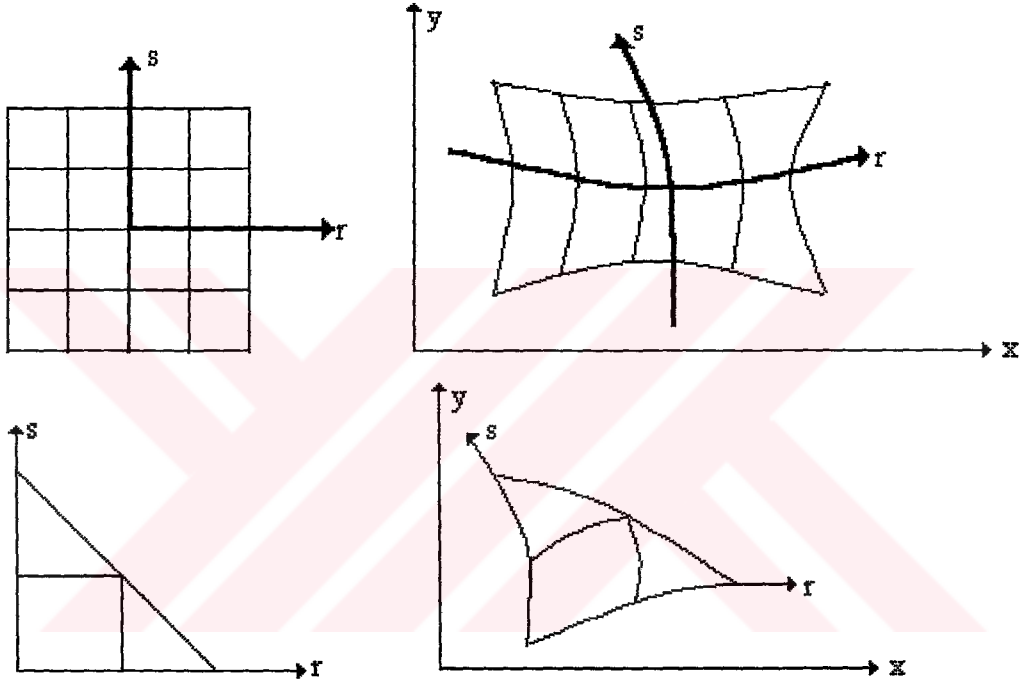
dir. Bu durumda tek boyutlu bir eleman için interpolasyon fonksiyonu $N_i(r) = L_i(r)$ yazılarak,

$$\Phi = \sum_{i=1}^n N_i r_i \quad (4.16)$$

olarak elde edilir.

4.1.12. İki Boyutlu Elemanlarda İnterpolasyon Fonksiyonu Olarak Lagrange Polinomların Kullanılması

Kartezyen koordinat sisteminde verilen bazı iki boyutlu elemanların yerel koordinatlara dönüşümü Şekil 4.7 'de görülmektedir. Burada lokal koordinatlardaki dönüşümü dikdörtgen ve üçgen olan genel halde eğrisel çizgilerle çevrili iki boyutlu izoparametrik elemanlar ele alınmıştır. Genel olarak, Lagrange polinomlarının ikişer ve üçer çarpımları ile sırasıyla iki ve üç boyutlu elemanların interpolasyon fonksiyonları bulunur.



Şekil 4.7. İki boyutlu elemanların dönüşümü

Örnek olarak sonlu eleman analizinde kullandığımız dört düğümlü bir dikdörtgen izoparametrik elemana ait interpolasyon fonksiyonu,

$$\Phi(r,s) = N_1(r,s) \Phi_1 + N_2(r,s) \Phi_2 + N_3(r,s) \Phi_3 + N_4(r,s) \Phi_4 \quad (4.17)$$

şeklinde yazılır. Burada,

$$N_1(r,s) = L_1(r) L_1(s), \quad N_2(r,s) = L_2(r) L_{21}(s), \quad N_3(r,s) = L_3(r) L_3(s), \quad N_4(r,s) = L_4(r) L_4(s) \quad (4.18)$$

dir. Bu şekilde ayarlamakla her bir düğüm koordinatları o düğüm için değerleri yerine konulduğunda değeri bir ve yine bu koordinatlar için diğer N katsayıları sıfır olmaktadır. Bu sayede bire bir uygunluk sağlanmakta ve dolayısı ile süreklilik meydana gelmektedir. Aynı zamanda interpolasyon fonksiyonu her düğümdeki özellikleri sağlamaktadır.

Şekil 4.8 'deki dört düğümlü dikdörtgen bir elemanın interpolasyon fonksiyonların elemanları aşağıdaki şekildedir:

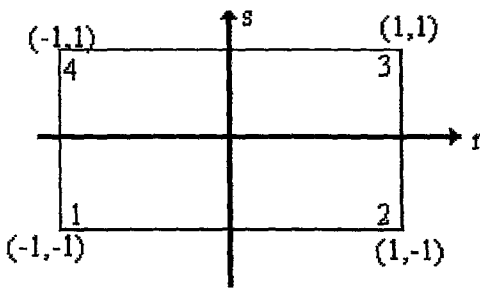
$$N_1(r,s) = L_1(r) L_1(s) = \frac{r-r_2}{r_1-r_2} \times \frac{s-s_4}{s_1-s_4} = \frac{r-1}{-1-1} \times \frac{s-1}{-1-1} = \frac{1}{4}(1-r)(1-s) \quad (4.19a)$$

$$N_2(r,s) = L_2(r) L_2(s) = \frac{r-r_2}{r_2-r_1} \times \frac{s-s_3}{s_2-s_3} = \frac{r+1}{1-(-1)} \times \frac{s-1}{-1-1} = \frac{1}{4}(1+r)(1-s) \quad (4.19b)$$

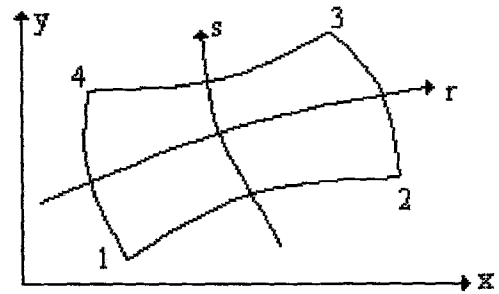
$$N_3(r,s) = L_3(r) L_3(s) = \frac{r-r_4}{r_3-r_4} \times \frac{s-s_2}{s_3-s_2} = \frac{r+1}{1-(-1)} \times \frac{s+1}{1-(-1)} = \frac{1}{4}(1+r)(1+s) \quad (4.19c)$$

$$N_4(r,s) = L_4(r) L_4(s) = \frac{r-r_3}{r_4-r_3} \times \frac{s-s_1}{s_4-s_1} = \frac{r-1}{-1-1} \times \frac{s+1}{1-(-1)} = \frac{1}{4}(1-r)(1+s) \quad (4.19d)$$

Dörtten daha fazla düğümlü izoparametrik elemanlara ait interpolasyon fonksiyonları benzer yolla elde edilir. Bu interpolasyon fonksiyonları Şekil 4.9 'da verilmektedir.

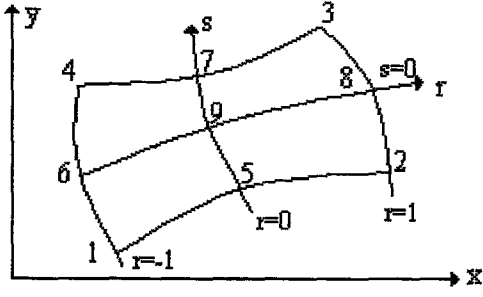


a) Yerel koordinatlar



b) Kartezyen koordinatlar

Şekil 4.8. Dört düğümlü dikdörtgen eleman



	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9
$L_1 = \frac{1}{4}(1+r)(1+s)$	$-\frac{1}{2}L_5$	.....	.....	$-\frac{1}{2}L_8$	$-\frac{1}{2}L_9$
$L_2 = \frac{1}{4}(1-r)(1+s)$	$-\frac{1}{2}L_5$	$-\frac{1}{2}L_6$	.....	.....	$-\frac{1}{2}L_9$
$L_3 = \frac{1}{4}(1-r)(1-s)$	.....	$-\frac{1}{2}L_6$	$-\frac{1}{2}L_7$	.....	$-\frac{1}{2}L_9$
$L_4 = \frac{1}{4}(1+r)(1-s)$	.....	.....	$-\frac{1}{2}L_7$	$-\frac{1}{2}L_8$	$-\frac{1}{2}L_9$
$L_5 = \frac{1}{4}(1-r^2)(1+s)$	.....	.....	.....	.....	$-\frac{1}{2}L_9$
$L_6 = \frac{1}{4}(1-s^2)(1-r)$	.....	.....	.....	.....	$-\frac{1}{2}L_9$
$L_7 = \frac{1}{4}(1-r^2)(1-s)$	.....	.....	.....	.....	$-\frac{1}{2}L_9$
$L_8 = \frac{1}{4}(1-s^2)(1+r)$	.....	.....	.....	.....	$-\frac{1}{2}L_9$
$L_9 = \frac{1}{4}(1-r^2)(1-s^2)$	.....	.....	.....	.....	$-\frac{1}{2}L_9$

Şekil 4.9. Düğüm noktaları 4 'den 9 'a kadar değişebilen iki boyutlu elemanların interpolasyon fonksiyonları

4.2. Sayısal Modelleme

4.2.1. Trapez Depolu Bir Konut Isıtma Sisteminde Sıcaklık Dağılımı Probleminin Tanıtımı

Bu bölümde incelenen problemin prensip şeması Şekil 4.10 'da gösterilmiştir. Isıl depolama sistemi, toprak ve toprağa gömülü trapez bir depodan oluşmaktadır. Güneş kollektörlerinden sağlanan enerji ile depo içerisindeki suya aktarılmaktadır. Bu çalışmada; deponun gömüldüğü topraktaki geçici rejim sıcaklık dağılımı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Toprak içerisindeki sıcaklık dağılımı iki boyutlu olduğu varsayılmış ve depo su sıcaklığı başlangıçta derin toprak sıcaklığına (15 °C) eşit alınmıştır. Toprak yüzeyinden havaya taşınım ile ısı transferi olmaktadır. Depodan çok uzaklıkta sıcaklığın sabit olduğu ve derin toprak sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Deponun gömüldüğü toprağın homojen ve izotropik bir yapıda olduğu varsayılmıştır. Hava ile toprak yüzeyi arasındaki taşınım katsayısı, $h=5.7+3.8 V_R$ eşitliğinden hesaplanmıştır. Bu eşitlikte V_R rüzgar hızı olup, meteoroloji verilerinden temin edilmiştir [27].

Fourier kanunu iki boyutlu olarak,

$$-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y}\right) + \dot{g} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.20)$$

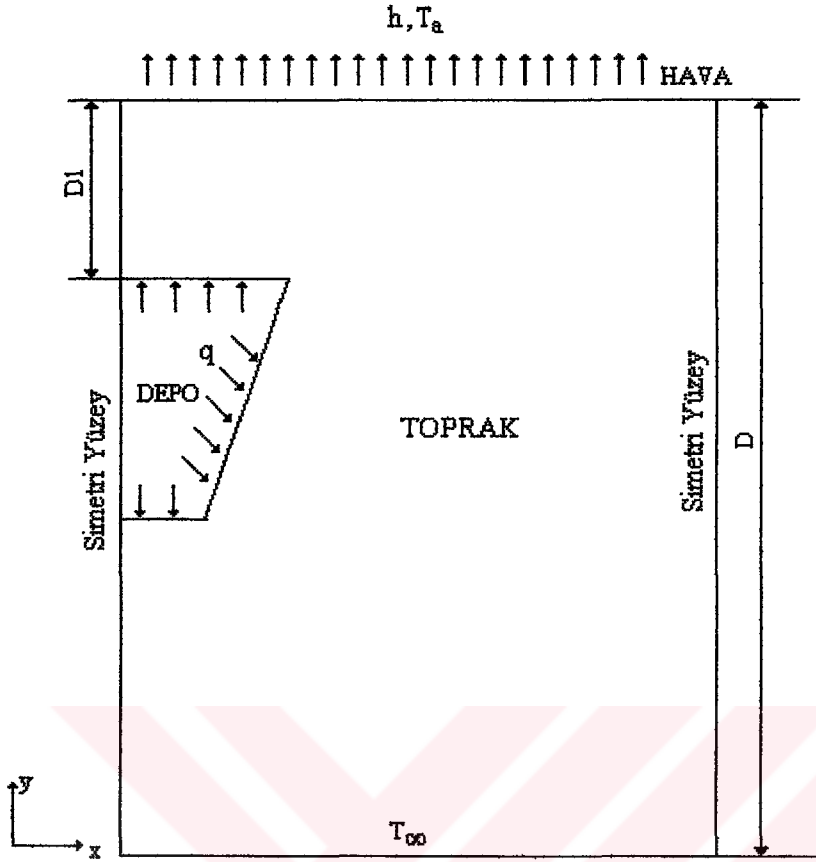
şeklinde ifade edilir. Homojen ve izotropik malzemeler için ısı akısı vektörleri,

$$\vec{q}_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.21)$$

$$\vec{q}_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4.22)$$

şeklindedir. O halde, (4.20) eşitliğini iki boyutlu ve içerisinde ısı üretimi olmaması durumu için yazarsak ($\dot{g} = 0$),

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.23)$$



Şekil 4.10. Toprak içerisinde sıcaklık dağılımı probleminin geometrisi

elde edilir. Bu ısı iletim denklemini, Γ yüzeyinin bütün kısımlarında başlangıç ve sınır şartları için çözülecektir.

Başlangıç sınır şartı,

$$T(x, y, 0) = T_0(x, y) = T_{\infty} \quad (4.24)$$

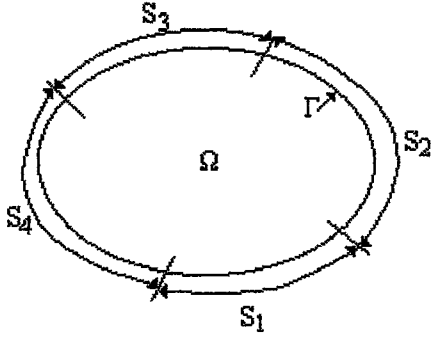
ve sınır şartları ise,

$$T = T_{\infty}(x, y, t) \quad t > 0 \quad S_1 \text{ 'de} \quad (4.25a)$$

$$q_x n_x + q_y n_y = -q_s \quad t > 0 \quad S_2 \text{ 'de} \quad (4.25b)$$

$$T = \dot{q}_h \quad t > 0 \quad S_3 \text{ 'de} \quad (4.25c)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad t > 0 \quad S_4 \text{ 'de} \quad (4.25d)$$



Şekil 4.11. Genel bir Ω alanı için dörtkenarlı ve dört düğümlü bir elemanın kullanımı.

4.2.2. Temel İletim Denklemi

Kartezyen koordinat sisteminde ısı iletim denklemi,

$$-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y}\right) + \dot{g} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.26)$$

şeklindedir. İzotropik olmayan durumda ise,

$$\dot{q}_x = -\left(k_{11} \frac{\partial T}{\partial x} + k_{12} \frac{\partial T}{\partial y}\right) \quad (4.27)$$

$$\dot{q}_y = -\left(k_{21} \frac{\partial T}{\partial x} + k_{22} \frac{\partial T}{\partial y}\right) \quad (4.28)$$

şeklinde ifade edilir. Homojen ve izotropik malzemelerde $k_{12}=k_{21}=0$ ve $k_{11}=k_{22}=k$ olduğundan

$$\dot{q} = -k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4.29)$$

şeklinde ya da vektör biçiminde

$$\vec{\dot{q}} = -k \vec{\nabla} T \quad (4.30)$$

ifade edilir. Burada,

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \quad (4.31)$$

dir. İzotropik bir malzeme için ısı iletim denklemi,

$$\nabla^2 T + \frac{g}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.32)$$

şeklini alır. Burada α , ısı yayılım katsayısı olup

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad (4.33)$$

eşitliğinden hesaplanır. Sabit ısıl iletkenlik ve içi ısı üretimi olmaması durumunda ısı iletim denklemi,

$$\nabla^2 T = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.34)$$

şekline indirgenir ve bu denkleme yayılım denklemi adını alır. Sürekli rejimde ise Poisson denklemi elde edilir.

$$\nabla^2 T + \frac{g}{k} = 0 \quad (4.35)$$

Isı üretimi olmayan sürekli rejimde,

$$\nabla^2 T = 0 \quad (4.36)$$

ifadesi ile tanımlanan Laplace denklemi elde edilir.

4.2.3. İzoparatik Formülasyon

Çözümde, şeklin geometrisi ve çözüm bölgesi dikkate alınarak, dört düğümlü izoparatik elemanlar kullanılmıştır. Bu nedenle dört düğümlü ve iki boyutlu izoparatik elemanlar incelenmiştir.

Şekil fonksiyon elemanı,

$$N_i(r,s) = \frac{1}{4}(1 + r r_i)(1 + s s_i) \quad (4.37)$$

şeklinde ifade edilir. i , izoparatik elemanın düğüm numarasıdır ve burada $i=1, 2, 3, 4$ 'dir.

$i=1$ ise,

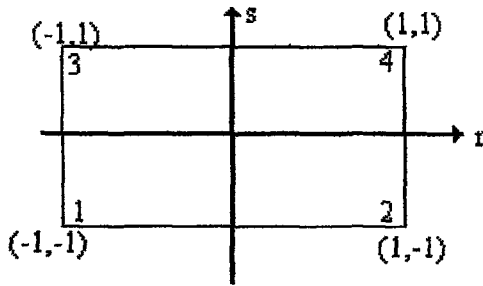
$$N_1 = \frac{1}{4}(1 - r)(1 - s) \quad (4.38)$$

$i=2$ ise,

$$N_2 = \frac{1}{4}(1 + r)(1 - s) \quad (4.39)$$

$i=3$ ise,

$$N_3 = \frac{1}{4}(1 - r)(1 + s) \quad (4.40)$$



Şekil 4.12. Dört düğümlü ve iki boyutlu izoparatik elemanın düğüm numaraları ve koordinatları.

i=4 ise,

$$N_4 = \frac{1}{4}(1+r)(1+s) \quad (4.41)$$

$\frac{\partial T}{\partial x}$ ve $\frac{\partial T}{\partial y}$,nin türevlerini bulmak için, zincir kuralını yazarsak,

$$dT = \frac{\partial T}{\partial x} dx + \frac{\partial T}{\partial y} dy \Rightarrow \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r} \quad (4.42)$$

$$dT = \frac{\partial T}{\partial x} dx + \frac{\partial T}{\partial y} dy \Rightarrow \frac{\partial T}{\partial s} = \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial s} \quad (4.43)$$

elde edilir. Yukarıdaki ifadeleri matris biçiminde yazılırsa,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial r} \\ \frac{\partial T}{\partial s} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} \\ \frac{\partial x}{\partial s} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \end{Bmatrix} \quad (4.44)$$

Jakobian matrisi, $J = \begin{Bmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial r} \\ \frac{\partial x}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (4.45)$

Eşitlik (4.43) 'de türevleri çekersek,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \end{Bmatrix} = J^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial r} \\ \frac{\partial T}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (4.46)$$

elde edilir. İzoparametriklerde x ve y de aynı interpolasyon fonksiyonu ile yazılabilir.

$$x = N_1 x_1 + N_2 x_2 + N_3 x_3 + N_4 x_4 \quad (4.47)$$

$$y = N_1 y_1 + N_2 y_2 + N_3 y_3 + N_4 y_4 \quad (4.48)$$

Burada,

$$N_1 = \frac{1}{4}(1-r)(1-s) \quad (4.49)$$

$$N_2 = \frac{1}{4}(1+r)(1-s) \quad (4.50)$$

$$N_3 = \frac{1}{4}(1-r)(1+s) \quad (4.51)$$

$$N_4 = \frac{1}{4}(1+r)(1+s) \quad (4.52)$$

dir. (4.47) ve (4.48) eşitliklerinde yerlerine koyarsak,

$$x = \frac{1}{4}[(1-r)(1-s)x_1 + (1+r)(1-s)x_2 + (1+r)(1+s)x_3 + (1-r)(1+s)x_4] \quad (4.53)$$

$$y = \frac{1}{4}[(1-r)(1-s)y_1 + (1+r)(1-s)y_2 + (1+r)(1+s)y_3 + (1-r)(1+s)y_4] \quad (4.54)$$

$$\frac{\partial x}{\partial r} = \frac{\partial N_1}{\partial r} x_1 + \frac{\partial N_2}{\partial r} x_2 + \frac{\partial N_3}{\partial r} x_3 + \frac{\partial N_4}{\partial r} x_4 \quad (4.55)$$

$$\frac{\partial x}{\partial r} = -\frac{1}{4}(1-s)x_1 + \frac{1}{4}(1-s)x_2 - \frac{1}{4}(1+s)x_3 + \frac{1}{4}(1+s)x_4 \quad (4.56)$$

$$\frac{\partial x}{\partial s} = \frac{\partial N_1}{\partial s} x_1 + \frac{\partial N_2}{\partial s} x_2 + \frac{\partial N_3}{\partial s} x_3 + \frac{\partial N_4}{\partial s} x_4 \quad (4.57)$$

$$\frac{\partial x}{\partial s} = -\frac{1}{4}(1-r)x_1 - \frac{1}{4}(1+r)x_2 + \frac{1}{4}(1-r)x_3 + \frac{1}{4}(1+r)x_4 \quad (4.58)$$

$$\frac{\partial y}{\partial r} = \frac{\partial N_1}{\partial r}y_1 + \frac{\partial N_2}{\partial r}y_2 + \frac{\partial N_3}{\partial r}y_3 + \frac{\partial N_4}{\partial r}y_4 \quad (4.59)$$

$$\frac{\partial y}{\partial r} = -\frac{1}{4}(1-s)y_1 + \frac{1}{4}(1-s)y_2 - \frac{1}{4}(1+s)y_3 + \frac{1}{4}(1+s)y_4 \quad (4.60)$$

$$\frac{\partial y}{\partial s} = \frac{\partial N_1}{\partial s}y_1 + \frac{\partial N_2}{\partial s}y_2 + \frac{\partial N_3}{\partial s}y_3 + \frac{\partial N_4}{\partial s}y_4 \quad (4.61)$$

$$\frac{\partial y}{\partial s} = -\frac{1}{4}(1-r)y_1 - \frac{1}{4}(1+r)y_2 + \frac{1}{4}(1-r)y_3 + \frac{1}{4}(1+r)y_4 \quad (4.62)$$

Jakobian matrisinde yerine koyarsak,

$$J = \begin{vmatrix} -\frac{1}{4}(1-s)x_1 + \frac{1}{4}(1-s)x_2 - \frac{1}{4}(1+s)x_3 + \frac{1}{4}(1+s)x_4 & -\frac{1}{4}(1-s)y_1 + \frac{1}{4}(1-s)y_2 + \dots \\ -\frac{1}{4}(1-r)x_1 - \frac{1}{4}(1+r)x_2 - \frac{1}{4}(1-r)x_3 + \frac{1}{4}(1+r)x_4 & -\frac{1}{4}(1-r)y_1 - \frac{1}{4}(1+r)y_2 + \dots \end{vmatrix} \quad (4.63)$$

bulunur.

4.2.4. Sonlu Eleman Formülasyonu

Eleman içerisindeki sıcaklık dağılımı,

$$T(x, y, t) = \sum_{i=1}^r N_i(x, y) T_i(t) = N_1 T_1 + N_2 T_2 + N_3 T_3 + N_4 T_4 \quad (4.64)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x}(x, y, t) = \sum_{i=1}^r \frac{\partial N_i}{\partial x}(x, y) T_i(t) = \frac{\partial N_1}{\partial x} T_1 + \frac{\partial N_2}{\partial x} T_2 + \frac{\partial N_3}{\partial x} T_3 + \frac{\partial N_4}{\partial x} T_4 \quad (4.65)$$

$$\frac{\partial T}{\partial y}(x,y,t) = \sum_{i=1}^r \frac{\partial N_i}{\partial y}(x,y) T_i(t) = \frac{\partial N_1}{\partial y} T_1 + \frac{\partial N_2}{\partial y} T_2 + \frac{\partial N_3}{\partial y} T_3 + \frac{\partial N_4}{\partial y} T_4 \quad (4.66)$$

Matris formunda yazılırsa,

$$\underbrace{\begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \end{Bmatrix}}_{[B]} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & \frac{\partial N_2}{\partial x} & \frac{\partial N_3}{\partial x} & \frac{\partial N_4}{\partial x} \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_2}{\partial y} & \frac{\partial N_3}{\partial y} & \frac{\partial N_4}{\partial y} \end{bmatrix}}_{\{T\}} \underbrace{\begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{Bmatrix}}_{\{T\}} \quad (4.67)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & \frac{\partial N_2}{\partial x} & \frac{\partial N_3}{\partial x} & \frac{\partial N_4}{\partial x} \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_2}{\partial y} & \frac{\partial N_3}{\partial y} & \frac{\partial N_4}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (4.68)$$

$$\{T\} = \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{Bmatrix} \quad (4.69)$$

bulunur. (4.67) eşitliği sembolik olarak yazılırsa,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \end{Bmatrix} = [B] \{T\} \quad (4.70)$$

elde edilir.

İki boyutlu ve içinde ısı üretimi olmayan ısı iletim diferansiyel denkleme,

$$-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y}\right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.71)$$

Galerkin formülü uygulanırsa,

$$\int_{\Omega^{(e)}} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right) N_i d\Omega \quad (4.72)$$

elde edilir. Burada $\Omega^{(e)}$, elemanın integral sahasıdır.

$$\int_{\Omega^{(e)}} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) N_i d\Omega \quad (4.73)$$

integralini matris formunda,

$$\int_{\Omega^{(e)}} \left| \frac{\partial N_i}{\partial x} \quad \frac{\partial N_i}{\partial y} \right| \begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \end{Bmatrix} d\Omega \quad (4.74)$$

şeklinde yazabiliriz. Bu (4.72) nolu ifadeye Gauss teoreminin uygulayalım.

$$\begin{aligned} \int_D u (\nabla v) d\Omega &= \int_{\Sigma} u (v \tilde{n}) d\Sigma - \int_D v (\nabla u) d\Omega \quad (\text{Gauss teoremi}) \\ \int_{\Omega^{(e)}} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) N_i d\Omega &= \int_{\Gamma} N_i (q \tilde{n}) d\Gamma - \int_{\Omega^{(e)}} \left| \frac{\partial N_i}{\partial x} \quad \frac{\partial N_i}{\partial y} \right| \begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \end{Bmatrix} d\Omega \end{aligned} \quad (4.75)$$

Eşitlik (4.72) 'de yerine koyarsak,

$$\int_{\Omega^{(e)}} \rho c \frac{\partial T}{\partial t} N_i d\Omega - \int_{\Omega^{(e)}} \left| \frac{\partial N_i}{\partial x} \quad \frac{\partial N_i}{\partial y} \right| \begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \end{Bmatrix} d\Omega = - \int_{\Gamma} N_i (q \tilde{n}) d\Gamma \quad i=1, 2, 3, 4 \quad (4.76)$$

Yüzey integrali Γ , S_1 , S_2 , S_3 , S_4 yüzeyleri boyunca integrallerin toplamı olarak yazılabilir. Yani,

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = \Gamma$$

dir. (4.25) nolu eşitliklerdeki sınır şartlarını uygularsak,

$$\int_{\Omega^{(e)}} \rho c \frac{\partial T}{\partial t} N_i d\Omega - \int_{\Omega^{(e)}} \left[\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_i}{\partial y} \right] \begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \end{Bmatrix} d\Omega = - \int_{S_1} (q \tilde{n}) N_i d\Gamma + \int_{S_2} q_s N_i d\Gamma - \int_{S_3} (q \tilde{n}) N_i d\Gamma + \int_{S_4} q_y N_i d\Gamma \quad (4.77)$$

(4.27) ve (4.28) nolu denklemler matris formunda,

$$\begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \end{Bmatrix} \quad (4.78)$$

yazılabilir. İzotropik malzemelerde $k_{11}=k_{22}=k$ ve $k_{12}=k_{21}=0$ olduğundan,

$$\begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} k & 0 \\ 0 & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \end{Bmatrix} \quad (4.79)$$

veya,

$$\begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \end{Bmatrix} = -k [B] \{T\} \quad (4.80)$$

şeklinde de yazılabilir. Sonuç olarak ara işlemlerden sonra,

$$[C] \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\} + [K_c] \{T\} = \{R_{T_e}\} + \{R_q\} + \{R_{T_a}\} + \{R_c\} \quad (4.81)$$

bulunur. Burada,

$$[C] = \int_{\Omega} \rho c \{N\} [N] d\Omega \quad (4.82)$$

$$\{N\} = \begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \end{Bmatrix} \quad (4.83)$$

$$[N] = [N_1 \ N_2 \ N_3 \ N_4] \quad (4.84)$$

$$[K_C] = \int_{\Omega^{(e)}} k [B^T] [B] d\Omega \quad (\text{İletim}) \quad (4.85)$$

$$\{R_{T_\infty}\} = - \int_{s_1} (q \tilde{n}) \{N\} d\Gamma \quad (\text{Özel düğüm sıcaklıkları}) \quad (4.86)$$

$$\{R_q\} = \int_{s_2} q_s \{N\} d\Gamma \quad (\text{Özel yüzey ısınması}) \quad (4.87)$$

$$\{R_{T_a}\} = - \int_{s_3} (q \tilde{n}) \{N\} d\Gamma \quad (\text{Özel düğüm sıcaklıkları}) \quad (4.88)$$

$$\{R_C\} = \int_{s_4} q_y \{N\} d\Gamma \quad (\text{Yüzey iletimi}) \quad (4.89)$$

Burada $d\Omega = t \, dx \, dy = t \, |J(r,s)| \, dr \, ds$ 'dir. (4.81) nolu denklemi,

$$[K_C] \{T\} + [C] \left\{ \dot{T} \right\} + \{F\} = 0 \quad (4.90)$$

şeklinde de ifade edilebilir. Burada,

$$\dot{T} = \frac{T_n - T_{n-1}}{\Delta t} \quad (4.91)$$

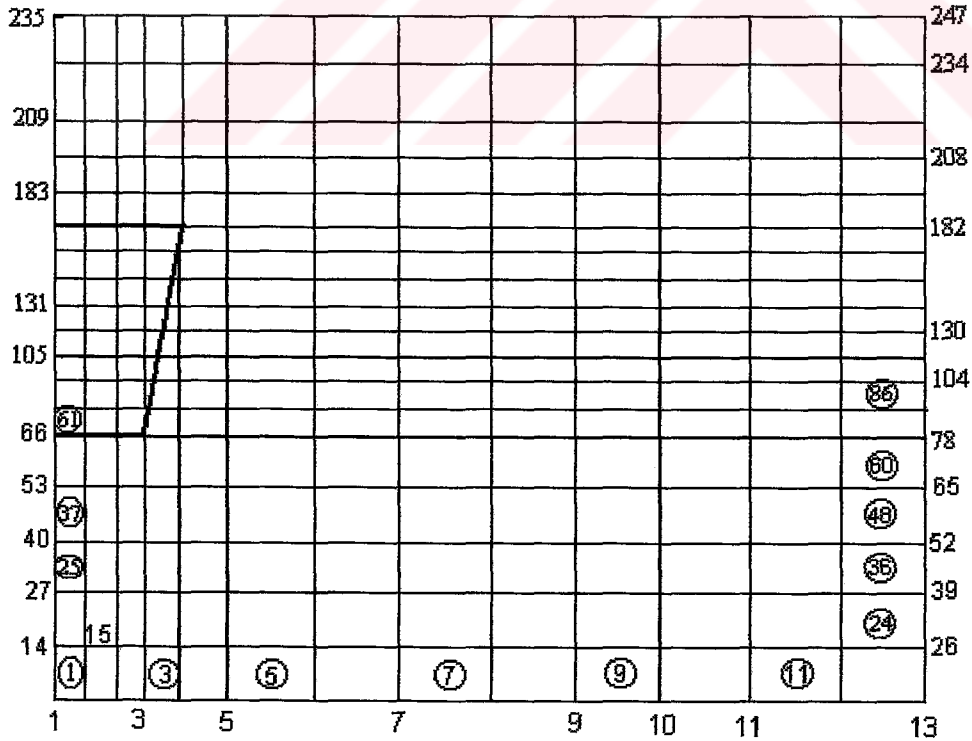
ve

$$\{F\} = -\{R_{T_\infty}\} - \{R_q\} - \{R_{T_a}\} - \{R_C\} \quad (4.92)$$

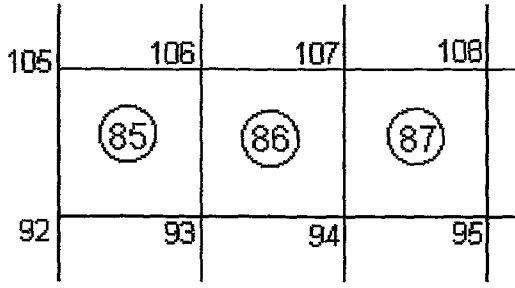
dır.

4.2.5. Sonlu Eleman Ağıının Üretilmesi

Sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizlerde sonlu eleman ağıının elde edilmesi ilk yapılan işlemdir. Bu ağ, analiz için gerekli olan düğüm koordinatlarını ve her bir elemanı çevreleyen düğüm numaralarını içerir. Her bir elemanın bir kenarında iki, bütün elemanlarda ise toplam dört adet düğüm noktası bulunmaktadır. Elemanların numaralandırılması sistematik biçimde yapılmış ve yine bunun içinde bilgisayar programı hazırlanmıştır. Analizlerde düğüm numaraları ve düğüm koordinatlarının bilgisayara veri olarak girilmesi gerekmektedir. Yüzlerce düğüm numaraları ve düğüm koordinatlarının dışardan bilgisayara yüklenmesi çok güç ve zaman alıcıdır. Bu şekilde bir uygulama hata yapma riskini de doğurur. Bunun için sonlu eleman ağı, hazırlanan bilgisayar programı yardımı ile yapılmıştır. Çalışma konusu toprak ve deponun x ve y doğrultularında kaç elemana bölüneceği önceden belirlenir. Toprak ve deponun boyutları da belirli olduğundan her bir elemanın boyutları ortaya çıkacaktır. Programın başında öncelikle her bir eleman, bu elemanın hangi düğümlerden oluştuğu ve her bir düğüm noktasının koordinatları belirlenir. Şekil 4.13 'de bu metotla oluşturulan toprak ve deponun sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir. Bazı elemanlar ve düğüm numaraları Şekil 4.14 'de verilmektedir.



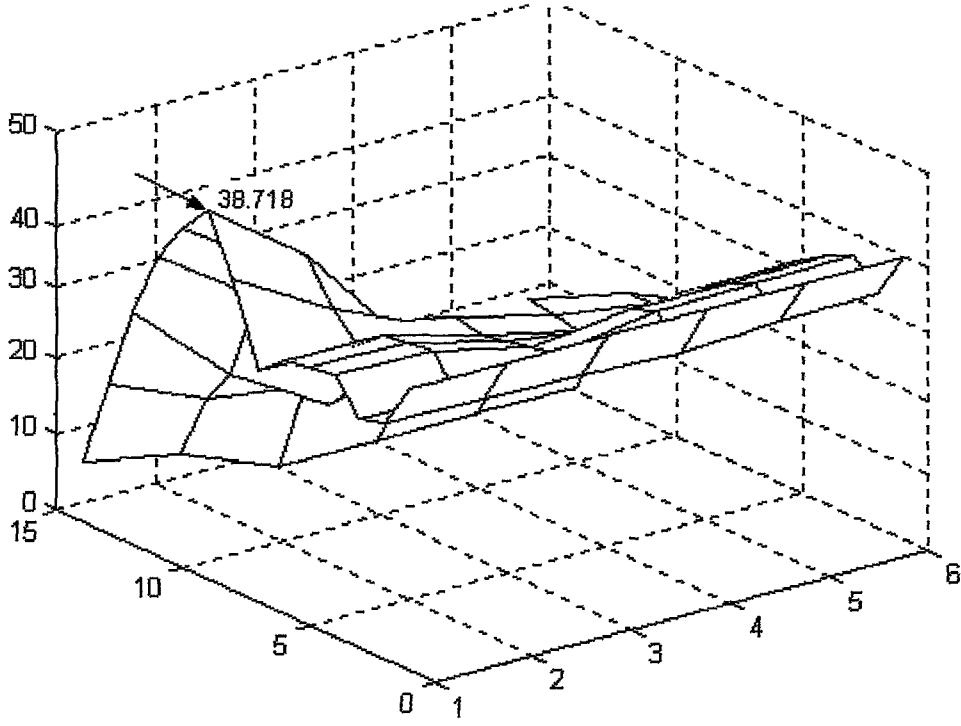
Şekil 4.13. Toprak ve toprağa gömülü trapez deponun sonlu elemanlar modeli.



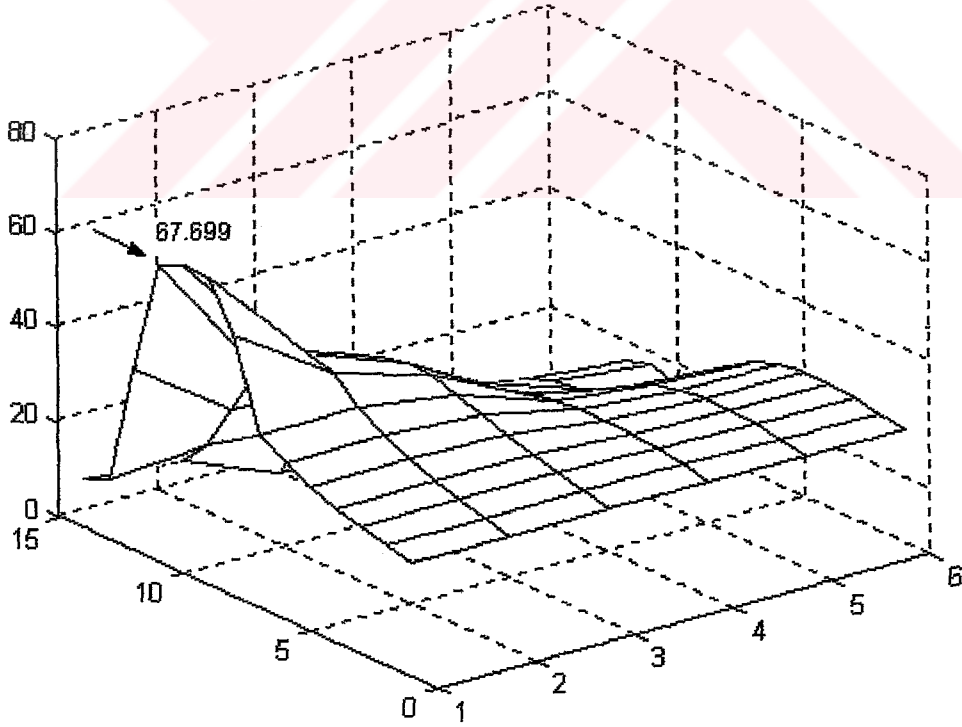
Şekil 4.14. Bazı elemanlar ve düğüm noktaları.

4.2.6. Bulgular

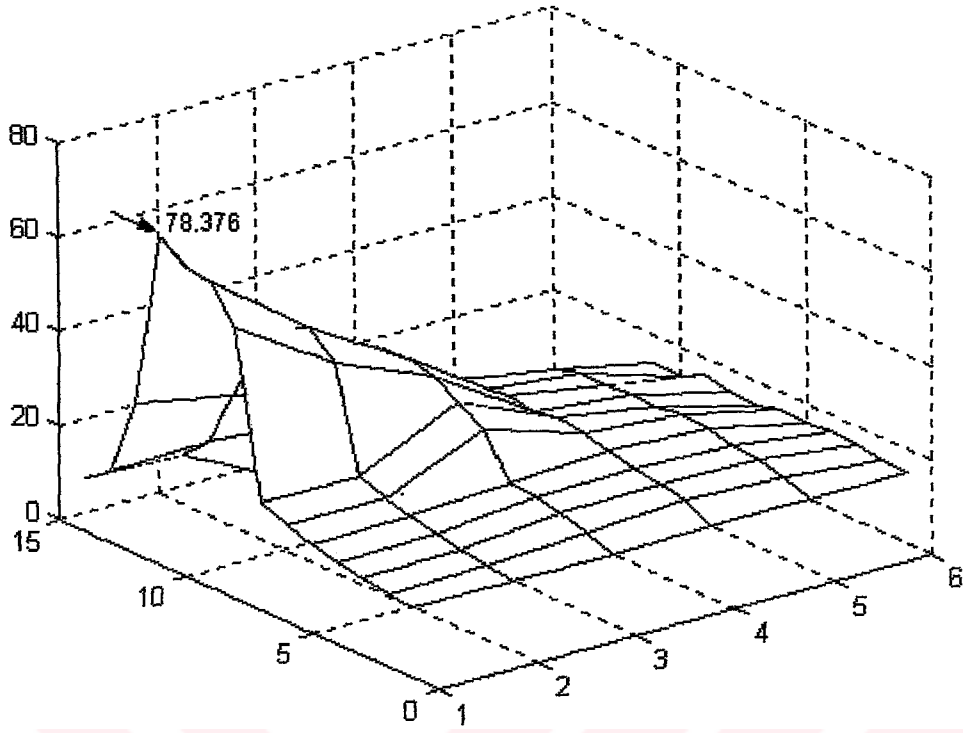
Şekil 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18 'de killi toprak ($k=1.4$ W/mK, $\rho=1500$ kg/m³, $C_p=848$ J/kgK) için kollektör alanının yıllık ortalama sıcaklık dağılımına etkisi gösterilmektedir. Kollektör alanı arttıkça, en yüksek sıcaklık depo ve deponun etrafında meydana gelmektedir. Kollektör alanı 20 m² iken en yüksek sıcaklık 18°C, 50 m² kollektör alanı kullanıldığında ise en yüksek sıcaklık 90 °C 'ye ulaşmaktadır. Şekil 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22 'de deponun bulunduğu ortamın sırasıyla kumlu, iri çakıllı, killi ve granitli toprak olması halinde, yıllık ortalama sıcaklık dağılım konturları gösterilmiştir. Aynı depo hacmi ve kollektör alanı için en yüksek sıcaklık eğrisi deponun kumlu toprak içerisine gömülmesi halinde elde edilirken, en düşük sıcaklık ise granitli toprak kullanılması halinde olmaktadır. Depo hacminin yıllık ortalama sıcaklık dağılımlarına etkisi, Şekil 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 ve 4.27 'de gösterilmektedir. Depodan uzaklaştıkça azalan sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Aynı kollektör alanı ve aynı toprak türü için, depo hacmi arttıkça sıcaklık azalmaktadır. Şekil 4.28, 4.29, 4.30 ve 4.31 'de depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine mesafesinin (D_1) yıllık ortalama sıcaklık dağılımına etkisi gösterilmektedir. Deponun toprak yüzeyine olan mesafesi arttıkça, dış ortam sıcaklığının etkisi azalacağından, depodaki su sıcaklığı da artmaktadır.



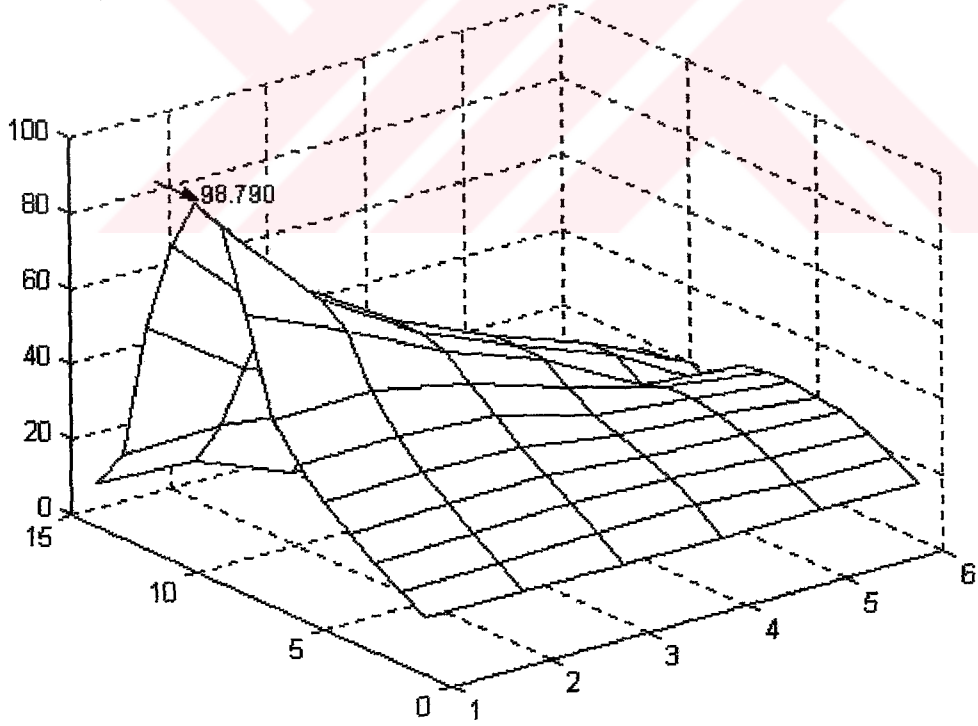
Şekil 4.15. Kollektör alanı 20 m^2 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$).



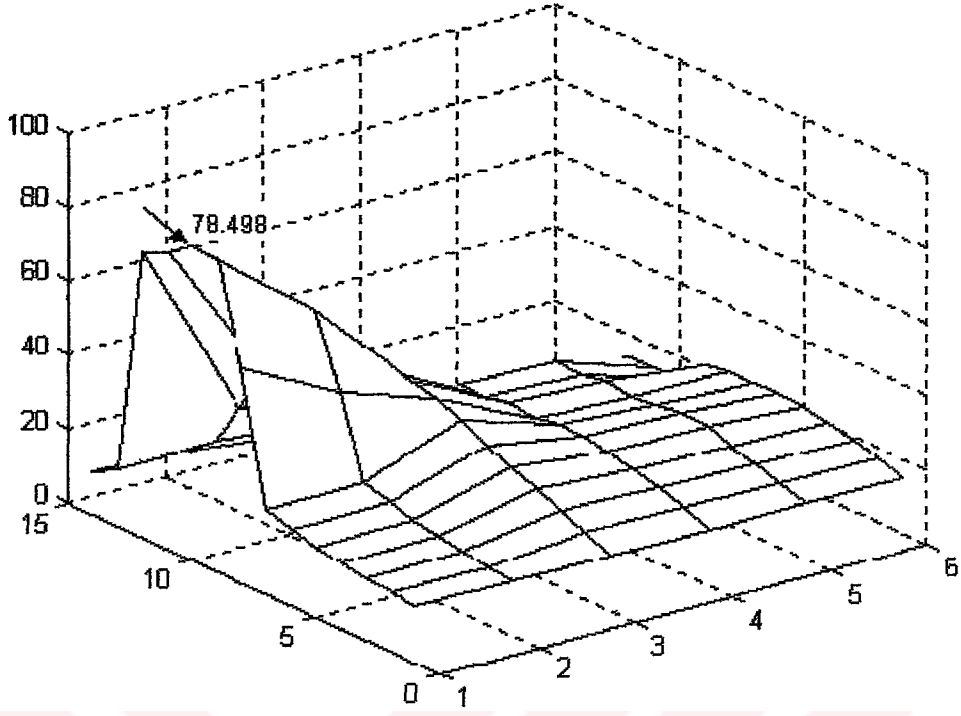
Şekil 4.16. Kollektör alanı 30 m^2 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$).



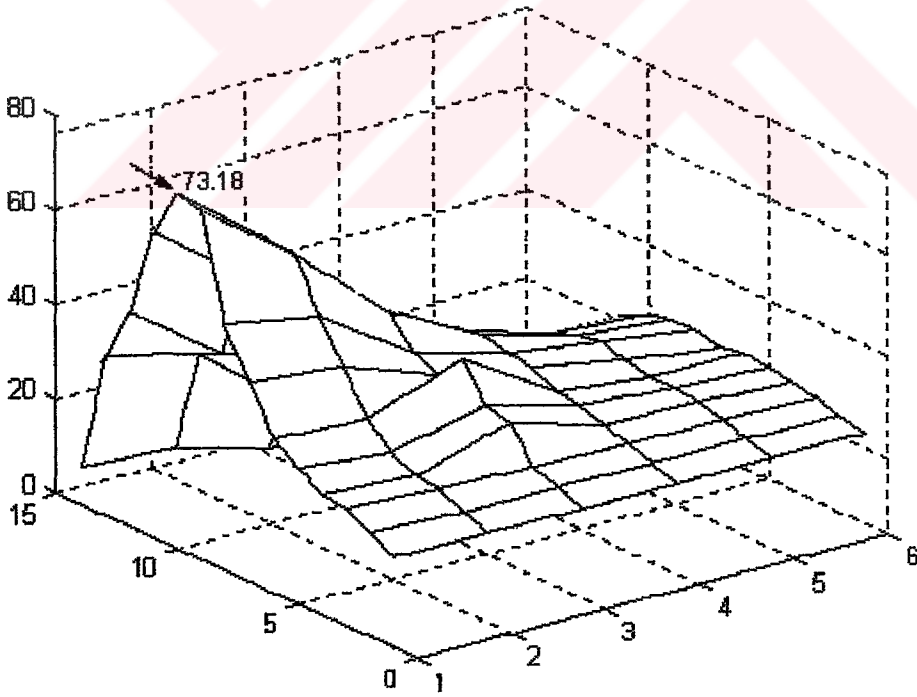
Şekil 4.17. Kollektör alanı 40 m^2 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$)



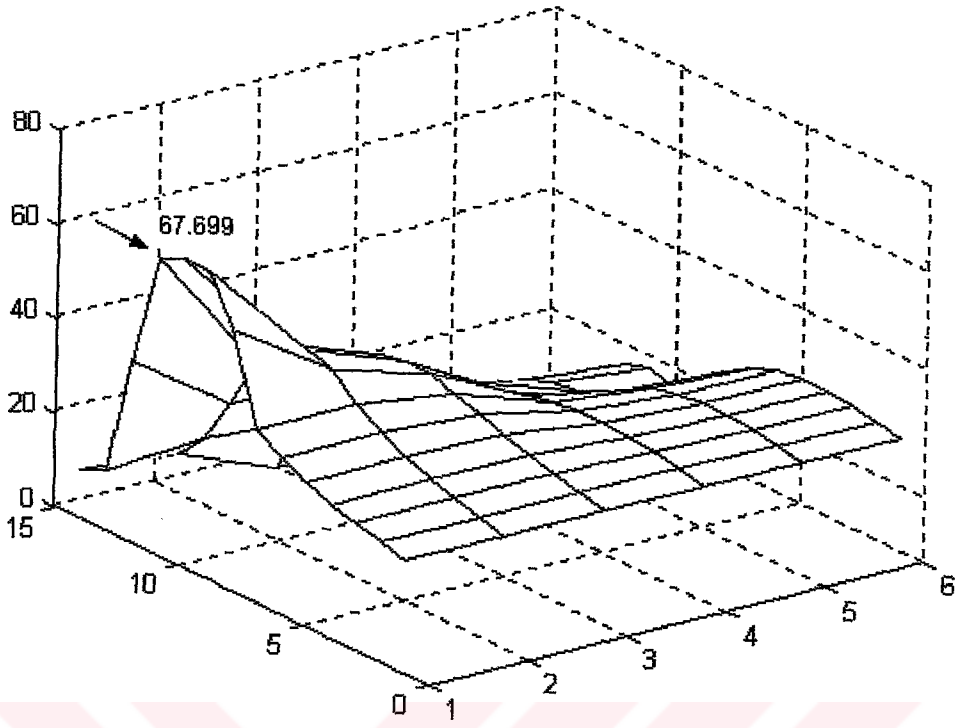
Şekil 4.18. Kollektör alanı 50 m^2 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$).



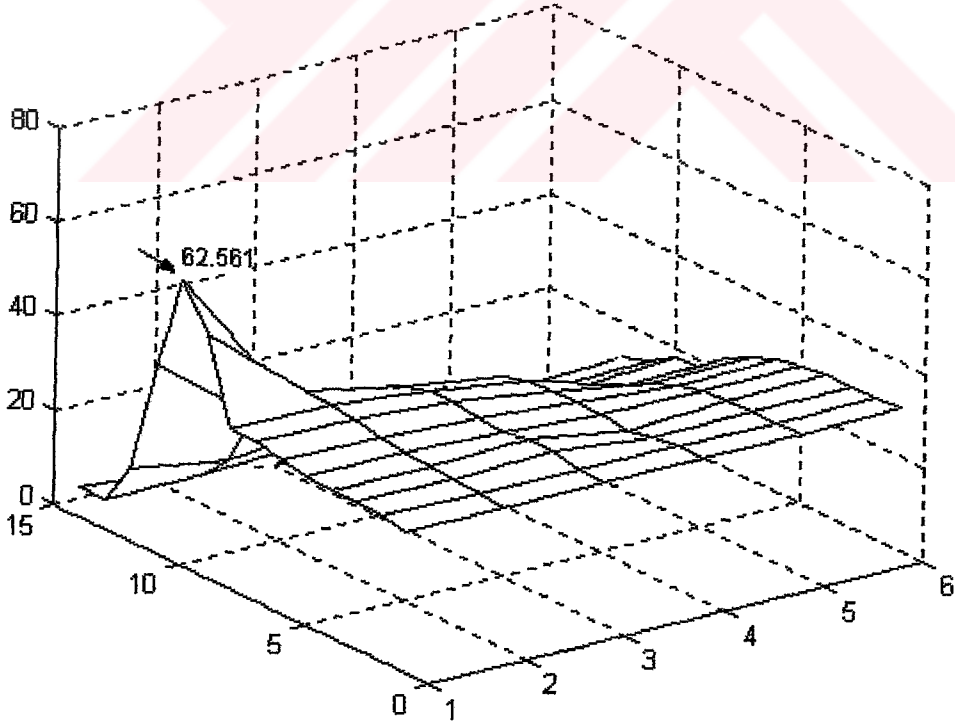
Şekil 4.19. Kumlu toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A_k=30 \text{ m}^2$, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$, $k=0.3 \text{ W/m K}$, $\rho=1500 \text{ kg/m}^3$, $c_p=800 \text{ J/kg K}$).



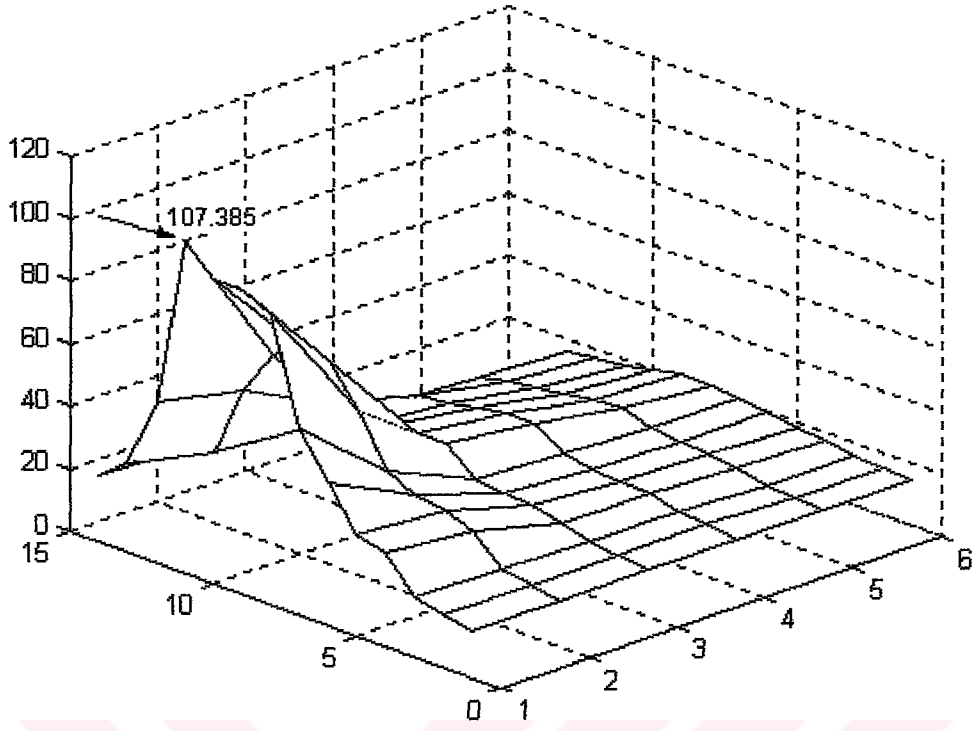
Şekil 4.20. İri çakıllı toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A_k=30 \text{ m}^2$, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$, $k=0.519 \text{ W/m K}$, $\rho=2050 \text{ kg/m}^3$, $c_p=1842 \text{ J/kg K}$).



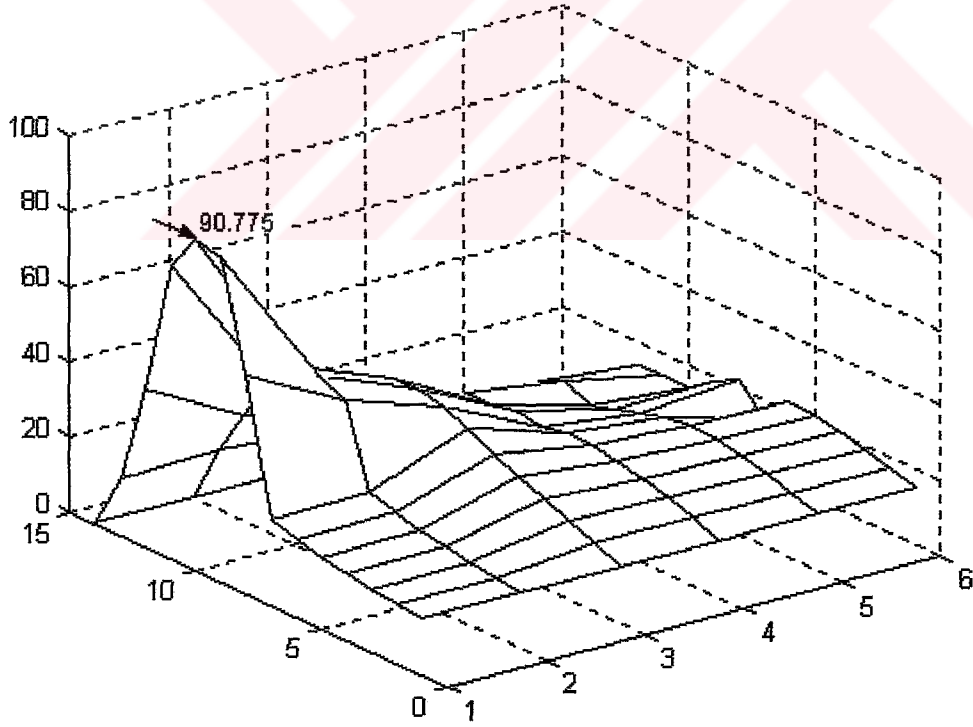
Şekil 4.21. Killi toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A_k=30 \text{ m}^2$, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$, $k=1.4 \text{ W/m K}$, $\rho=1500 \text{ kg/m}^3$, $C_p=848 \text{ J/kg K}$).



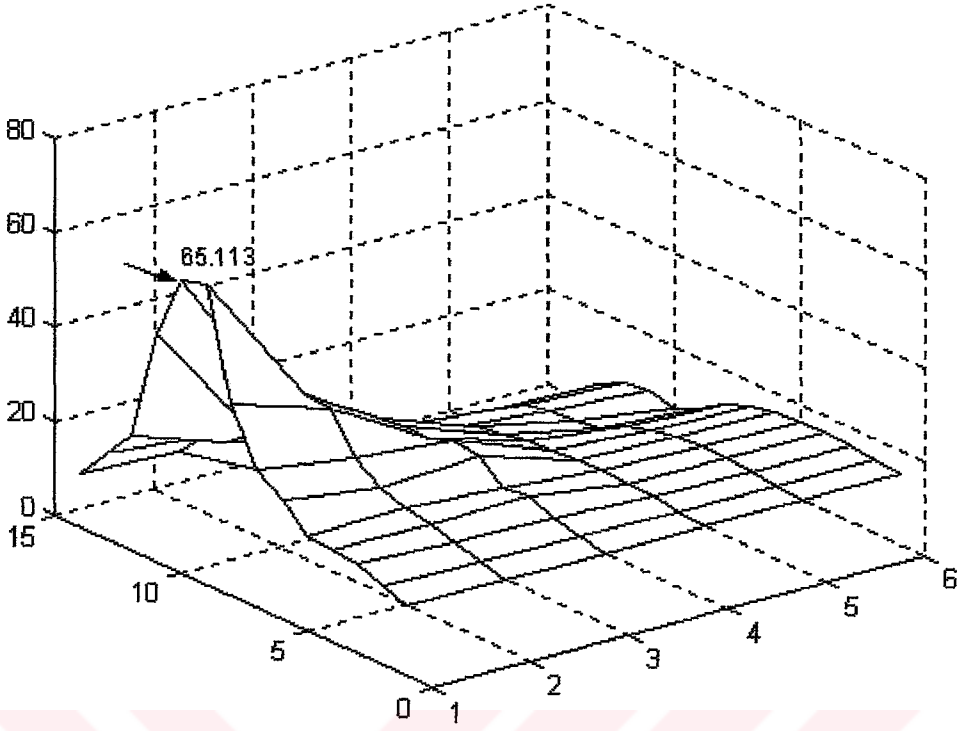
Şekil 4.22. Granitli toprakta yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($A_k=30 \text{ m}^2$, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$, $k=3 \text{ W/m K}$, $\rho=2640 \text{ kg/m}^3$, $C_p=811 \text{ J/kg K}$).



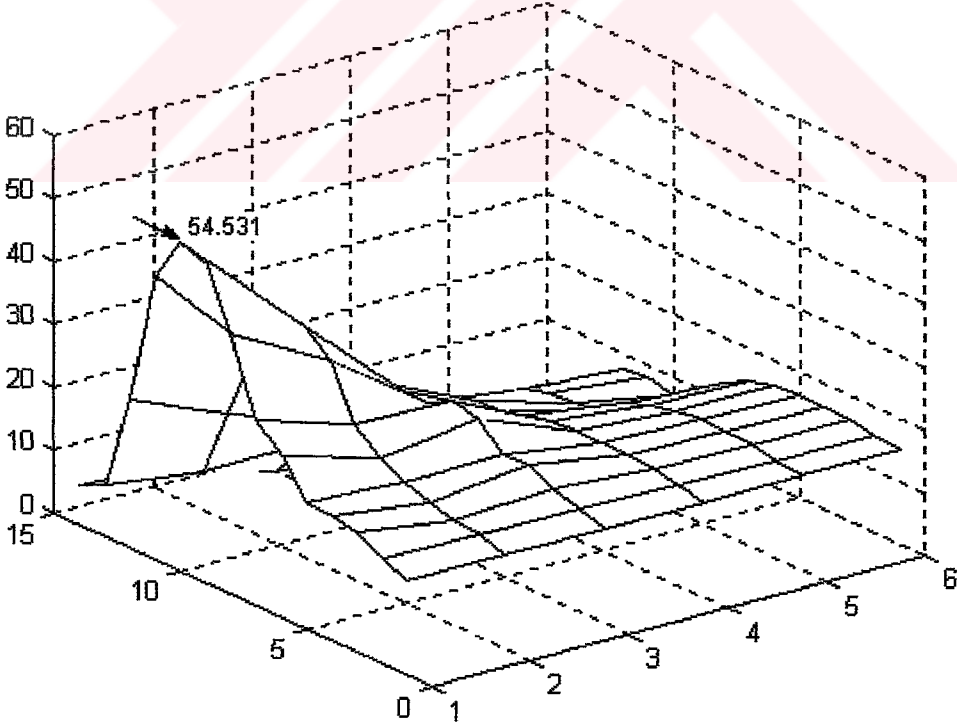
Şekil 4.23. Depo hacmi 170 m^3 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A_k=30 \text{ m}^2$, $A=3 \text{ m}$, $B=6 \text{ m}$, $C=6 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$).



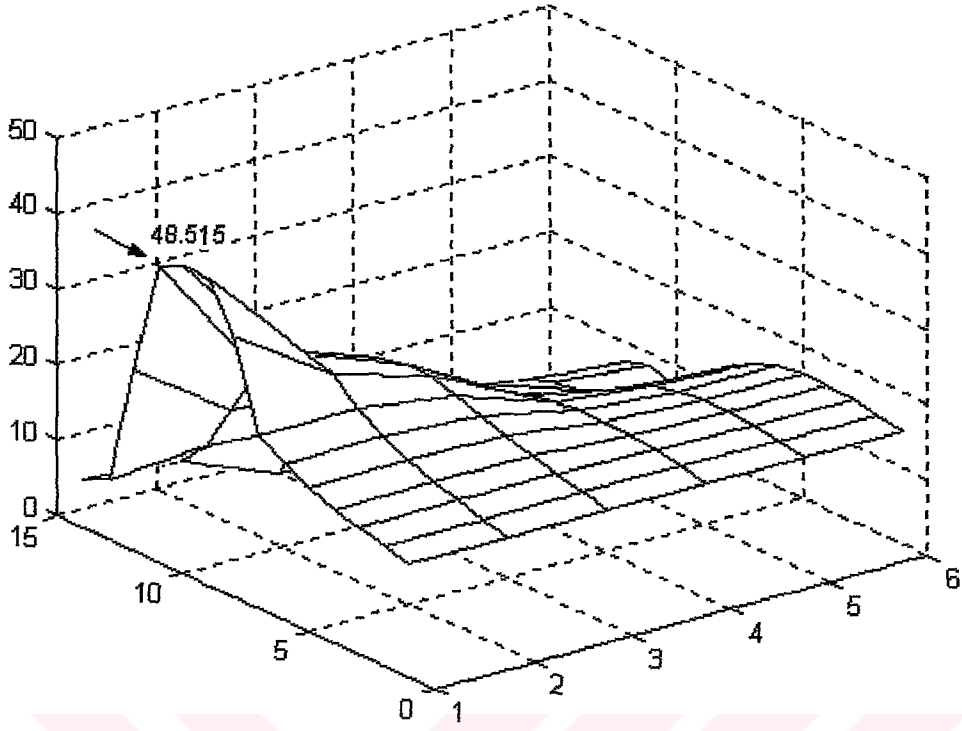
Şekil 4.24. Depo hacmi 401 m^3 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A_k=30 \text{ m}^2$, $A=4.5 \text{ m}$, $B=9 \text{ m}$, $C=9 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$).



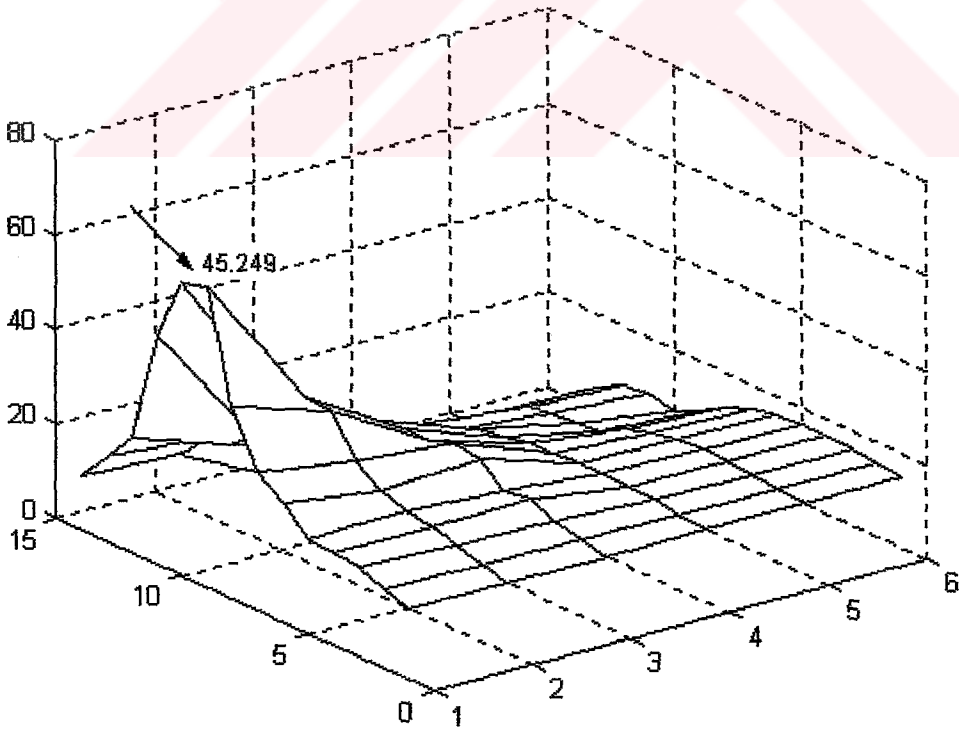
Şekil 4.25. Depo hacmi 694 m^3 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2$, $A = 6 \text{ m}$, $B = 12 \text{ m}$, $C = 12 \text{ m}$, $D_1 = 10 \text{ m}$).



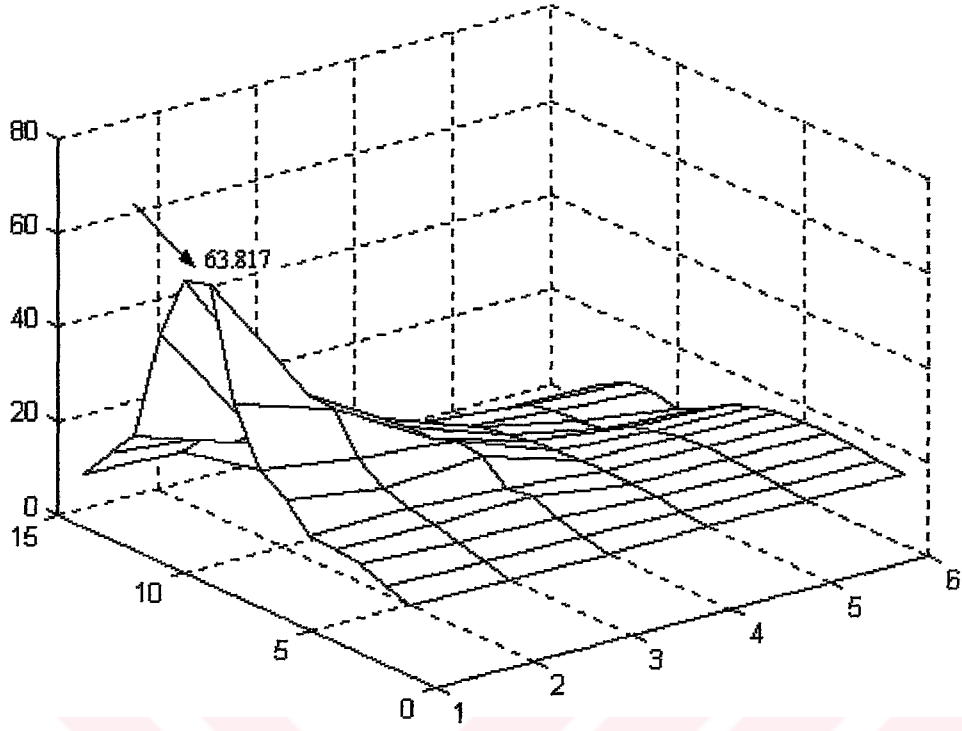
Şekil 4.26. Depo hacmi 1235 m^3 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2$, $A = 8 \text{ m}$, $B = 16 \text{ m}$, $C = 16 \text{ m}$, $D_1 = 10 \text{ m}$).



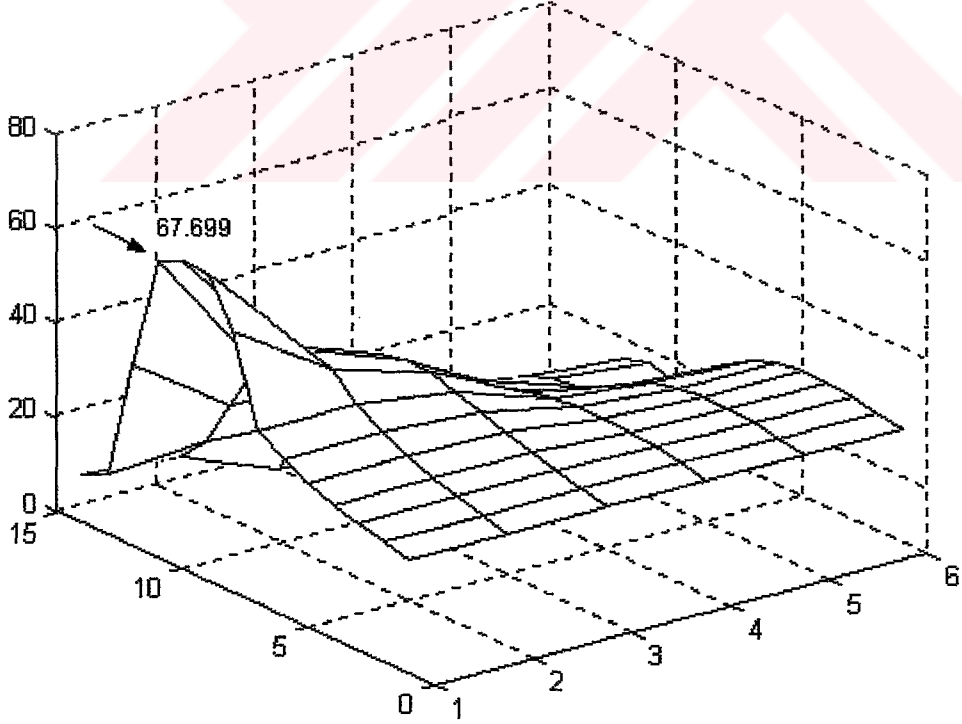
Şekil 4.27. Depo hacmi 2779 m^3 için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A_k=30 \text{ m}^2$, $A=12 \text{ m}$, $B=24 \text{ m}$, $C=24 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$).



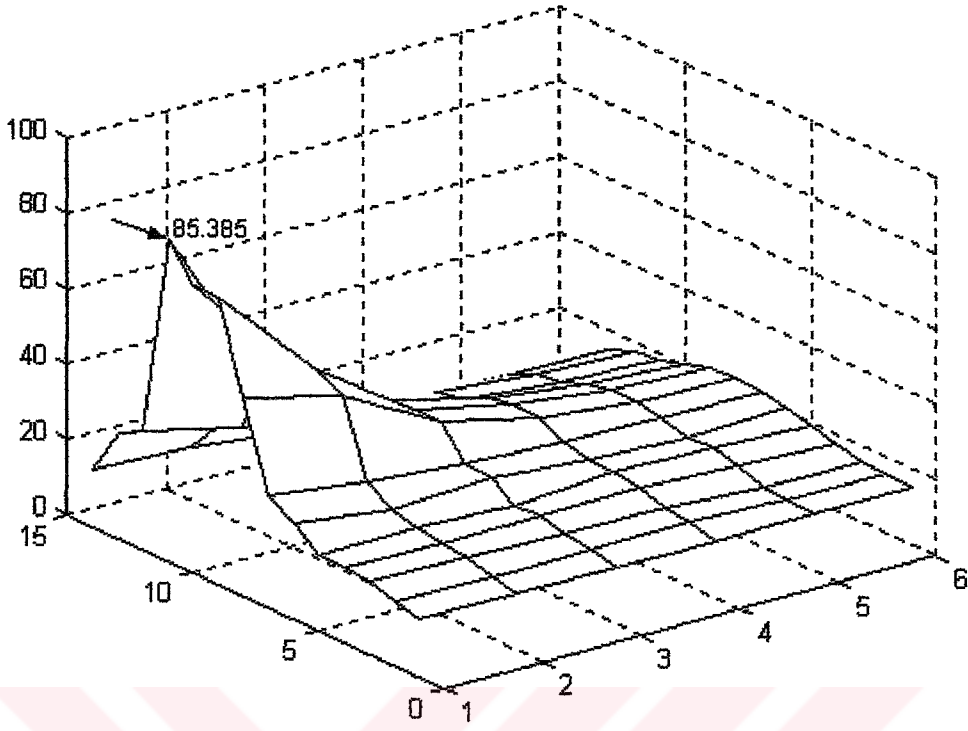
Şekil 4.28. Depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine mesafesi 1 m iken yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A_k=30 \text{ m}^2$, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$).



Şekil 4.29. Depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine mesafesi 5 m iken yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A_k=30 \text{ m}^2$, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$).



Şekil 4.30. Depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine mesafesi 10 m iken yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A_k=30 \text{ m}^2$, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$).



Şekil 4.31. Depo üst yüzeyinin toprak yüzeyine mesafesi 50 m iken yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Killi toprak, $A_k=30 \text{ m}^2$, $A=14 \text{ m}$, $B=28 \text{ m}$, $C=28 \text{ m}$).

4.3. Topraktaki Geçici Rejim Sıcaklık Dağılımı Probleminin ANSYS Programı ile Çözümü

4.3.1. Giriş

Yeraltı mevsimlik depolu güneş enerjili ısıtma sistemlerinin performans analizinde, asıl zorluk deponun gömüldüğü toprak içerisindeki geçici rejim sıcaklık davranışının tespitidir. Toprağın fiziksel özellikleri, deponun geometrisi ve deponun toprak içerisindeki kompozisyonu gibi bir çok sayıdaki parametrenin, toprağın uzun süreli davranışını değiştireceğinden, bu türden problemlerin analitik modellenmesi ve çözümü oldukça zordur. Bu zorluğu gidermek için özellikle mekanikte yaygın kullanılan ANSYS paket programı analizlerde kullanılmış ve bu tür sistemlerin performansı hesaplanmıştır. Ayrıca, sistemin ekonomik analizler de yapılmıştır.

4.3.2. ANSYS Yazılımı

ANSYS, mühendisliğin bazı alanlarında yaygın olarak kullanılabilen Fortran tabanlı sonlu elemanlar yazılımıdır. ANSYS sonlu elemanlar yöntemiyle çeşitli konularda analiz yapmak mümkündür. Bu konular:

- yapısal analiz
- termal analiz
- elektromagnetik analiz
- akışkan analiz

Sonlu elemanlar metodu, sürekliliğe sahip bir yapının çok sayıda elemanlara bölünerek incelenmesini mümkün kılar. Mühendislik problemlerinde, teorik hesaplamaların karmaşık yapıdaki modellere uygulanmasının zorluğundan dolayı, inceleme (kabul gören tolerans sınırları içindeki hassasiyete) modelin belirli sayıdaki elemanlara bölünmesi ile yapılır. Sonlu eleman programlarından ANSYS 'i kullanılarak modelin tasarlanması ve belli geometrideki parçaların değişik yükleme durumunda mukavemet analizleri, değişik sıcaklıklarda termodinamik davranışları ve çalışma esnasındaki titreşim özellikleri incelenerek tasarım yönlendirilebilir.

Ele alınan bir problemin sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi, çözümlenmesi ve çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi paket programlarda üç ayrı modülde incelenmektedir. Genel olarak bu aşamalar ANSYS gibi bilgisayar programlarındaki temel işlem aşamalarında temsil edilmektedir. Bu aşamalar aşağıdaki gibidir:

4.3.2.1. Giriş Modülü (Preprocessing)

Bu aşamada problemin tanımlanması yapılır. Eleman tipleri, eleman sabitleri, elemanın özellikleri, modelin geometrisi, eleman büyüklüğü belirlenerek ağ oluşturulur.

Giriş Modülü (Preprocessing) aşamasındaki kademeler aşağıdakileri içermektedir:

- Başlıkların belirlenmesi: probleme isim verilmesi diye düşünülebilir. Bu seçenek , aynı temel model üzerinde farklı seçenekli iterasyonlar yapılması durumunda çok faydalıdır.
- Modelin oluşturulması: Model 1D veya 3D uzayında uygun birimler (m, mm, inç vb.) kullanılarak çizilir. Modelin oluşturulması esnasında dikkat edilmesi gereken konulardan biri çizimde kullanılan birim ile malzeme özellikleri ve uygulanan yük birimlerinin uyumlu olmasıdır. Örneğin; model mm olarak çizilmesi halinde, malzeme özellikleri SI birimi ile tanımlandığı şekilde olmalıdır.
- Eleman tipinin belirlenmesi: Eleman seçimi 1D, 2D ve 3D olabileceği gibi yapılması düşünülen analizin tipine de bağlıdır (örneğin ISIL analiz gerçekleştirebilmek için ısıtıl eleman).
- Malzeme özelliklerin girilmesi: Malzeme özellikleri (elastisite modülü, poisson oranı, yoğunluk ve ayrıca gerekli olduğunda genleşme katsayısı, ısıl iletkenlik, özgül ısı vb.) tanımlanmalıdır.
- Modelin elemanlara bölünmesi: Modelin elemanlara bölünmesi işlemi, analiz sürekliliğinin belirli sayıda parçalara veya diğer bir ifade ile sonlu elemanlara

bölünmesidir. Daha çok sayıda eleman daha iyi sonuçlar, fakat daha uzun analiz zamanı demektir. Modelin elemanlara bölünmesi elle yapılabileceği gibi otomatik olarak da yapılabilir. Elle yapılan elemanlara bölme işlemi uzun ve zor bir işlem iken, otomatik olarak elemanlara bölme işleminde gerekli olan tek şey, model kenarları boyunca eleman yoğunluğunun belirlenmesidir. Ayrıca elemanlara ait eleman özelliklerinin de girilmesi gerekebilir. Örneğin iki boyutlu eleman kullanılıyorsa kalınlık gereklidir.

4.3.2.2. Hesap Modülü (Solution)

Bu aşama aşağıdakileri içermektedir:

- Analiz tipinin belirlenmesi: Çözümde kullanılmak üzere statik, modal, transient gibi analiz tipleri belirlenir.
- Sınır şartlarının tanımlanması: Eğer modele bir yük uygulanırsa, model bilgisayarda sonsuza kadar ivmelenir. Bu ivmeleme bir sınırlılık veya bir sınır şartı uygulanana kadar devam eder. Yapısal sınır şartları genellikle sıfır yerdeğiştirme, termal sınır şartlarının belirlenmiş bir sıcaklık, akışkan sınır şartları için bir basınç olarak tanımlanır. Bir sınır şartı bütün yönlerde (x, y, z) uygulanabileceği gibi yalnızca belirli bir yönde de tanımlanabilir. Sınır şartları düğüm noktalarında, keypointlerde, alan veya çizgilerde tanımlanabilir. Sınır şartı simetri veya simetri olmayan tipinde olabilir.
- Yüklerin uygulanması: Yüklemeler noktasal bir basınç, gerilme analizlerinde yerdeğiştirme, ısı analizlerinde sıcaklık, akışkan analizlerinde hız şeklinde olabilir. Yükler bir noktaya, bir kenara, bir yüzeye ve hatta toplam cisme uygulanabilir. Yükler model geometrisi ve malzeme özelliklerinde kullanılan birim cinsinden tanımlanmalıdır.
- Çözüm: Genel olarak bir sonlu elemanlar çözücüsü üçe ayrılır. Bunlar ön-çözücü, matematik motoru ve son-çözücüdür. Ön çözücü modeli okur ve modelin matematiksel şekilde formüle eder. Giriş (preprocessing) aşamasında tanımlanan bütün parametreler ön-çözücü tarafından kontrol edilir ve herhangi bir şeyin eksik bırakıldığı bulunursa matematik motoru devreye girerek eleman direngenlik matrisini oluşturur ve yerdeğiştirme, basınç gibi sonuçları üreten matematik motorunu çalıştırır. Sonuçlar, son-çözücü tarafından düğüm noktaları için deformasyon miktarı, gerilme, hız gibi değerleri üretir.

4.3.2.3. Çıkış Modülü (General Postprocessing)

Bu aşama sonuçların okunduğu ve yorumlandığı aşamadır. Sonuçlar; tablo şeklinde, kontur çizimler şeklinde veya cismin deforme olmuş biçiminde sunulabilir. Ayrıca animasyon yardım ile modelin gerçek davranışı gözler önüne sunulabilir. Yapısal tipteki problemlerin sunulmasında kontur grafikler genellikle en etkin yöntem olarak kullanılır.

Sonlu elemanlar modelinin elde edilmesinde en büyük kolaylığı sağlayan, giriş modülündeki geometrik modelleme kütüphanesidir. Bu kütüphanede iki ve üç boyutlu hazır geometrik şekiller vardır. Problem geometrisi dikdörtgen gibi basit bir geometrik şekille ifade edilebiliyorsa programdaki hazır geometrik şekil kütüphanesinden faydalanılır. Geometri, basit geometrik şekillerin bir kombinasyonu ile ifade edilebiliyorsa Boolean cebri uygulanmaktadır. Problem karmaşık geometrili ise bu durumda önce köşe noktalar oluşturulmakta, bu noktalar birbirlerine çizgilerle bağlanmakta ve nihayet dört çizginin uygun tertibiyle dörtgen bir bölge elde edilmektedir. Böylece karmaşık problem geometrisi çok sayıda basit geometrik şekillerin topluluğu olarak ifade edilmektedir.

Geometrik modelin kenarlarına eleman sayısı ve dağılımlarını belirleyen parametreler tatbik edilerek problemin sonlu elemanlar modeli elde edilmektedir.

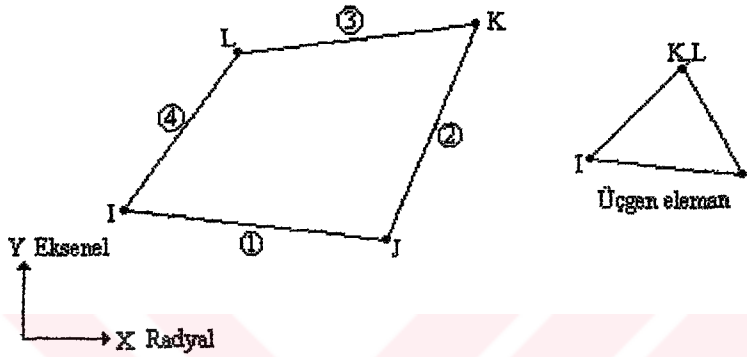
Sonlu elemanlar metodunun etkin kullanımı, uygulayıcıların yapılan hesapların bilimsel esaslarını bilmeleri yanında fiziksel durumu bilgisayar ortamına doğru olarak aktarmalarına bağlıdır. Bu nedenle analizin kesinlik derecesi planlama kademesine oldukça bağlıdır.

Bu çalışmada, ANSYS ürün yelpazesindeki ısıl çözümlemelere ilişkin işlemleri gerçekleştiren ve ürünün 1999 yılı sürümü ANSYS 5.4 'de yer alan ANSYS Thermal yazılım kullanılmıştır. Yazılım içerisinde katı model oluşturulabildiği gibi diğer CAD yazılımlardan (Pro Engineer, CADDs, Unigraphics) doğrudan doğruya ya da IGES, SAT, STEP, PARASOLID gibi dosya transfer protokolleri aracılığıyla dolaylı olarak diğer bazı CAD yazılımlardan (MDT, SolidWorks, Autocad) ANSYS içerisine katı model transferi yapılabilmektedir.

Sonuç olarak, sonlu elemanlar yöntemi çok güçlü bir yöntemdir. Sonuçlar görsel olarak çok etkileyici bir biçimde kontur grafikler olarak rahatlıkla elde edilebilse de sonuçların kalitesi modelin fiziksel problemi gerçekte ne kadar yansıttığına ve dolayısıyla analizi yapılan modelin kalitesine tamamıyla bağlıdır. Başarılı bir analiz için dikkatli bir planlamanın yapılması zorunluluğu göz ardı edilmemelidir.

4.3.3. Eleman tipinin seçimi

Modeli oluşturan eleman tipi olarak Şekil 4.32 'de gösterilen iki boyutlu ısısal analizler için uygun olan katı eleman geometrili Plane-55 Thermal Solid seçilmiştir. Plane-55, düzlem eleman olarak ya da eksenel simetri durumunda ağ eleman biçiminde kullanılan iki boyutlu model aracıdır. Sabit durum ya da sürekli analizlere uyarlanabilen Plane-55 yüzeyinde, konveksiyon ya da ısı akısı gibi girdilerden yalnız birisi için yük değerleri tanımlanabilir.

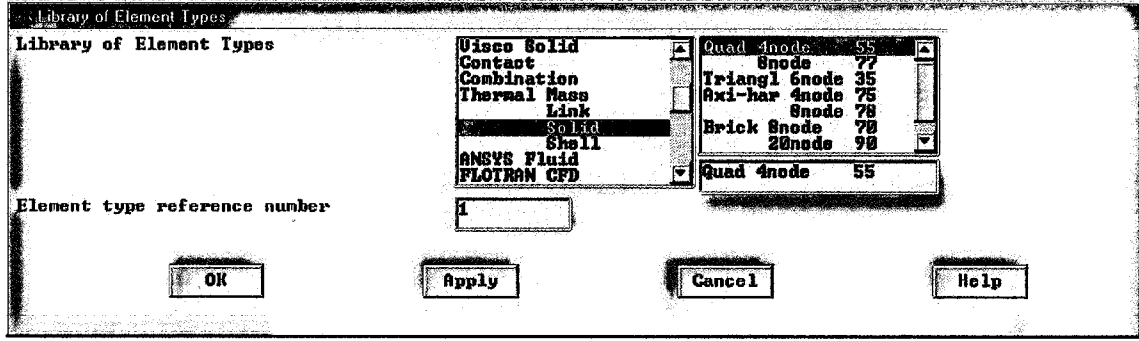


Şekil 4.32. ANSYS Plane 55 elemanı

ANSYS 'de seçilen eleman tipine bağlı olarak iki ya da üç boyutlu modelleme yapılmaktadır. İki boyutlu modellerin kurulması ve çalıştırılmaları; eşdeğer üç boyutlu modellerden çok daha kolay ve hızlıdır. Eksenel simetri özelliği taşıyan modeller de iki boyutlu grup içerisinde değerlendirilmektedir. Eleman setinde üç boyutlu bir tek eleman bile içirilmekteyse modelin boyutu da üç boyutlu olmaktadır.

Yüzey elemanlar, üç ya da dört köşeli biçimiyle iki boyutlu katı ya da bir kabuk eleman olabilir. Hacim elemanlar, dört ayrı yüzeyli kalıp bir görüntüyle daha çok üç boyutlu modellerde yer bulmaktadır.

Eleman serbestlik derecesi, elemanın modele yapısal, ısısal, akışkanlar, elektriksel, manyetik ve bu alanlardan ikili kullanımların uygulanabilirliğini belirten bir göstergedir. Seçilen eleman tipinin serbestlik derecesi, model yanıtını karakterize etmeye yeterli olmalıdır. Elemanın gereksiz serbestlik dereceleri içermesi, çözüm için bilgisayar belleğinde ayrılması gerekli kapasiteyi boş yere arttıracak gibi çözüm süresini de uzatmaktadır. Modelin gerekli kılmadığı nitelikler taşıyan eleman tiplerinin yeğlenmesi de benzer sonuçlar yaratmaktadır. Bunların dışında, yalnızca gerekli nitelikleri içerecek ve amaca hizmet edecek elemanların yaratımı da olanaklıdır.



Şekil 4.33. ANSYS 'de eleman tipi seçimi

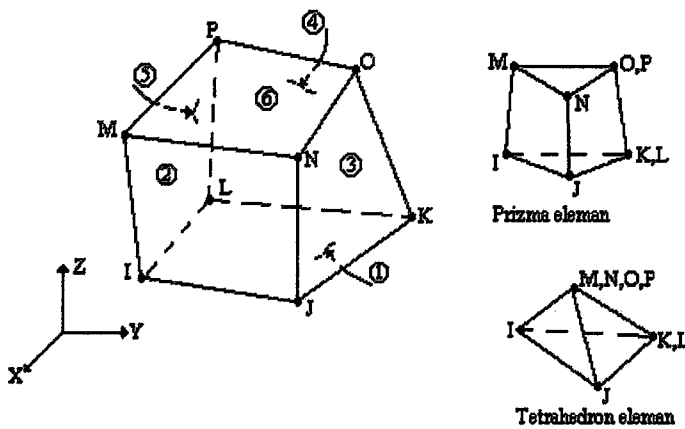
Çözüm çıktılarının eleman bağlamında ele alınışında iki farklı yol izlenmektedir:

- Tüm çözüm noktalarındaki düğüm sıcaklıkları çözüm kapsamındadır.
- Ek elemanlar kullanılarak onlar içinde çıktılar söz konusu edilmiştir.

Eleman x-y düzleminde yer almalı ve y eksen, eksenel simetrik analizin simetri eksenini oluşturmalıdır. Eksenel simetrik model kurgusu, x eksenine oturtulmalıdır. Belirgin bir gradient ve entegre zaman adımları içeren ısısal çözümün sürekliliği, model yüzeyde duyarlı bir ağ oluşturma işlemine gereksinim duymaktadır.

Üç boyutlu modellerde ısı transfer mekanizmasının tanımlanmasına aracılık eden Solid70, düğüm sıcaklıklarının dinamik çözümlemelerine uyarlanabilmektedir.

Tek serbestlik dereceli (sıcaklık) elemanlarda 8 düğüm noktası bulunmaktadır. Solid 70 için Plane 55 'de de olduğu gibi taşınım ya da ısı akısından yalnız birisi eleman yüzeyine yük değeri olarak tanımlanabilmektedir. Prizma ya da tetrahedron şekilli elemanlar, düğüm noktaları kopyalanarak elde edilmektedir. Elemanın yüklerden bağımsız yüzeyinin (başka bir elemanın bitişiğinde olmayan, sınır koşulların söz konusu olmadığı durum için) adyabatik davranış gösterdiği varsayılmaktadır.

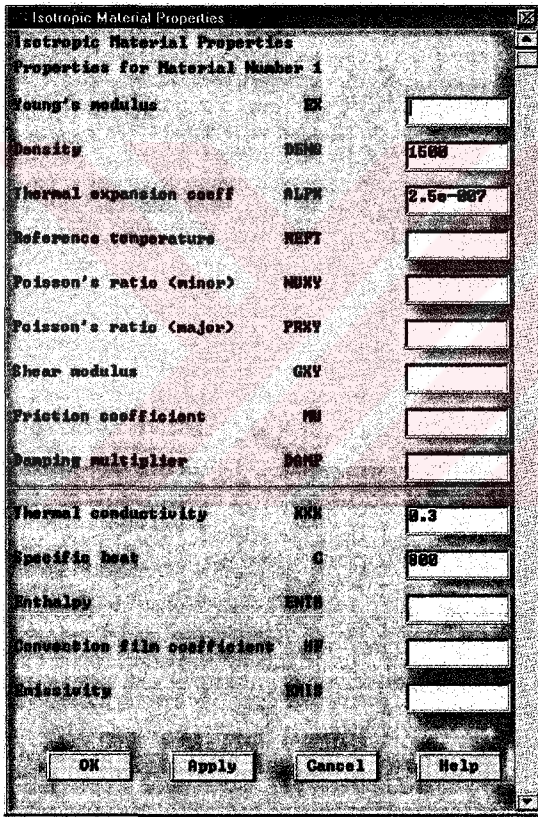


Şekil 4.34. ANSYS Solid 70 elemanı

Her bir model bileşeni için modeli çalıştıracak veri seti ve aynı zamanda birer sınır koşul olan ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve özgül ağırlık parametreleri ANSYS 'e menüden girilmektedir.

4.3.4. Malzeme özelliklerin belirlenmesi

Depodaki su ve deponun etrafındaki toprağın özellikleri (yoğunluk, özgül ısı ve ısı iletim katsayısı) ANSYS Main Menü 'de Preprocessor > Material Props> Constant> Isotropic bölümünde veya programla dışarıdan ayrı olarak girilir. Şekil 4.35 'de ANSYS 'de malzeme özelliklerinin girilmesi gösterilmektedir.



Şekil 4.35. ANSYS 'de malzeme özelliklerinin girilmesi.

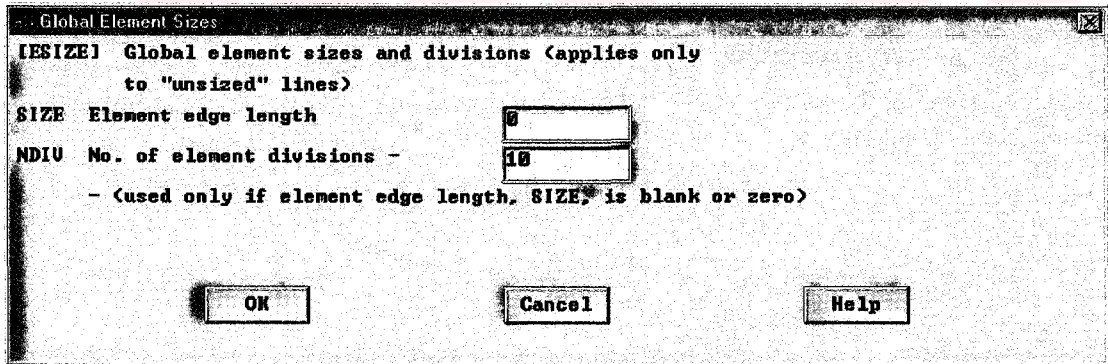
4.3.5. Ağ yapısının oluşturulması

ANSYS içerisinde, herhangi bir cismin sonlu elemanlar modelinin oluşturulabilmesi için seçilebilecek iki ayrı yol vardır. Bunlardan birincisi, düğüm noktalarının oluşturulması ve bu düğüm noktalarını kullanarak elemanların elde edilmesidir. Diğer yol ise, öncelikle katı

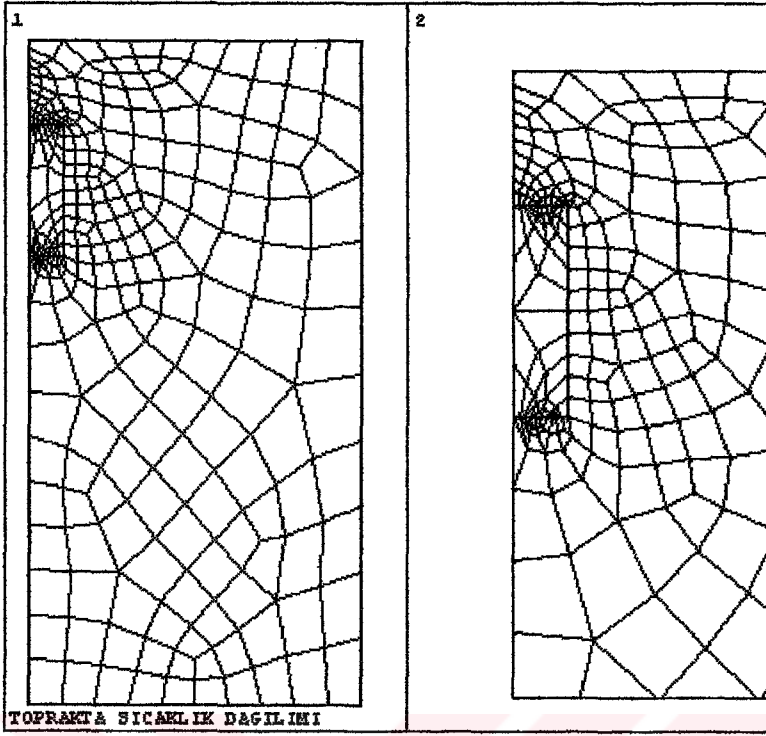
modelin oluşturulması sonrasında program içerisindeki ağ algoritmalarını kullanarak sonlu elemanlar modeline geçiş yapılmasıdır. Modelde binlerce düğüm noktası ve elemanın olduğu düşünüldüğünde sözü edilen birinci seçenek, oldukça uğraş gerektiren bir yoldur. Bu nedenle öncelikle katı modelin ve daha sonra otomatik olarak ağın oluşturulması yolu benimsenmiştir.

Model, ANSYS yazılımının aktif koordinat sistemine göre tanımlanmış ve bu düzleme yerleştirilen noktalar ile onların birleşme çizgileri temelinde türetilmiştir. Katı model oluşturulurken ANSYS önışlem komutları kullanılmıştır. Bu amaçla katı model tamamen ANSYS içerisinde oluşturulmuştur.

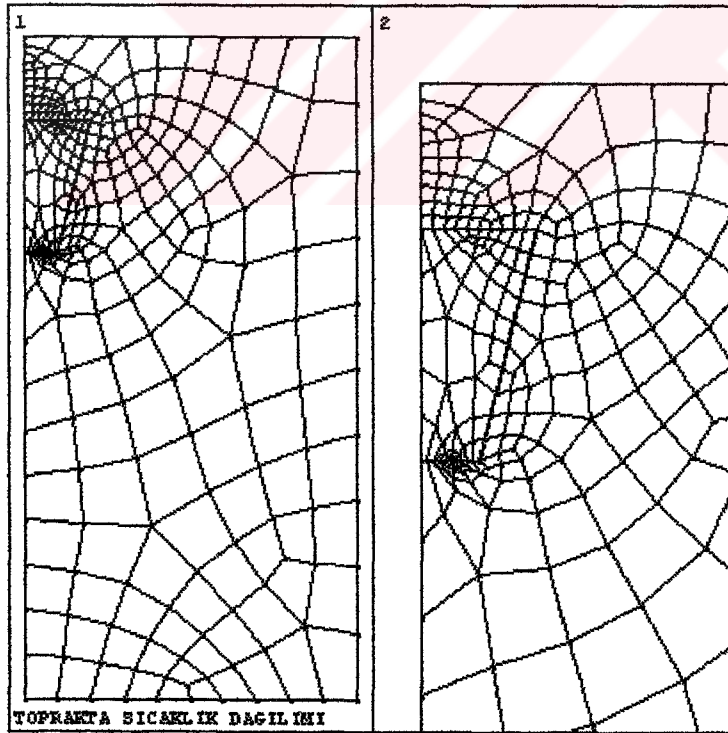
Toprak ve toprağa gömülü deponun katı modeli oluşturulduktan sonra, bu modelin ağ yapısını meydana getirme işlemine geçilmiştir. Her elemanın uzunluğu, elemanın “en/yükseklik oranı”nı tanımlayan “ratio” komutuyla belirlenmektedir. Toprak içerisine gömülmüş depodan uzaklaştıkça sıcaklığın azalmaya uğrayacağı beklentisiyle, depodan uzaklaştıkça eleman boyutları artırılmıştır. Bu sayede gereksiz hesap basamaklarından arındırılması amaçlanmıştır. ANSYS ağ yapısının oluşturulmasında eleman boyutlarının denetim altında tutulma seçeneklerinden bir diğeri “eleman bölüntü adedi” olarak nitelendirilebilecek olan “no. of element division” komutudur. Bu komut, eleman yerleşimine referans oluşturan çizgisel hatlardan biri boyunca, elemanların hangi aralıklarla ve hangi sayıda yerleştirileceği sorusunun sayısal değer girişiyle yanıtlanması sonucu modele eklenmektedir. Şekil 4.36 'da ANSYS 'de eleman bölüm sayısının girilmesi gösterilmektedir. Şekil 4.37 ve 4.38 'de toprak ve toprağa gömülü silindirik ve trapez deponun sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir.



Şekil 4.36. ANSYS 'de bölüm sayısının girilmesi.



Şekil 4.37. Toprak ve toprağa gömülü silindirik deponun sonlu elemanlar modeli.

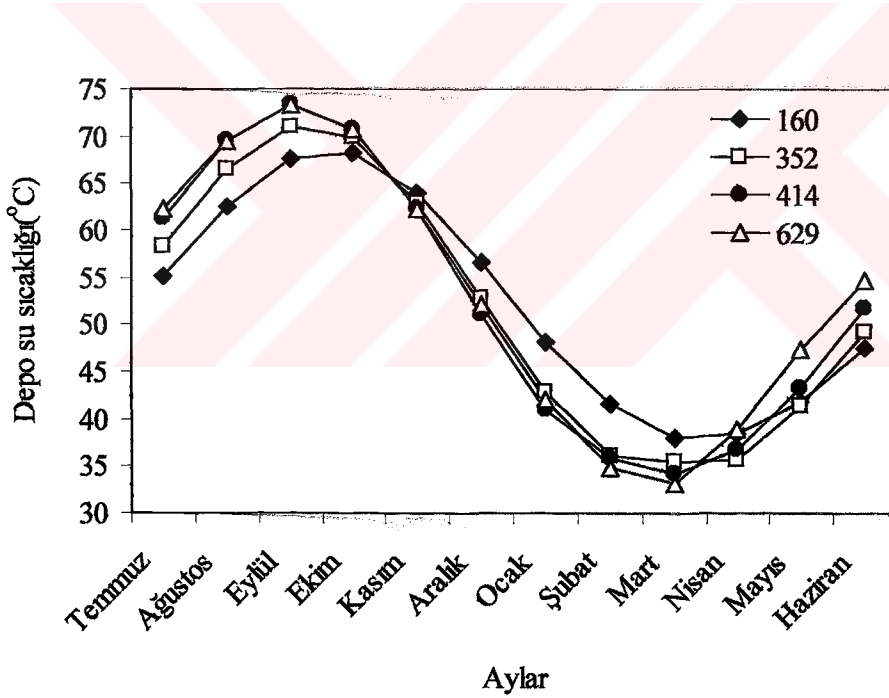


Şekil 4.38. Toprak ve toprağa gömülü trapez deponun sonlu elemanlar modeli.

4.3.6. Sonlu Eleman Ağında Düğüm Sayısı Optimizasyonu

Sonlu eleman analizi için, ANSYS 'de toprak ve toprağa gömülü silindirik ve trapez tip deponun katı modeli oluşturulduktan sonra, elemanlara bölünmekte ve düğüm noktaları ortaya çıkmaktadır. Sonlu eleman ağındaki toplam düğüm sayısı oldukça önemlidir. Düğüm sayısının fazla tutulması daha hassas sonuçların elde edilmesini sağlar. Ancak düğüm sayısındaki bu artış, yetersiz bilgisayar hızı nedeniyle çok fazla zaman gerektirecektir. Bu nedenle optimum çözüme gidilmesi gerekmektedir.

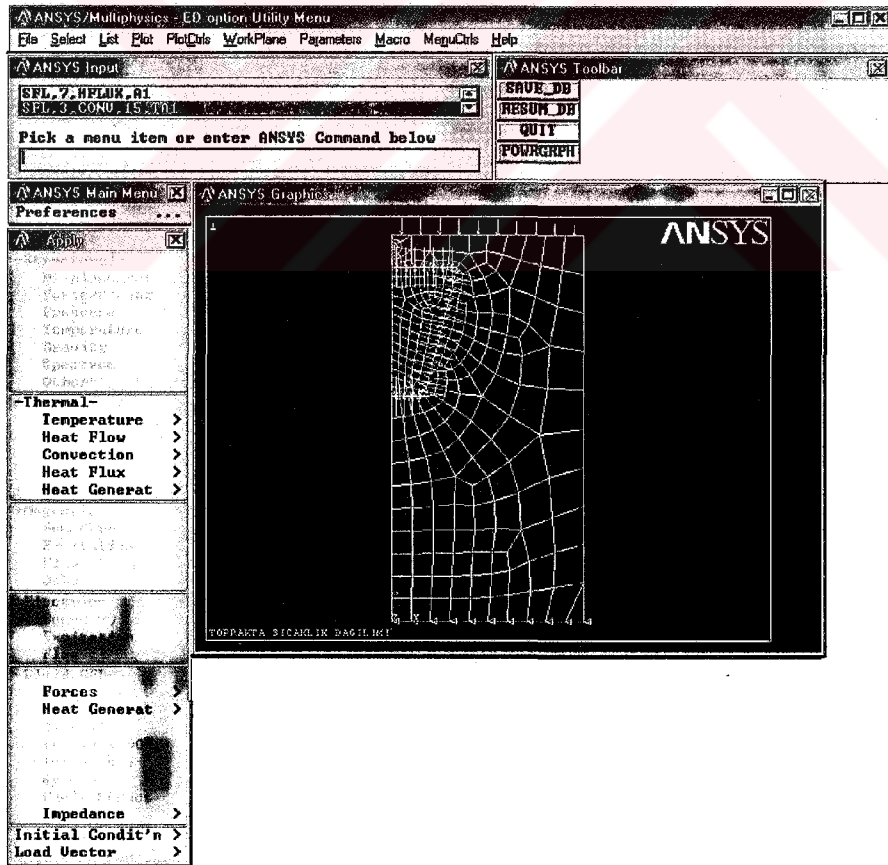
Sayısal çözümlemelerde, düğüm sayısına bağlı olarak meydana gelebilecek hata yüzdesinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Şekil 4.39 'da farklı düğüm sayılarında elde edilen depo su sıcaklığının yıl boyunca değişimi gösterilmektedir. 414 ve 629 düğüm sayılarında depo su sıcaklık değerleri üst üste çakışmaktadır. Bu çalışmada ısı sistemini uzun yıllar için analizi yapıldığından dolayı hesaplamalarda bilgisayar işletim hızını arttırmak ve çözüm için gerekli olan zamanı azaltmak için 414 düğüm sayısı kullanılmıştır.



Şekil 4.39. Depo su sıcaklıklarının düğüm sayısı ile değişimi.

4.3.7. Silindirik, Trapez ve Prizmatik Depolu Isıtma Sistemlerinin Sonlu Eleman Analizi Sonuçları

Toprak ve toprağa gömülü deponun iki boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulduktan sonra, çözüm aşamasında başlangıç ve sınır şartları katı modele uygulanır. Tüm düğüm noktaları için başlangıç sıcaklığı 15 °C olarak alınmıştır. Toprağın derinlerinde tüm düğüm noktalarında sabit sıcaklık sınır şartı uygulanmıştır. Toprak yüzeyinden havaya taşınım ısı transferi olmaktadır. Bu nedenle, bu yüzeydeki düğüm noktalarına taşınım sınır şartı uygulanmıştır. ANSYS 'de sınır şartının verilmediği yüzeyler simetri yüzeyi olarak kabul edildiğinden, depo tarafındaki ve depodan uzaktaki simetri yüzeylerine hiçbir işlem yapılmaz. Bölüm 3 'deki gibi hesaplanan depoya giren aylık net enerji miktarı, depo üzerindeki düğüm noktalarına uygulanmıştır. Şekil 4.40 'da trapez depo ve etrafındaki toprağın sonlu eleman modeline ANSYS 'de sınır şartlarının uygulama koşulları gösterilmektedir. Aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları ve güneş ışıınım değerleri, meteorolojik tablolardan alınarak, veri dosyaları ile ANSYS 'e okutulmuştur.

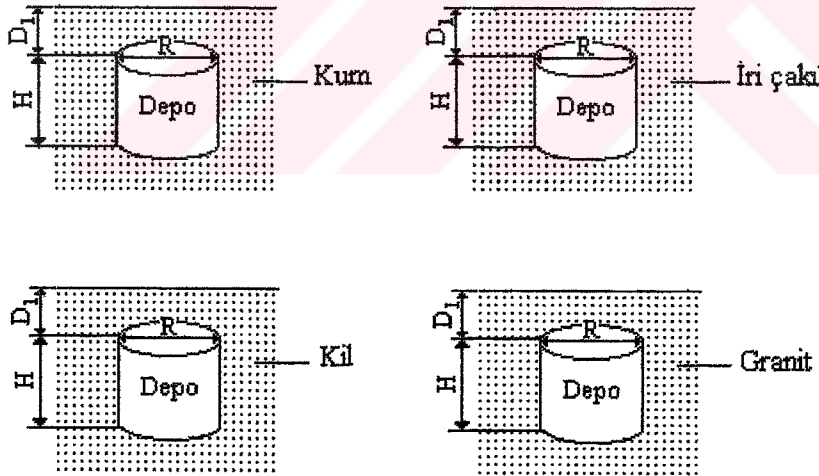


Şekil 4.40. Toprak ve toprağa gömülü trapez deponun sonlu elemanlar modeline ANSYS 'de sınır şartlarının uygulanması.

Zaman seçeneklerin yer aldığı menüde, zamana bağlı (transient) analiz tipi seçilmiştir. Çözüm iterasyonlarında ısı transfer sürecinin izleyeceği zaman adımları ve çözümün ne kadar süreyle devam edeceği zaman seçeneklerin bulunduğu (load step opts.) menüye girilerek belirtilir.

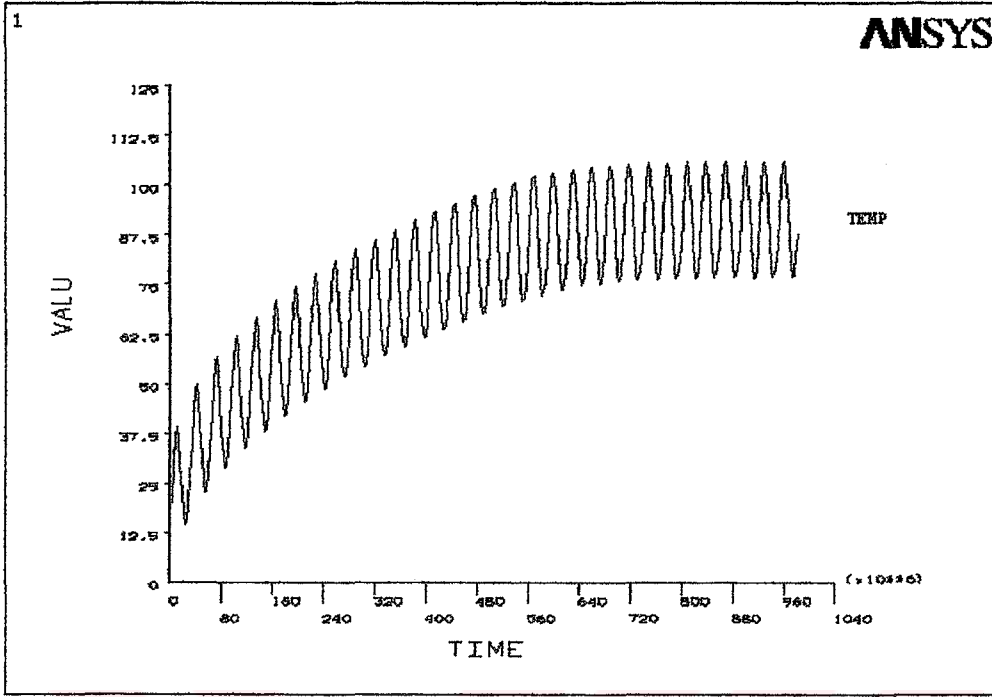
4.3.7.1. Silindirik Deponun Farklı Türdeki Toprak İçerisine Gömülmesi Durumunda Sonlu Eleman Analizi Sonuçları

Şekil 4.41 'de farklı türdeki toprak içerisine gömülen silindirik deponun prensip şeması gösterilmektedir Şekil 4.42, 4.43, 4.44 ve 4.45 'de sırasıyla silindirik deponun kumlu, iri çakıllı, killi ve granitli toprak içerisine gömülmesi durumunda, Elazığ iklim şartları için depodaki su sıcaklığının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Deposu kumlu toprakta olan sistem periyodik rejime 23 yılda gelirken, granitli toprakta 8 yılda gelmektedir. Farklı toprak türleri içerisine gömülmüş silindirik depodaki su sıcaklığının yıllık değişimi Şekil 4.46 'da verilmektedir. Depo içerisindeki en yüksek su sıcaklığı Ekim ayında meydana gelmektedir. Ekim ayında kumlu toprakta depo su sıcaklığı, iri çakıllı toprağa göre %22, killi toprağa göre %40 ve granitli toprağa göre %50 daha yüksek olarak bulunmuştur.

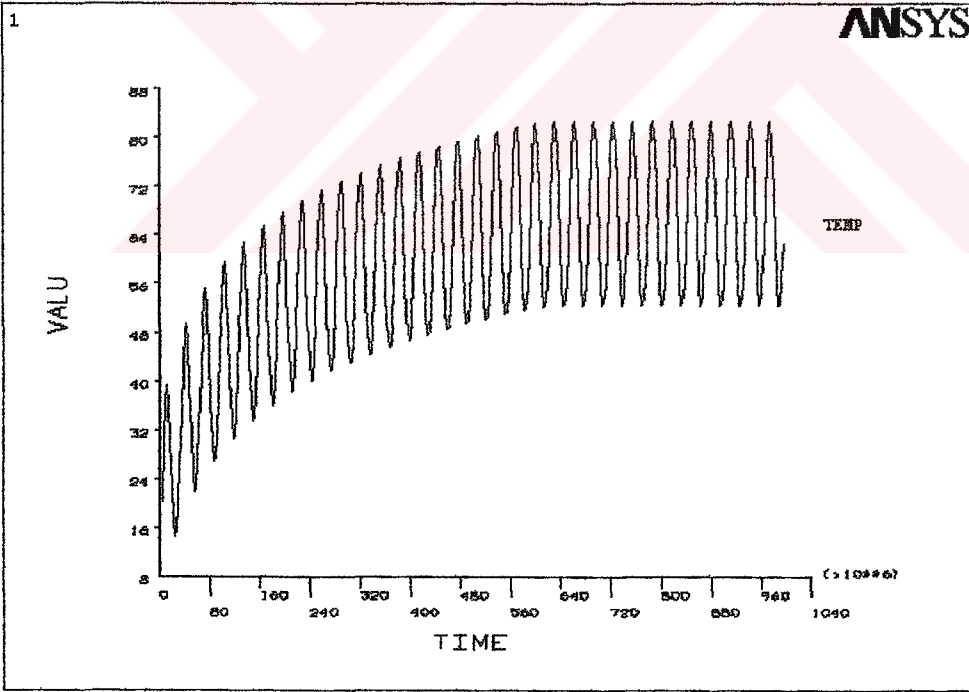


Şekil 4.41. Farklı türdeki toprak içerisine gömülü olan silindirik deponun prensip şeması ($D_1=10$ m).

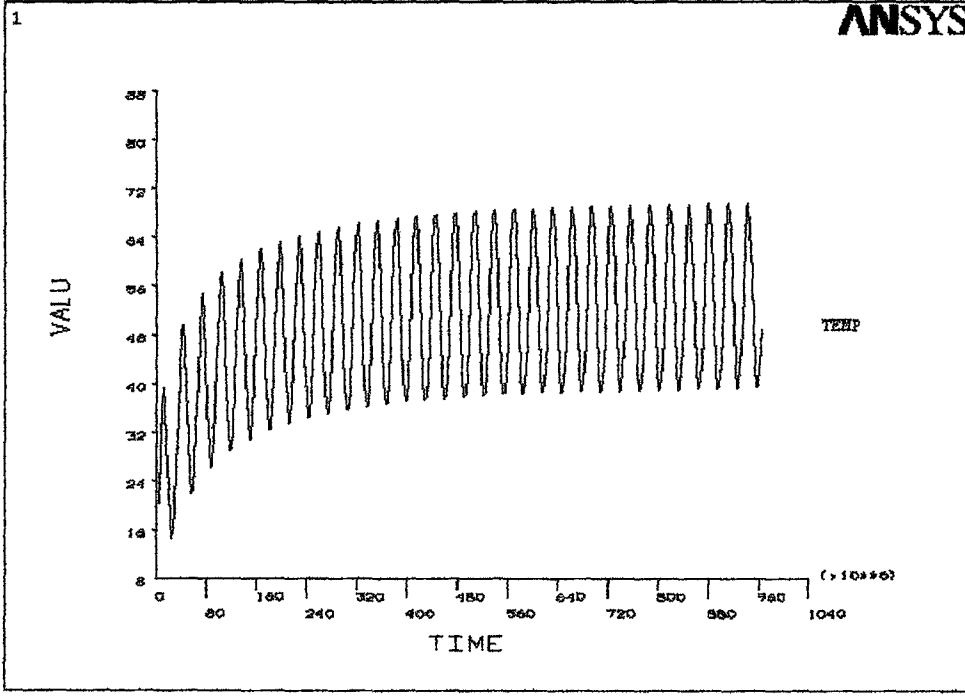
Şekil 4.47, 4.48, 4.49 ve 4.50 'de ise silindirik deponun sırasıyla kumlu, iri çakıllı, killi ve granitli toprağa gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılım konturları verilmektedir. En yüksek depo su sıcaklığı, deponun kumlu toprağa gömülmesi durumunda elde edilirken, en düşük su sıcaklığı ise deponun granitli toprak içerisinde olması halinde elde edilmektedir.



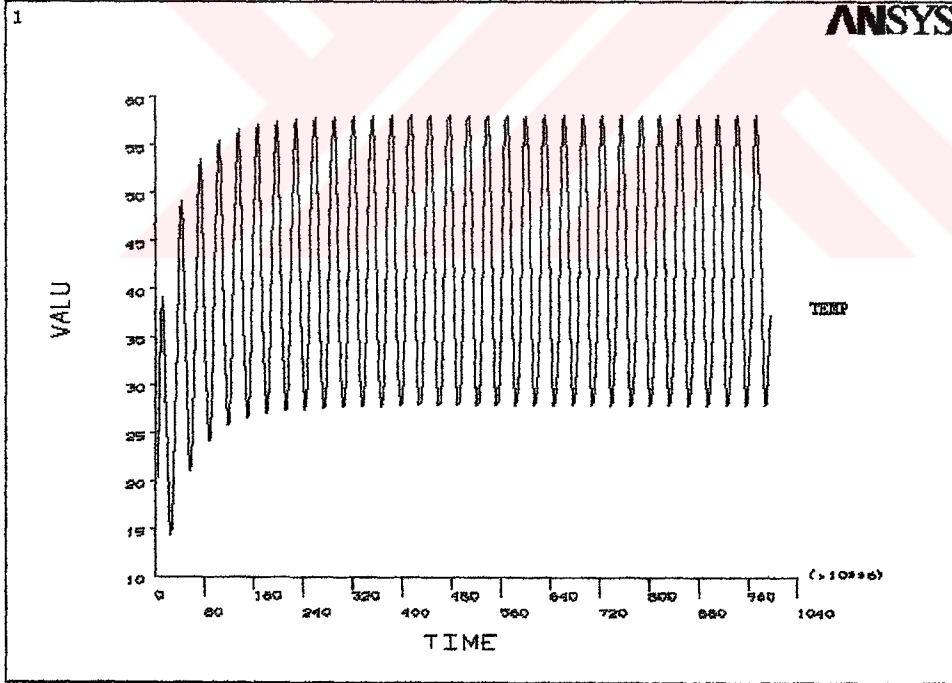
Şekil 4.42. Silindirik deponun kumlu toprak içerisinde gömülmesi durumunda depo su sıcaklığının zamana göre değişimi



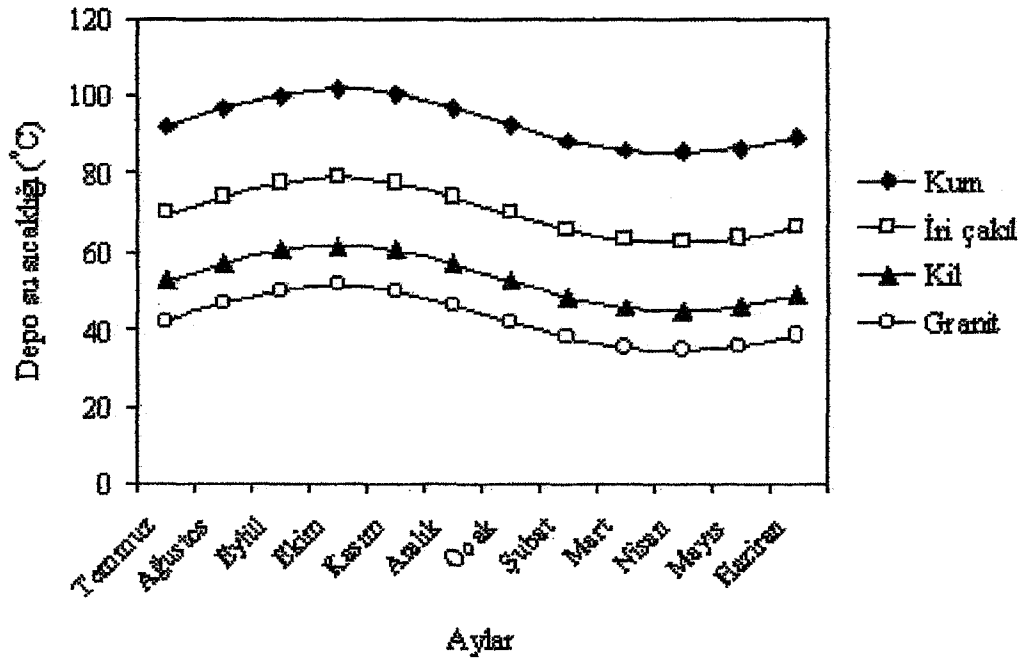
Şekil 4.43. Silindirik deponun iri çakıllı toprak içerisinde gömülmesi durumunda depo su sıcaklığının zamana göre değişimi



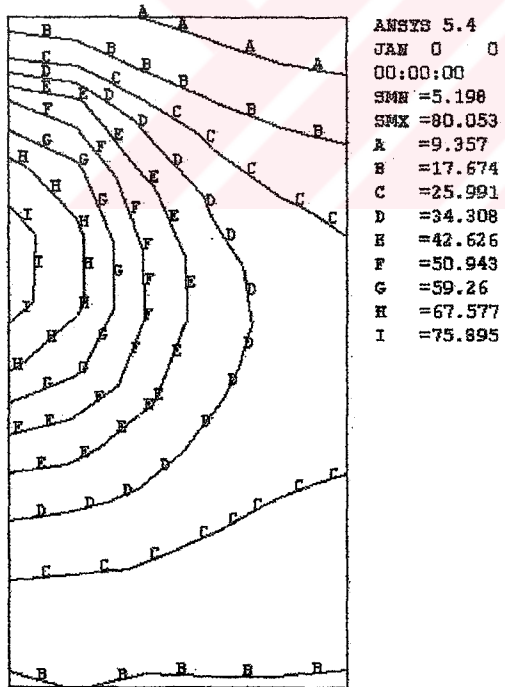
Şekil 4.44. Silindirik deponun killi toprak içrisine gömülmesi durumunda depo su sıcaklığının zamana göre değişimi



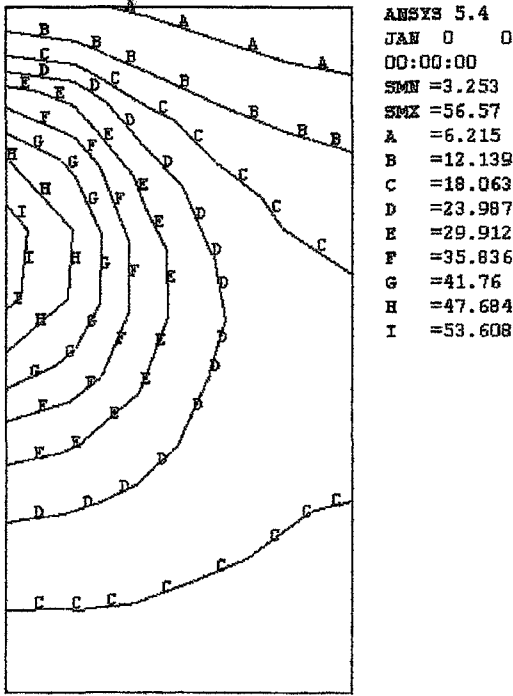
Şekil 4.45. Silindirik deponun granitli toprak içrisine gömülmesi durumunda depo su sıcaklığının zamana göre değişimi



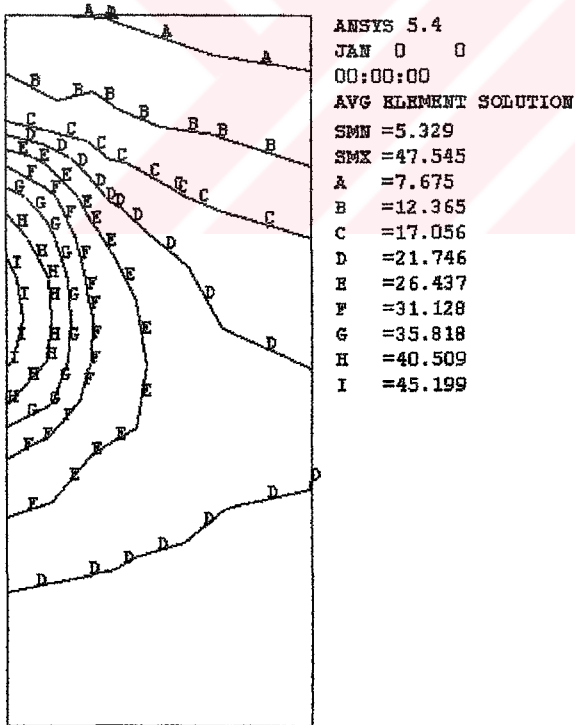
Şekil 4.46. Farklı toprak türleri içerisine gömülmüş silindirik depodaki su sıcaklığının yıllık değişimi ($R=8$ m, $H=16$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).



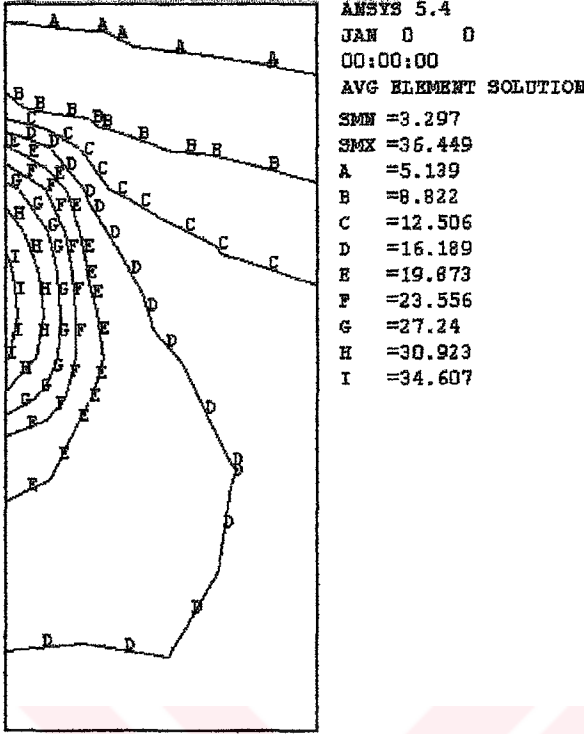
Şekil 4.47. Silindirik deponun kumlu toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($R=8$ m, $H=16$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).



Şekil 4.48. Silindirik deponun iri çakıllı toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($R=8$ m, $H=16$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).

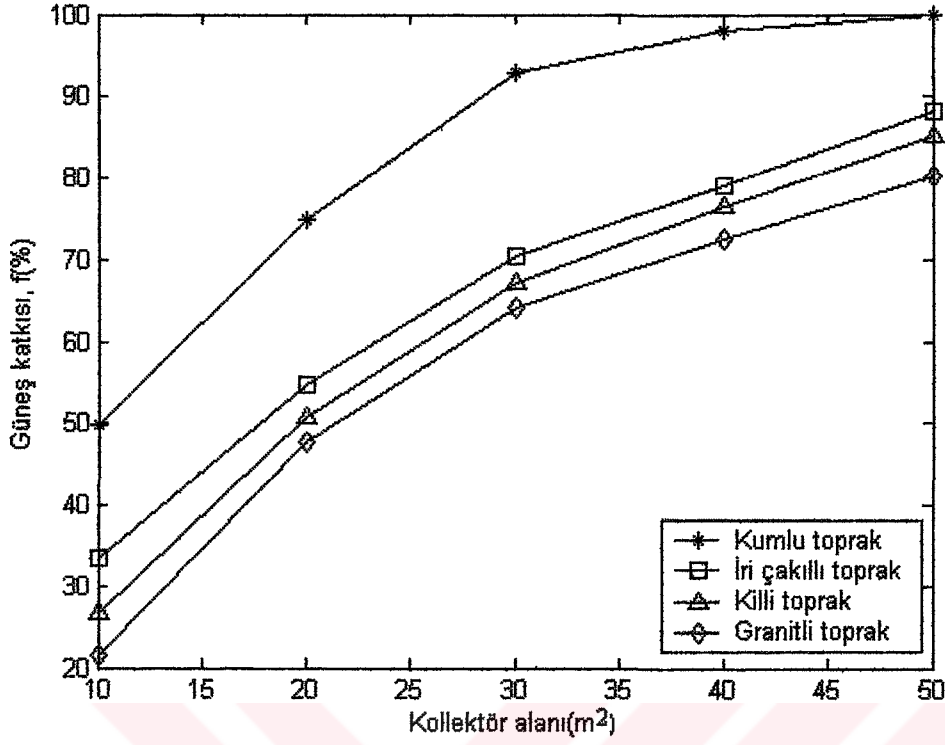


Şekil 4.49. Silindirik deponun killi toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($R=8$ m, $H=16$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).

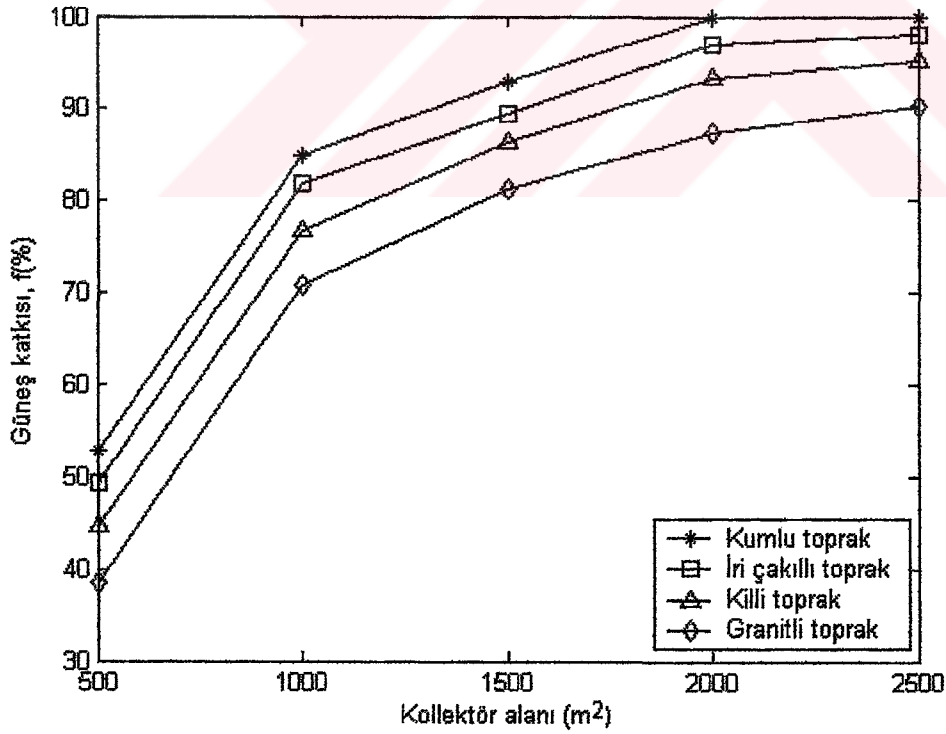


Şekil 4.50. Silindirik deponun granitli toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($R=8$ m, $H=16$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).

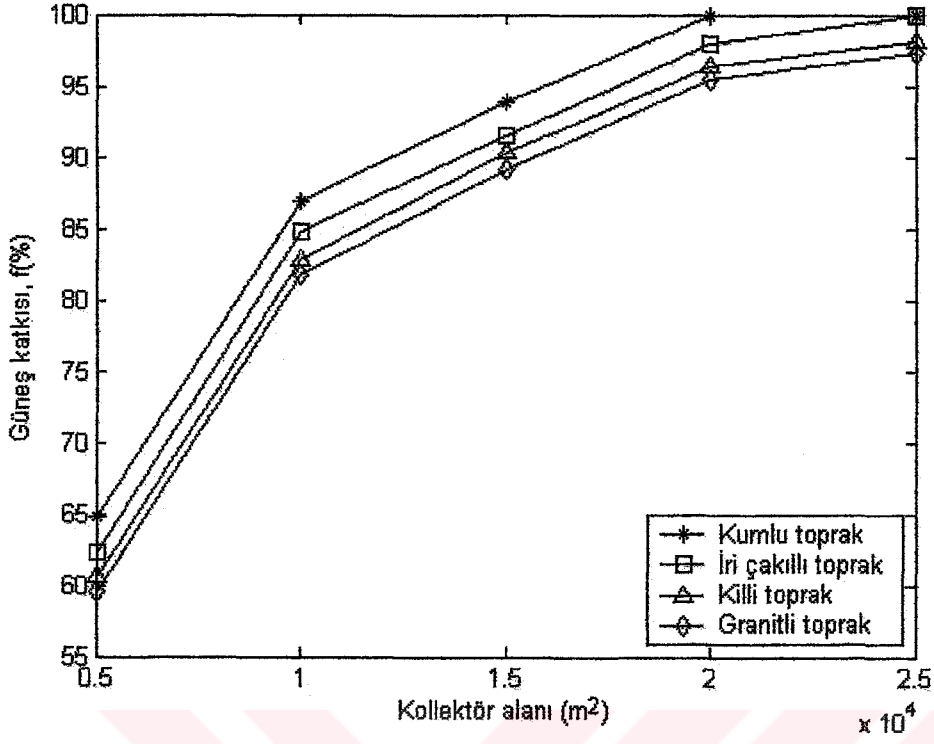
Şekil 4.51, 4.52 ve 4.53 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konut için silindirik depolu bir konut sisteminde yıllık güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. Kollektör alanı arttıkça yıllık güneş katkısı artmaktadır. %70 güneş katkısına ulaşmak için gerekli kollektör alanı, kumlu toprak için 18 m², iri çakıllı toprak için 30 m², killi toprak için 35 m² ve granitli toprak için ise 45 m² olmaktadır. 1, 50 ve 500 konutlu silindirik depolu bir ısıtma sisteminin yıllık kazancının kollektör alanına bağlı olarak değişimi sırasıyla Şekil 4.54, 4.55 ve 4.56 'da gösterilmektedir. Sistem kazancı kollektör alanının artmasıyla birlikte artmaktadır. Şekillerden de görüleceği üzere, konut sayısı arttıkça toprak türünün güneş katkısı üzerinde etkisi azalmaktadır. Şekil 4.57 'de silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak yük ile değişimi gösterilmektedir. Yıllık güneş katkısı, yük arttıkça artmaktadır.



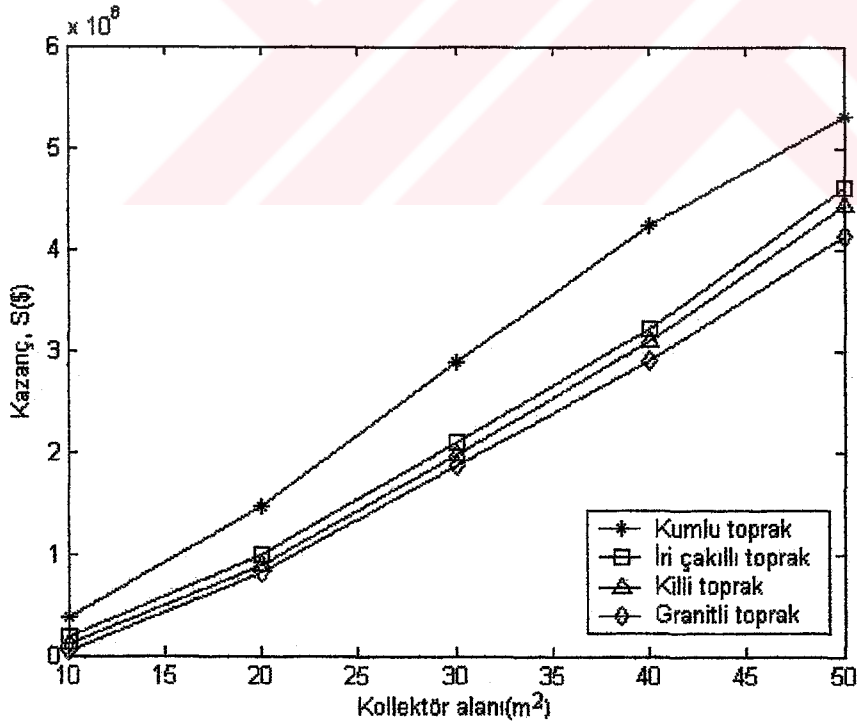
Şekil 4.51. Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının kolektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=8 m, H=16 m, 1 konut).



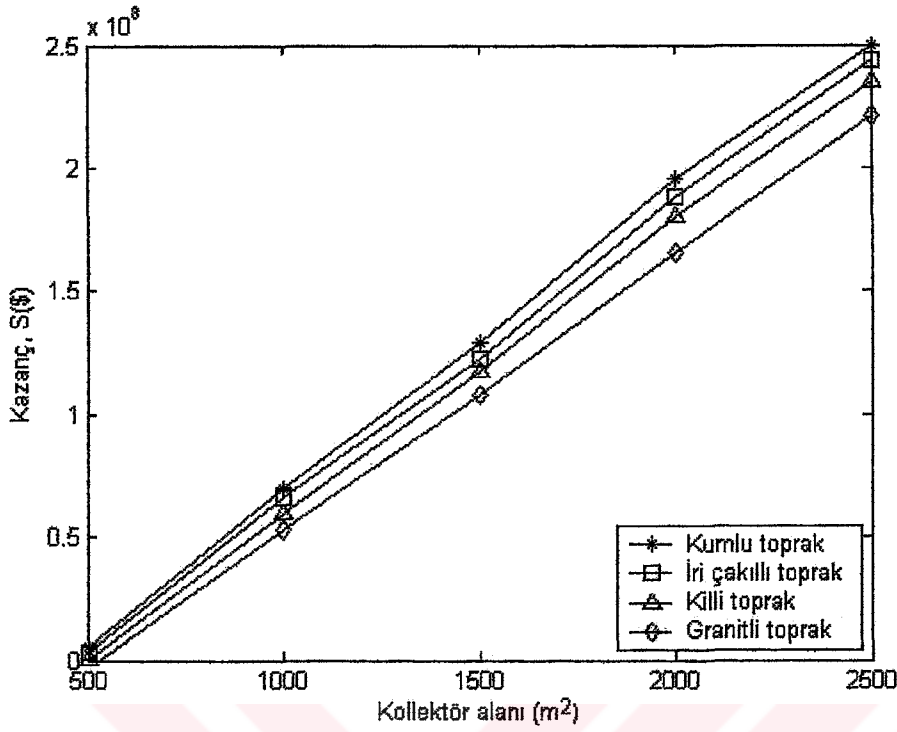
Şekil 4.52. Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının kolektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=30 m, H=60 m, 50 konut).



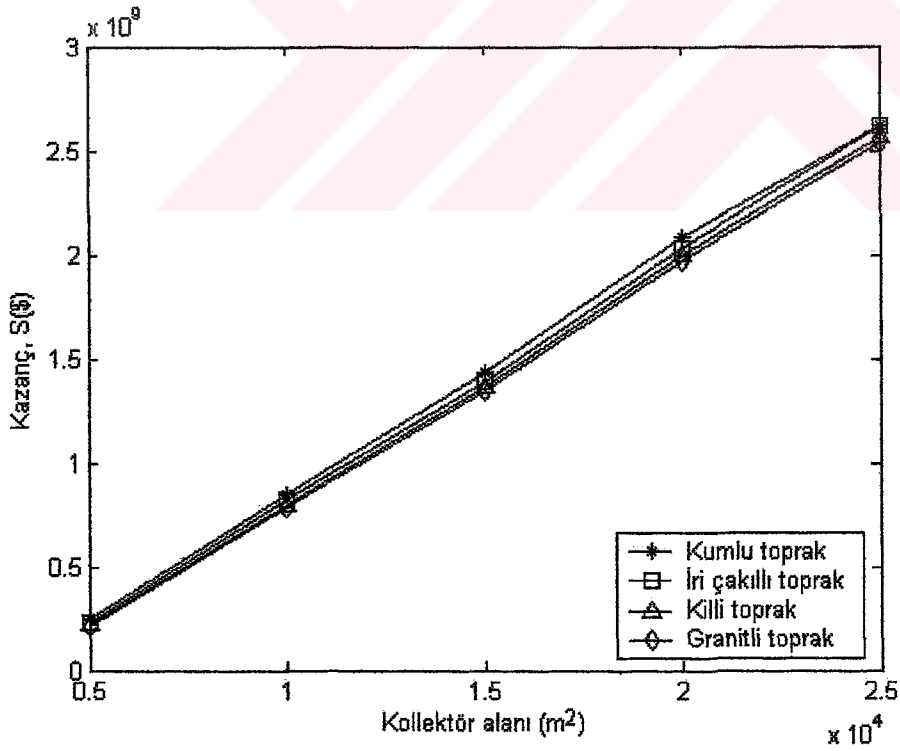
Şekil 4.53. Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının kolektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=60 m, H=120 m, 500 konut).



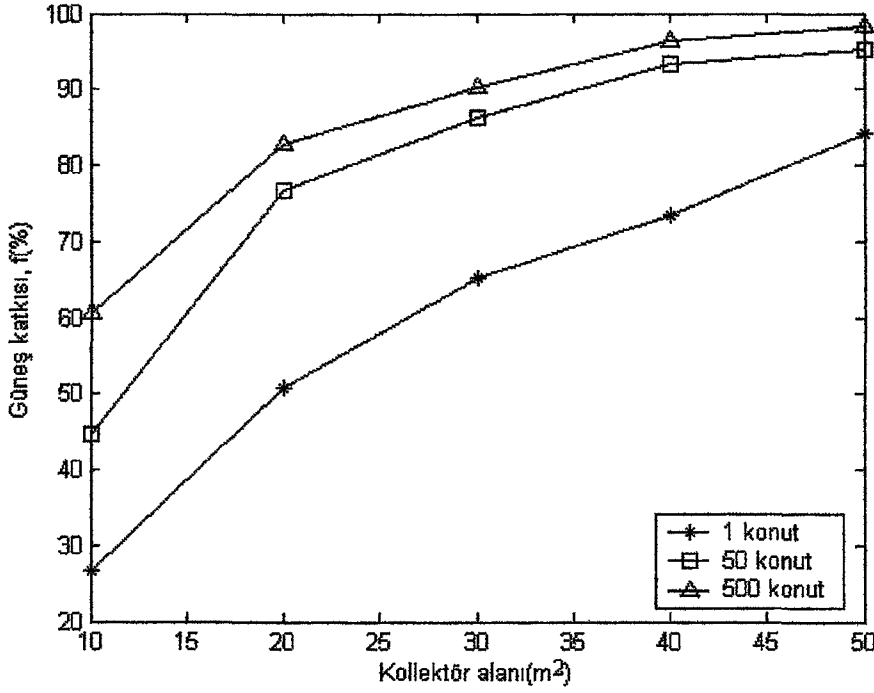
Şekil 4.54. Silindirik depolu bir sistemin kazancının kolektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=8 m, H=16 m, 1 konut).



Şekil 4.55. Silindirik depolu bir sistemin kazancının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=30 m, H=60 m, 50 konut).

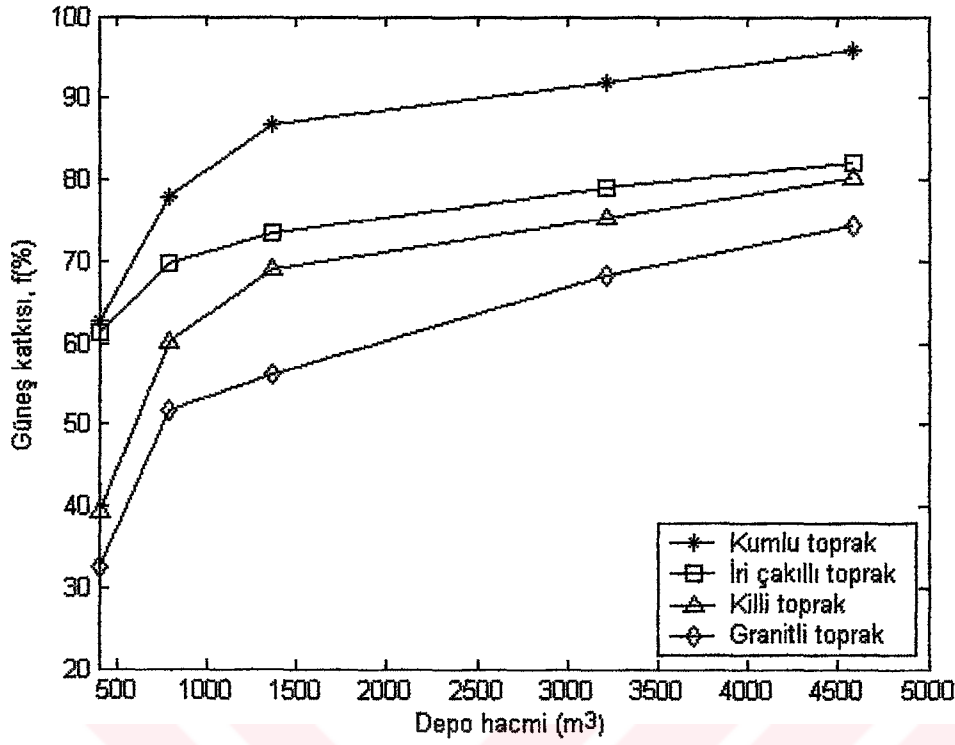


Şekil 4.56. Silindirik depolu bir sistemin kazancının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (R=60 m, H=120 m, 500 konut).

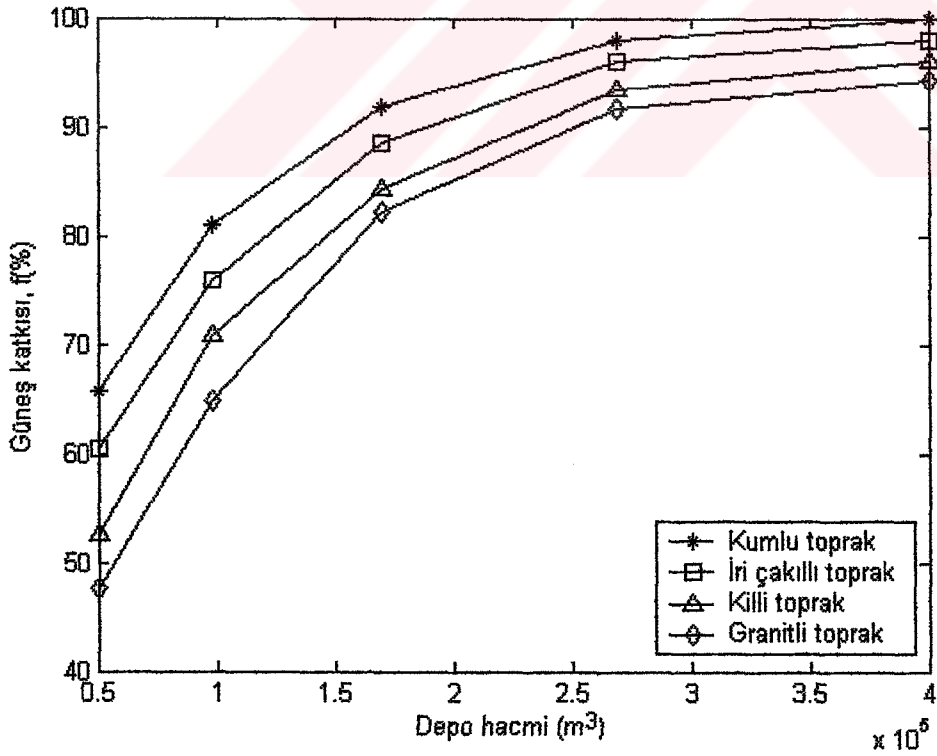


Şekil 4.57. Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak yük ile değişimi (Killi toprak).

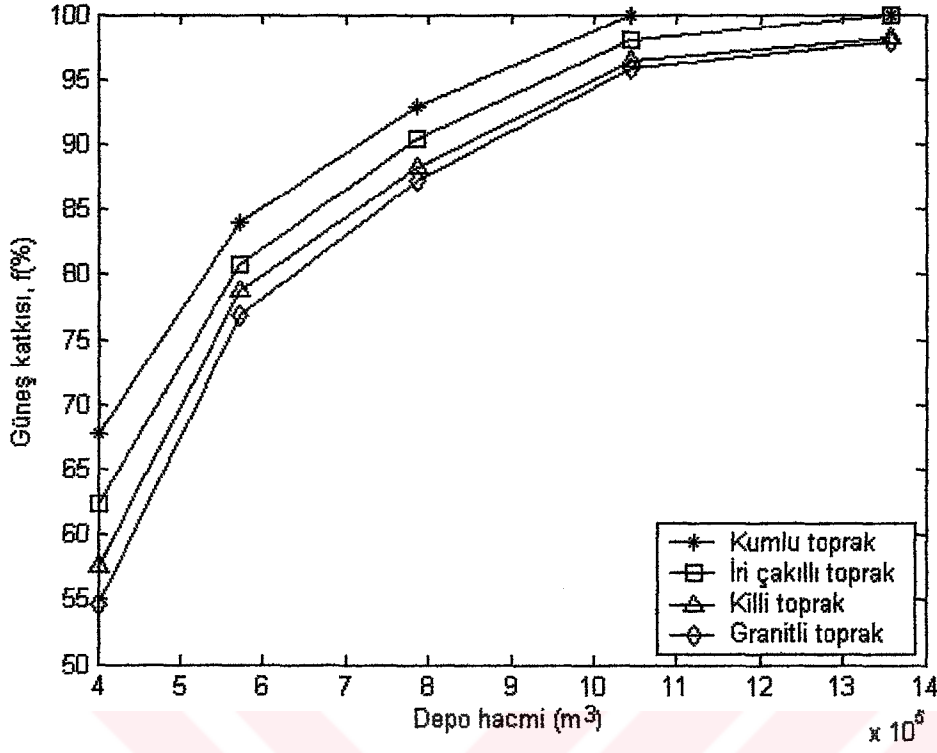
Şekil 4.58, 4.59 ve 4.60 'da sırasıyla 1, 50 ve 500 konut için silindirik depolu bir konut sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. Depo hacmi artarken sistemin yıllık güneş katkısı artmaktadır. Bir konutlu bir sistemde, %70 yıllık güneş katkısına ulaşmak için gerekli depo hacmi, kumlu toprakta iri çakıllı toprağa göre %30, killi toprağa göre %55 ve granitli toprağa göre ise %80 daha küçük olarak bulunmuştur. Silindirik depolu bir konut sisteminin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak değişimi sırasıyla 1, 50 ve 500 konut için Şekil 4.61, 4.62 ve 4.63 'de gösterilmektedir. Sistemin yıllık kazancı depo hacminin artmasıyla birlikte artmaktadır. Depo hacmi arttıkça, toprak türünün etkisi azalmakta ve dolayısıyla sistemlerin yıllık kazançları birbirine yakın olmaktadır.



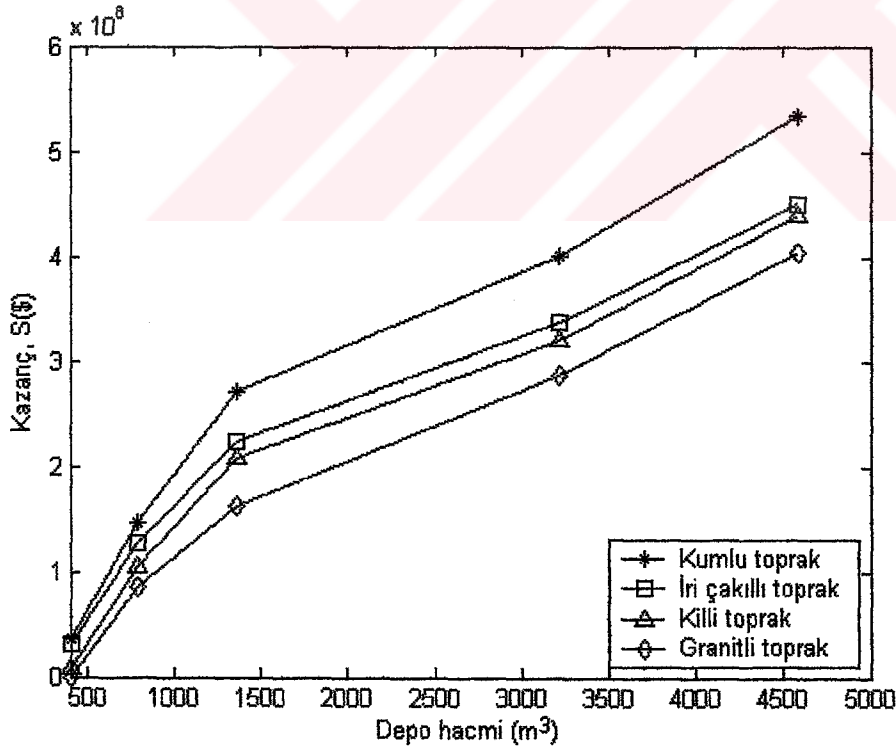
Şekil 4.58. Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k = 30 \text{ m}^2$, 1 konut).



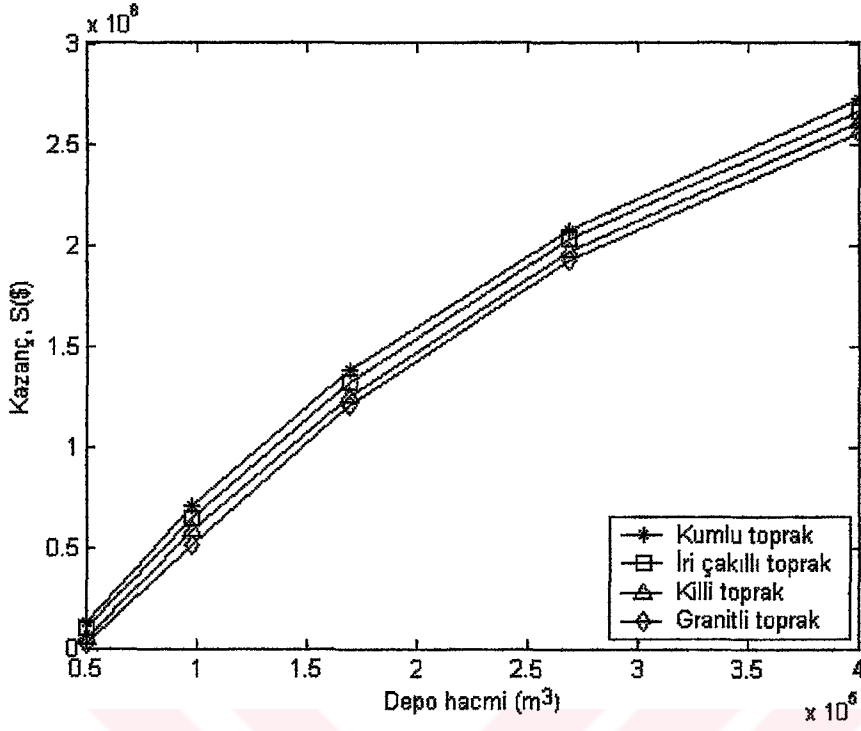
Şekil 4.59. Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).



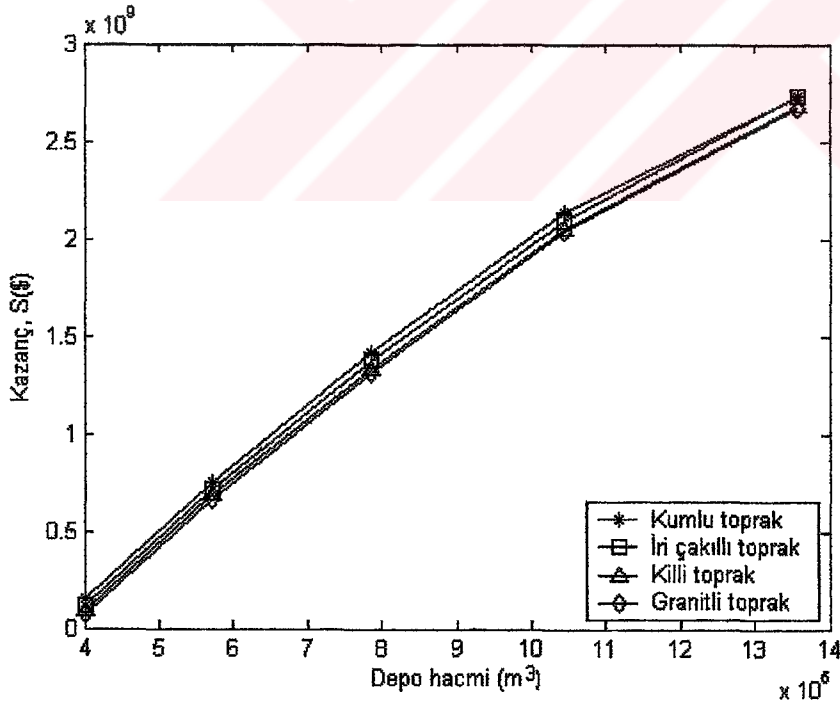
Şekil 4.60. Silindirik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k=30 m^2/konut$, 500 konut).



Şekil 4.61. Silindirik depolu bir sistemin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k=30 m^2$, 1 konut).



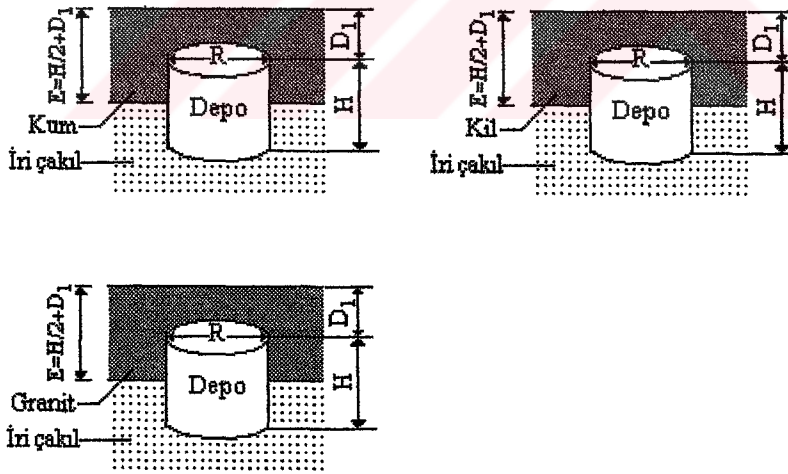
Şekil 4.62. Silindirik depolu bir sistemin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).



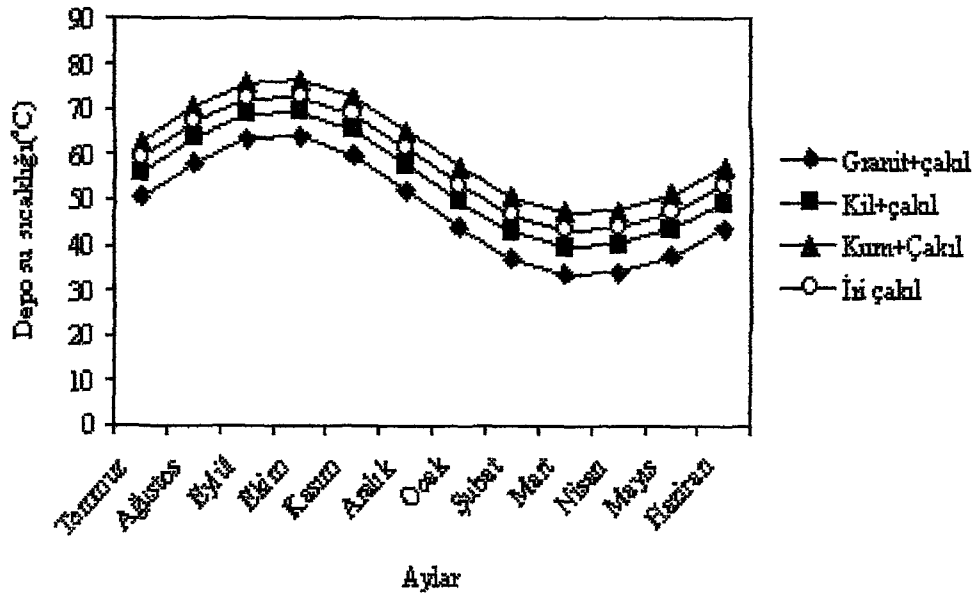
Şekil 4.63. Silindirik depolu bir sistemin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut).

4.3.7.2. Silindirik Depolu Sistemde Deponun Gömüldüğü Toprağın Kompozisyonun Isıl Sistem Performansına Etkisinin Araştırılması

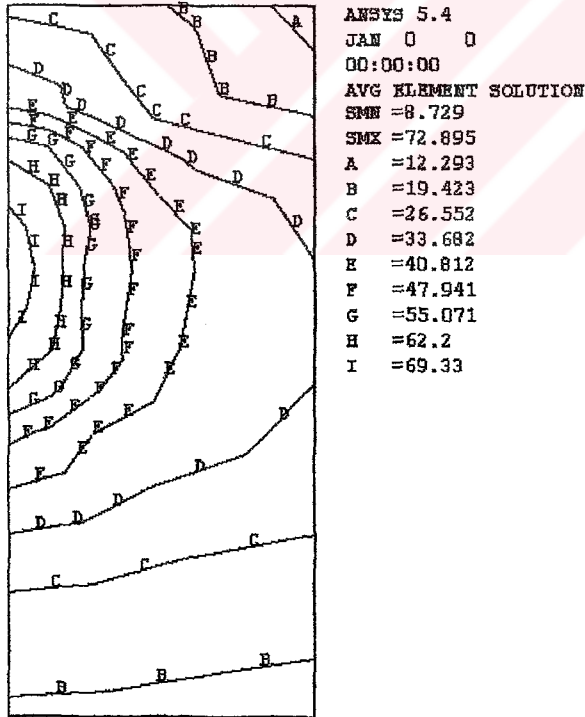
Daha önceki kısımlarda deponun gömüldüğü toprak türünün etkisi incelenmişti. Bu kısımda ise deponun etrafındaki yapının kompozisyonun yani kompozit yapı uygulanması halinde ısı sistem performansı araştırılmıştır. Şekil 4.64 'de etrafında farklı kompozit yapı olan silindirik deponun prensip şemaları gösterilmektedir. Etrafında farklı kompozit yapı olan silindirik deponun iki boyutlu sonlu elemanlar modeli ANSYS 'de çözülmüştür. Şekil 4.65 'de deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan yapı (iri çakıllı) içerisine gömülü olması durumunda depo su sıcaklığının yıllık değişimi gösterilmektedir. En yüksek su sıcaklığı Ekim ayında ve deponun etrafında kumlu kompozit yapı olması durumunda elde edilmiştir. Şekil 4.66, 4.67 ve 4.68 'de sırasıyla deponun etrafında kumlu, killi ve granitli kompozit yapı olması durumunda yıllık sıcaklık dağılım konturları verilmektedir. Şekil 4.59, 4.70 ve 4.71 'de silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan yapı (iri çakıllı) içerisine gömülü olması durumunda yıllık güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi 1, 50 ve 500 konutlu sistemler için gösterilmektedir. Bir konutlu bir sistemde, deponun etrafında kumlu kompozit yapı varken %70 yıllık güneş katkısına ulaşmak için 25 m^2 kollektör alanı gerekirken, killi toprakta 37 m^2 ve granitli toprakta ise 42 m^2 kollektör alanına ihtiyaç duyulmaktadır.



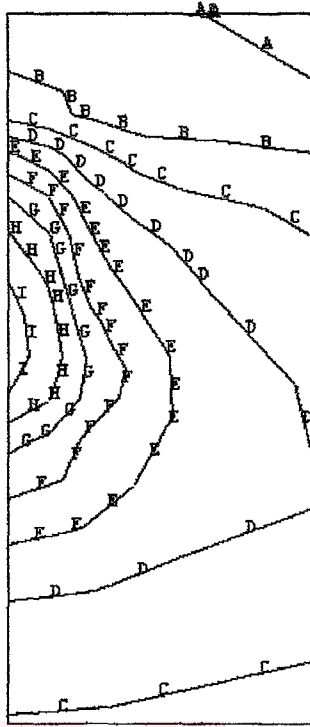
Şekil 4.64. Etrafındaki yapının farklı kompozit yapıda olması durumunda silindirik deponun prensip şeması ($D_1=10 \text{ m}$).



Şekil 4.65. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisine gömülmesi halinde depo su sıcaklığının yıllık değişimi ($R=8$ m, $H=16$ m, 1 konut).



Şekil 4.66. Silindirik deponun kumlu kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($R=8$ m, $H=16$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).

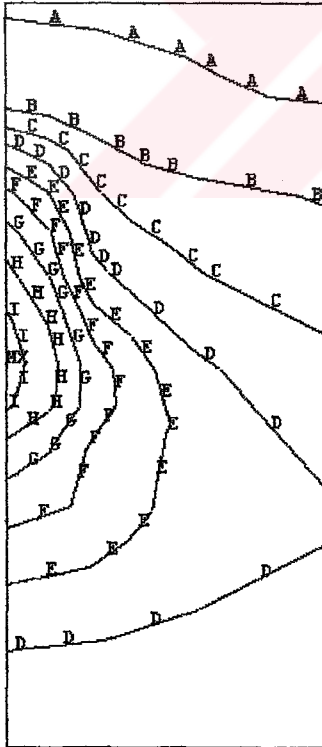


```

ANSYS 5.4
JAN 0 0
00:00:00
AVG ELEMENT SOLUTION
SMN =4.339
SMX =53.212
A =7.054
B =12.484
C =17.915
D =23.345
E =28.775
F =34.205
G =39.636
H =45.066
I =50.496

```

Şekil 4.67. Silindirik deponun killi kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($R=8$ m, $H=16$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).

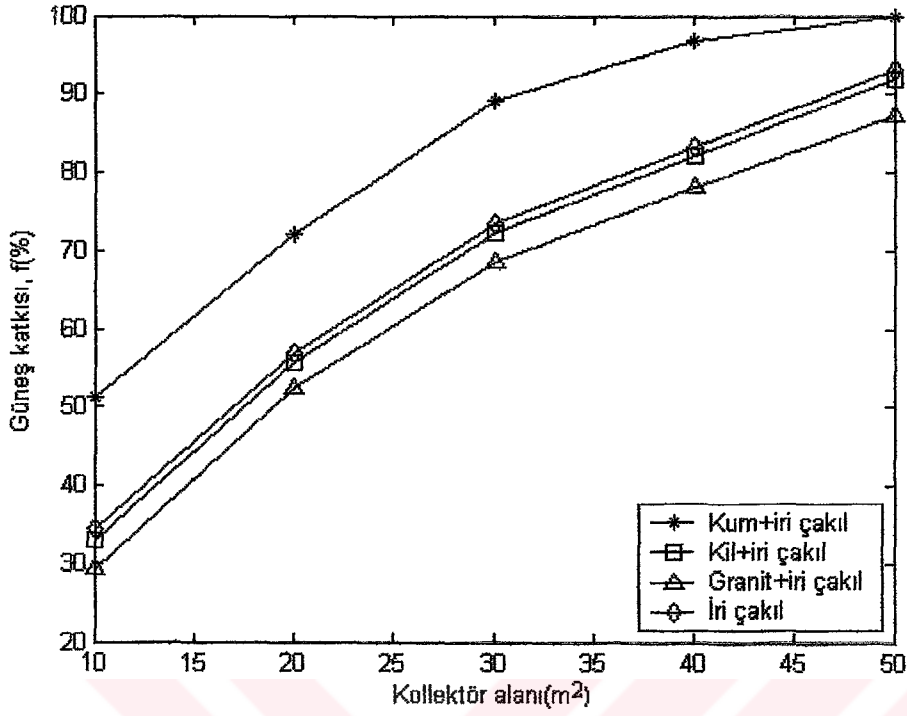


```

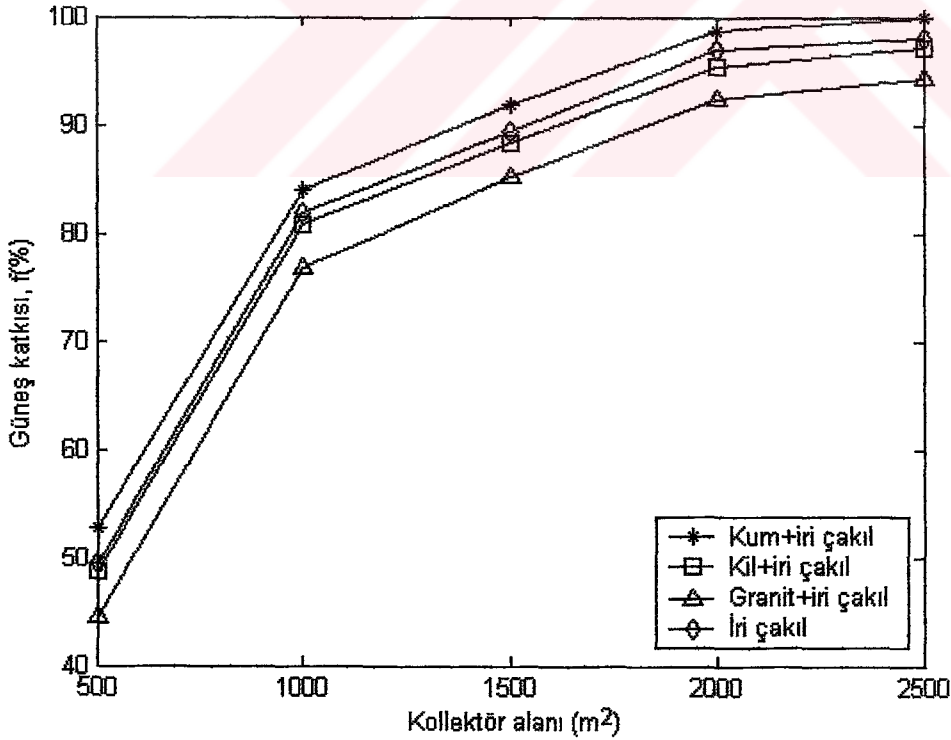
ANSYS 5.4
JAN 0 0
00:00:00
AVG ELEMENT SOLUTION
SMN =2.6
SMX =45.926
A =5.007
B =9.821
C =14.635
D =19.449
E =24.263
F =29.077
G =33.891
H =38.705
I =43.519

```

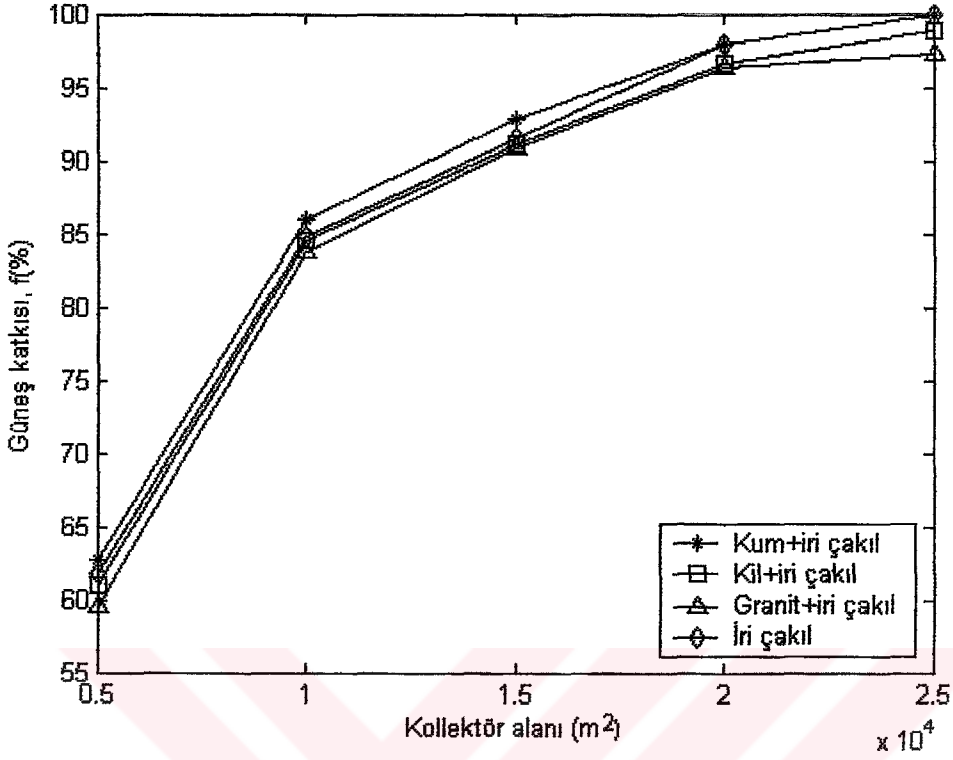
Şekil 4.68. Silindirik deponun granitli kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($R=8$ m, $H=16$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).



Şekil 4.69. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının kolektör alanı ile değişimi ($R=8$ m, $H=16$ m, 1 konut).

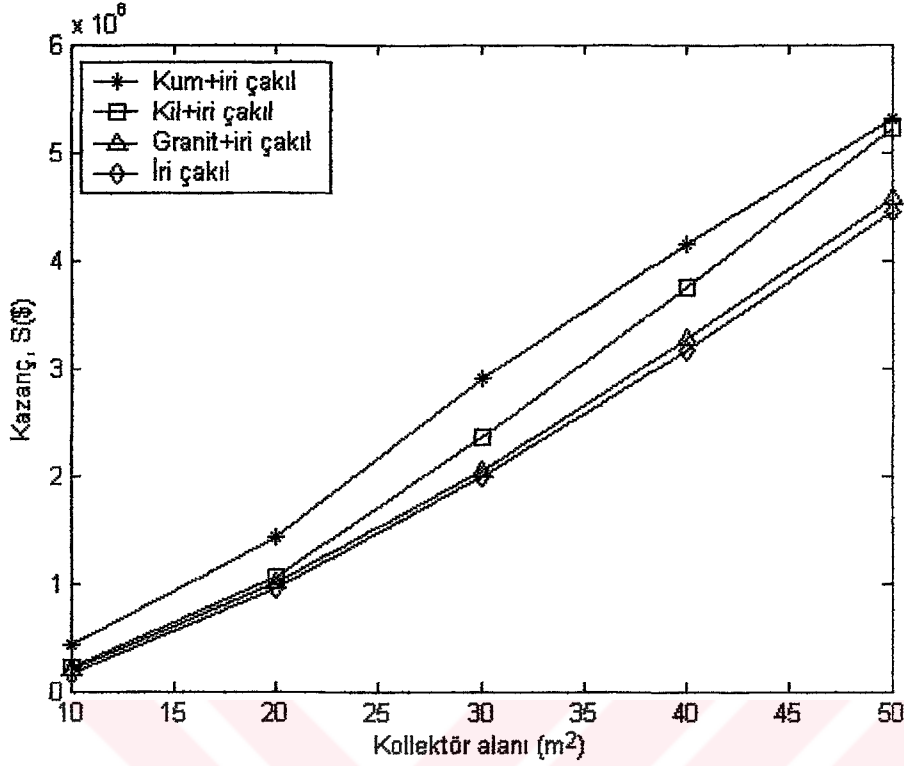


Şekil 4.70. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının kolektör alanı ile değişimi ($R=30$ m, $H=60$ m, 50 konut).

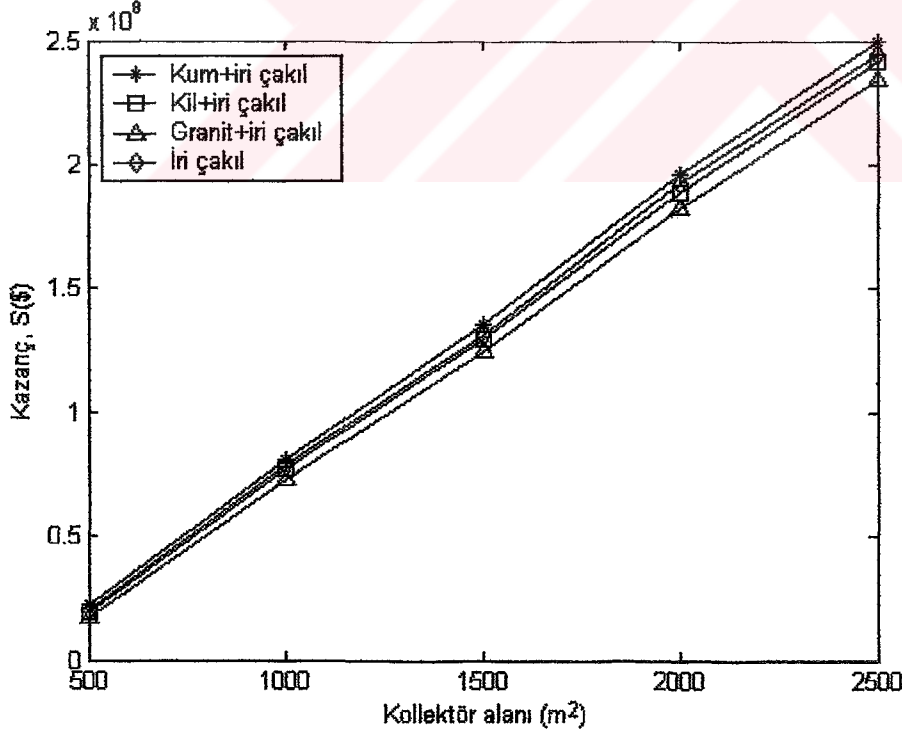


Şekil 4.71. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi (R=60 m, H=120 m, 500 konut).

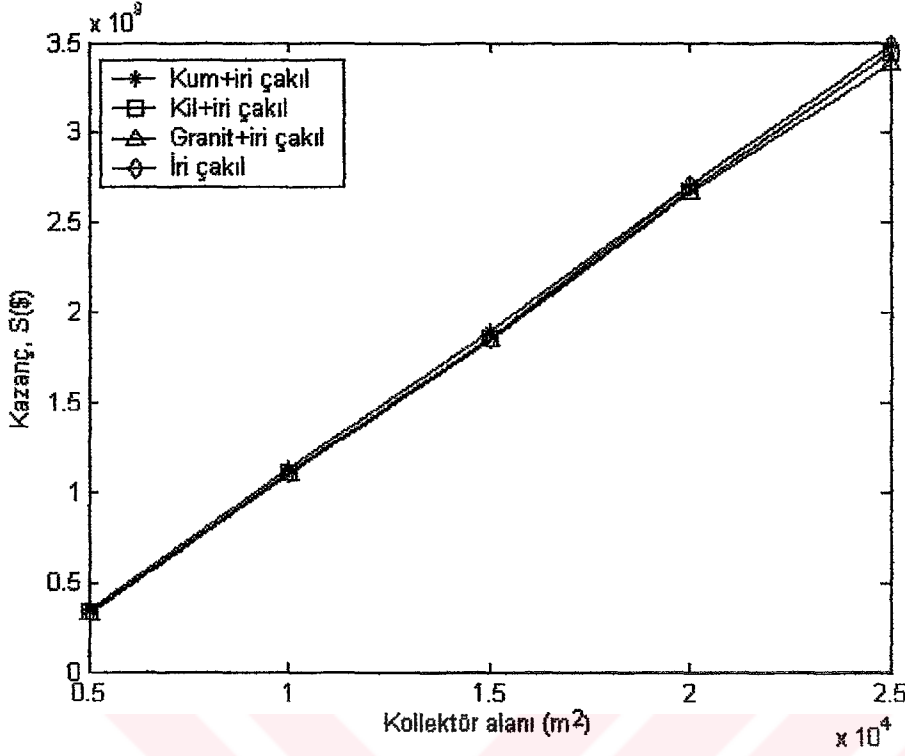
Şekil 4.72, 4.73 ve 4.74 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu sistemler için, silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıl) yapı içerisinde olması durumunda sistemin yıllık kazancının kollektör alanı ile değişimi gösterilmektedir. Kollektör alanı arttıkça, sistemin yıllık kazancı artmaktadır. Deponun etrafında granitli kompozit yapı olması durumunda en düşük kazanç elde edilirken, kumlu kompozit yapı olması durumunda kazanç en yüksek değere ulaşmaktadır. Konut sayısı arttıkça, toprak türünün yıllık güneş katkısı üzerindeki etkisinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.72. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda sistemin yıllık kazancının kolektör alanı ile değişimi (R=8 m, H=16 m, 1 konut).

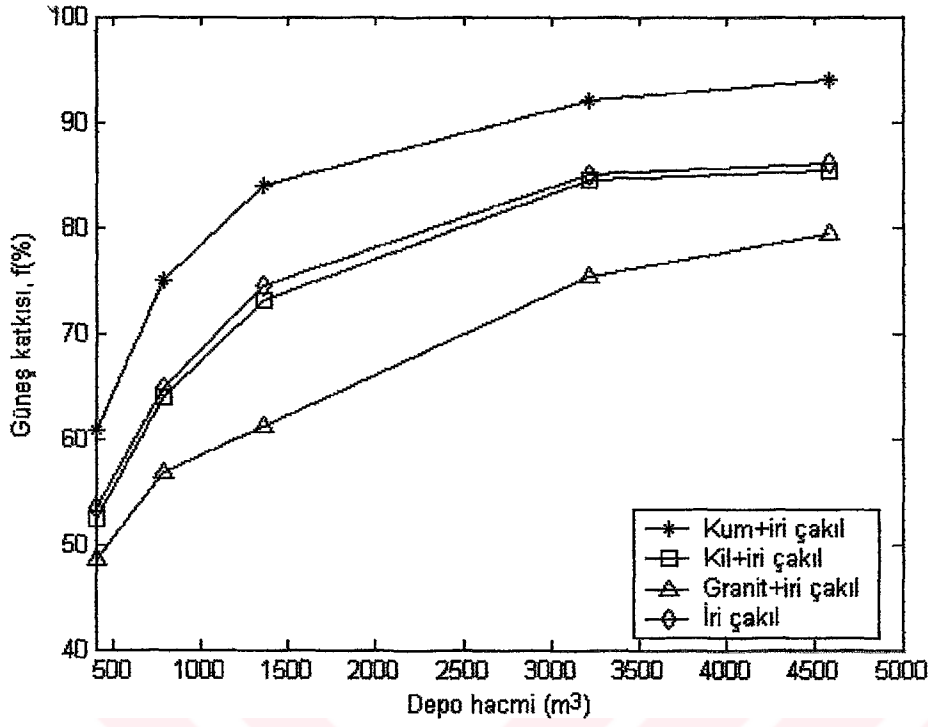


Şekil 4.73. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda sistemin yıllık kazancının kolektör alanı ile değişimi (R=30 m, H=60 m, 50 konut).

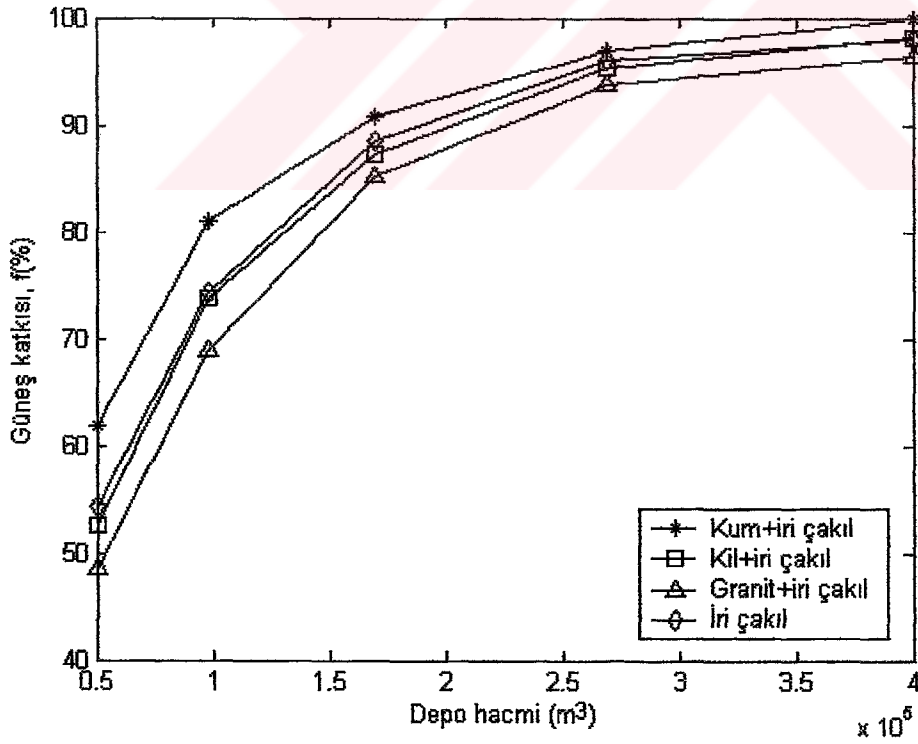


Şekil 4.74. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda yıllık kazancının kollektör alanı ile değişimi ($R=60$ m, $H=120$ m, 500 konut).

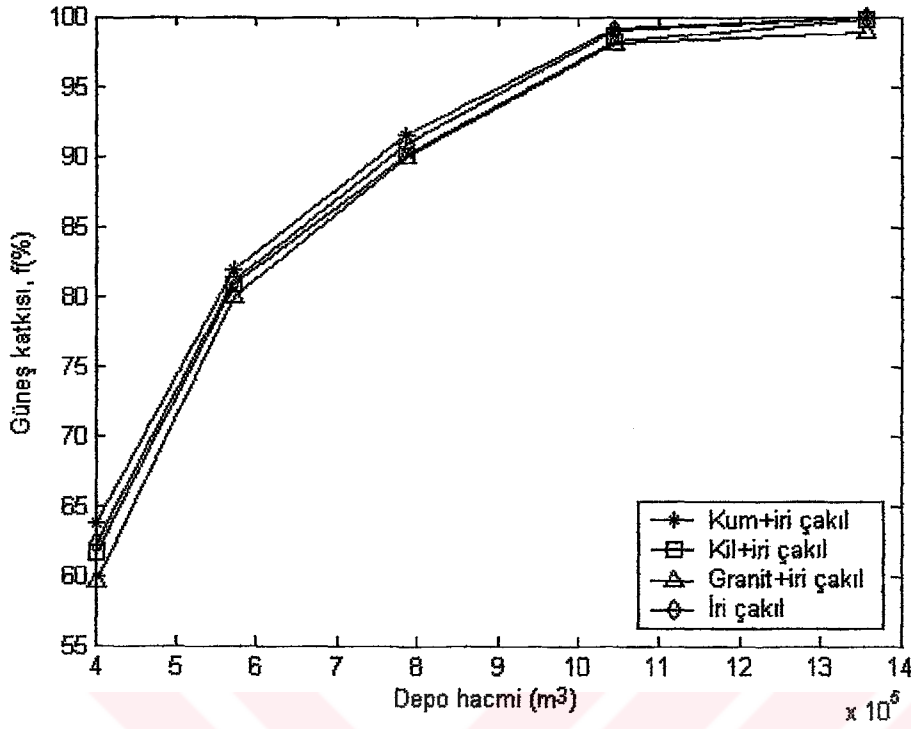
Şekil 4.75, 4.76 ve 4.77 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu sistemler için, silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. Sistemin yıllık güneş katkısı, depo hacminin artmasıyla birlikte artmaktadır. Bir konutlu bir sistemde, %70 yıllık güneş katkısına ulaşmak için gerekli depo hacmi, deposunun etrafında kumlu kompozit yapı olan sistemde, killi kompozit yapı olan sistemdekinden %48 ve granitli kompozit yapı olan sistemden ise %75 daha küçük olarak hesaplanmıştır. Silindirik depolu konut sisteminin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak değişimi 1, 50 ve 500 konut için sırasıyla Şekil 4.78, 4.79 ve 4.80 'de gösterilmektedir. Sistemin yıllık kazancı, depo hacminin artmasıyla birlikte artarken, toprak türünün etkisi de azalmaktadır. Şekil 4.80 'de görüldüğü gibi, özellikle 500 konutlu sistemde toprak türünün, sistemin yıllık kazancı üzerinde etkisi kalmamaktadır.



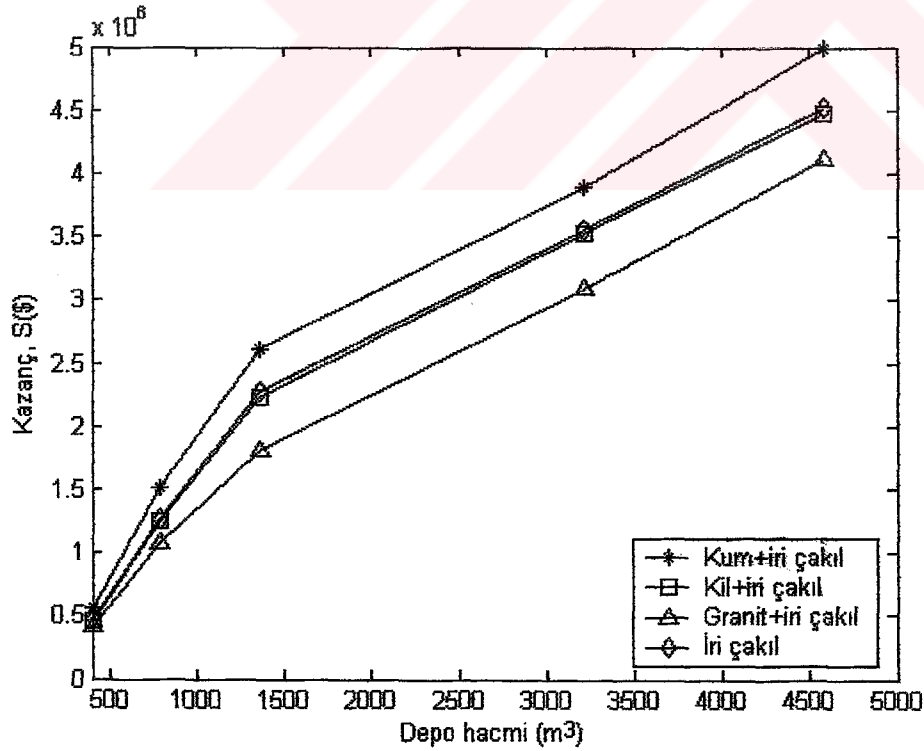
Şekil 4.75. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut).



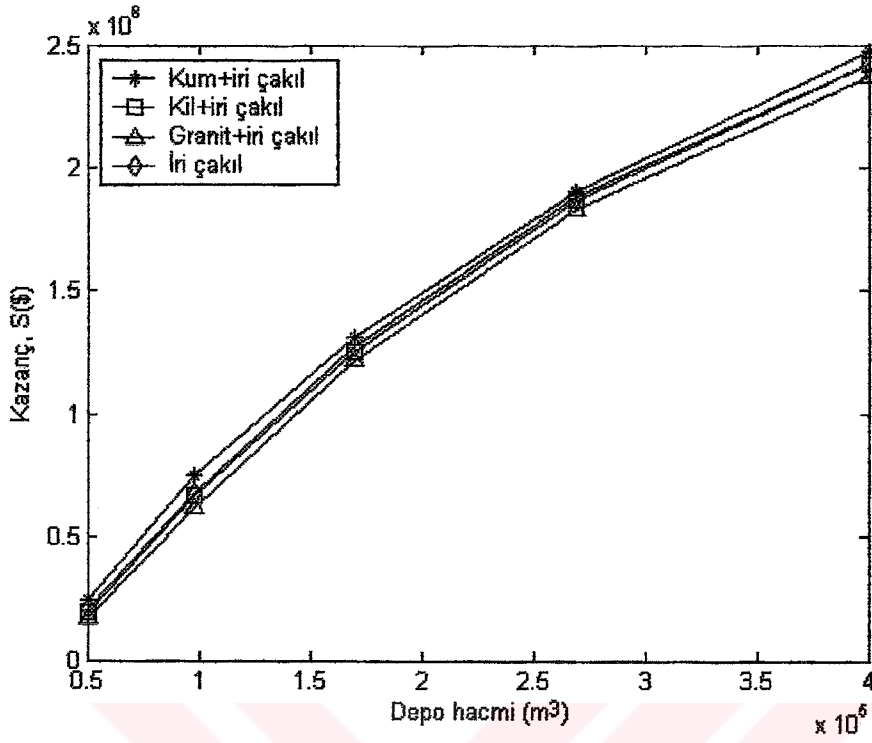
Şekil 4.76. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).



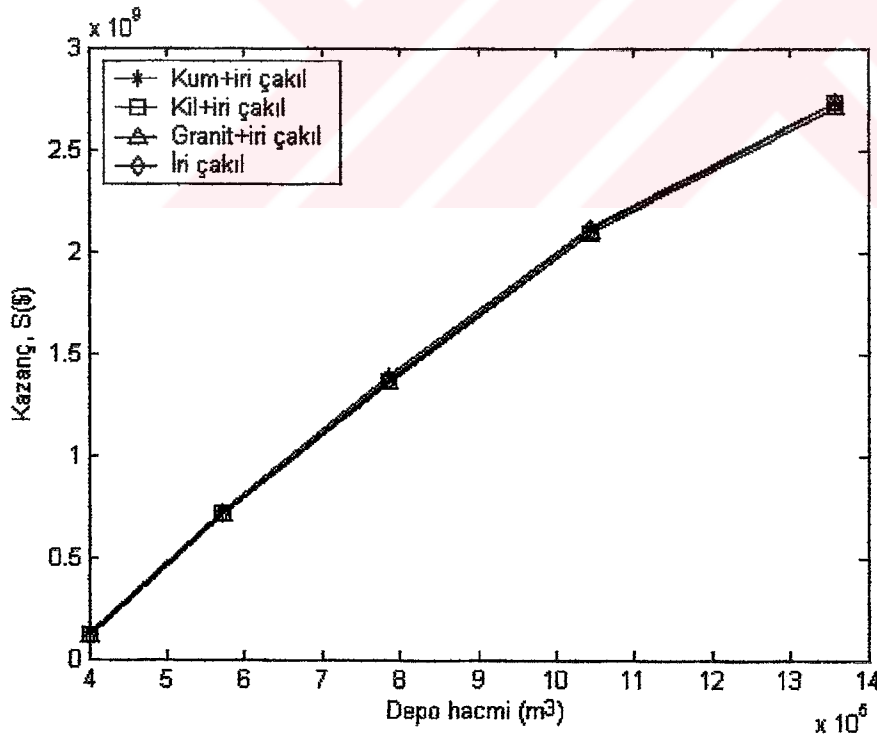
Şekil 4.77 Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut).



Şekil 4.78. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda sistemin yıllık kazancının depo hacmi ile değişimi ($A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut).



Şekil 4.79. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda sistemin yıllık kazancının depo hacmi ile değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).

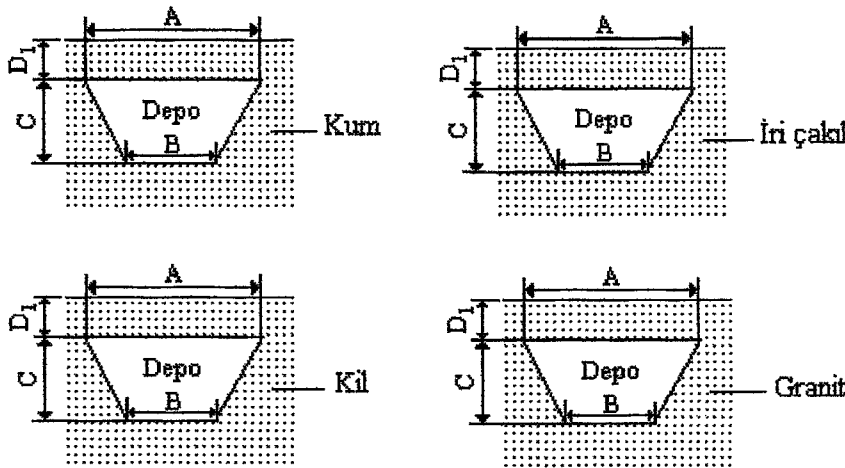


Şekil 4.80. Silindirik deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda sistemin yıllık kazancının depo hacmi ile değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut).

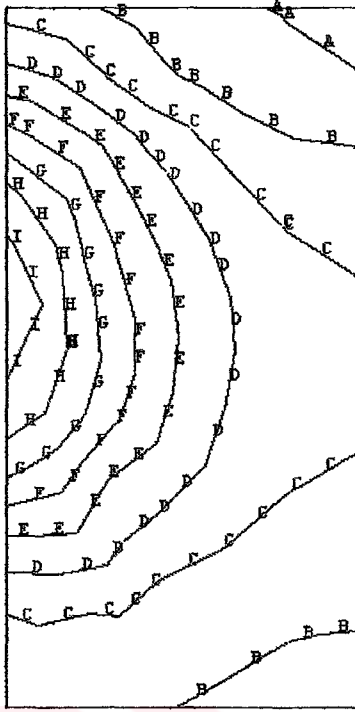
4.3.7.3. Trapez Deponun Farklı Türdeki Toprak İçerisine Gömülmesi Durumunda Sonlu Eleman Analizi Sonuçları

Farklı türdeki toprak içerisine gömülü olan trapez depolu sistemin Elazığ iklim şartları için ANSYS 'de çözümü yapılmış ve periyodik rejime ulaştığı andaki sıcaklıklar kullanılarak ısı performans ve ekonomik analizi yapılmıştır. Şekil 4.81 'de farklı türdeki toprak içerisinde olan trapez deponun prensip şeması verilmektedir. Şekil 4.82, 4.83, 4.84 ve 4.85 'de sırasıyla kumlu, iri çakıllı, killi ve granitli toprak için yıllık sıcaklık konturları verilmektedir. Şekil 4.86, 4.87 ve 4.88 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu sistemler için yıllık güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. %70 yıllık güneş katkısına ulaşmak için, 1 konutlu bir sistemde gerekli kollektör alanı, kumlu toprakta iri çakıllı toprağa göre %27, killi toprağa göre %35 ve granitli toprağa göre ise %40 daha küçük olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.89, 4.90 ve 4.91 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu sistemlerin yıllık kazancının kollektör alanına bağlı olarak değişimi verilmektedir. Kollektör alanı ve konut sayısı arttıkça sistemden elde edilen kazanç artmaktadır.

Şekil 4.92, 4.93 ve 4.94 'de trapez depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi gösterilmektedir. Yıllık güneş katkısı depo hacmi arttıkça artmakta ve deposu kumlu toprakta olan sistemde en yüksek değere ulaşmaktadır. Şekil 4.95, 4.96 ve 4.97 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu sistemlerin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi verilmektedir. En yüksek ekonomik kazanç, yıllık güneş katkısının yüksek olduğu kumlu toprakta elde edilmektedir.

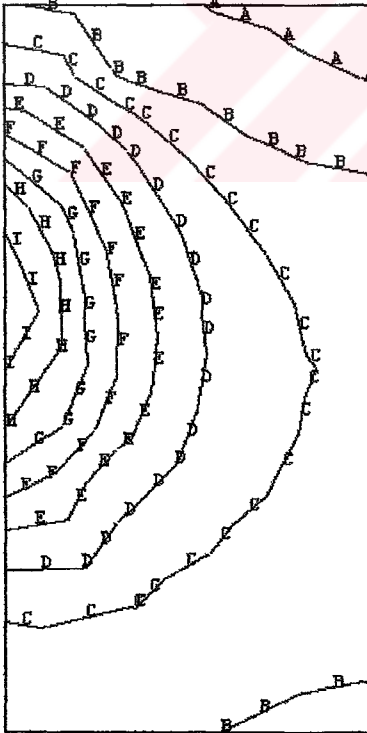


Şekil 4.81. Farklı türdeki toprak içerisine gömülü olan trapez deponun prensip şeması ($D_1=10$ m).



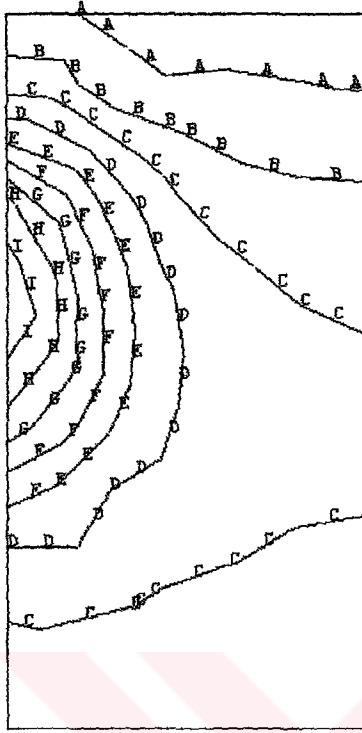
ANSYS 5.4
JAN 0 0
00:00:00
AVG ELEMENT SOLUTION
SMN = 9.579
SMX = 84.44
A = 13.738
B = 22.056
C = 30.376
D = 38.692
E = 47.01
F = 55.328
G = 63.646
H = 71.964
I = 80.282

Şekil 4.82. Trapez deponun kumlu toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (A=28 m, B=14 m, C=28 m, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).



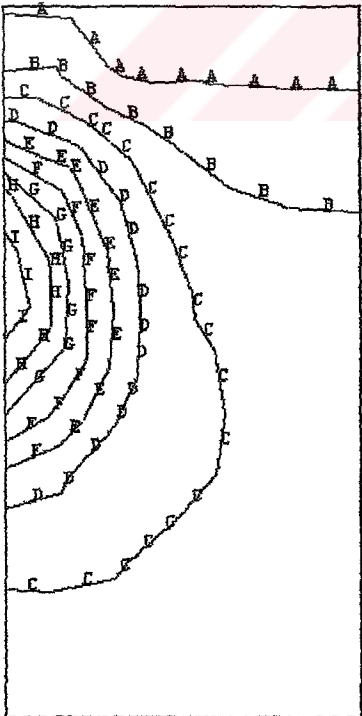
ANSYS 5.4
JAN 0 0
00:00:00
AVG ELEMENT SOLUTION
SMN = 3.156
SMX = 60.054
A = 6.039
B = 11.806
C = 17.572
D = 23.338
E = 29.105
F = 34.871
G = 40.638
H = 46.404
I = 52.17

Şekil 4.83. Trapez deponun iri çakıllı toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (A=28 m, B=14 m, C=28 m, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).



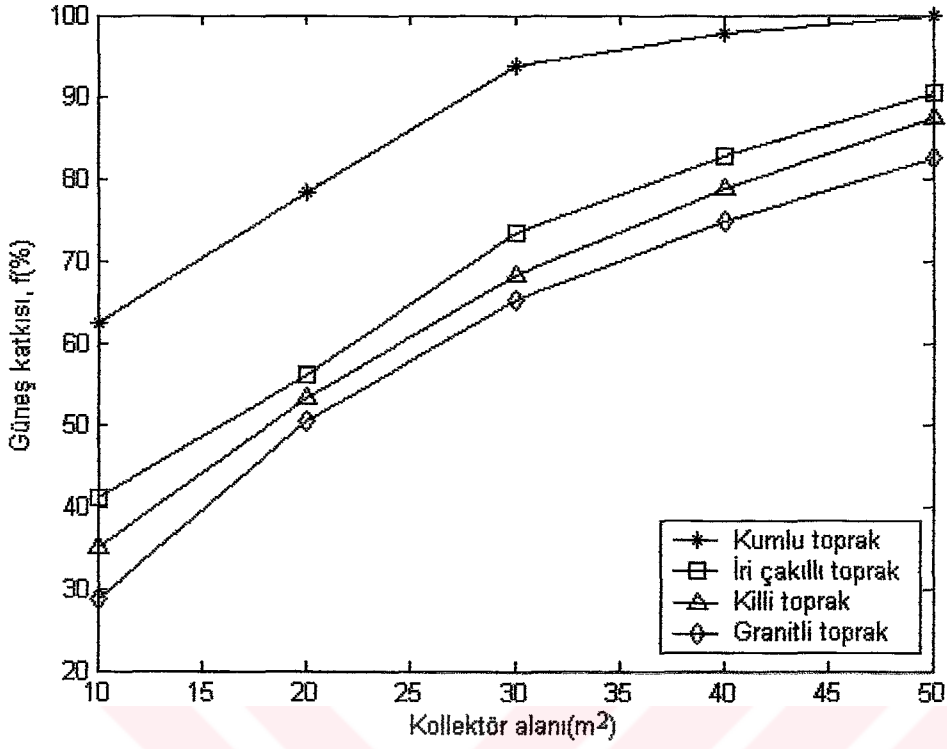
ANSYS 5.4
JAN 0 0
00:00:00
AVG ELEMENT SOLUTION
SMN =2.568
SMX =50.172
A =5.157
B =10.335
C =15.513
D =20.692
E =25.87
F =31.048
G =36.227
H =41.405
I =48.583

Şekil 4.84. Trapez deponun killi toprak içrisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (A=28 m, B=14 m, C=28 m, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).

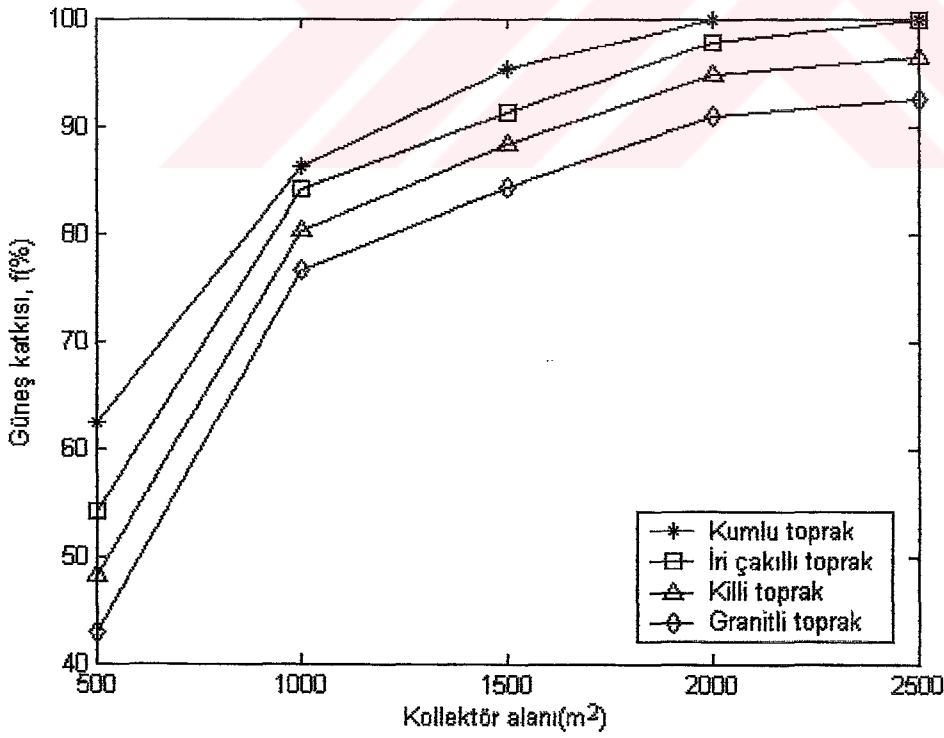


ANSYS 5.4
JAN 0 0
00:00:00
AVG ELEMENT SOLUTION
SMN =1.533
SMX =44.014
A =3.093
B =8.613
C =13.393
D =18.053
E =22.773
F =27.494
G =32.214
H =36.934
I =41.654

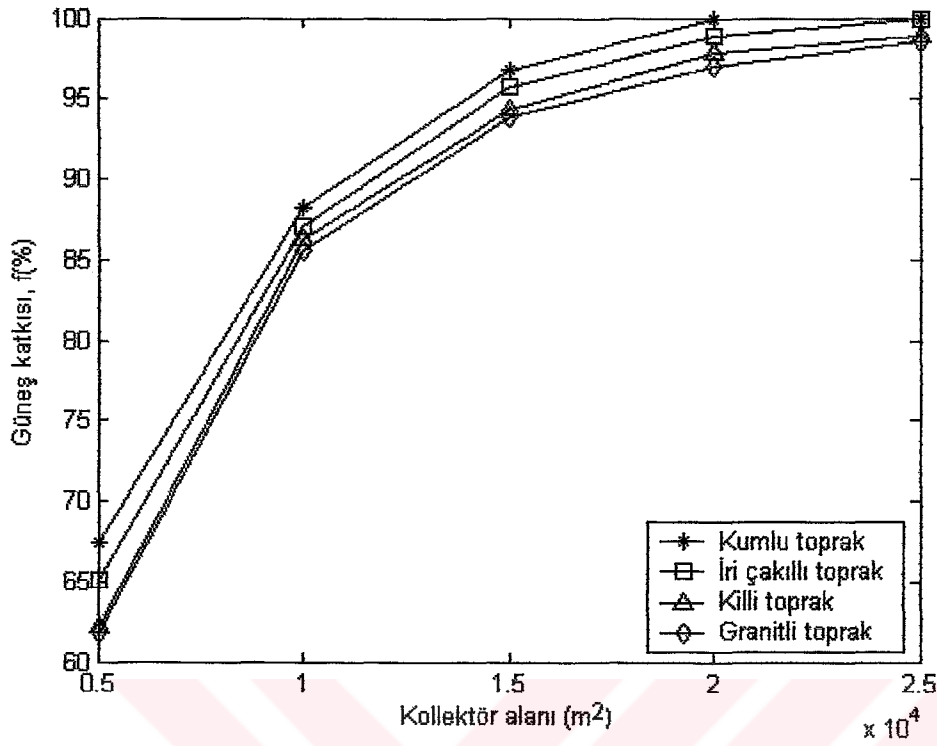
Şekil 4.85. Trapez deponun granitli toprak içrisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (A=28 m, B=14 m, C=28 m, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).



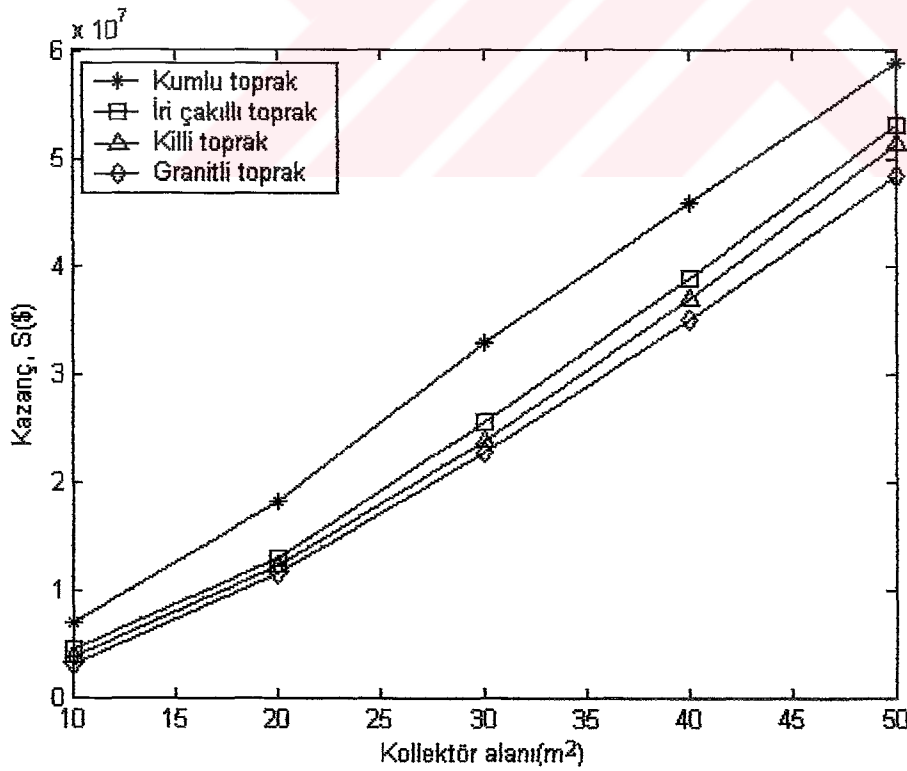
Şekil 4.86. Trapez depolu bir sistemde güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (A=28 m, B=14 m, C=28 m, 1 konut).



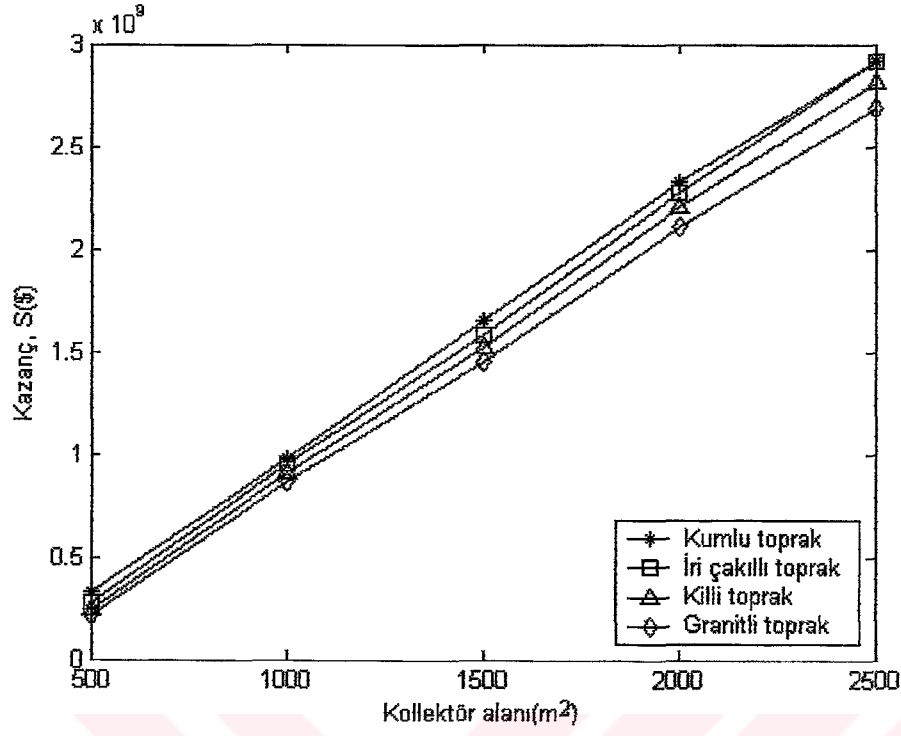
Şekil 4.87. Trapez depolu bir sistemde güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (A=72 m, B=36 m, C=72 m, 50 konut).



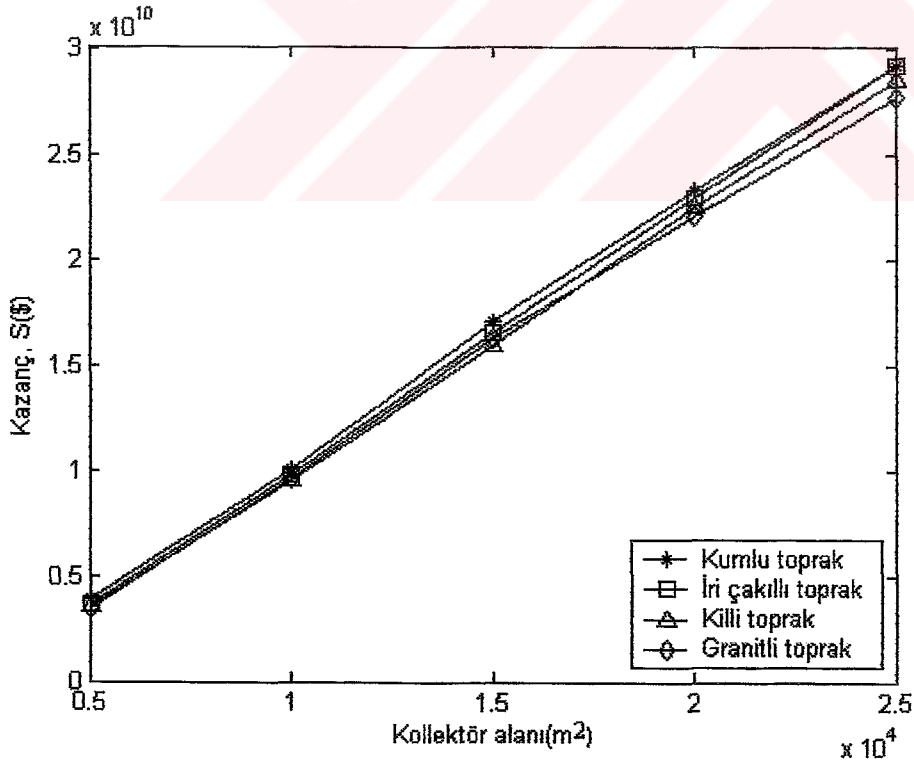
Şekil 4.88. Trapez depolu bir sistemde güneş katkısının kolektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (A=180 m, B=90 m, C=180 m, 500 konut).



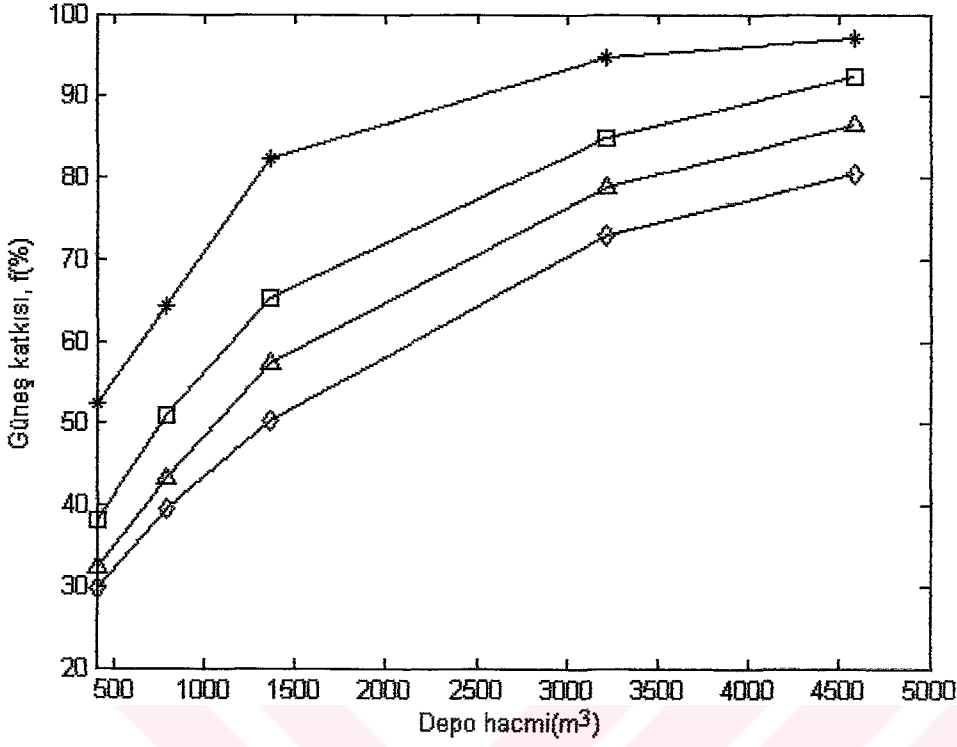
Şekil 4.89. Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının kolektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (A=28 m, B=14 m, C=28 m, 1 konut).



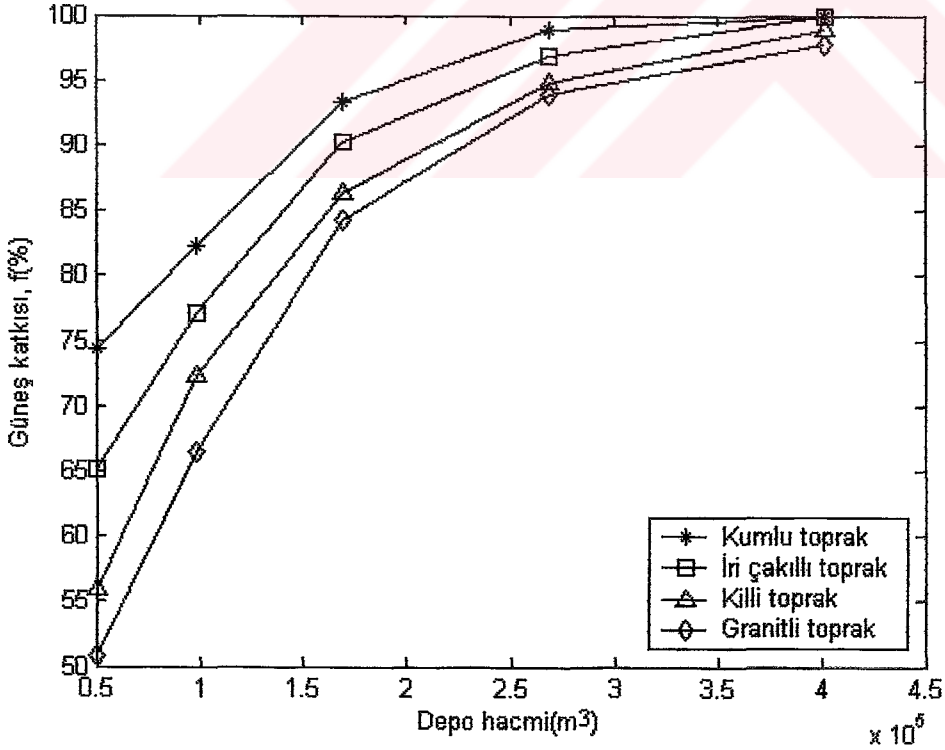
Şekil 4.90. Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının kolektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (A=72 m, B=36 m, C=72 m, 50 konut).



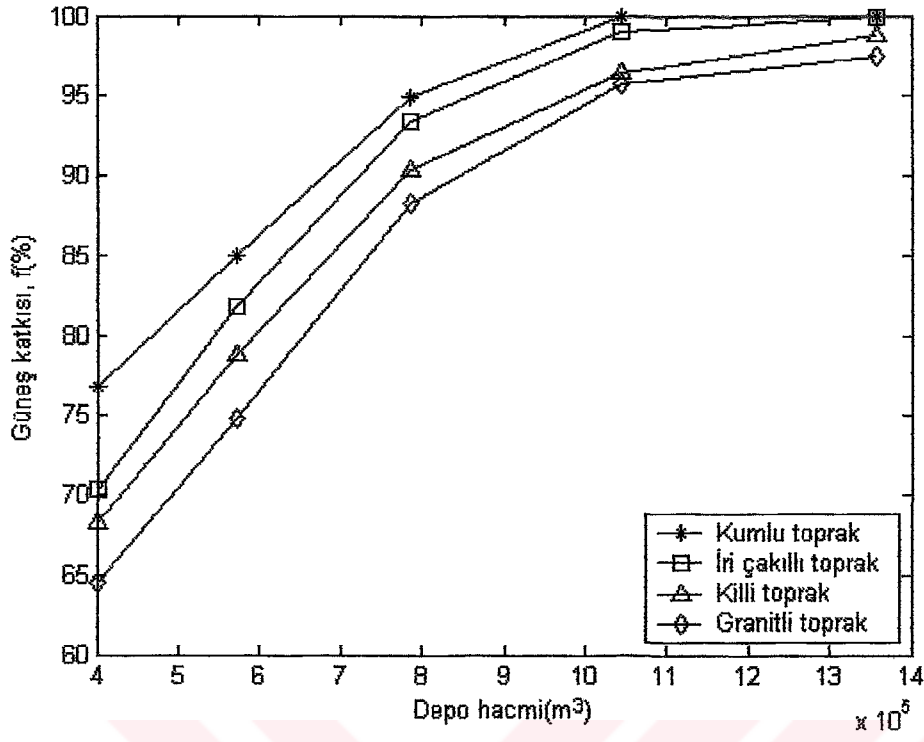
Şekil 4.91. Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının kolektör alanına bağlı olarak toprak türüne göre değişimi (A=180 m, B=72 m, C=180 m, 500 konut).



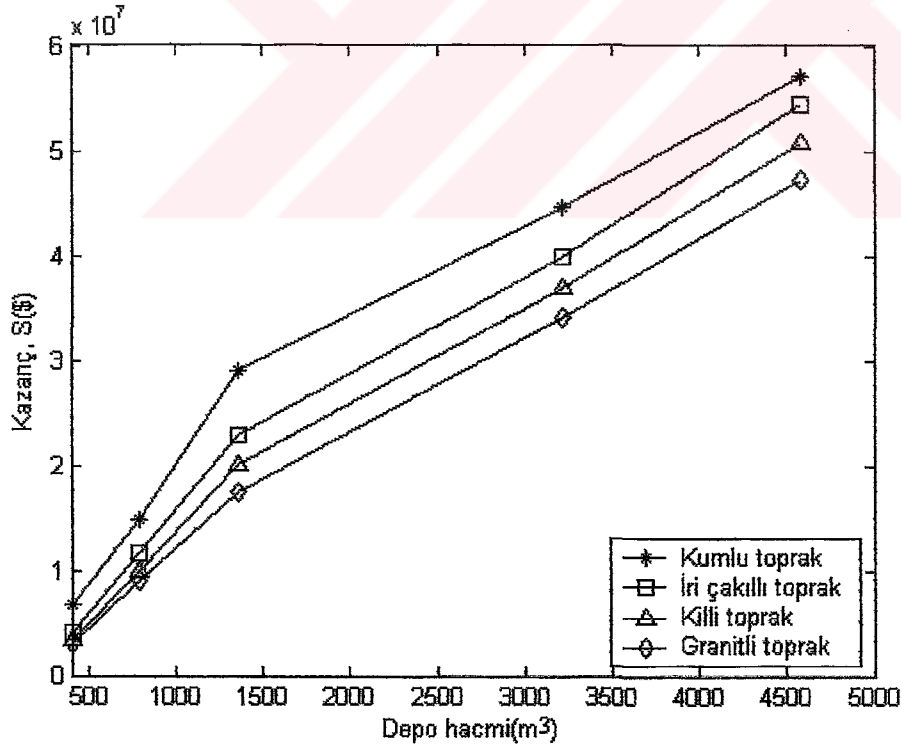
Şekil 4.92. Trapez depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut).



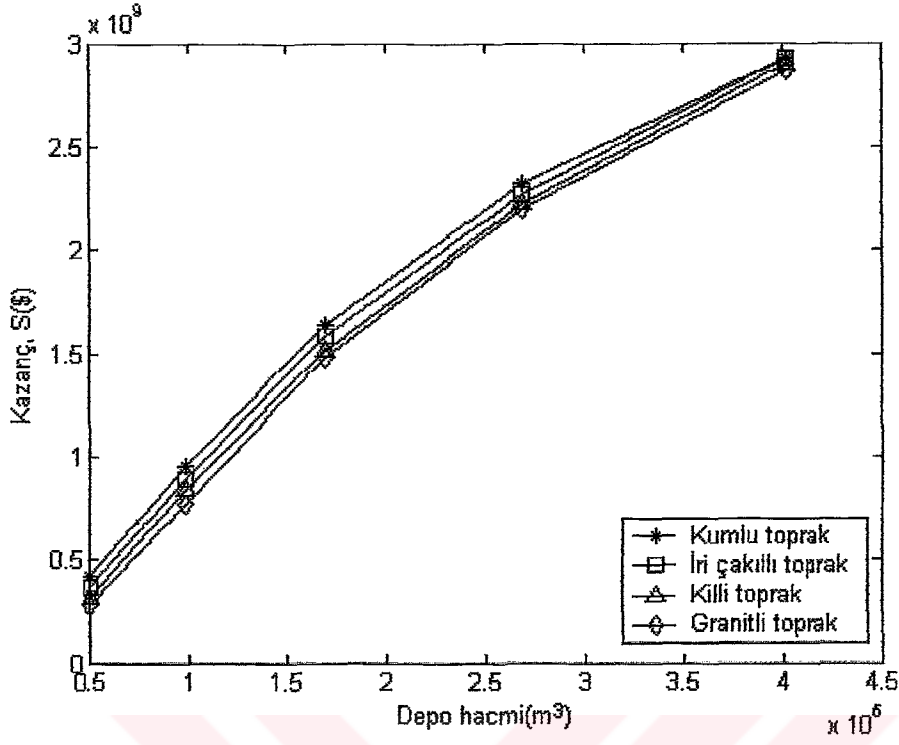
Şekil 4.93. Trapez depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).



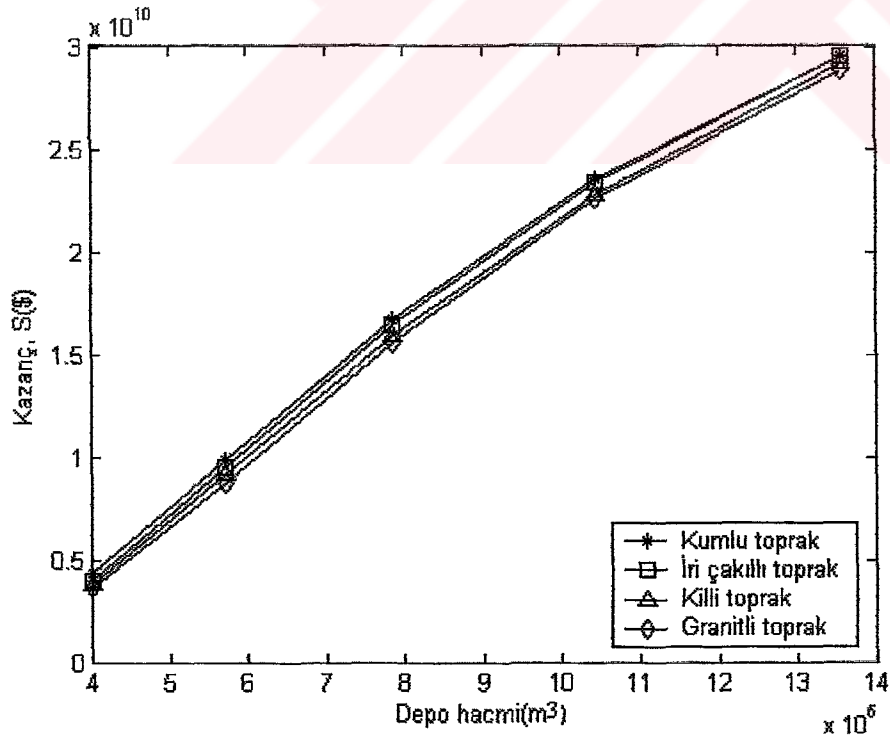
Şekil 4.94. Trapez depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut).



Şekil 4.95. Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut).



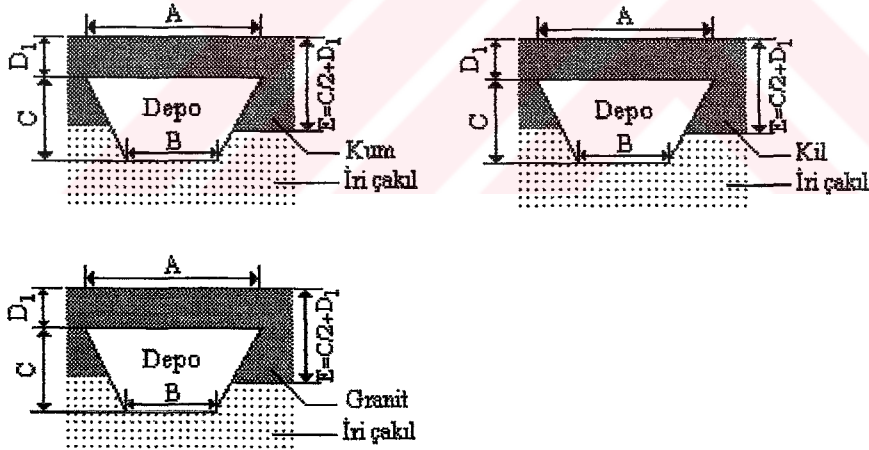
Şekil 4.96. Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).



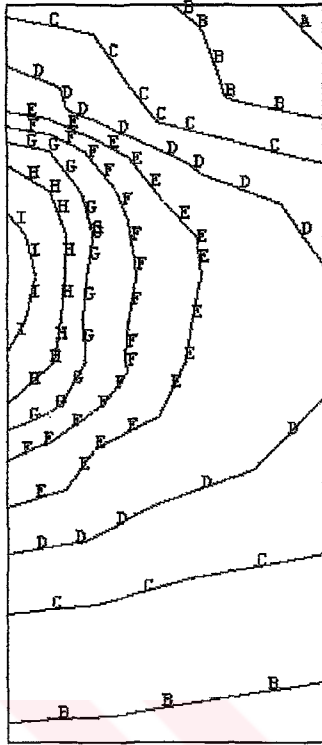
Şekil 4.97. Trapez depolu bir sistemin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut).

4.3.7.4. Trapez Depolu Sistemlerde Deponun Gömüldüğü Toprağın Kompozisyonunun Isıl Sistem Performansına Etkisinin Araştırılması

Şekil 4.98 'de bitişiğinde farklı kompozit yapı içerisine gömülmüş olan trapez deponun şeması ve geometrik özellikleri gösterilmektedir. Deponun etrafında kumlu, killi ve granitli kompozit yapı ile kompozit yapı olmaması (iri çakıllı) halinde yıllık sıcaklık kontür eğrileri Şekil 4.99, 4.100 ve 4.101 'de verilmektedir. Trapez deponun farklı kompozit yapı içerisine gömülü olması durumunda güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi 1, 50 ve 500 konutlu sistemler için Şekil 4.102, 4.103 ve 4.104 'de gösterilmektedir. %70 yıllık güneş katkısına ulaşmak için, 1 konutlu bir sistemde gerekli kollektör alanı, deponun bitişiğinde kumlu kompozit yapı olan sistemde, killi kompozit yapıya göre %26 ve granitli kompozit yapıya göre ise %33 daha küçük olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.105, 4.106 ve 4.107 'de deponun bitişiğinde farklı kompozit yapı olan sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu sistemler için sistemin yıllık kazancının kollektör alanına bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. Sistemin kazancı kollektör ve konut sayısı arttıkça artmaktadır. Konut sayısı arttıkça, toprak türünün etkisi azaldığından, sistemlerin kazançları birbirlerine yakın olarak tespit edilmiştir.

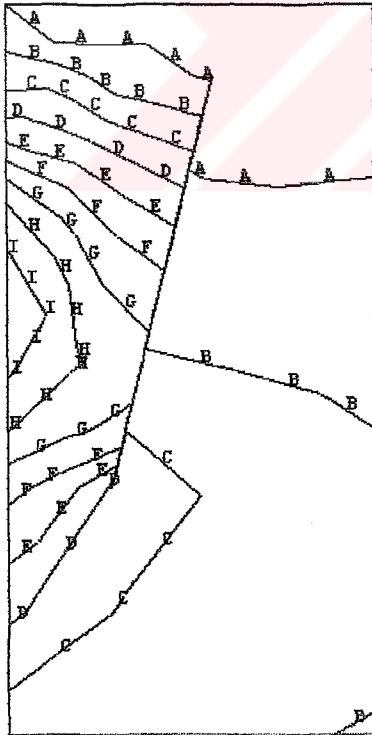


Şekil 4.98. Etrafindaki yapı farklı kompozit yapıda olan trapez deponun prensip şeması ($D_1=10$ m).



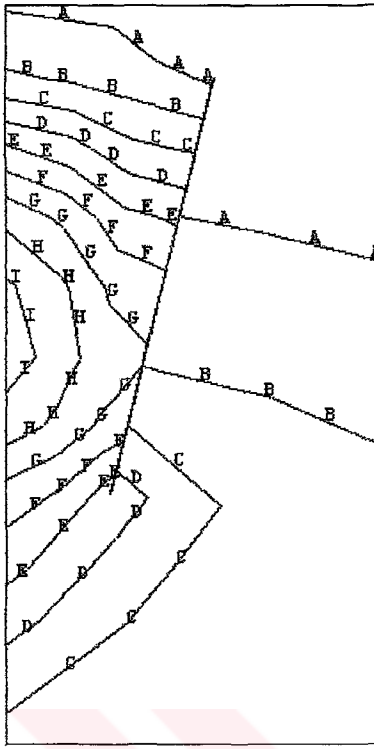
ANSYS 5.4
 JAN 0 0
 00:00:00
 AVG ELEMENT SOLUTION
 SMN =8.729
 SMX =75.895
 A =12.293
 B =19.423
 C =26.552
 D =33.682
 E =40.812
 F =47.941
 G =55.071
 H =62.2
 I =72.33

Şekil 4.99. Trapez deponun kumlu kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (A=28 m, B=14 m, C=28 m, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).



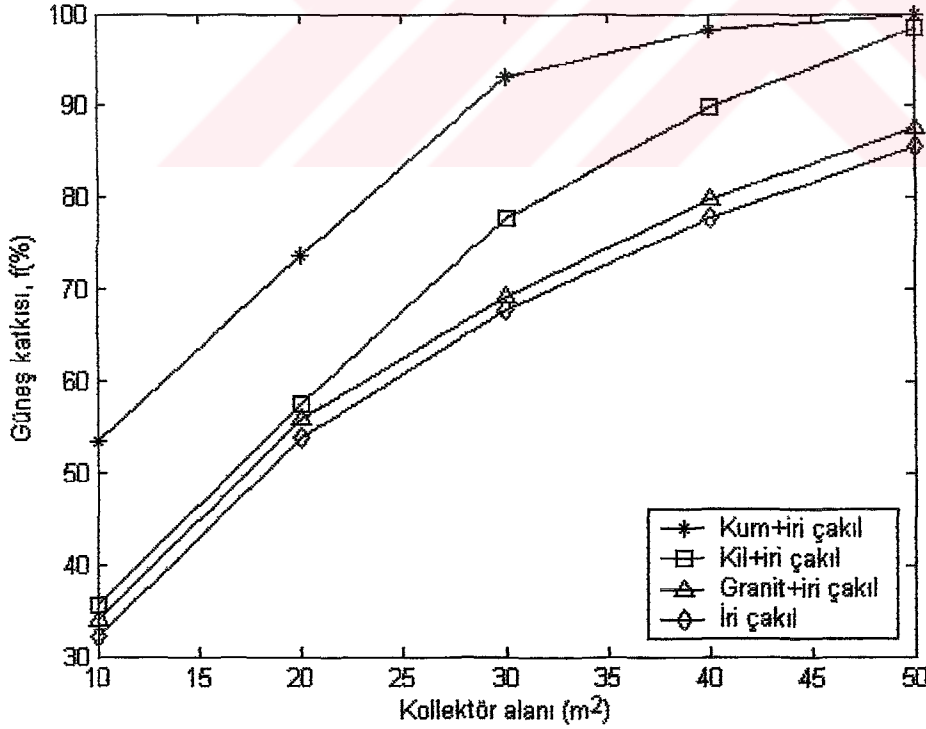
ANSYS 5.4
 JAN 0 0
 00:00:00
 AVG ELEMENT SOLUTION
 SMN =2.01
 SMX =59.132
 A =5.184
 B =11.53
 C =17.877
 D =24.224
 E =30.571
 F =36.918
 G =43.265
 H =49.612
 I =55.959

Şekil 4.100. Trapez deponun killi kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (A=28 m, B=14 m, C=28 m, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).

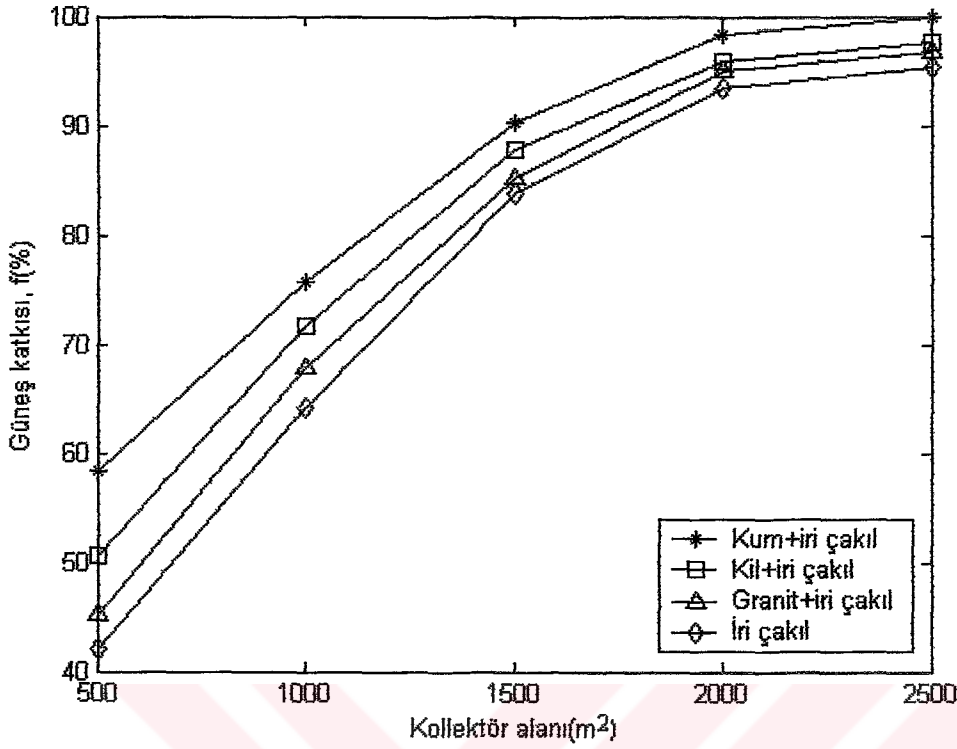


ANSYS 5.4
 JAN 0 0
 00:00:00
 AVG ELEMENT SOLUTION
 SMN =1.006
 SMX =56.883
 A =4.11
 B =10.319
 C =16.527
 D =22.736
 E =28.944
 F =35.153
 G =41.361
 H =47.57
 I =53.778

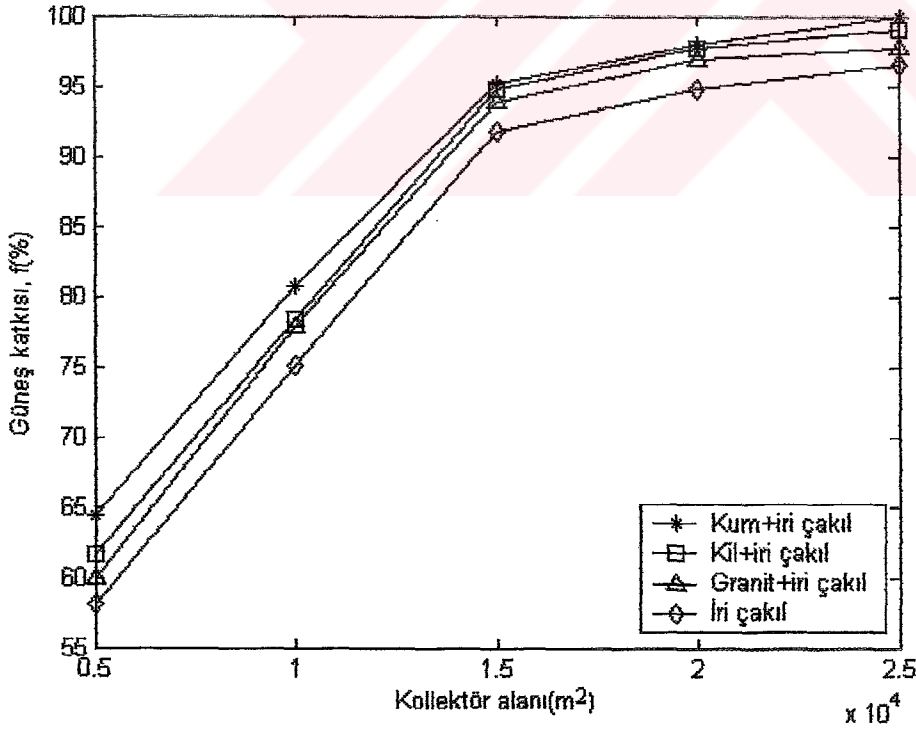
Şekil 4.101. Trapez deponun granitli kompozit yapı içerisinde olması durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (A=28 m, B=14 m, C=28 m, $A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).



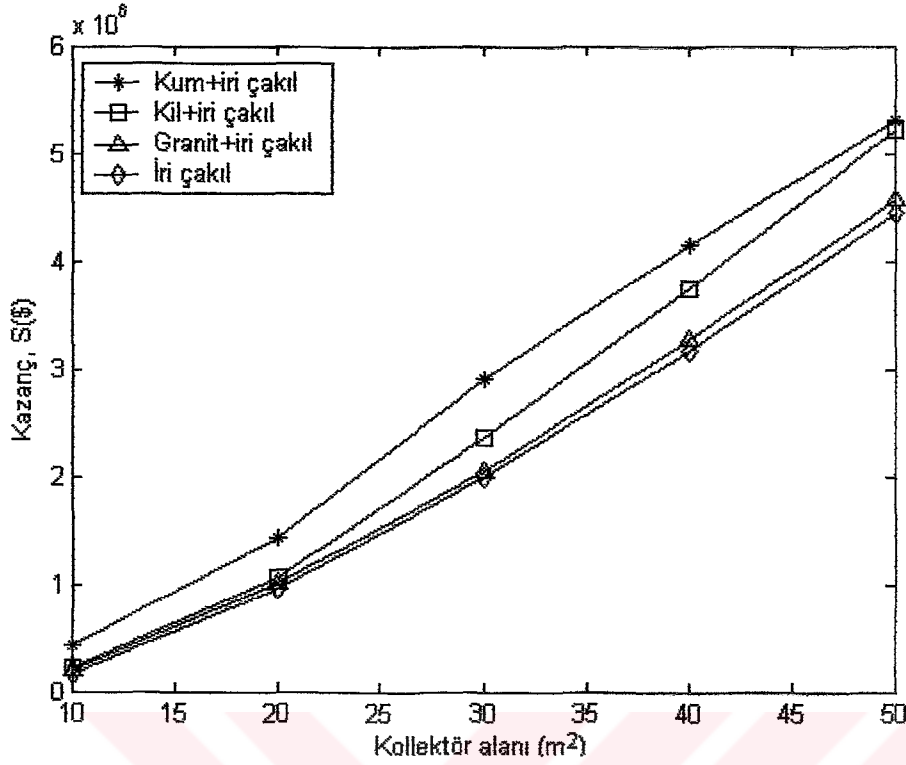
Şekil 4.102. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş kazısının kollektör alanı ile değişimi (A=28 m, B=14 m, C=28 m, 1 konut).



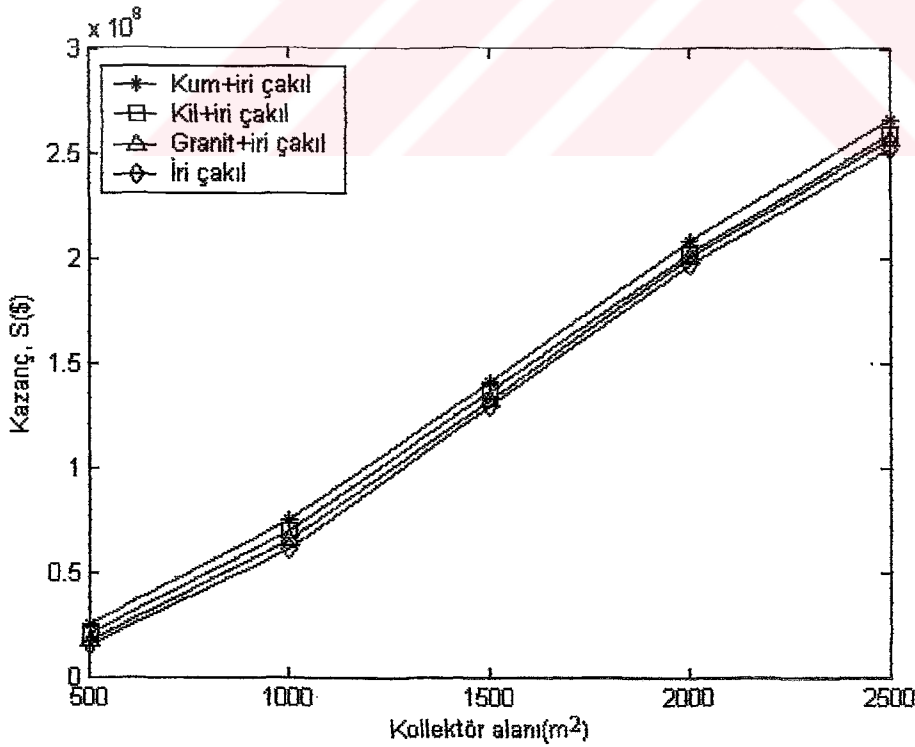
Şekil 4.103. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi (A=72 m, B=36 m, C=72 m, 50 konut).



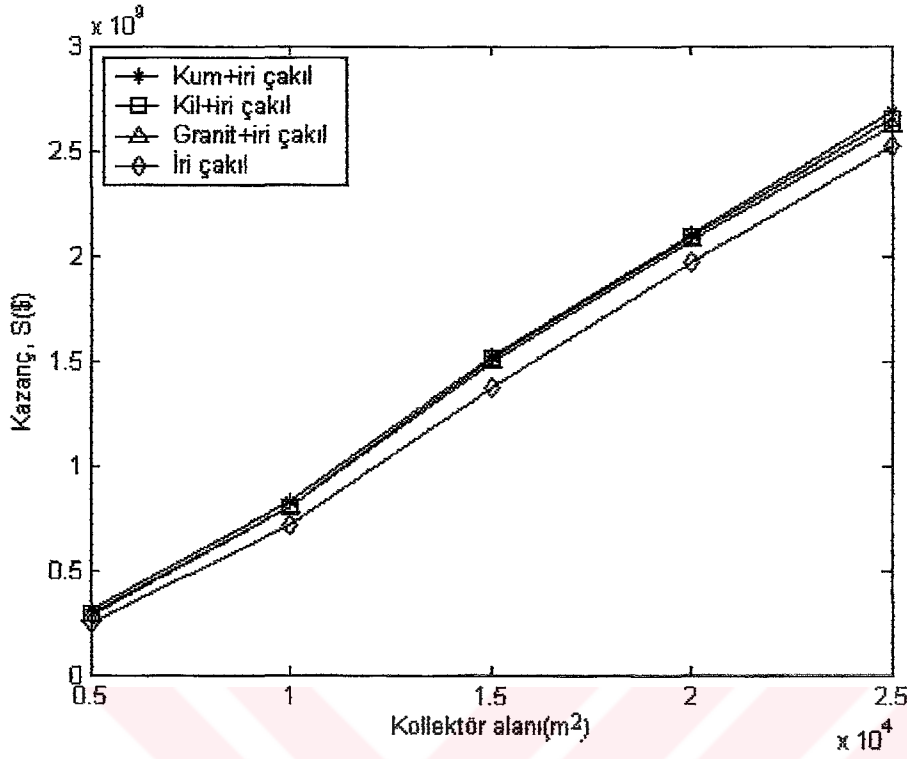
Şekil 4.104. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi (A=180 m, B=90 m, C=180 m, 500 konut).



Şekil 4.105. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda sistemin kazancının kollektör alanı ile değişimi (A=14 m, B=28 m, C=28 m, 1 konut).

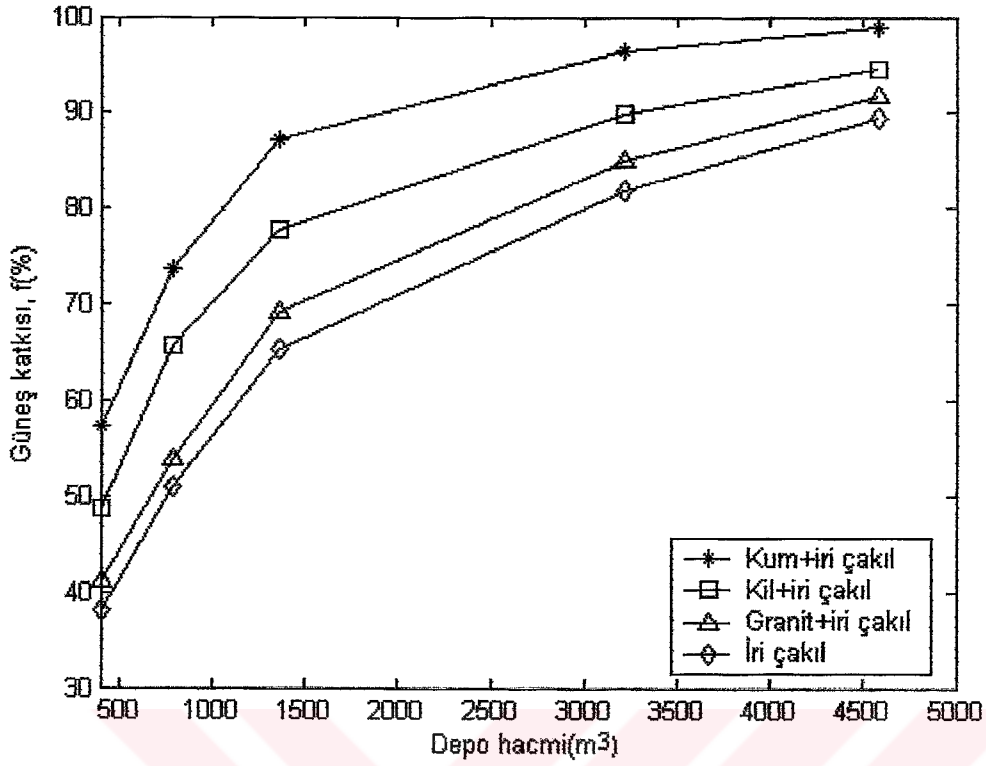


Şekil 4.106. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda sistemin kazancının kollektör alanı ile değişimi (A=72 m, B=36 m, C=72 m, 50 konut).

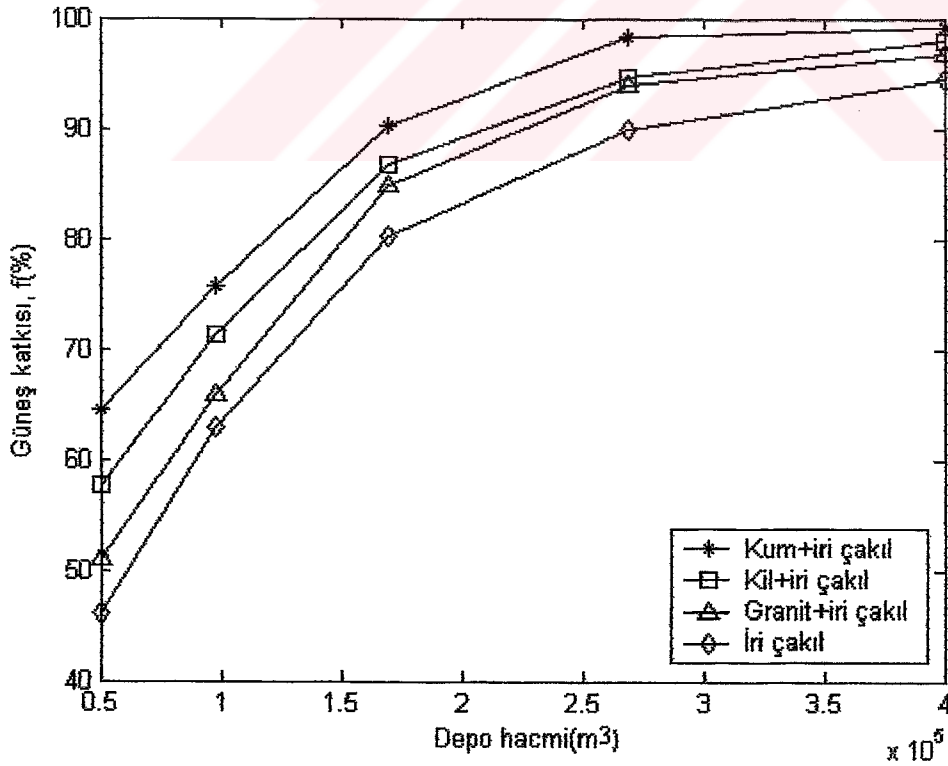


Şekil 4.107. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda sistemin kazancının kollektör alanı ile değişimi (A=180 m, B=90 m, C=180 m 500 konut).

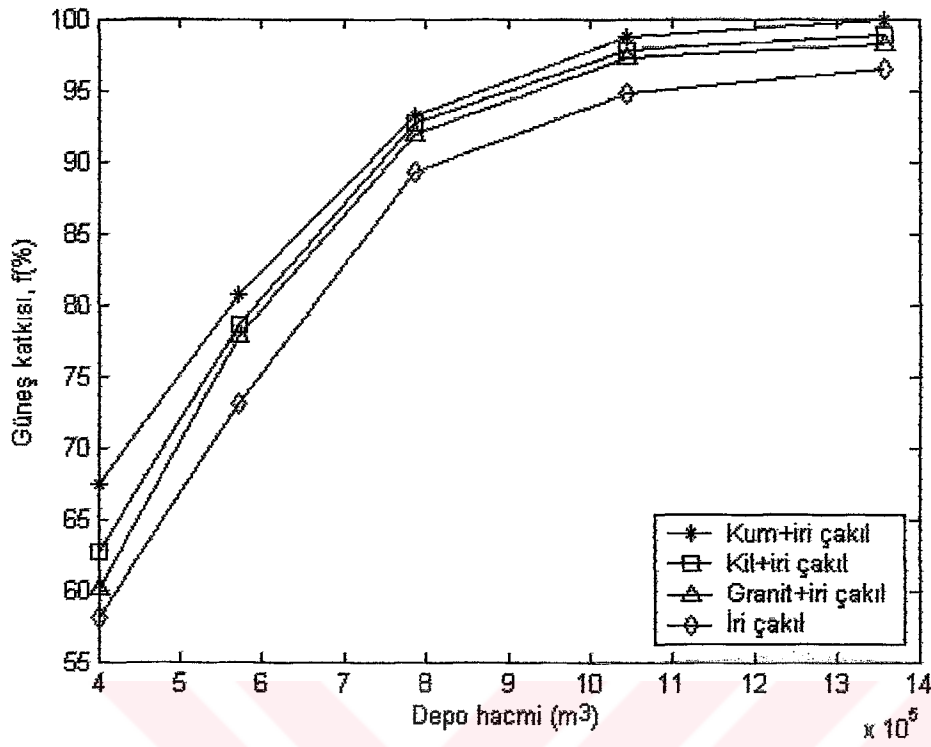
Şekil 4.108, 4.109 ve 4.110 'da sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu ve trapez deponun bitişğinde farklı kompozit yapı olması ve kompozit yapı olmaması durumunda sistemin yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. Sistemin yıllık güneş katkısı, depo hacminin artmasıyla birlikte artmaktadır. Bir konutlu bir sistemde, %70 yıllık güneş katkısına ulaşmak için gerekli depo hacmi, deposunun bitişğinde kumlu kompozit yapı olan sistemde, killi kompozit yapı olan sistemdekinden %35 ve granitli kompozit yapı olan sistemden ise %57 daha küçük olarak bulunmuştur. Trapez depolu bir konut ısıtma sisteminin yıllık kazancının depo hacmine bağlı olarak değişimi 1, 50 ve 500 konut için sırasıyla Şekil 4.111, 4.112 ve 4.113 'de gösterilmektedir. Sistemin yıllık kazancı, depo hacmi ve konut sayısının artmasıyla birlikte artarken, toprak türünün etkisi de azalmaktadır.



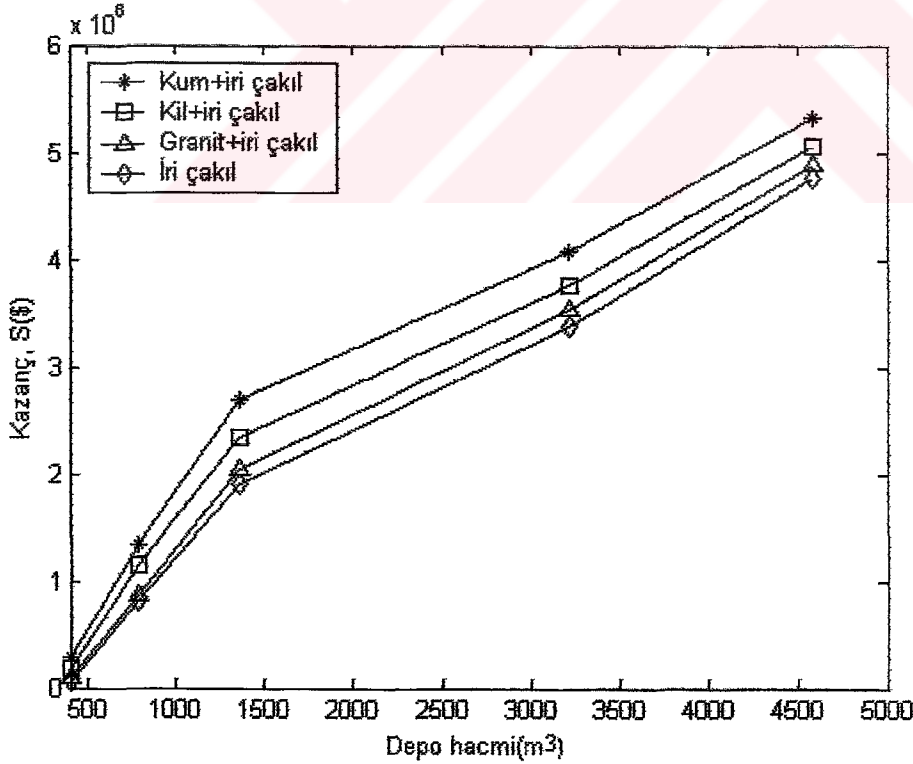
Şekil 4.108. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2$, 1 konut).



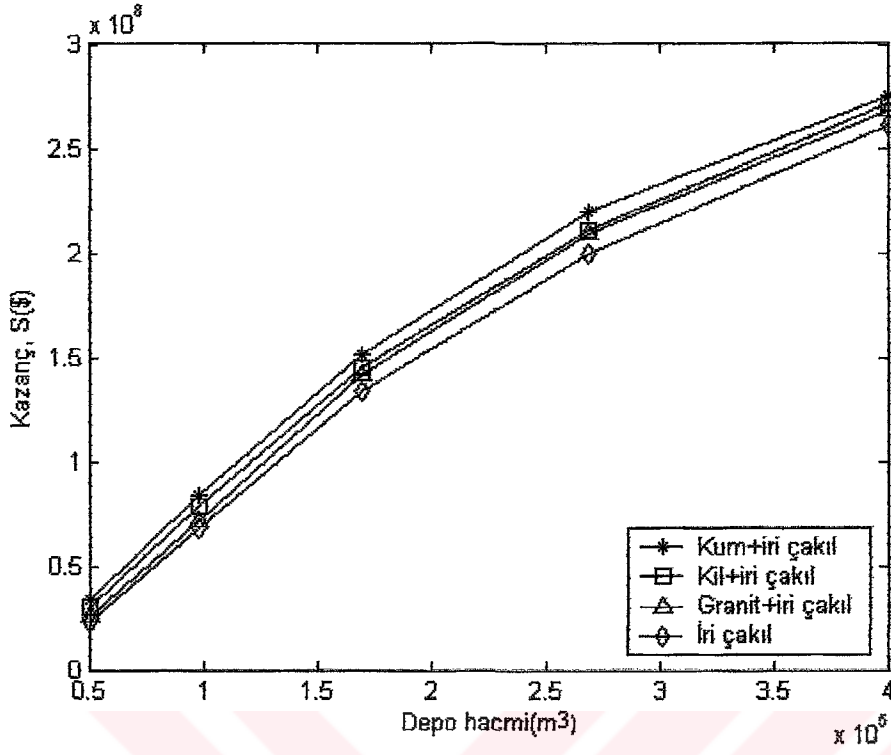
Şekil 4.109. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).



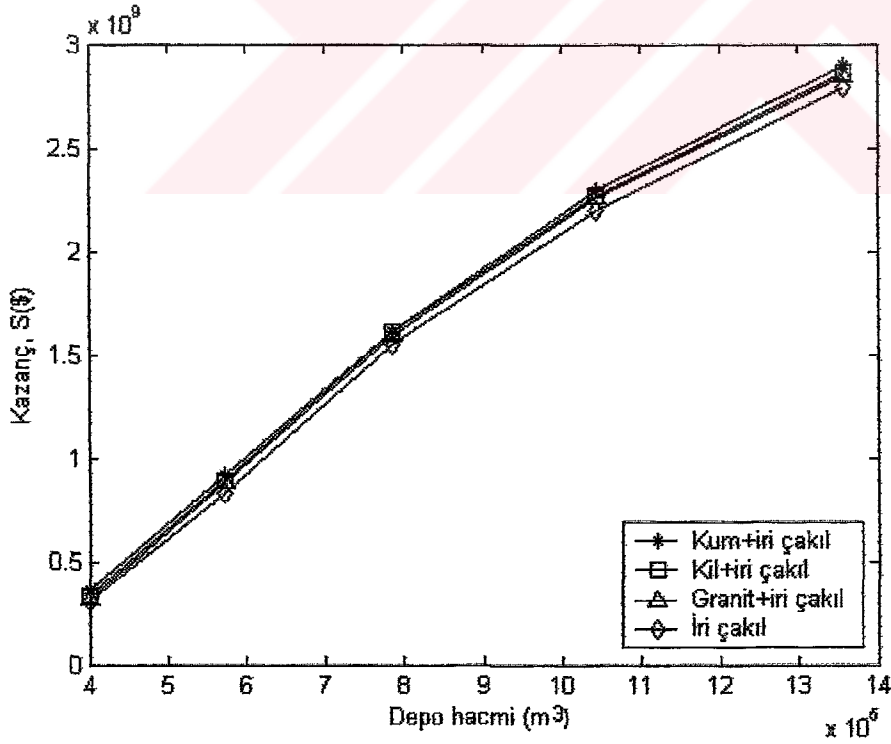
Şekil 4.110. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda güneş katkısının depo hacmi ile değişimi ($A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut).



Şekil 4.111. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda sistemin kazancının depo hacmi ile değişimi ($A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut).



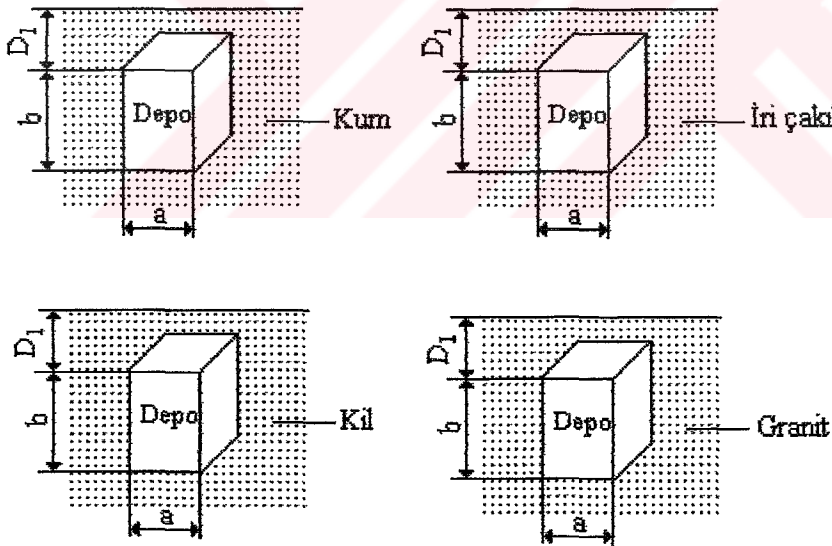
Şekil 4.112. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda sistemin kazancının depo hacmi ile değişimi ($A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).



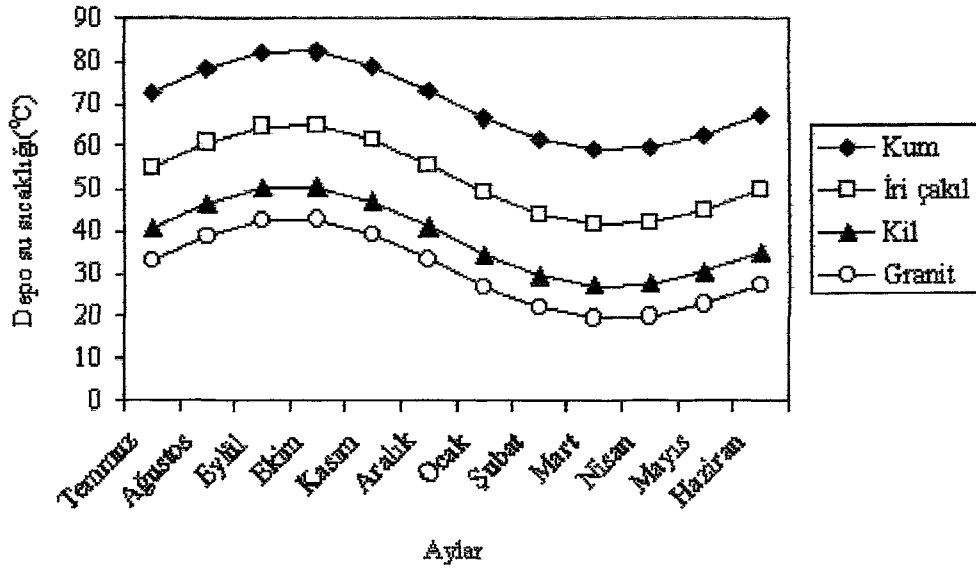
Şekil 4.113. Trapez deponun farklı kompozit yapı ve kompozit olmayan (iri çakıllı) yapı içerisinde olması durumunda sistemin kazancının depo hacmi ile değişimi ($A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut).

4.3.7.5. Prizmatik Deponun Farklı Türdeki Toprak İçerisine Gömülmesi Durumunda Sonlu Eleman Analizi Sonuçları

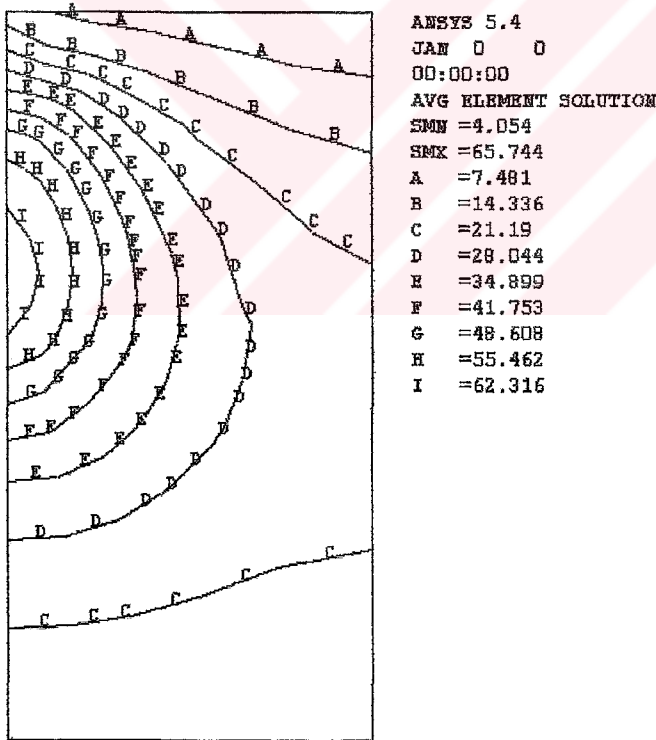
Farklı türdeki toprak içerisine gömülü olan prizmatik deponun prensip şeması Şekil 4.114'de verilmektedir. Şekil 4.115 'de farklı toprak türleri için silindirik depodaki su sıcaklığının yıllık değişimi gösterilmektedir. En yüksek depo su sıcaklığı Ekim ayında ve kumlu toprakta meydana gelirken, en düşük su sıcaklığı granitli toprakta meydana gelmektedir. Şekil 4.116, 4.117, 4.118 ve 4.119 'de sırasıyla kumlu, iri çakıllı, killi ve granitli toprak için yıllık ortalama sıcaklık konturları verilmektedir. Şekil 4.120, 4.121 ve 4.122 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu sistemler için yıllık güneş katkısının kollektör alanına bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. %70 yıllık güneş katkısına ulaşmak için, bir konutlu ve deposu kumlu toprakta olan ısıtım sistemi gerekli kollektör alanı, iri çakıllı topraktaki sistemden %27, killi topraktaki sistemden %35 ve granitli topraktaki sistemden ise %40 daha küçük olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.123, 4.124 ve 4.125 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu sistemlerin yıllık kazançlarının kollektör alanına bağlı olarak değişimi verilmektedir. Kollektör alanı ve konut sayısı arttıkça sistemden elde edilen kazanç artmaktadır.



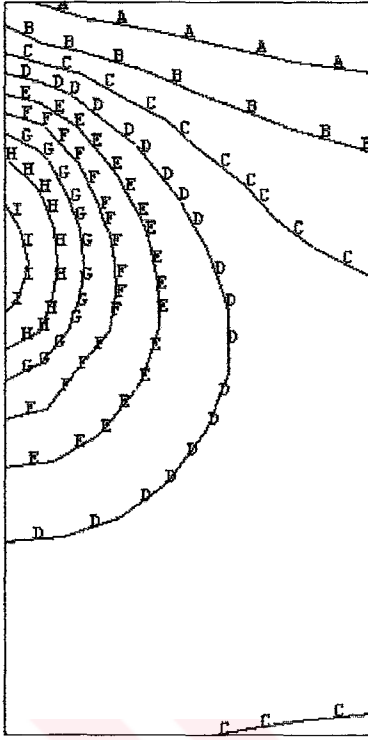
Şekil 4.114. Farklı türdeki toprak içerisine gömülü olan prizmatik deponun prensip şeması ($D_1=10$ m).



Şekil 4.115. Prizmatik deponun farklı toprak içerisine gömülü olması durumunda depo su sıcaklığının yıllık değişimi ($a=7.4$ m, $b=14.8$ m, 1 konut).



Şekil 4.116. Prizmatik deponun kumlu toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($a=7.4$ m, $b=14.8$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).

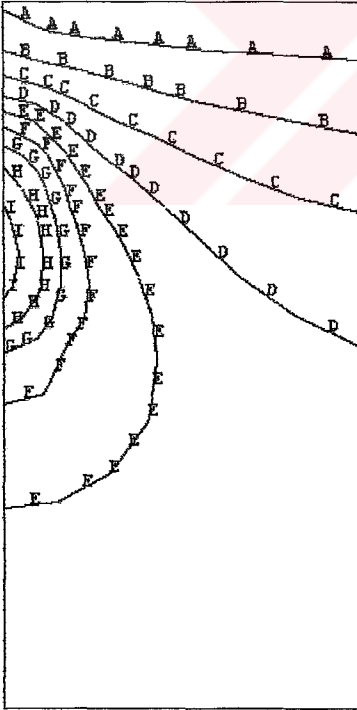


```

ANSYS 5.4
JAN 0 0
00:00:00
AVG ELEMENT SOLUTION
SMN =2.756
SMX =48.243
A =5.283
B =10.337
C =15.391
D =20.446
E =25.5
F =30.554
G =35.608
H =40.662
I =45.716

```

Şekil 4.117. Prizmatik deponun iri çakılı toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($a=7.4$ m, $b=14.8$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).

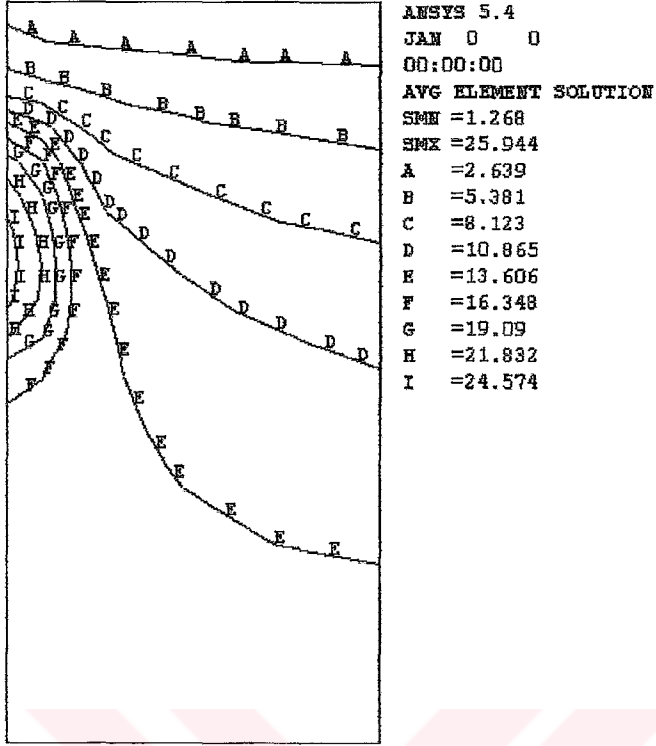


```

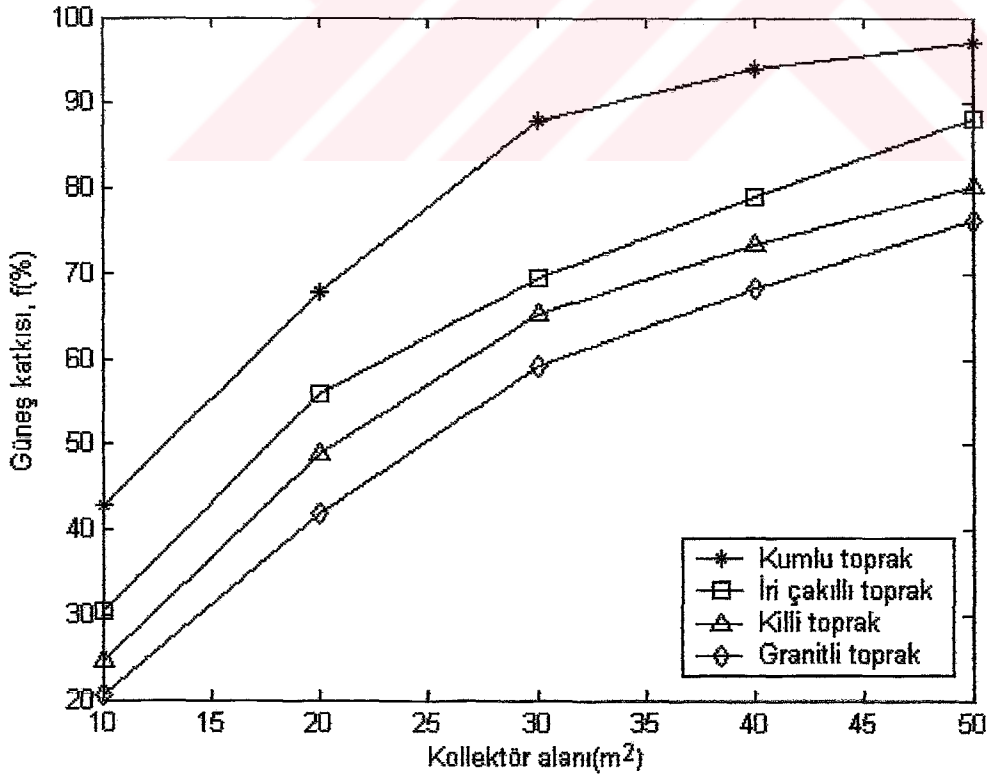
ANSYS 5.4
JAN 0 0
00:00:00
AVG ELEMENT SOLUTION
SMN =1.953
SMX =33.651
A =3.714
B =7.236
C =10.758
D =14.28
E =17.802
F =21.324
G =24.846
H =28.368
I =31.89

```

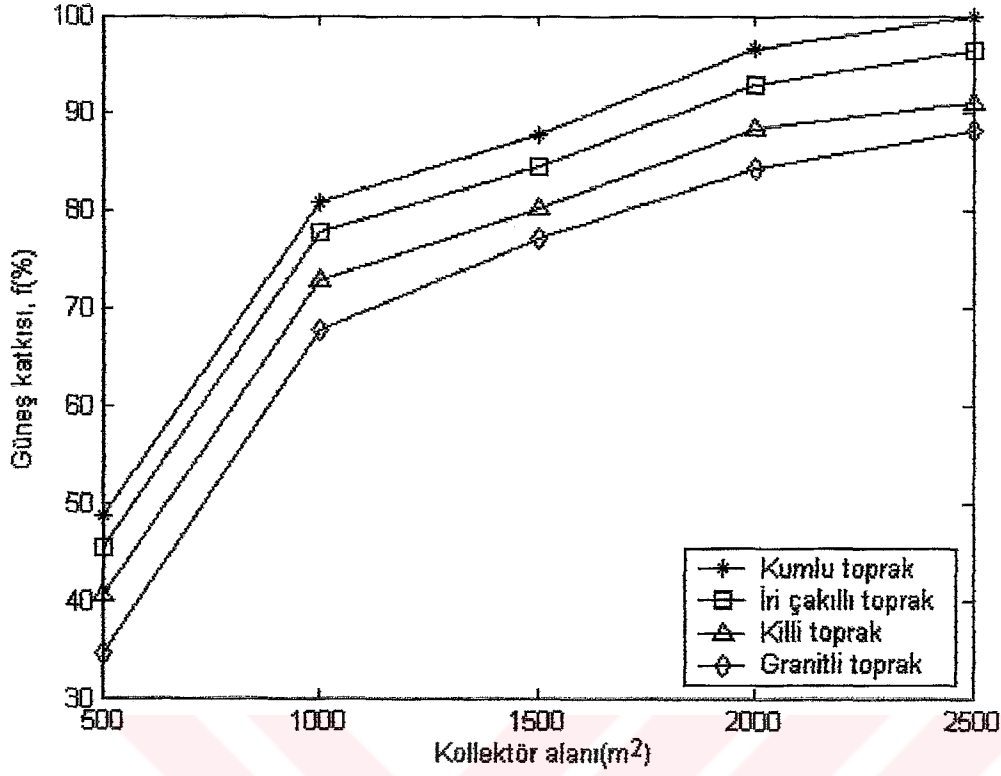
Şekil 4.118. Prizmatik deponun killi toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($a=7.4$ m, $b=14.8$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).



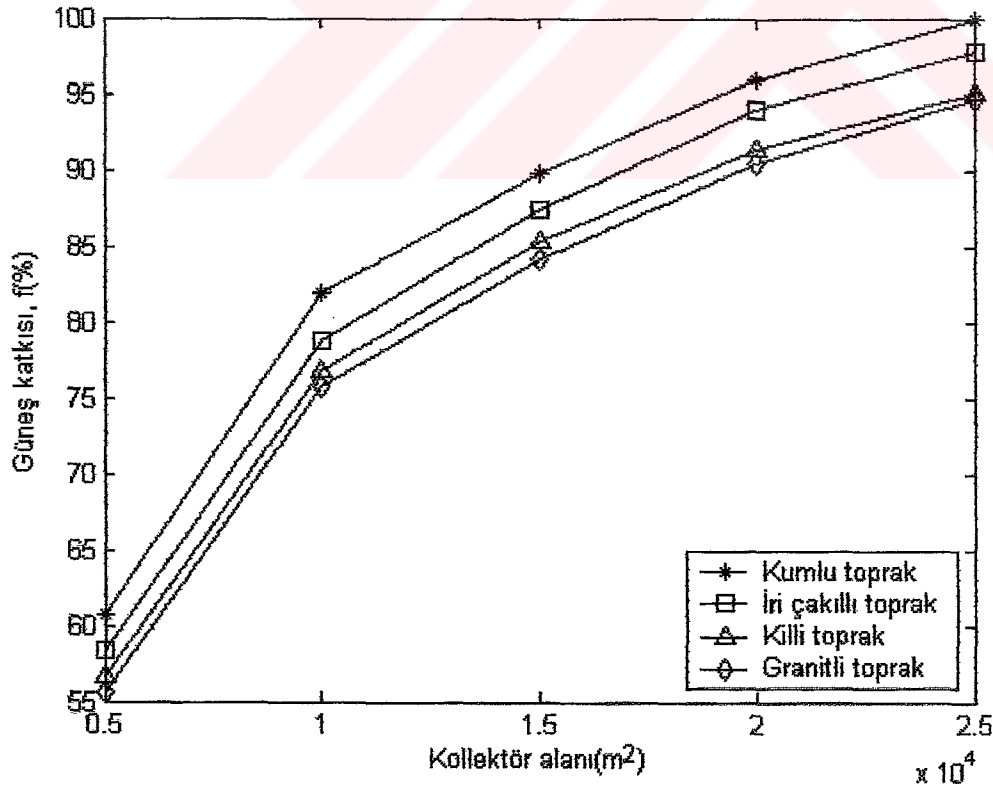
Şekil 4.119. Prizmatik deponun granitli toprak içerisine gömülmesi durumunda yıllık ortalama sıcaklık dağılımı ($a=7.4$ m, $b=14.8$ m, $A_k=30$ m², 1 konut).



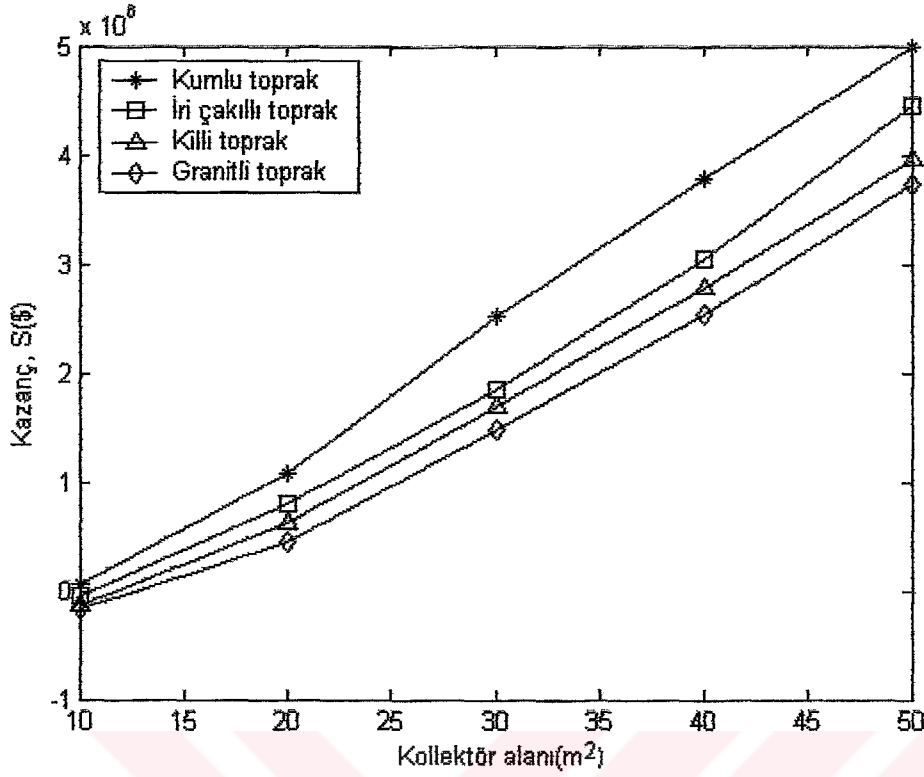
Şekil 4.120. Prizmatik depolu ısı sistemde farklı kollektör alanları için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi ($a=7.4$ m, $B=14.8$ m, 1 konut).



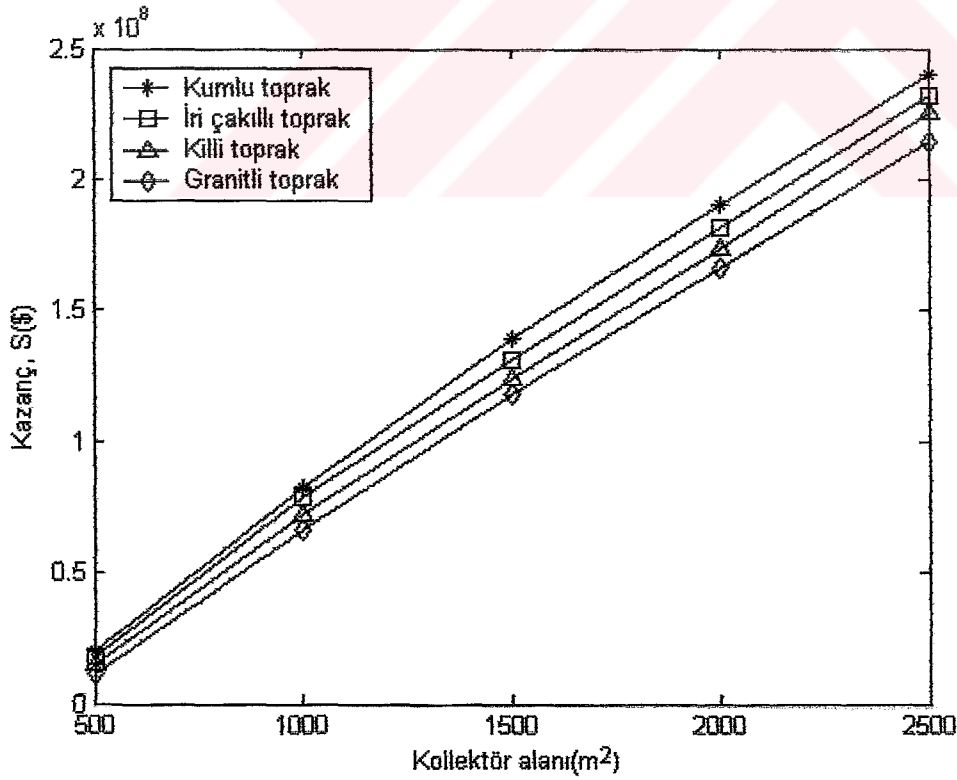
Şekil 4.121. Prizmatik depolu ısı sistemde farklı kollektör alanları için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi (a=44 m, B=88 m, 50 konut).



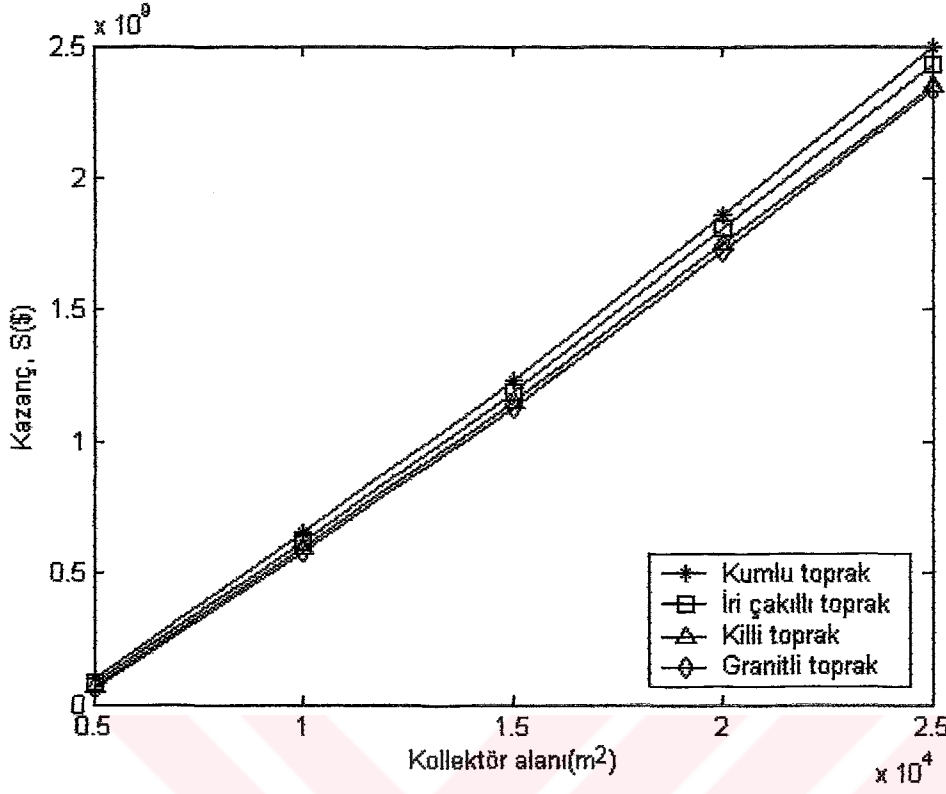
Şekil 4.122. Prizmatik depolu ısı sistemde farklı kollektör alanları için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi (a=85 m, B=170 m, 500 konut).



Şekil 4.123. Prizmatik depolu ısı sistemde farklı kollektör alanları için toprak türünün sistemin kazancına etkisi ($a=7.4$ m, $B=14.8$ m, 1 konut).

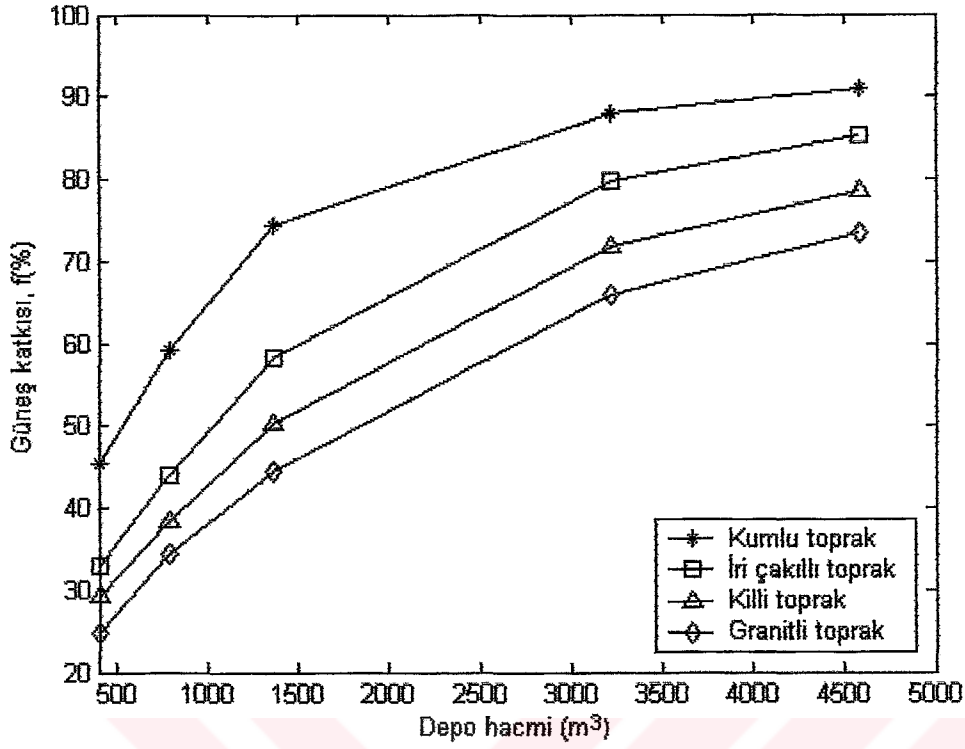


Şekil 4.124. Prizmatik depolu ısı sistemde farklı kollektör alanları için toprak türünün sistemin kazancına etkisi ($a=44$ m, $B=88$ m, 50 konut)

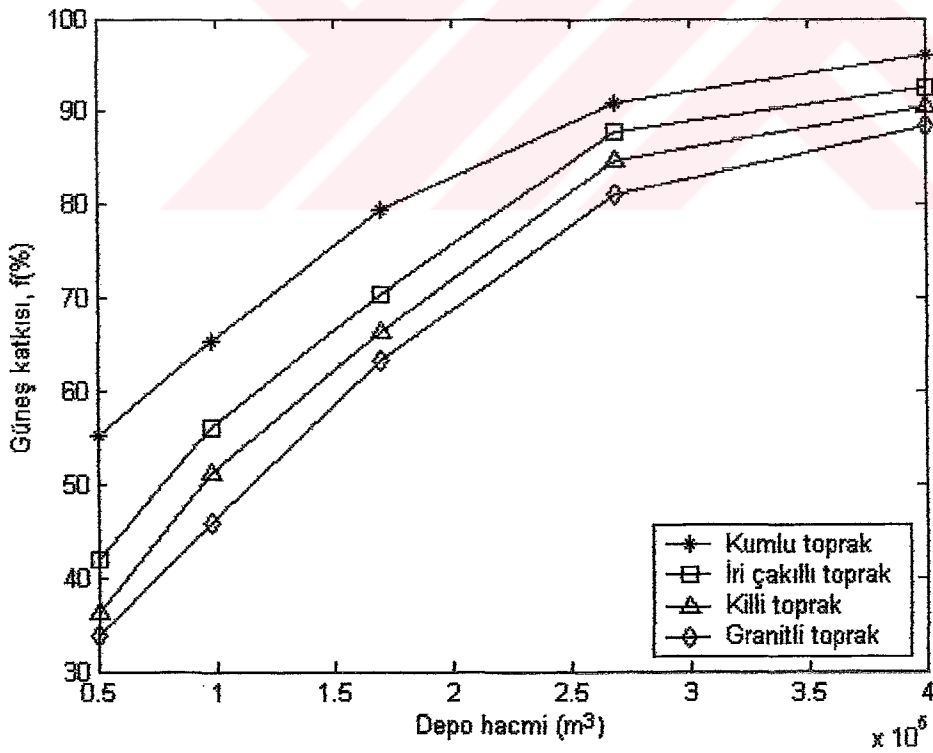


Şekil 4.125. Prizmatik depolu ısı sistemde farklı kollektör alanları için toprak türünün sistemin kazancına etkisi (a=85 m, B=170 m, 500konut).

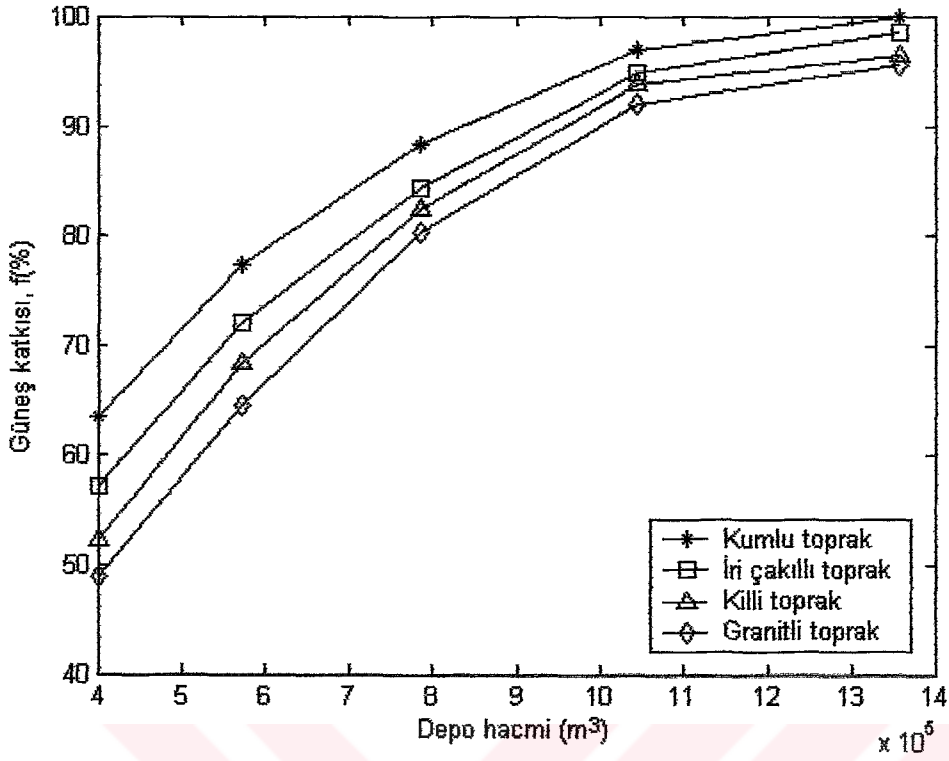
Şekil 4.126, 4.127 ve 4.128 'de prizmatik depolu bir sistemde yıllık güneş katkısının depo hacmine bağlı olarak toprak türüne göre değişimi gösterilmektedir. Yıllık güneş katkısı depo hacmi ile artmakta ve kumlu toprakta olan depoda en yüksek değere ulaşmaktadır. Şekil 4.129, 4.130 ve 4.131 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu sistemlerin yıllık ekonomik kazancının depo hacmine bağlı olarak toprak türü ile değişimi verilmektedir. En yüksek ekonomik kazanç, yıllık güneş katkısının yüksek olduğu kumlu toprakta elde edilmektedir.



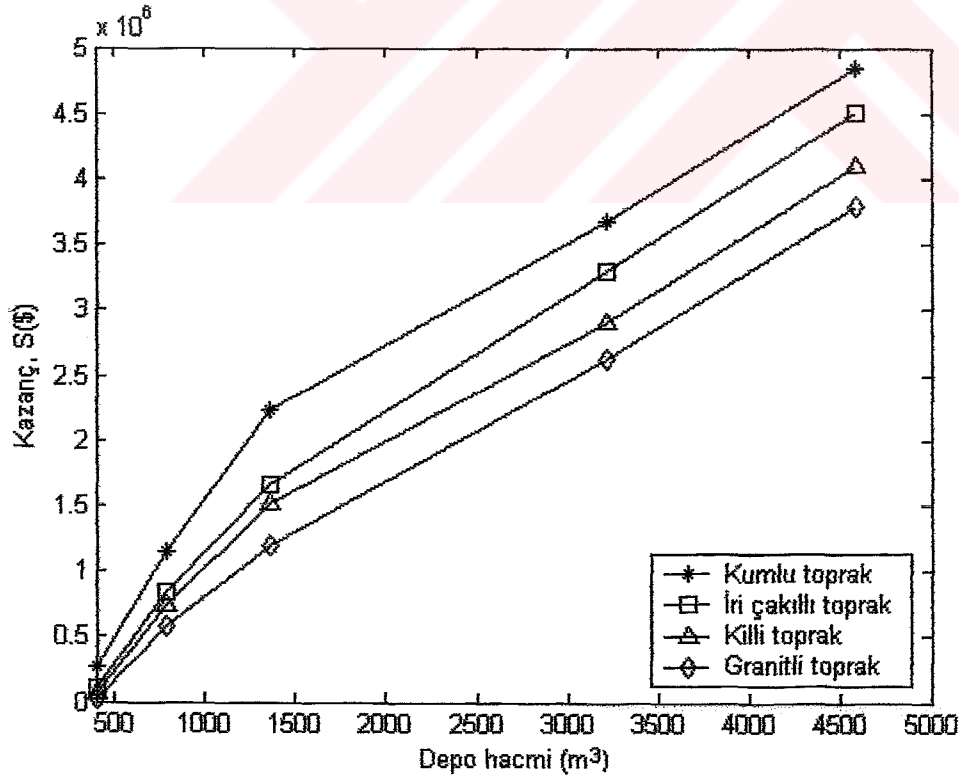
Şekil 4.126. Prizmatik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacimleri için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut).



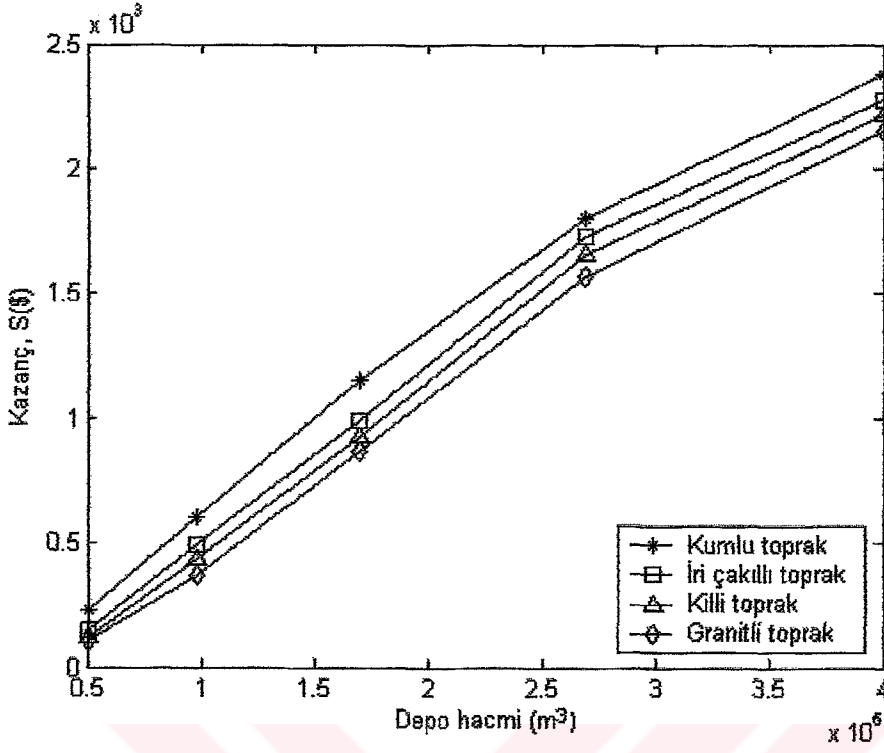
Şekil 4.127. Prizmatik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacimleri için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).



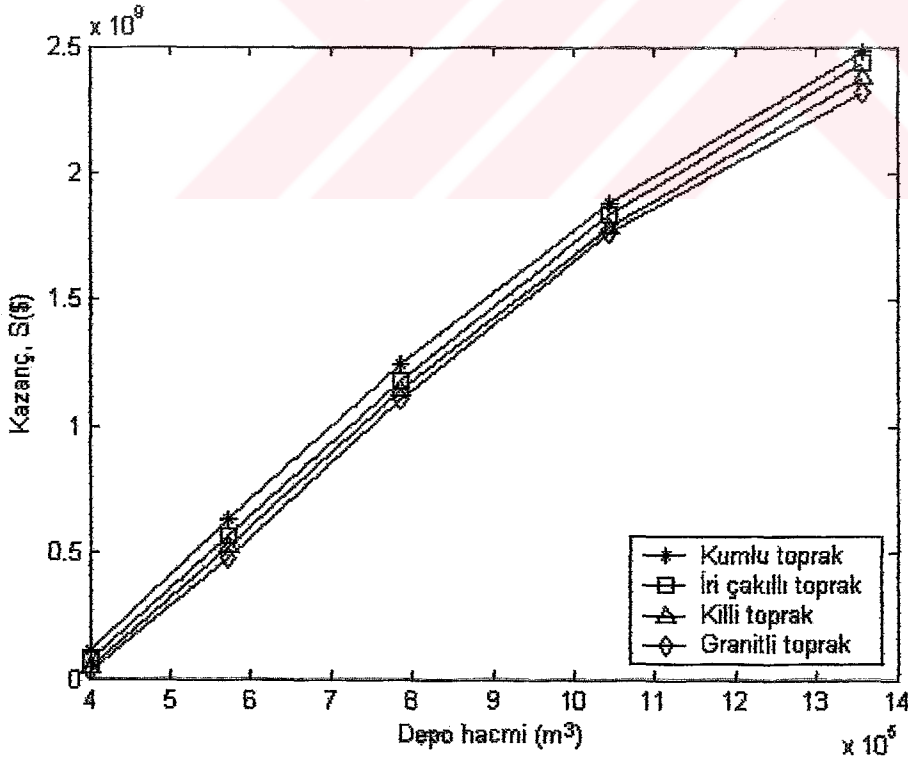
Şekil 4.128. Prizmatik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacimleri için toprak türünün yıllık güneş katkısına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut).



Şekil 4.129. Prizmatik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacimleri için toprak türünün sistemin yıllık kazancına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konut).



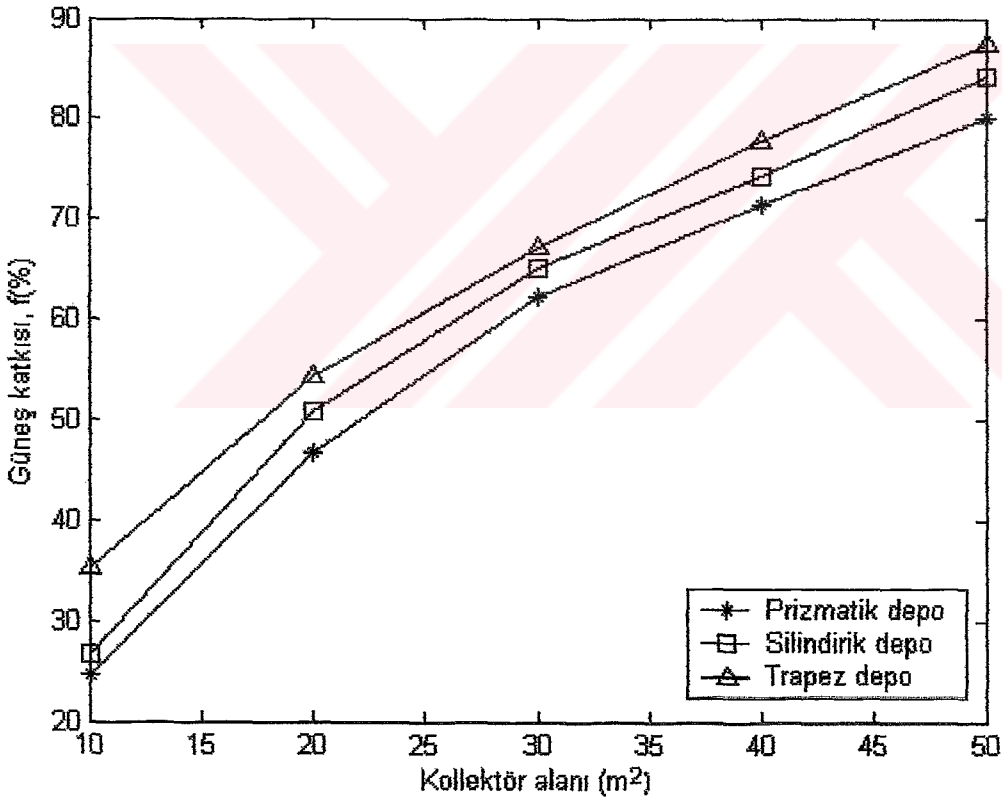
Şekil 4.130. Prizmatik depolu ısı sistemde farklı depo hacimleri için toprak türünün sistemin yıllık kazancına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konut).



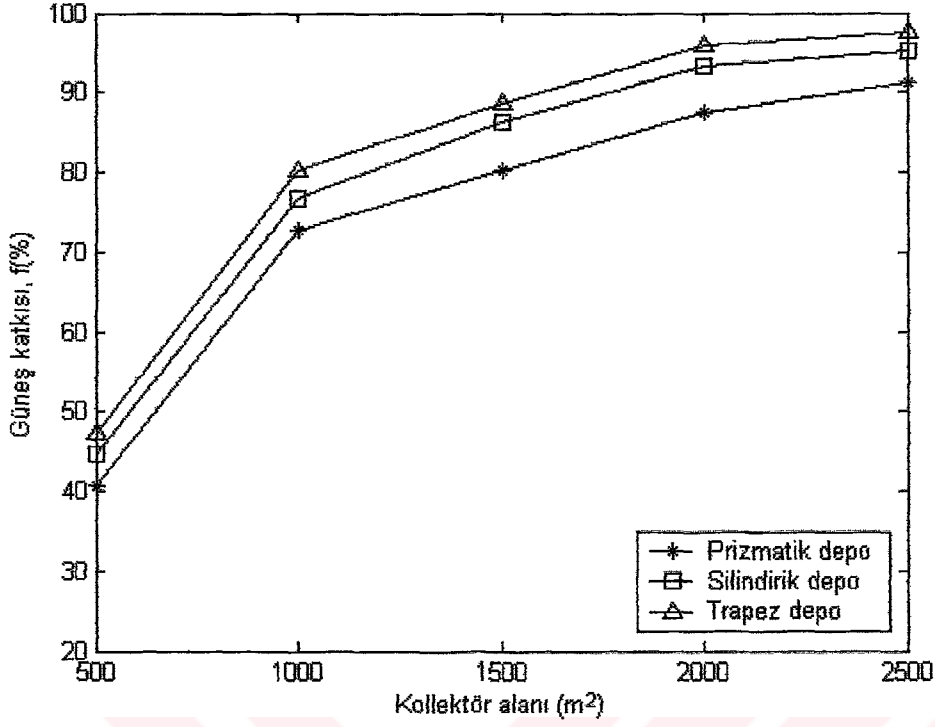
Şekil 4.131. Prizmatik depolu ısı sistemde farklı depo hacimleri için toprak türünün sistemin yıllık kazancına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konut).

4.3.7.6. Trapez, Silindirik ve Prizmatik Depolu Sistemlerin Sonlu Eleman Analizi Sonuçlarının Mukayesesi

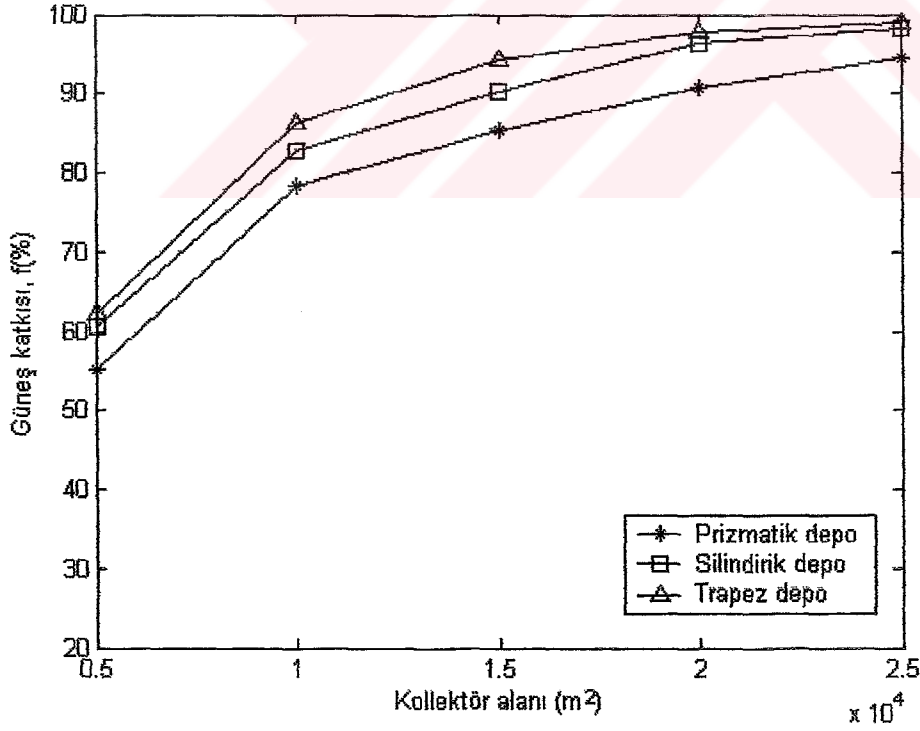
Şekil 4.132, 4.133 ve 4.134 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin sonlu eleman analizi sonuçlarının mukayesesi verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere, trapez depolu sistemin yıllık güneş katkısı silindirik ve prizmatik depolu sistemdekinden daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Örneğin, 1 konutlu ve depo hacimleri aynı olan sistemde %70 güneş katkısına ulaşmak için, trapez depolu sistemde kullanılan kollektör alanı, silindirik depolu sistemdekinden %6, prizmatik depolu sistemden ise %12 daha küçük olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.135, 4.136 ve 4.137 'de ise trapez, silindirik ve prizmatik depolu 1, 50 ve 500 konutlu sistemlerin yıllık kazançları verilmektedir. Trapez depolu sistemde, aynı güneş katkısına ulaşmak için daha az kollektör alanı kullanıldığından, bu tür sistemlerin yıllık kazancı diğer depo türlerine göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir.



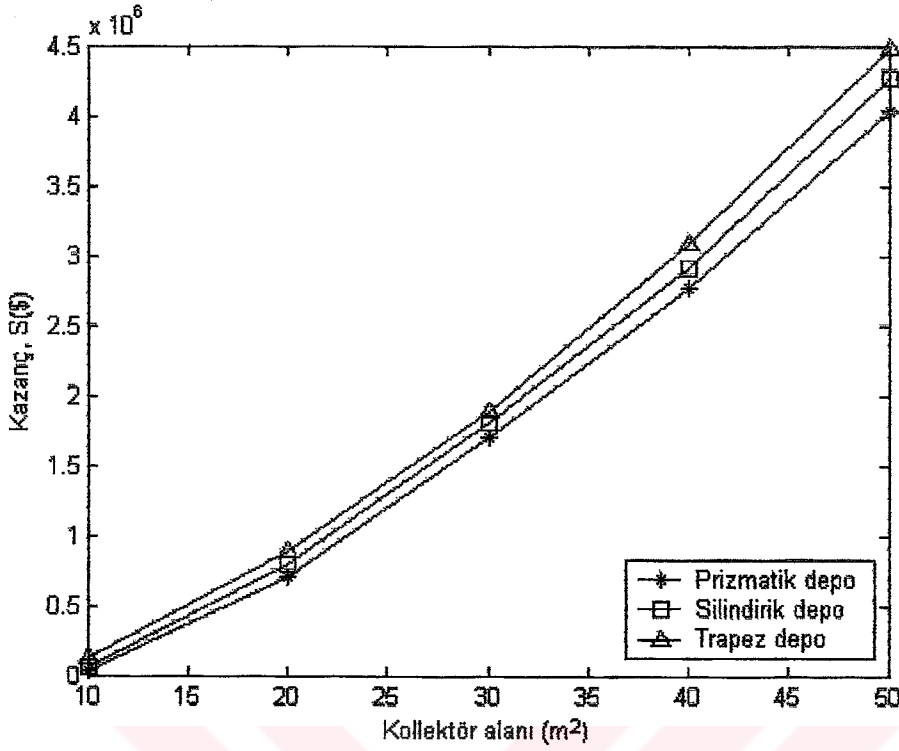
Şekil 4.132. Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin kollektör alanına bağlı olarak yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $V=3215 \text{ m}^3$, 1 konutlu)



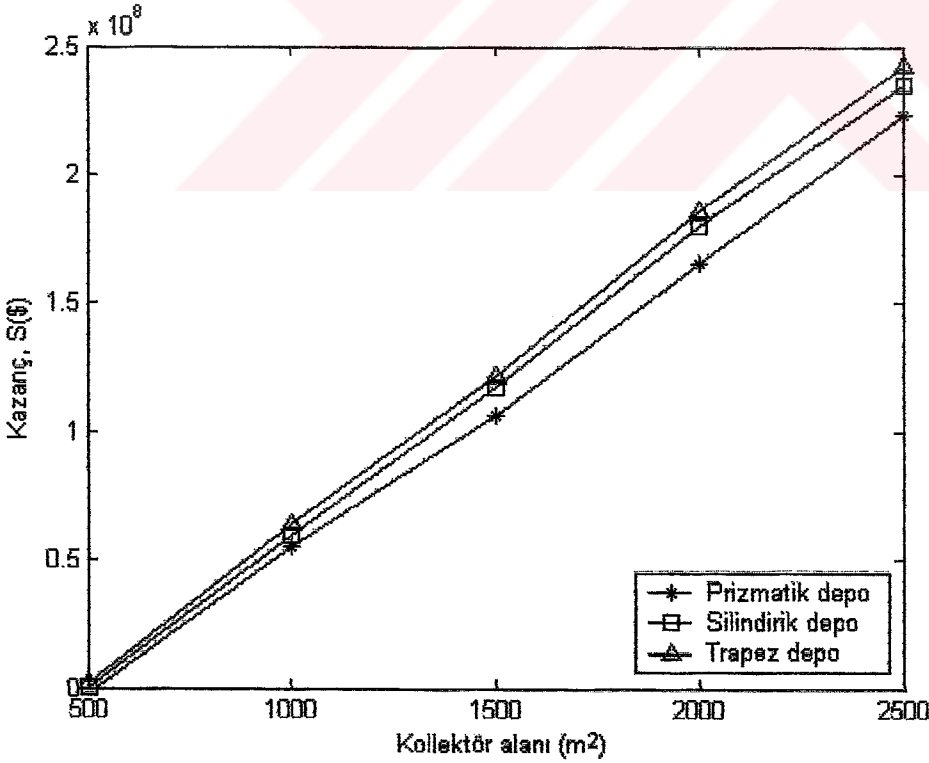
Şekil 4.133. Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin kollektör alanına bağlı olarak yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $V=169560 \text{ m}^3$, 50 konut)



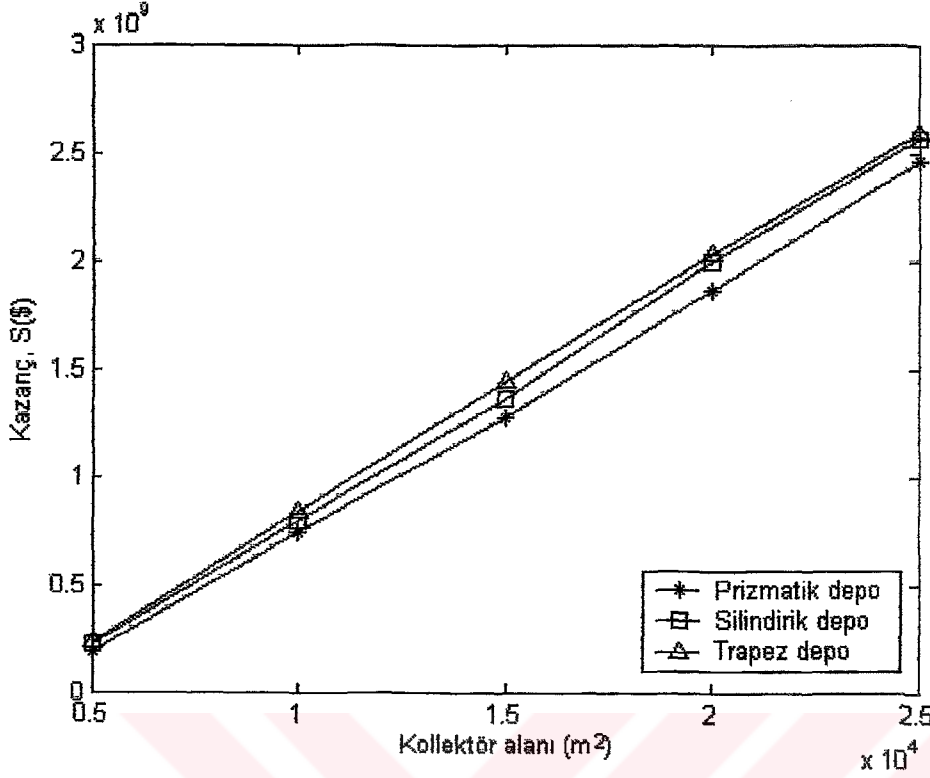
Şekil 4.134. Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin kollektör alanına bağlı olarak yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $V=1356480 \text{ m}^3$, 500 konut)



Şekil 4.135. Trapez, silindirik ve trapez depolu sistemlerin kolektör alanına bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $V=3215 \text{ m}^3$, 1 konutlu)

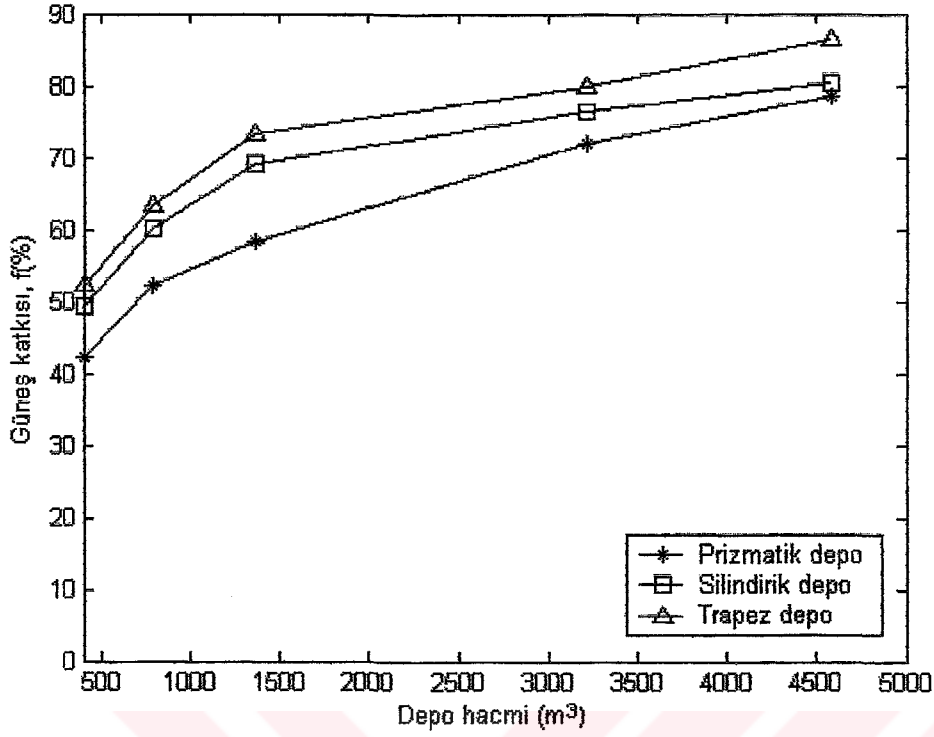


Şekil 4.136. Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin kolektör alanına bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $V=169560 \text{ m}^3$, 50 konutlu)

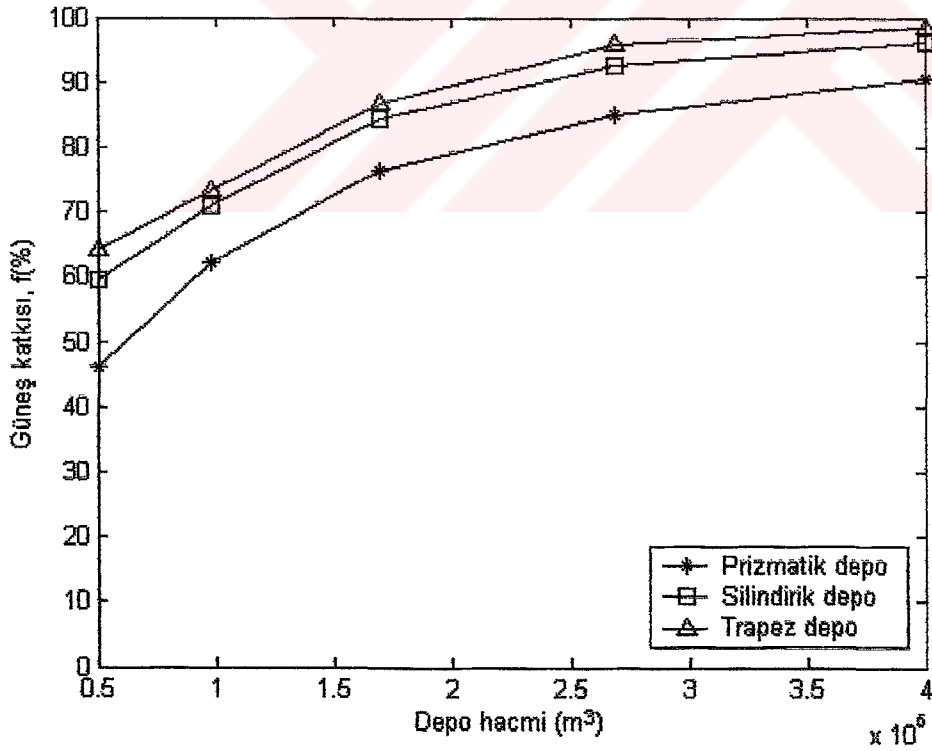


Şekil 4.137. Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin kollektör alanına bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $V=1356480 \text{ m}^3$, 500 konutlu)

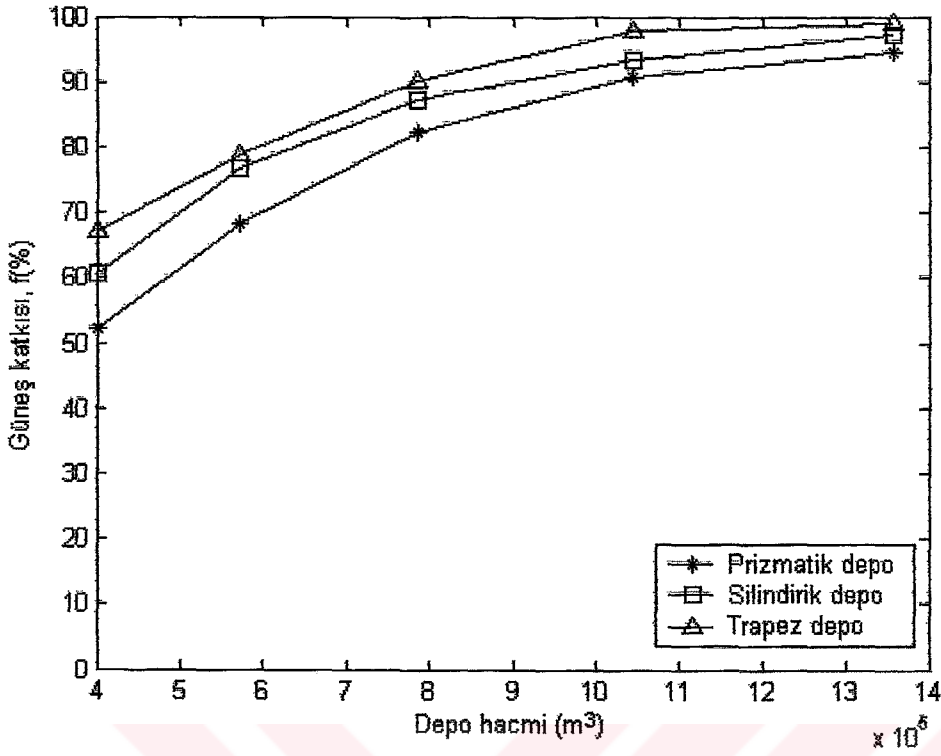
Trapez, silindirik ve prizmatik depolu ve 1, 50 ve 500 konutlu sistemlerin yıllık güneş katkısının depo hacmi ile değişimi sırasıyla Şekil 4.138, 4.139 ve 5.140 'da gösterilmektedir. Bir konutlu ve 1500 m^3 hacimli depoya sahip bir trapez depolu sistemde %75 güneş katkısı elde edilirken, aynı hacimli depoya sahip silindirik depolu sistemde %69 ve prizmatik depolu sistemde ise %60 yıllık güneş katkısına ulaşılmıştır. Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin yıllık ekonomik kazançları 1, 50 ve 500 konutlu sistemler için sırasıyla Şekil 4.141, 4.142 ve 4.143 'de verilmektedir. Trapez depolu sistemlerde, diğer depolu sistemlere göre yüksek güneş katkısına ulaşmak için daha küçük hacimli depo kullanıldığından, bu tür sistemlerin yıllık kazançları daha yüksek olarak tespit edilmiştir.



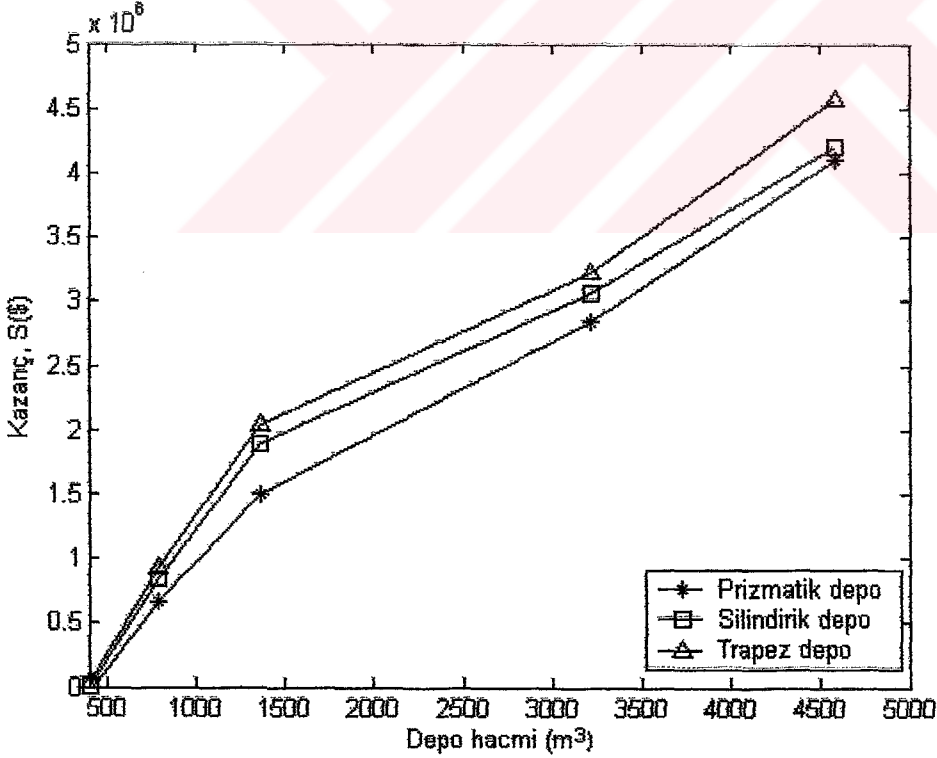
Şekil 4.138. Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konutlu).



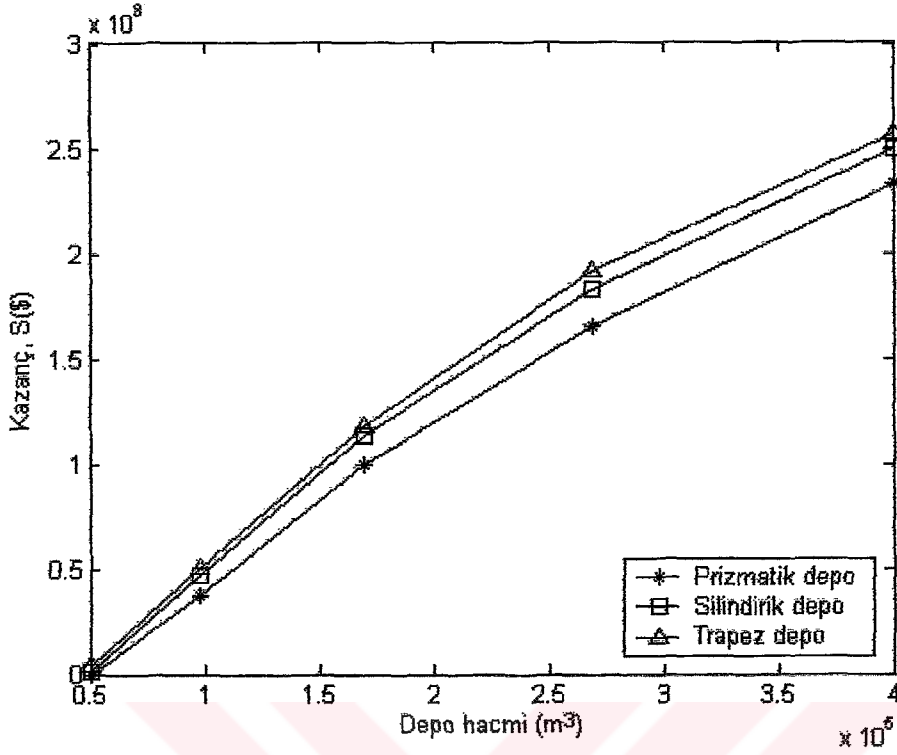
Şekil 4.139. Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konutlu)



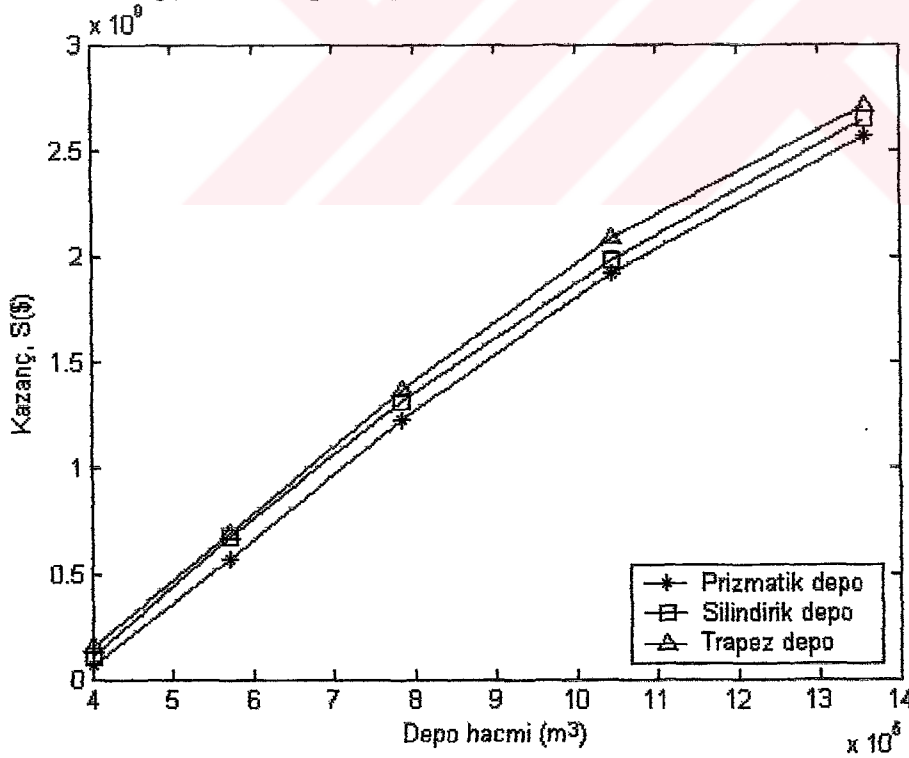
Şekil 4.140. Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık güneş katkısının değişimi (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konutlu)



Şekil 4.141. Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $A_k = 30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 1 konutlu)



Şekil 4.142. Trapez, silindirik ve prizmatik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 50 konutlu)



Şekil 4.143. Trapez ve silindirik depolu sistemlerin depo hacmine bağlı olarak sistemin yıllık kazancının değişimi (Killi toprak, $A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, 500 konutlu)

4.3.7.7. Silindirik Deponun Yüzeyde ve Farklı Yalıtım Kalınlıklarında Yalıtılması Durumunda Sonlu Eleman Analizi Sonuçları

Daha önceki bölümlerde yeraltı depo tasarımlı ısı sistemlerin performansı incelenmişti. Bu kısımda ise deposu toprak yüzeyinde olan ısı sistemin performansı araştırılacaktır. Şekil4.144 'de deposu yüzeyde olan sistemin prensip şeması gösterilmektedir. Depo cam yünü ($k=0.026$ W/m K) ile yalıtılmıştır. Depodan çevresine olan ısı kaybı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

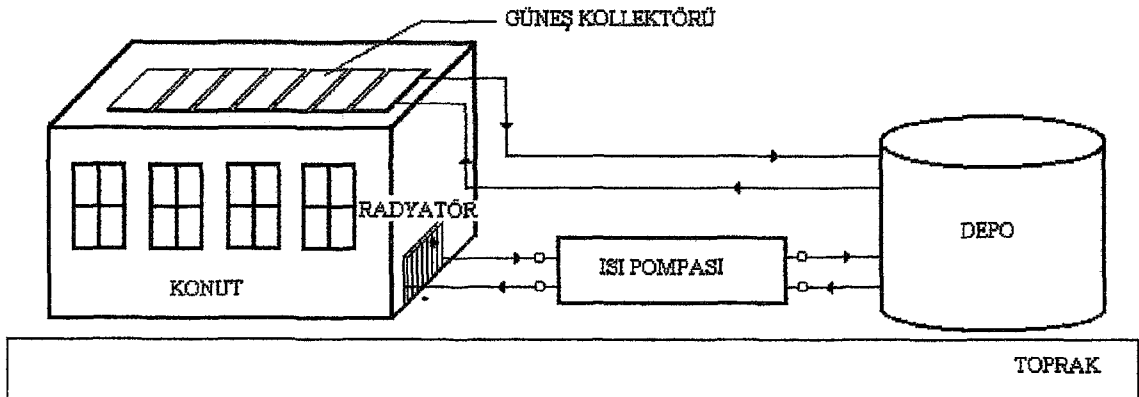
$$\dot{Q} = (UA)_{depo} (T_s - T_a) \quad (4.1)$$

Burada $(UA)_{depo}$ deponun ısı kayıp katsayısıdır ve,

$$(UA)_{depo} = \frac{A_1}{\frac{k_1}{t} + \frac{1}{h}} + (UA)_{tpk} \quad (4.2)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada k_1 yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı, t ise kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığıdır. Hava ile toprak yüzeyi arasındaki taşınım katsayısı h , Bölüm 4.2.1 'de verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır. Deponun alt kısmı ile toprak arasındaki ısı kayıp katsayısı $(UA)_{tpk}$ ise aşağıdaki bağıntıdan tespit edilmiştir [8]:

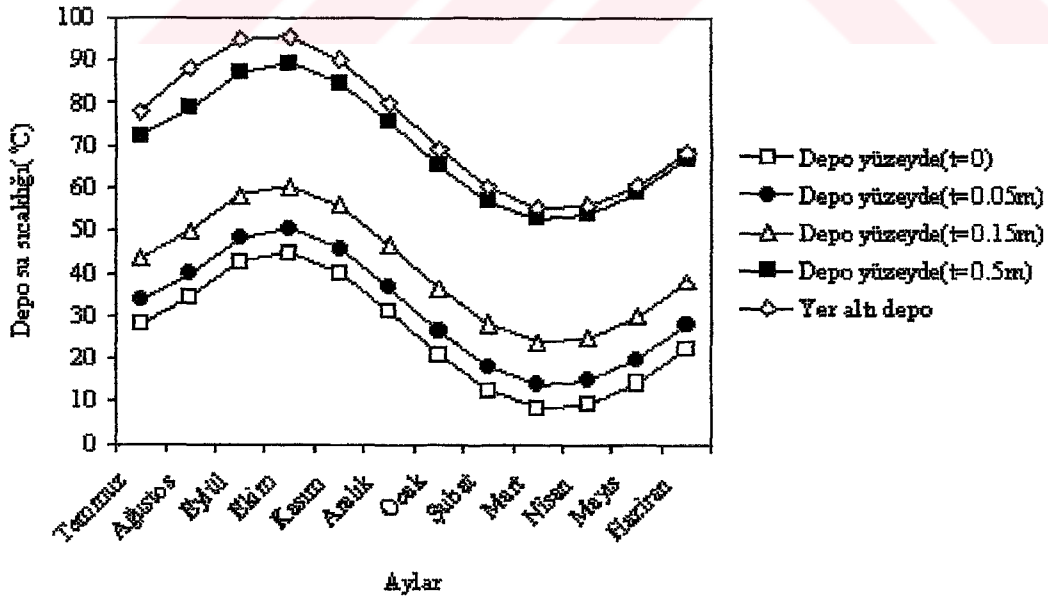
$$(UA)_{tpk} = \frac{A_{tpk}}{\frac{t_2}{k_2} + \frac{4r}{3\pi r k_{tpk}}} \quad (4.3)$$



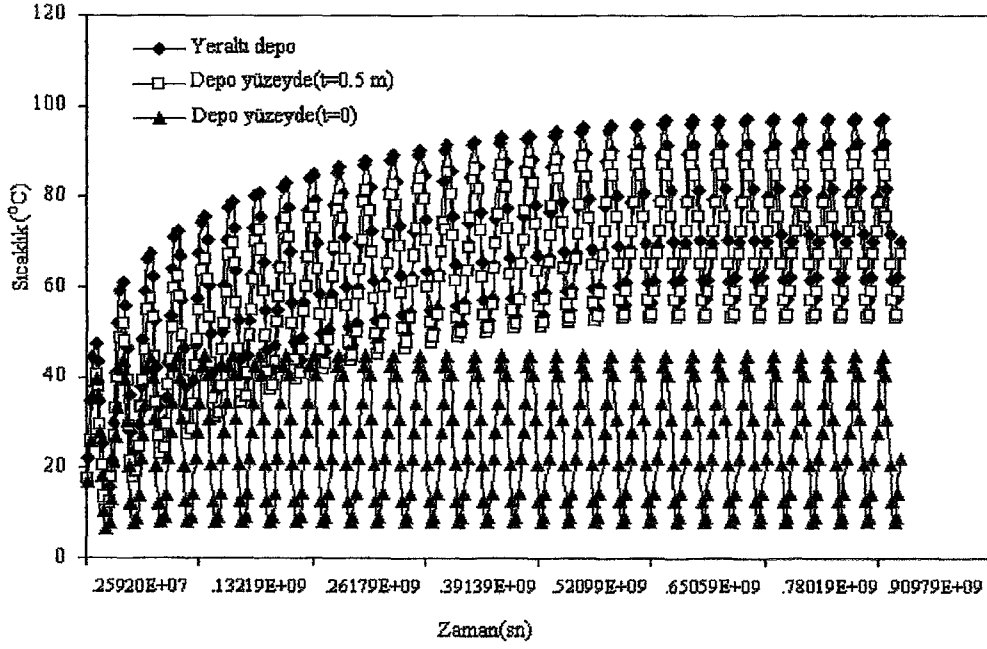
Şekil 4.144. Mevsimlik güneş enerjisi depolu ısıtma sisteminin prensip şeması.

Burada A_{tpk} deponun toprakla temas alanı ve r ise deponun yarıçapıdır. t_2 ve k_2 sırasıyla deponun alt kısmındaki yalıtım malzemesinin kalınlığı ve ısı iletim katsayısıdır. Deponun alt ve yan kısımlarındaki yalıtım malzemesinin kalınlığı eşit olarak seçilmiştir. Analizde dört farklı yalıtım malzemesi kalınlığı seçilmiştir.

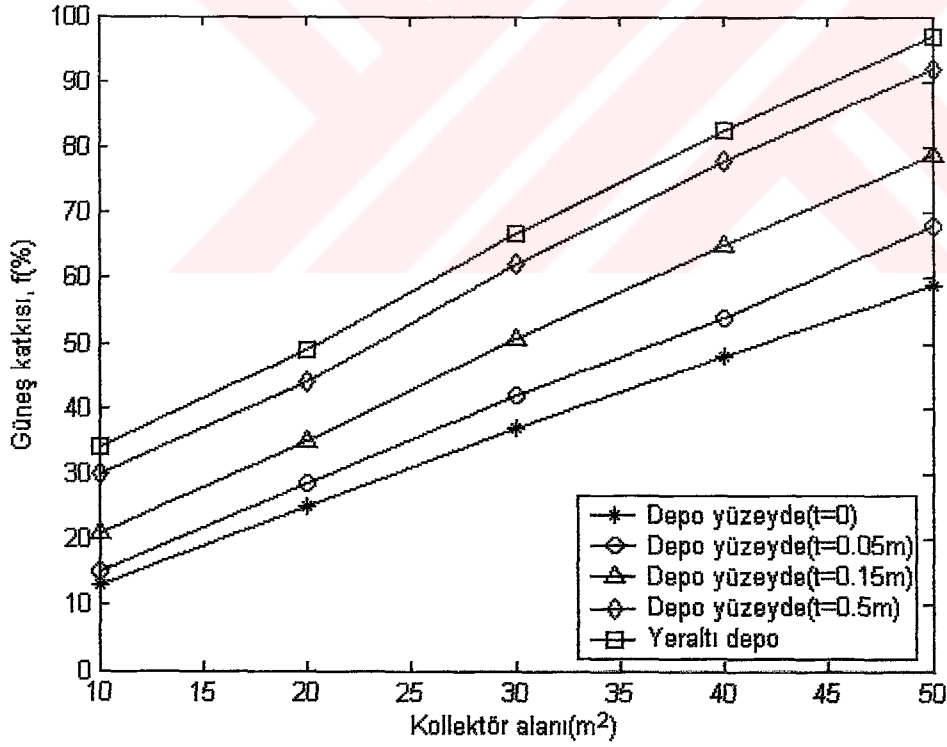
Depo su sıcaklığının değişimi, silindirik deponun toprak üstünde olması durumunda farklı yalıtım kalınlıkları ile yeraltı deposu kullanılması halinde karşılaştırılması Şekil 4.145 'de gösterilmiştir. Yalıtım kalınlığı arttıkça depodaki su sıcaklığı da artmaktadır. Yüzeyde silindirik depoda su sıcaklığının yalıtım kalınlıklarına göre zamanla değişimi Şekil 4.146 'da verilmektedir. Periyodik rejime geçiş süresi, yer altı depolu sistemde yaklaşık 23 yıl iken, deponun yüzeyde ve yalıtım kalınlığının 0.5 m olması halinde ise 20 yıl olarak tespit edilmiştir. Yüzeyde ve yalıtımsız olan sistemde depo su sıcaklığı, diğer sistemlere göre daha yüksek değerlere ulaşmadan 5 yılda periyodik rejime geçmektedir. Silindirik deposu yüzeyde olan ısı sistemde farklı yalıtım kalınlıkları için güneş katkısının kollektör alanı ile değişimi 1, 50 ve 500 konut için sırasıyla Şekil 4.147, 4.148 ve 4.149 'da gösterilmektedir. Şekillerden görüldüğü üzere, yalıtım kalınlığı arttıkça yıllık güneş katkısı artmaktadır. Bir konutlu sistemde %70 güneş katkısına ulaşabilmek için; yalıtım kalınlığı 0.5 metre olması halinde gerekli kollektör alanı 33m^2 iken, yalıtım kalınlığının 0.15 metreye düşürülmesi halinde bu değer 44m^2 'ye yükselmektedir. Yer altı depolu tasarımda ise %70 güneş katkısına ulaşmak için gerekli kollektör alanı, deposu yüzeyde ve yalıtım kalınlığı 0.5 m olan sistemdeki gerekli kollektör alanından %10 daha küçük olarak hesaplanmıştır.



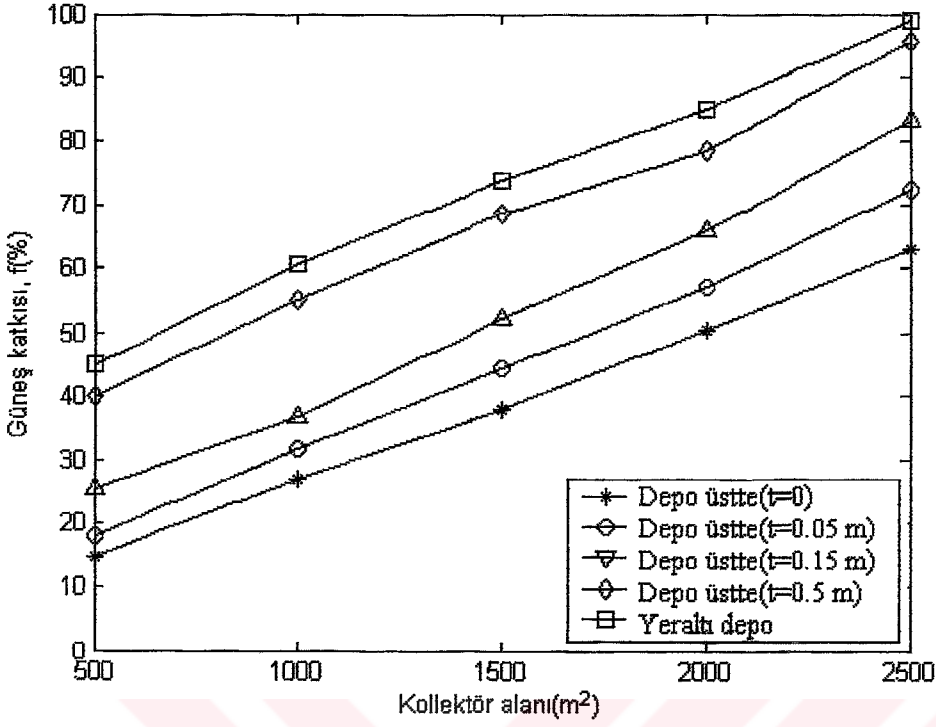
Şekil 4.145. Yüzeyindeki silindirik depodaki su sıcaklığının farklı yalıtım kalınlıklarına göre değişimi ($D_1=10\text{ m}$).



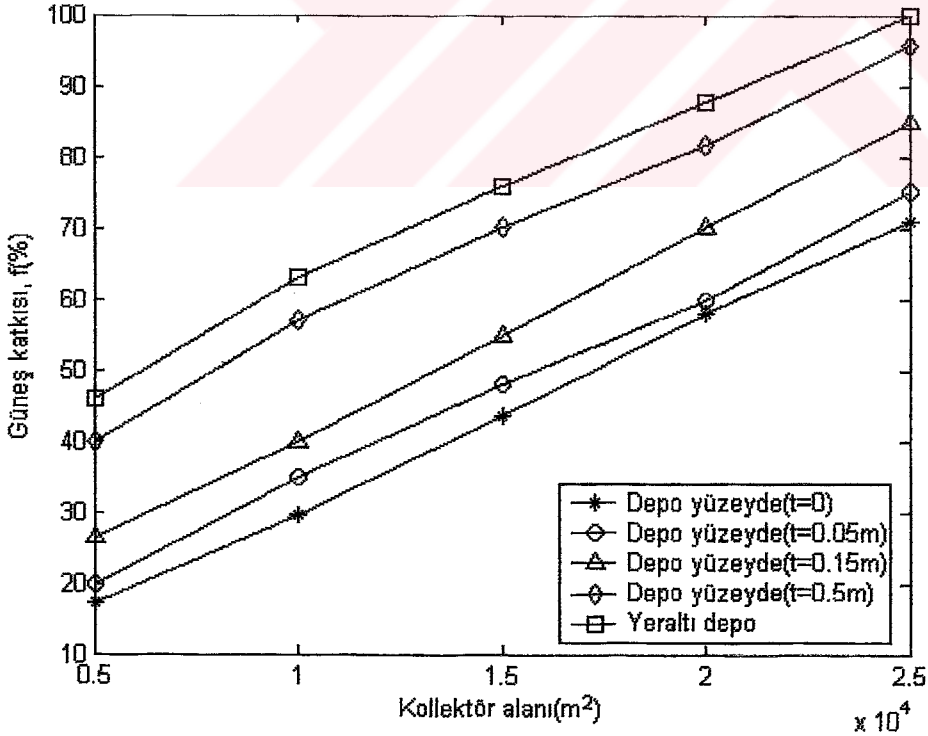
Şekil 4.146. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde yalıtım kalınlıkları için depo su sıcaklığının zamana göre değişimi ($D_1=10$ m).



Şekil 4.147. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı kolektör alanları için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($R=8$ m, $H=16$ m, $D_1=10$ m, 1 konut).



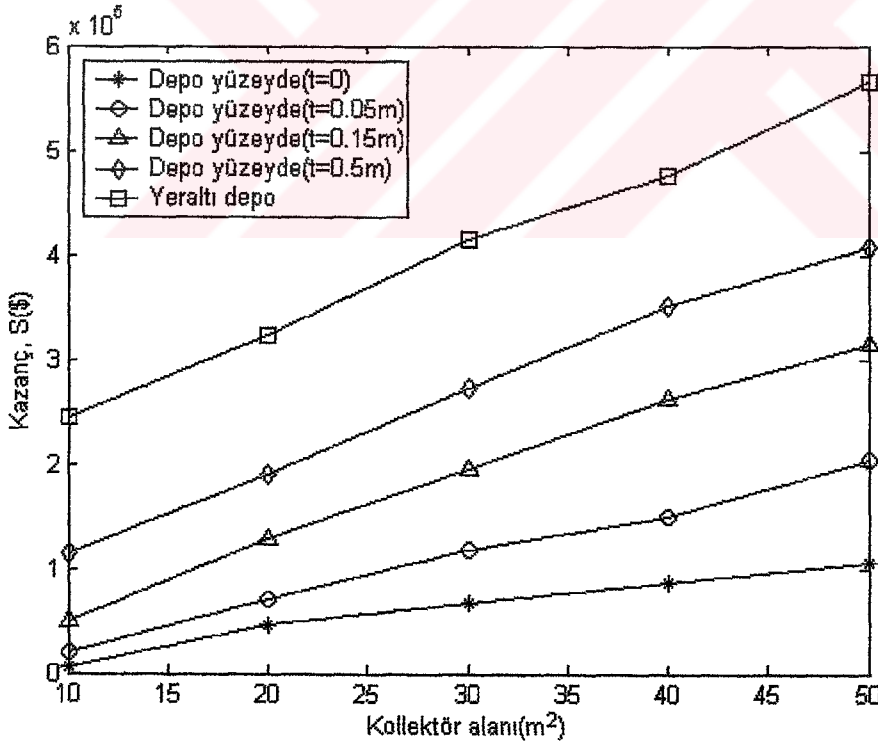
Şekil 4.148. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı kolektör alanları için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($R=30$ m, $H=60$ m, $D_1=10$ m, 50 konut).



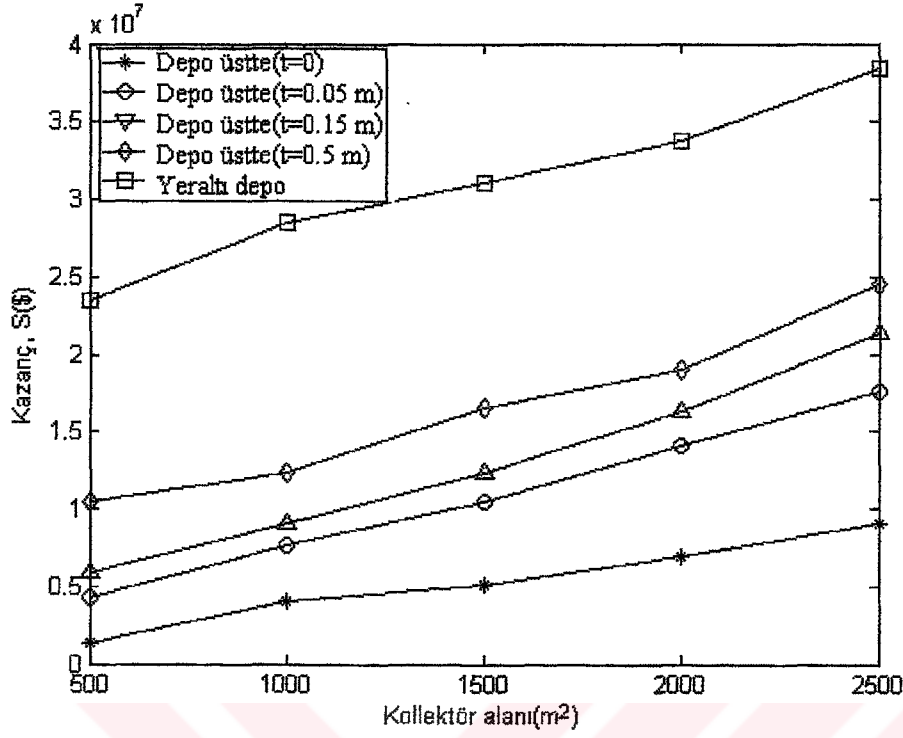
Şekil 5.149. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı kolektör alanları için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($R=40$ m, $H=80$ m, $D_1=10$ m, 500 konut).

Şekil 4.150, 4.151 ve 4.152 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konut için farklı kolektör alanlarında yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi gösterilmektedir. Yer altı depolu sistemin kazancı, 50 konutlu ve 1500 m^2 kolektör alanı için deposu yüzeyde ve yalıtım kalınlığı 0.5 m olan sistemin kazancına göre %43, yalıtım kalınlığı 0.15 m olan sistemin kazancına göre %63 daha yüksek olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.150 'den görüleceği üzere, 1500 m^2 kolektör alanında yalıtım kalınlığı 0.05 m olan sistemin kazancı, deposu yalıtımsız olan sisteme göre %15 daha yüksek olarak tespit edilmiştir.

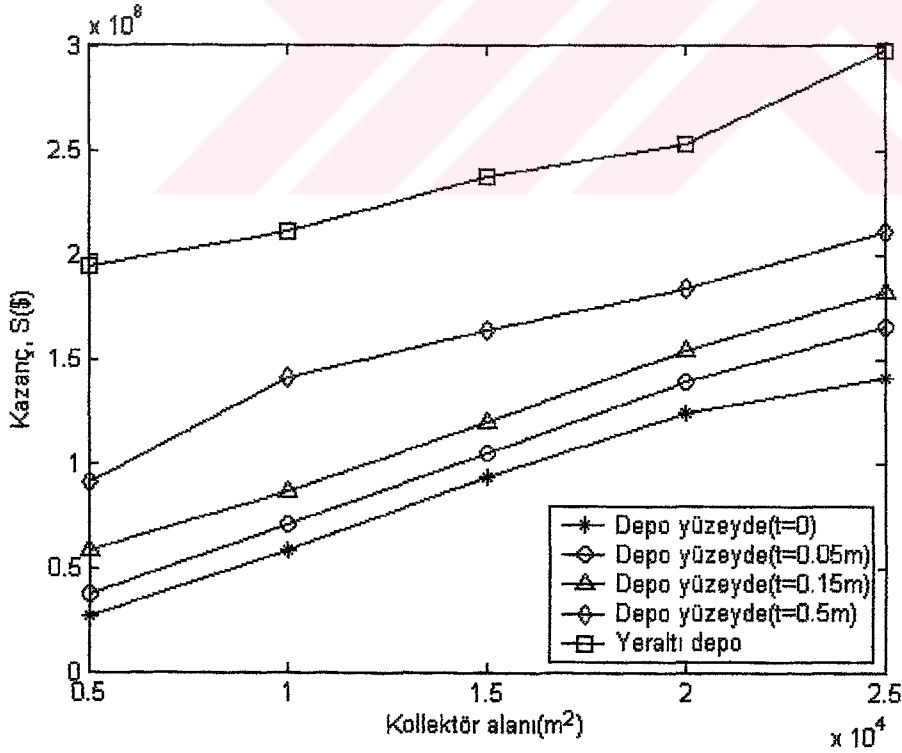
Şekil 4.153, 4.154 ve 4.155 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu sistemler için farklı depo hacimlerinde yalıtım kalınlıklarının güneş katkısı üzerinde etkisi gösterilmektedir. Deposu yüzeyde ve yalıtım kalınlığı 0.5 m olan bir konutlu ısıtılabilir sistemde 400 m^3 hacimde depo kullanıldığında güneş katkısı %78 değerine ulaşırken, yalıtım kalınlığı 0.15 m olan ısıtılabilir sistemde bu değer %75 olmaktadır. Farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının sistemin yıllık kazancına etkisi 1, 50 ve 500 konutlu sistemler için sırasıyla Şekil 4.156, 4.157 ve 4.158 'de gösterilmiştir. Depo hacmi ve konut sayısı arttıkça, sistemin yıllık kazancı da artmaktadır. En yüksek kazanç yer altı depolu sistemde elde edilirken, en düşük kazanç ise deposu yüzeyde ve yalıtımsız olan sistemde sağlanmıştır.



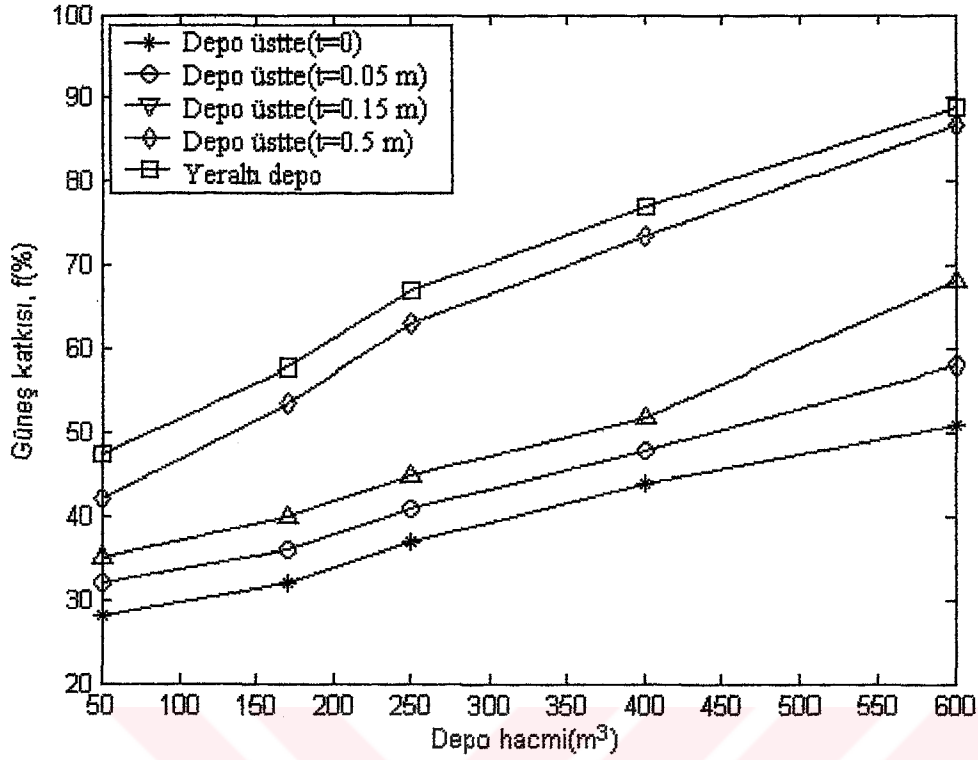
Şekil 4.150. Yüzeyde silindirik depolu ısıtılabilir sistemde farklı kolektör alanları için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi ($R=8 \text{ m}$, $H=16 \text{ m}$, $D_1=10 \text{ m}$, 1 konut).



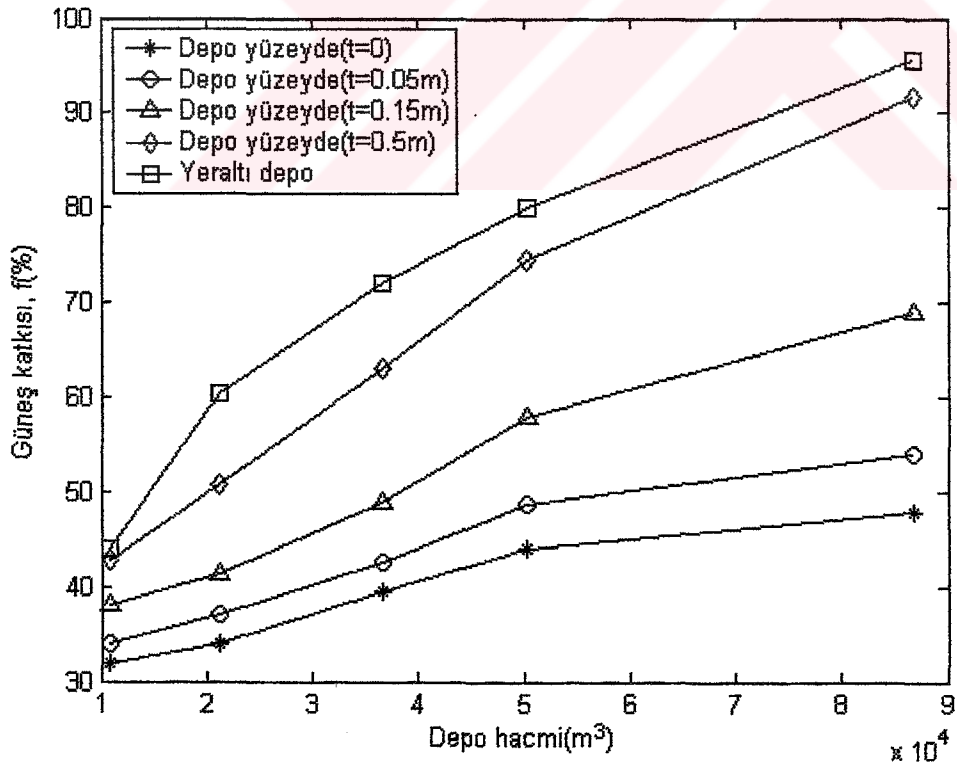
Şekil 4.151. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi (R=30 m, H=60 m, 50 konut).



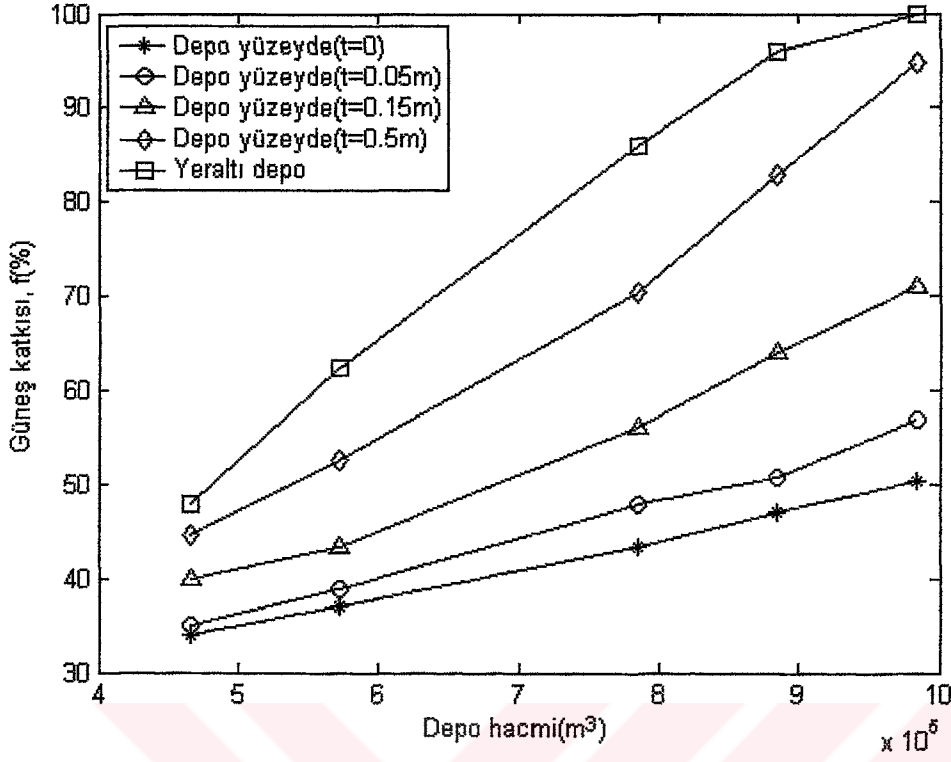
Şekil 4.152. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi (R=40 m, H=80 m, D₁=10 m, 500 konut).



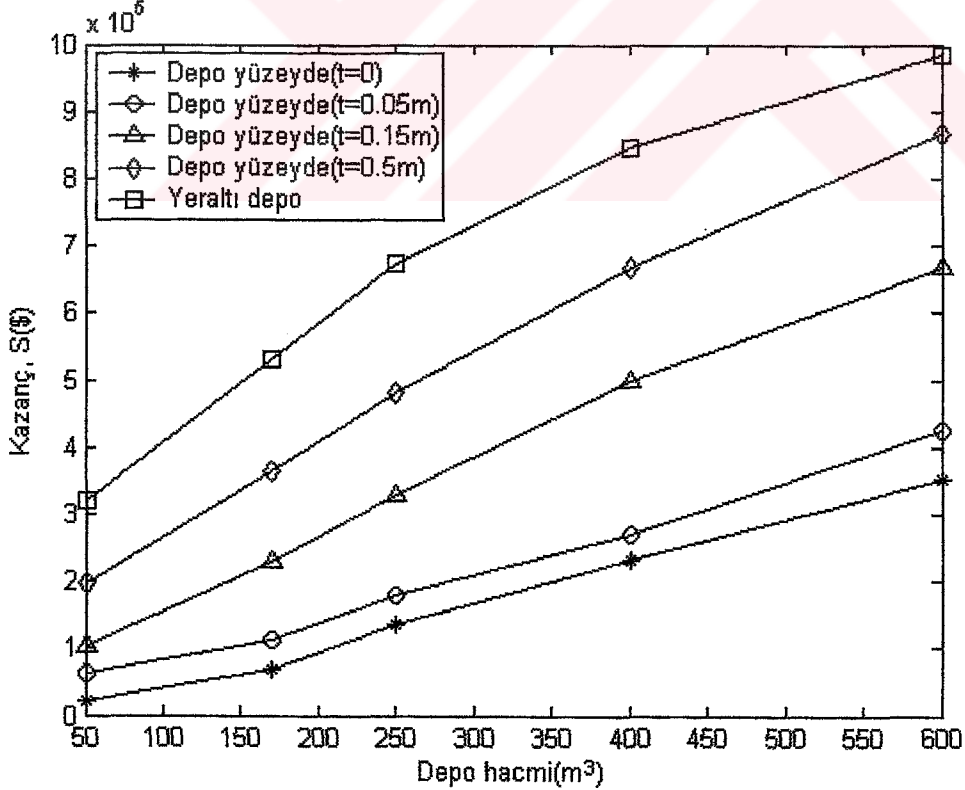
Şekil 4.153. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, $D_1=10 \text{ m}$, 1 konut).



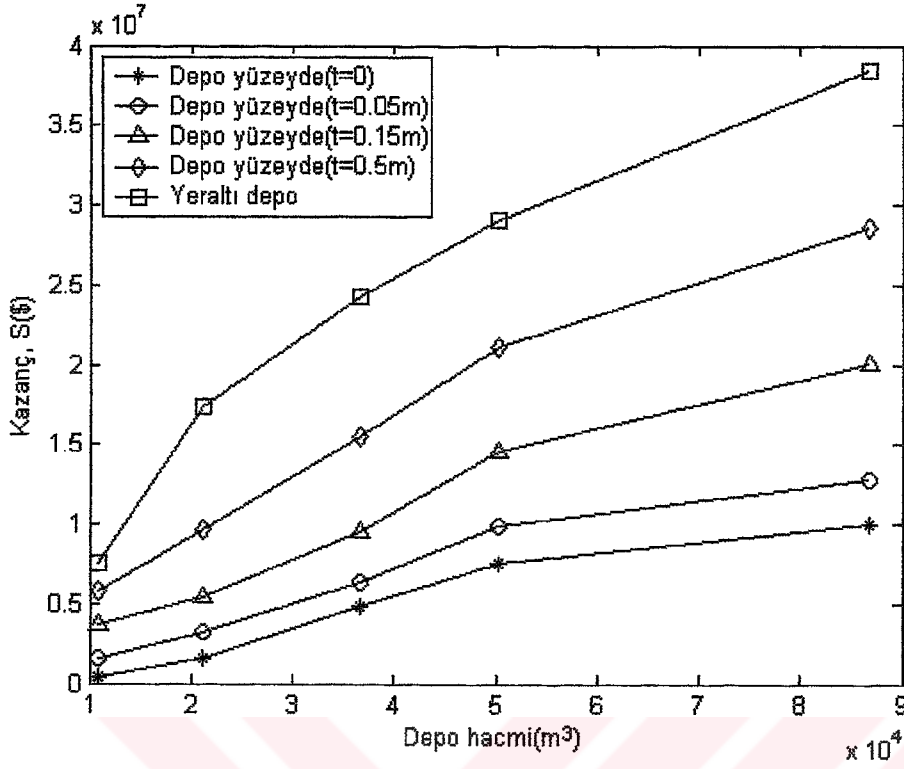
Şekil 4.154. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, $D_1=10 \text{ m}$, 50 konut).



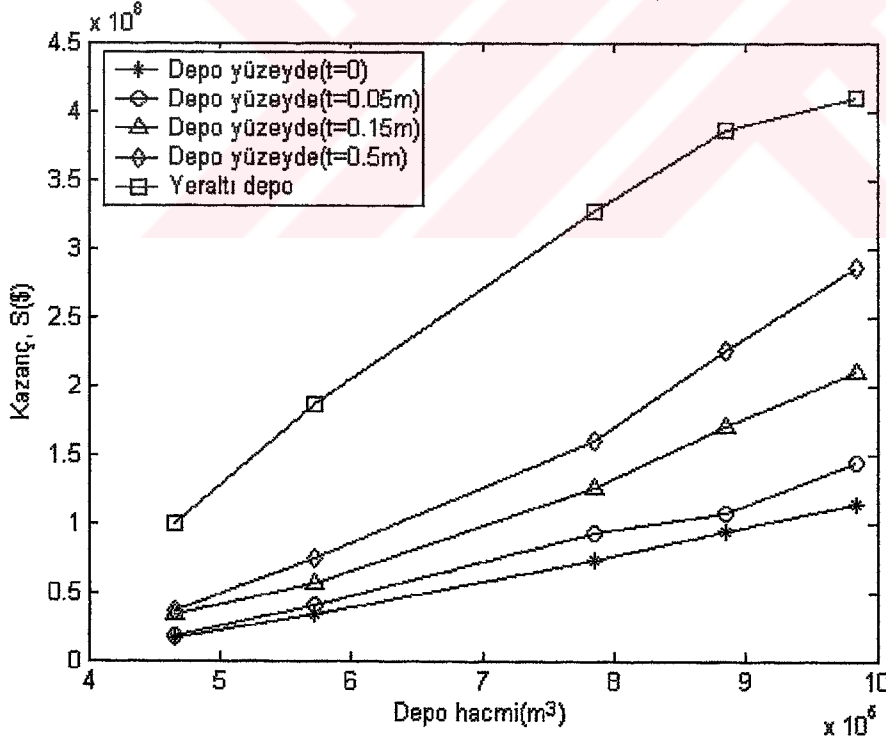
Şekil 4.155. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının güneş katkısına etkisi ($A_k = 30 m^2/konut$, $D_1 = 10 m$, 500 konut).



Şekil 4.156. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi ($A_k = 30 m^2/konut$, $D_1 = 10 m$, 1 konut).



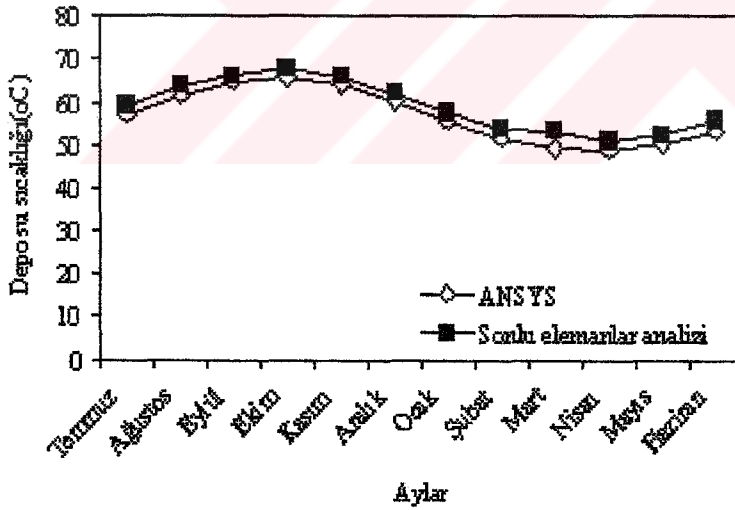
Şekil 4.157. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, $D_1=10 \text{ m}$, 50 konut).



Şekil 4.158. Yüzeyde silindirik depolu ısıtma sisteminde farklı depo hacmi için yalıtım kalınlıklarının sistem kazancına etkisi ($A_k=30 \text{ m}^2/\text{konut}$, $D_1=10 \text{ m}$, 500 konut).

4.4. Trapez Depolu Sistem için ANSYS programı ile Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçlarının Kıyaslanması

Bölüm 4.2’de verilen trapez depolu bir ısıtma sisteminin sonlu elemanlar analizi sonucunda, (0, 27) koordinatındaki düğüm sıcaklığı kumlu toprak için 78.49 °C bulunurken, ANSYS paket programı ile aynı depo hacmi ve aynı koordinat için 76.23 °C olarak bulunmuştu. İri çakıllı toprak için sonlu eleman analizi sonucunda aynı koordinattaki düğüm noktası sıcaklığı 73.18 °C iken, ANSYS programında 71.26 °C olarak elde edilmiştir. Killi ve granitli toprak için (0, 27) koordinatındaki düğüm sıcaklıklar sırasıyla sonlu eleman analizi sonucunda 67.69 °C ve 62.56 °C olarak tespit edilmiştir. ANSYS programı sonucunda aynı koordinattaki düğüm noktası sıcaklığı killi toprakta 65.63 °C ve granitli toprakta ise 60.64 °C olarak tespit edilmiştir. Bölüm 5 ’de verilen sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar ile ANSYS paket programı kullanılarak elde edilen sonuçların mukayesesi Şekil 4.159 ’da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi her iki metodun arasında yaklaşık % 2-6 oranında fark olduğu tespit edilmiştir. Bu farkın, ANSYS programında oluşturulan düğüm noktalarının bizim oluşturduğumuz sonlu elemanlar analizinde göre daha hassas olarak yerleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.159. Sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlar ile ANSYS paket programı kullanılarak elde edilen sonuçların mukayesesi.

4.5. Bulguların Literatür ile Mukayesesi

Bu kısımda, literatürdeki bazı çalışmaların sonuçları ile bu çalışmadaki silindirik depo için elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Lund [5] ’un çalışmasındaki sistemin özellikleri: düşük sıcaklık dağılımlı sistem, güneş enerjisini direkt depolamalı, deponun tipi

toprak içerisindeki çukur kazı. Literatürdeki bu çalışmada, Wisconsin (43 °N) iklimi şartları esas alınmış olup, ortalama dış ortam sıcaklığı 8 °C ve güneş ışınım şiddeti ise 173 W/m²'dir.

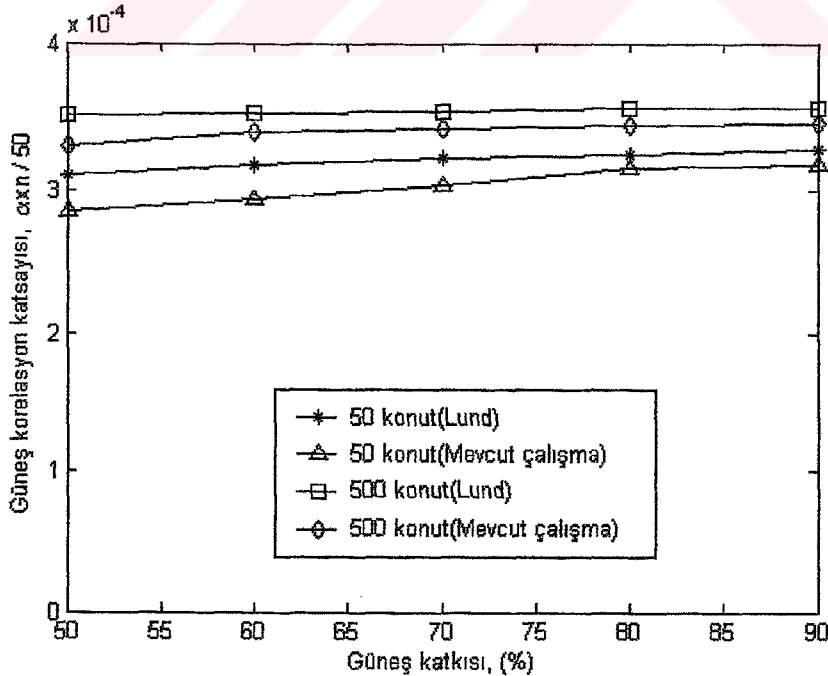
Lund geliştirdiği analitik metotla, yıllık güneş katkısının kolektör alanı ve depo hacmine bağlı olarak bir ifade türetmiştir. Bu ifade,

$$f = \alpha_0 A_c - \alpha_1 V^{2/3} \quad (4.4)$$

şeklinde. Söz konusu bu çalışmada, optimum kolektör alanı ve depo hacmi değerleri için sistemin yıllık güneş katkısı hesaplanmıştır. Yapılan analizde, yıllık güneş katkısının 0.5 değerinden büyük olduğunda (4.4) eşitliğindeki fonksiyonun yüke bağlı lineer bir fonksiyona dönüştüğünü tespit edilmiştir. Yani,

$$f = \alpha A_c \quad (4.5)$$

şeklinde. Bu eşitlikte; α güneş katkısı ve konut sayısına yani ısı yüküne bağlı olan bir parametre olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4.160 'da mevcut çalışma ile Lund 'un yaptığı analiz sonucu elde edilen α değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Gerek depo tipinin gerekse de iklim şartlarının farklı olmasından ve ayrıca sistemde ısı pompasının kullanılmamasından dolayı, mevcut çalışmada ile Lund 'un çalışmasının sonuçları arasında yaklaşık % 7-13 oranında bir fark olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.160. Literatür sonuçları (Lund, 1989) ile mevcut çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.

Mevcut çalışmada, hesaplanan güneş katkısı değerleri için, depo hacmi ve kolektör alanına bağlı olarak 1, 50 ve 500 konut için sırasıyla aşağıda verilen fonksiyonel ifadeler geliştirilmiştir:

$$f=0.013056 A+0.071296 V^{0.21378} \quad 1 \text{ konutlu sistem için} \quad (4.6)$$

$$f=0.000242 A+0.017352 V^{0.2712} \quad 50 \text{ konutlu sistem için} \quad (4.7)$$

$$f=0.000022 A+0.001196 V^{0.4511} \quad 500 \text{ konutlu sistem için} \quad (4.8)$$

Literatürdeki bir diğer çalışmada, Argariou [7], Athens (37.97°) iklim şartlarında mevsimlik depolamalı bir güneş ısıtma sisteminin yıllık güneş katkısını hesaplamıştır. Argariou(1997) çalışmasında, 167 m² kolektör alanı ve 549 m³ depo hacmi için yıllık güneş katkısını %88 olarak hesaplamıştır. Mevcut çalışmada ise Elazığ iklim şartlarında, silindirik depolu ısıtma sisteminin güneş katkısı ise Argariou 'un çalışmasındaki aynı kolektör alanı ve depo hacmi için %90 olarak tespit edilmiştir.

5. MEVSİMLİK GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMALI ISITMA SİSTEMLERİNİN EKONOMİK ANALİZİ

5.1. Ekserji-Ekonomik Analiz

Ekserjiye dayalı ekonomik analiz veya kısaca eksergoekonomi, değişik türde enerjiler üreten veya farklı tür ve miktarda enerjiler harcayan tesislerde ürünlerin gerçek maliyetlerinin belirlenmesi ve bu ürünlerin değer bazında fiyatlandırılması yapabilirlik analizleri ve ön tasarım, tasarımların en iyileşmesi ve işletme parametrelerin seçimi ve işletme ekonomisi konularında önem kazanmıştır [28].

5.1.1. Ekserji Analizi

Ekserji, bir sistem ve çevresinden tersinir bir hal değişimi yada ters yöndeki hal değişimi sırasında alınabilecek maksimum iş olarak adlandırılır. Ekserji analizi, ekserji veya yararlılık olarak adlandırılan kullanılabilir enerji ile tersinmezlik olarak adlandırılan kullanılmayan enerjinin belirlenmesine dayanır. Ekserji analizinde;

- termodinamiğin birinci ve ikinci yasası dikkate alınır,
- enerji kullanımının daha etkin olarak değerlendirilmesine olanak sağlayan enerjinin kalitesi esas alınır,
- sıcaklık düzeyi nedeniyle ısı enerjisi, basınç düzeyi nedeniyle mekanik enerji, aydınlatma için elektrik enerjisi ve madde bileşimi nedeniyle kimyasal enerjinin etkinliklerindeki belirli farklılıklar incelenir ve
- sıcaklık düzeyi ve deniz seviyesinden yükseklik veya basınç kaybındaki değişiklikler ile ilgili olan tersinmezlik artışı veya enerji etkinliğinin azalması dikkate alınır [29].

Bir işlem veya sistem için ekserji dengesi genel olarak,

$$\sum \dot{E}_{giren} = \sum \dot{E}_{depolanan} + \sum \dot{E}_{çıkan} + \dot{I} \quad (5.1)$$

eşitliği ile yazılabilir. Başlangıç ve son durumları tanımlanmış bir sistem için (5.1) eşitliği,

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_{gün}} \right) \dot{Q}_f - \dot{W} + \sum \dot{m}_{giren} \Psi_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} \Psi_{çıkan} = \dot{I} \quad (5.2)$$

eşitliğine dönüşür. Bu eşitlikte,

$$\Psi_{giren} = (h_{giren} - h_0) - T_0 (s_{giren} - s_0) \quad (5.3)$$

$$\Psi_{giren} = (h_{giren} - h_0) - T_0 (s_{giren} - s_0) \quad (5.3)$$

$$\Psi_{çikan} = (h_{çikan} - h_0) - T_0 (s_{çikan} - s_0) \quad (5.4)$$

şeklinde tanımlanır.

Şekil 3.1 'de gösterilen güneş enerjisi takviyeli ısı pompalı bir konut ısıtma sisteminin her bir elemanına yukarıdaki eşitliklerde verilen genel ekserji dengesini uygulayarak, sistemdeki ekserji kaybı hesaplanabilir.

Güneş kollektörü için tersinmezlik ifadesi,

$$\dot{I}_{kol} = (\dot{E}_{giren,a} - \dot{E}_{çikan,a}) + \dot{Q}_f \left(1 - \frac{T_0}{T_{kol}} \right) \quad (5.5)$$

olarak yazılabilir. Isıl depodaki ekserji kaybı ise aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır:

$$\dot{I}_{depo} = (\dot{E}_{giren,a} - \dot{E}_{çikan,a}) + \dot{Q}_d \left(1 - \frac{T_0}{T_s} \right) \quad (5.6)$$

veya

$$\dot{I}_{depo} = \dot{m}_a \left[(h_{gir,a} - h_{çik,a}) - T_0 (s_{gir,a} - s_{çik,a}) \right] + \dot{Q}_d \left(1 - \frac{T_0}{T_s} \right) \quad (5.7)$$

Isı pompası için ekserji ifadesi,

$$\dot{I}_{pompa} = (\dot{E}_{gir,a} - \dot{E}_{çik,a}) + \dot{W} \quad (5.8)$$

şeklinde ifade edilir. Konuttaki ekserji kaybı ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\dot{I}_{kon} = \dot{m}_a \left[(h_{gir,a} - h_{çik,a}) - T_0 (s_{gir,a} - s_{çik,a}) \right] + \dot{Q}_k \left(1 - \frac{T_0}{T_k} \right) \quad (5.9)$$

İkinci kanun verimi,

eşitliğinden hesaplanır.

5.1.2. Ekserji-Ekonomik Analiz ve Optimizasyonu

Bir enerji sisteminin ekserji-ekonomik optimizasyonu için amaç fonksiyonu, birim maliyeti minimum yapan ifade olarak alınmaktadır ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [36]:

$$\min c = C_T / \sum_i \dot{E}_{\text{çıkan},i} = \left(\sum_i c_i \dot{E}_{\text{giren},i} + \sum_j \dot{Z}_j \right) / \sum_i \dot{E}_{\text{çıkan},i} \quad (5.11)$$

Bir sistem için toplam maliyeti minimum yapan ifade amaç fonksiyonu olarak alınır ve

$$\min C_T = \sum_{i=1}^{\text{kaynak}} c_i \dot{E}_{\text{giren},i} + \sum_{j=1}^{\text{eleman}} \dot{Z}_j \quad (5.12)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Güneş enerjisi takviyeli ısı pompalı bir konut ısıtma sisteminin ekserji-ekonomik optimizasyonu için amaç fonksiyonu aşağıdaki eşitlikte ifade edilmektedir:

$$\min C_T = \sum_i c_i \dot{E}_{\text{giren},i} + \dot{Z}_{\text{top}} + \dot{Z}_{\text{depo}} + \dot{Z}_{\text{pompa}} + \dot{Z}_{\text{kon}} \quad (5.13)$$

Eşitlik ve eşitsizlik sınırlayıcıları ise

$$h_k(x, Y) = 0, \quad k=1, \dots, k \quad (5.14)$$

ve

$$g_l(x, Y) \geq 0, \quad l=1, \dots, l \quad (5.15)$$

olarak tanımlanabilir. Sistemin yatırım maliyet oranı $\dot{Z}$ aşağıdaki gibidir:

$$\dot{Z}_j = Z_j R_c \phi / (3600 \text{ HN}) \quad (5.16)$$

Bu eşitlikteki Z_j , sistemdeki her bir elemanın satış fiyatı ve R_c ise yıllık sermaye kazanç faktörüdür ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$R_C = CRF = \frac{i_e(1+i_e)^n}{(1+i_e)^n - 1} \quad (5.17)$$

Burada n , sistemin çalışma süresi, i_e ise iskonto oranıdır. R_c ısı ve güç sistemlerinde 0.182 olarak alınmaktadır [30].

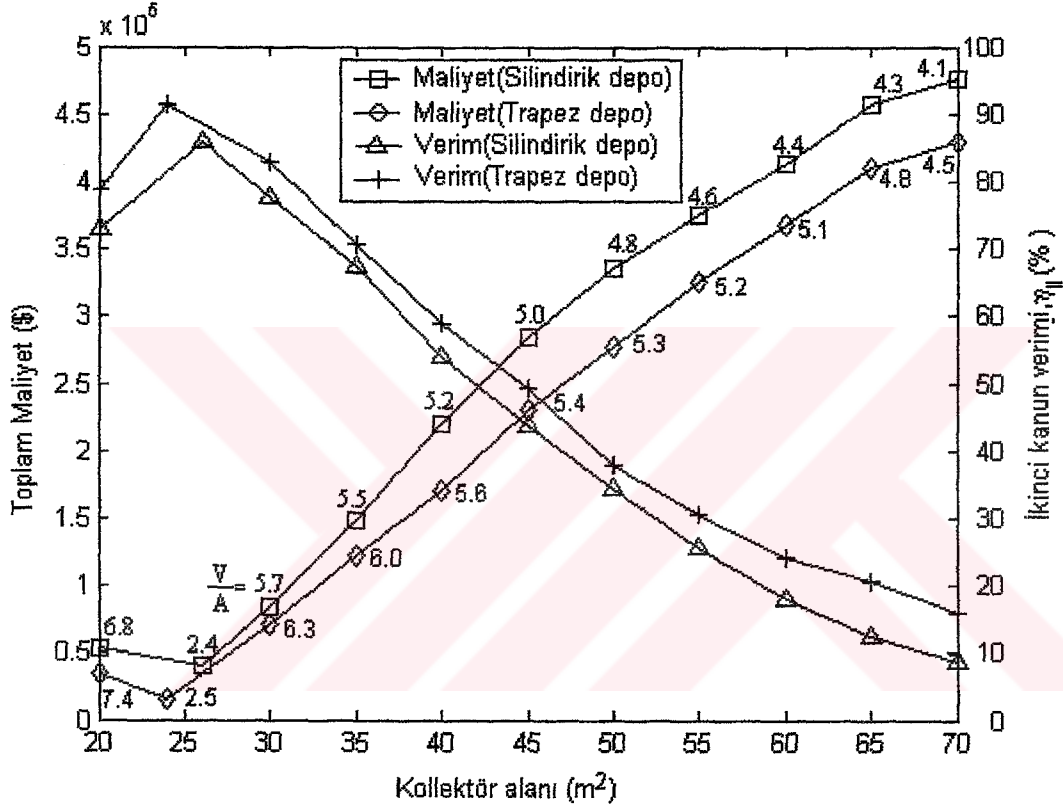
5.1.3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, güneş katkılı bir konut ısıtma sistem için optimum kollektör alanı ve depo hacmi, (5.13) eşitliğindeki amaç fonksiyonu MATLAB optimization Toolbox 'da çözümlenerek bulunmuştur.

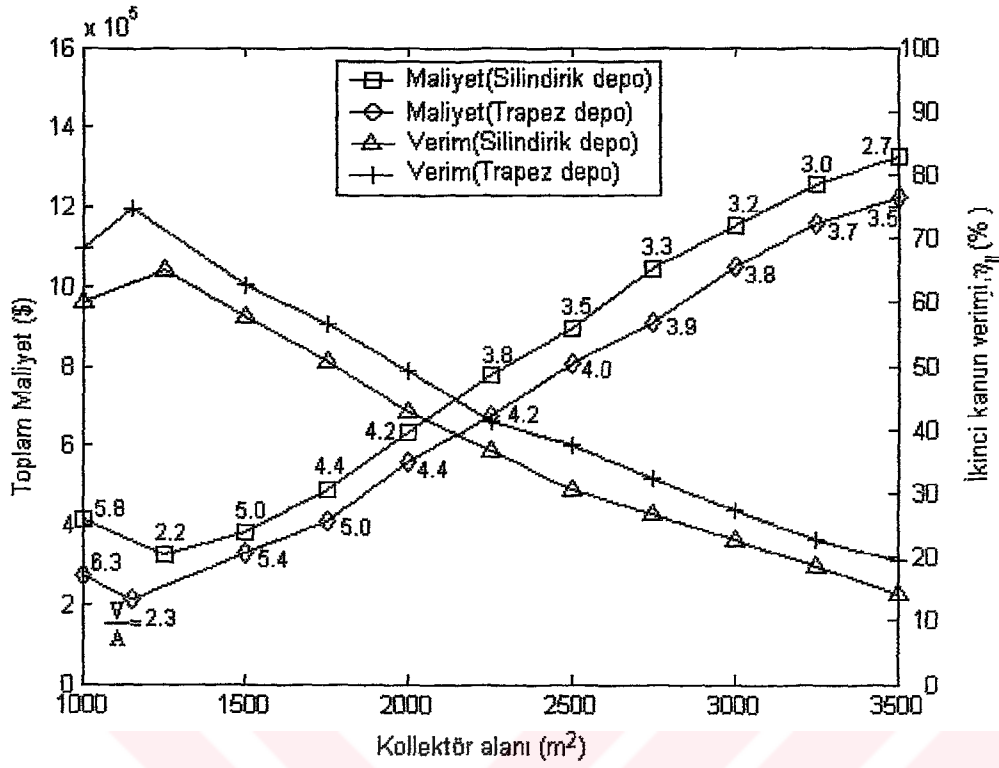
Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3, sırasıyla 1, 50 ve 500 konutlu sistemler için maliyet ile ikinci kanun veriminin farklı kollektör alanları için değişimini göstermektedir. Şekillerden de görüleceği üzere deponun iki tipi (trapez ve silindirik) için de sistemin toplam maliyeti, kollektör alanının artmasıyla artmaktadır. İkinci kanun verimi ise kollektör alanı ve depo hacminin optimum değerlerinde maksimum değere ulaşırken, toplam maliyet minimum olmaktadır. Bir konutlu bir sistemde, aynı depo hacmi (100 m^3) için minimum maliyeti sağlayan optimum kollektör alanı trapez depolu sistemde 40 m^2 iken, silindirik depolu bir sistemde 41.6 m^2 olmaktadır. Silindirik depolu sistemde diğer sisteme göre daha büyük kollektör alanı kullanıldığından, silindirik depolu sistemin maliyeti trapez depolu sisteme göre daha yüksek olarak hesaplanmıştır. Elli konut için, silindirik depolu sistemde kollektör alanı trapez depolu sistemdekinden yaklaşık olarak %9 daha büyük olarak bulunmuştur. Beşyüz konutlu bir sistemde hesaplanan optimum kollektör alanı, 50 konutlu sisteme göre yaklaşık olarak %22, 1 konutlu sistemden ise yaklaşık %30 daha küçüktür. Trapez depolu bir sistemde ise sistemin maliyetini minimum yapmak için gerekli kollektör alanı, silindirik depolu sistem ile kıyaslandığı zaman, 50 konutlu sistemde %4.5, 500 konutlu sistemde ise %11 daha küçük olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.1 ve 5.2' de sırasıyla prizmatik, silindirik ve trapez depolu sistemlerde enerji ve ekserji analizi sonuçlarının mukayesesi gösterilmiştir. Tablo 5.1 'den görüleceği üzere, kollektörde enerji kaybı daha düşük iken, en büyük enerji kaybı silindirik depoda meydana gelmektedir. Silindirik depodaki enerji kaybı, sistemin diğer elemanlarıyla kıyaslandığında, kollektörden %95, ısı pompasından ise %61 daha fazladır. Ekserji analizinin sonuçları, enerji analizinin sonuçlarına göre farklılık göstermektedir. Enerji kaybının fazla olduğu silindirik depoda ekserji kaybı %19.8 düşük olmaktadır. Tablo 5.1 'de görüldüğü gibi ekserji kaybı konutta %78.7 ve ısı pompasında ise %40.9 oranında olmaktadır. Tablo 5.2'de ise trapez

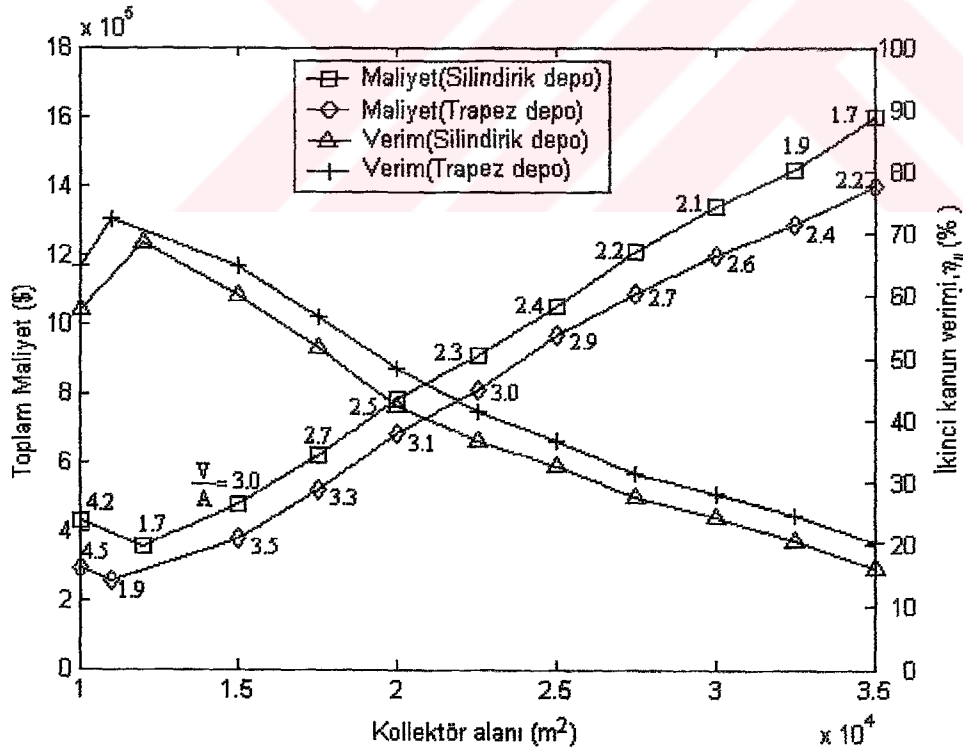
gelmektedir. Silindirik depodaki enerji kaybı, sistemin diğer elemanlarıyla kıyaslandığında, kollektörden %95, ısı pompasından ise %61 daha fazladır. Ekserji analizinin sonuçları, enerji analizinin sonuçlarına göre farklılık göstermektedir. Enerji kaybının fazla olduğu silindirik depoda ekserji kaybı %19.8 düşük olmaktadır. Tablo 5.1 'de görüldüğü gibi ekserji kaybı konutta %78.7 ve ısı pompasında ise %40.9 oranında olmaktadır. Tablo 5.2'de ise trapez depodaki ekserji kaybının, sistemin diğer elemanlardan daha düşük olduğu görülmektedir. Kollektördeki ekserji kaybı %39.8 iken, ısı pompasında %47.4 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.1. Bir konutlu bir sistemin toplam maliyet ve ikinci kanun veriminin kollektör alanı ile değişimi.



Şekil 5.2. 50 konutlu bir sistemin toplam maliyet ve ikinci kanun veriminin kolektör alanı ile değişimi.



Şekil 5.3. 500 konutlu bir sistemin toplam maliyet ve ikinci kanun veriminin kolektör alanı ile değişimi.

Tablo 5.1. Silindirik depolu bir sistemin enerji ve ekserji analizi sonuçlarının kıyaslanması.

Alt sistem	Tersinmezlik (kW)	Enerji kaybı (%)	Ekserji kaybı (%)	Birinci kanun verimi (%)	İkinci kanun verimi (%)
Kollektör	84.7	4.2	39.7	95.7	60.2
Depo	25.4	77.9	19.8	22.1	80.1
Isı pompası	42.1	29.8	40.9	70.1	59.0
Konut	47.8	57.3	78.6	42.6	21.3
Toplam sistem	152.3	85.1	71.4	14.8	28.5

Tablo 5.2. Trapez depolu bir sistemin enerji ve ekserji analizi sonuçlarının kıyaslanması.

Alt sistem	Tersinmezlik (kW)	Enerji kaybı (%)	Ekserji kaybı (%)	Birinci kanun verimi (%)	İkinci kanun verimi (%)
Kollektör	84.7	4.2	39.7	95.7	60.2
Depo	10.5	77.6	8.2	22.3	91.7
Isı pompası	55.8	29.5	47.4	70.5	52.5
Konut	48.9	58.1	79.0	41.8	20.9
Toplam sistem	147.2	84.8	70.9	15.1	29.0

5.2. Termo-ekonomik Analiz

Bu bölümde, yer altı mevsimlik depolamalı güneş ısıtma sisteminde kollektör alanı ve depo hacminin ekonomik optimum boyutları, daha önce Bölüm 3 'de anlatılan P_1 - P_2 metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Bu amaçla, yine daha önceden kullanılan MATLAB optimization Toolbox 'ı kullanılmıştır [31].

(3.29) eşitliği ile verilen güneş katkısı ifadesi (3.30) eşitliğinde yerine konur ve gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$S = P_1 C_F (Q_H - W) + P_1 C_F Q_{id} V - P_2 C_A A_o - P_2 C_E \quad (5.18)$$

eşitliği elde edilir. Burada Q_{id} , depodaki iç enerji değişimi olup, (4.21) eşitliğinden hesaplanır.

Kazancı maksimum yapan ifade, amaç fonksiyonu olarak seçildiğinde, (5.18) eşitliği bizim amaç fonksiyonumuz olacaktır.

(3.35) eşitliği ile verilen geri dönüş süresi ifadesinde güneş katkısı ifadesini yerine koyarsak, aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$N_p = \frac{\ln \left[1 - \frac{(P_2 C_A A_{opt} + P_2 C_E)(d_f - i)}{C_F(Q_H - W) + C_F Q_f V_{opt}} \right]}{\ln \left[\frac{(1+i)}{(1+d_f)} \right]} \quad (5.19)$$

Şayet $i = d$ eşit alınırsa, bu durumda (5.19) eşitliği,

$$N_p = \frac{(P_2 C_A A_{opt} + P_2 C_E)(1+i)}{C_F(Q_H - W) - C_F Q_f V_{opt}} \quad (5.20)$$

haline indirgenir.

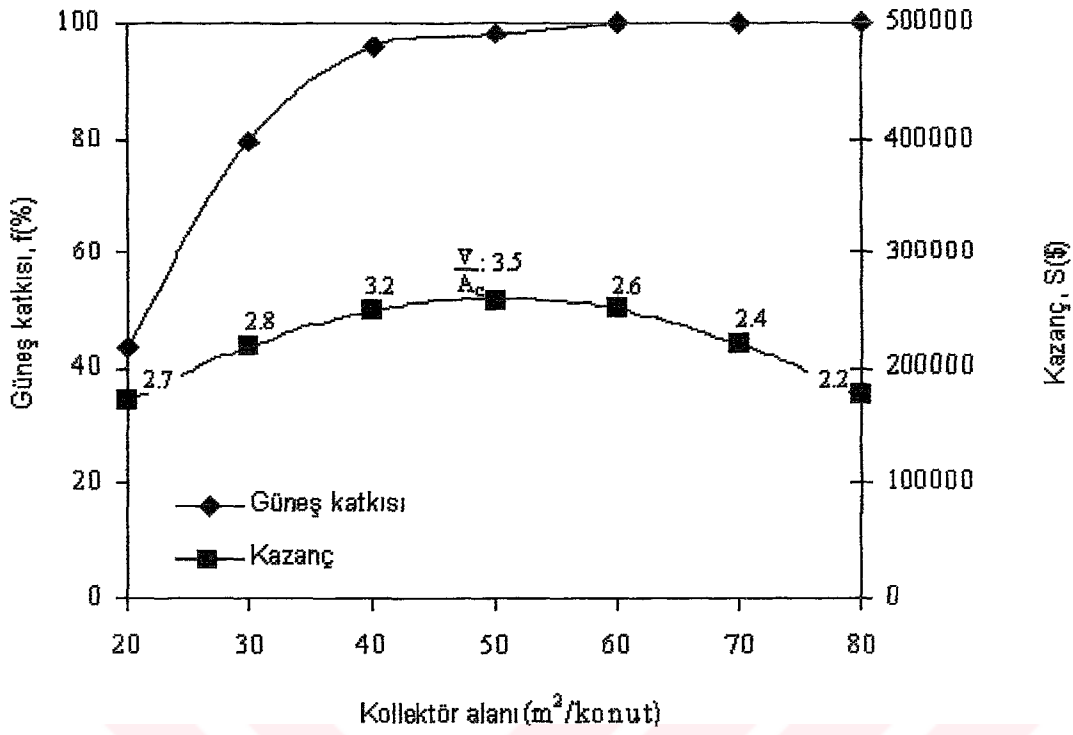
5.2.1. Thermo-Ekonomik Analizi Sonuçları ve Tartışma

(5.18) eşitliğinde verilen amaç fonksiyonu, Türkiye 'nin beş farklı bölgesi için çözümlenerek her bir bölge için optimum kolektör alanı ve depo hacmi hesaplanmıştır. Bu beş ile ait meteorolojik veriler Tablo 5.3 'de gösterilmiştir.

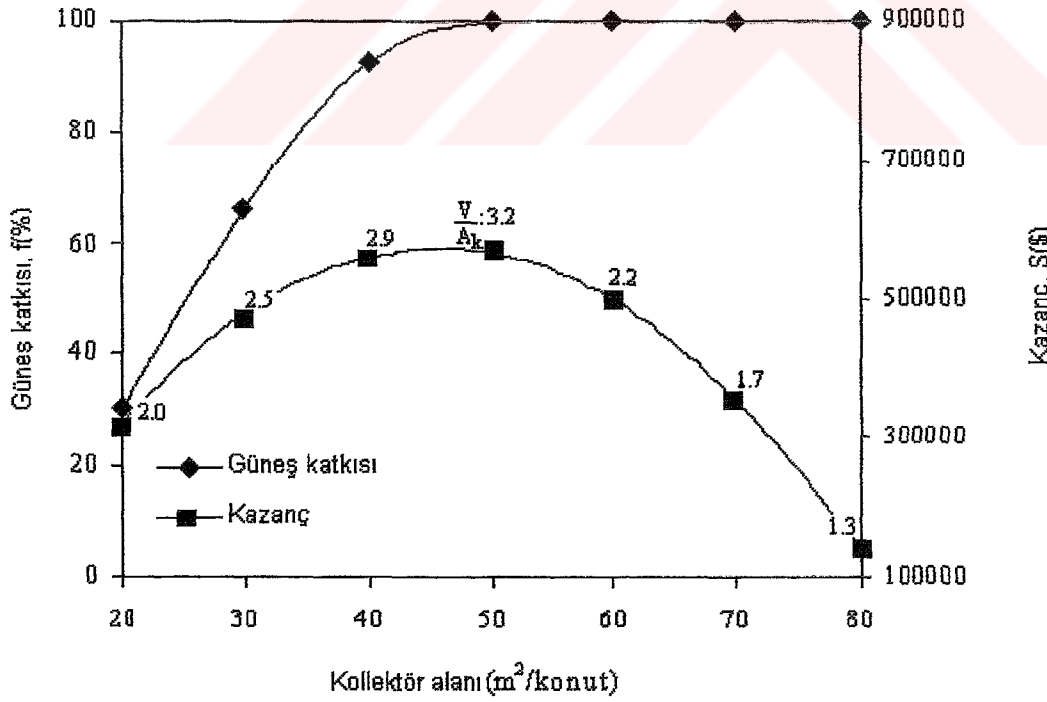
Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6 'da sırasıyla 1, 50 ve 500 konut için güneş ışınlam şiddeti ve ekonomik kazancın bir fonksiyonu olarak optimum kolektör alanı ve depo hacimleri çizilmiştir. Bu sonuçlar, Elazığ iklim şartları ve siyah boyalı-düz plakalı kolektör için geçerlidir. Şekillerden de görüleceği üzere, sistemin ekonomik kazancının maksimum olabilmesi için gerekli kolektör alanı, konut sayısının artmasıyla birlikte azalmaktadır. Örneğin, 1 konutlu bir sistemde, maksimum kazançla ulaşmak için gerekli kolektör alanı 50 m²/konut iken, 500 konutlu sistemde bu değer 45 m²/konut 'a düşmektedir.

Tablo 5.3. Beş farklı iklim bölgesi için meteorolojik veriler (Ünsal ve Doğan, 1980)

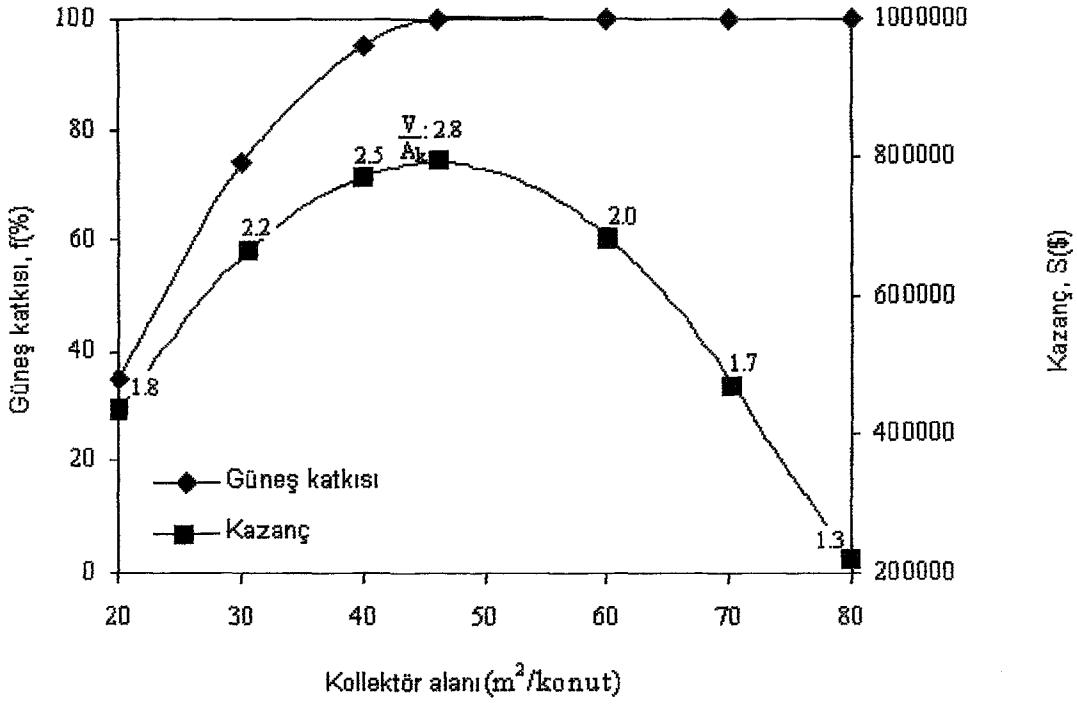
İL	ADANA	İZMİR	İSTANBUL	ELAZIĞ	ERZURUM
Enlem Derecesi (°)	37	38.5	40.0	38.7	39
Yıllık Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	18.7	17.3	13.8	13.0	7.9
En Yüksek Aylık Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	28.1	27.5	23.2	27.2	19.6
En Düşük Aylık Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	9.3	8.2	5.1	-1.3	-8.3
Yıllık Ortalama Yatay Yüzey Güneş Işınım (MJ/m ² gün)	13.5	12.1	13.1	12.9	14.3
En Yüksek Aylık Ortalama Yatay Yüzey Güneş Işınım (MJ/m ² gün)	17.0	16.9	21.5	19.2	18.0
En Düşük Aylık Ortalama Yatay Yüzey Güneş Işınım (MJ/m ² gün)	7.4	7.3	4.4	7.1	11.4
Dış Tasarım sıcaklığı (°C)	0.0	0.0	-3.0	-12.0	-21.0



Şekil 5.4. Elazığ 'da bir konutlu bir sistem için optimum kolektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve ekonomik kazancın değişimi.

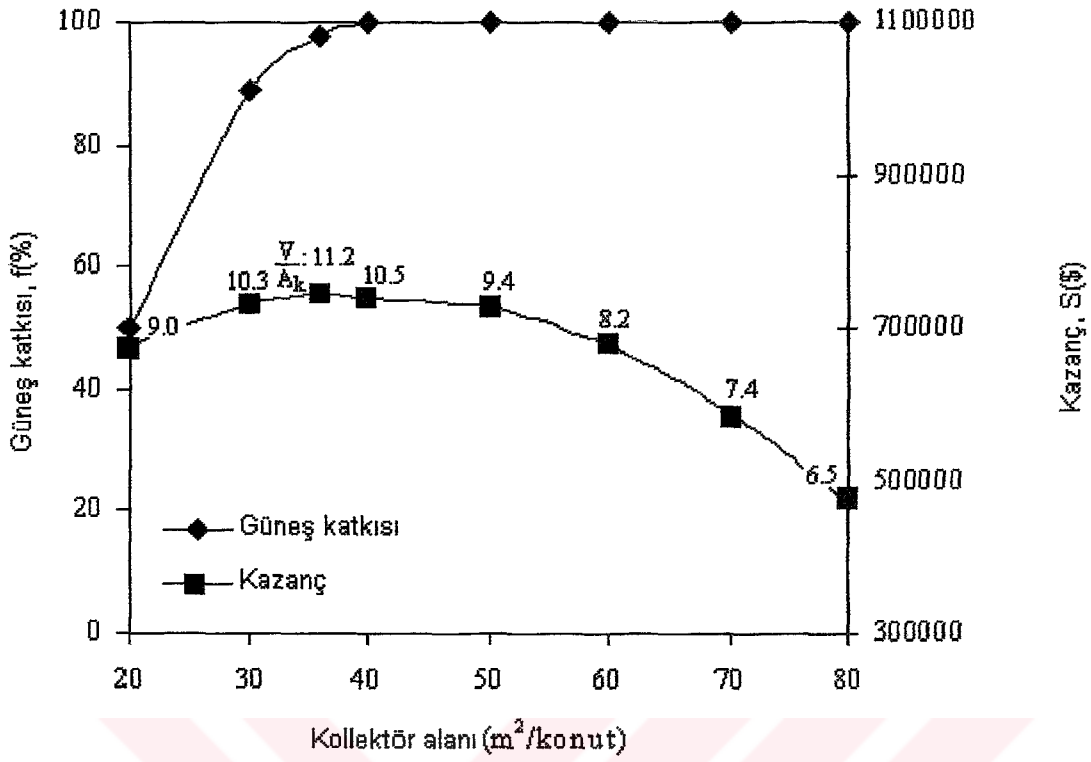


Şekil 5.5. Elazığ 'da 50 konutlu bir sistem için optimum kolektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve ekonomik kazancın değişimi.

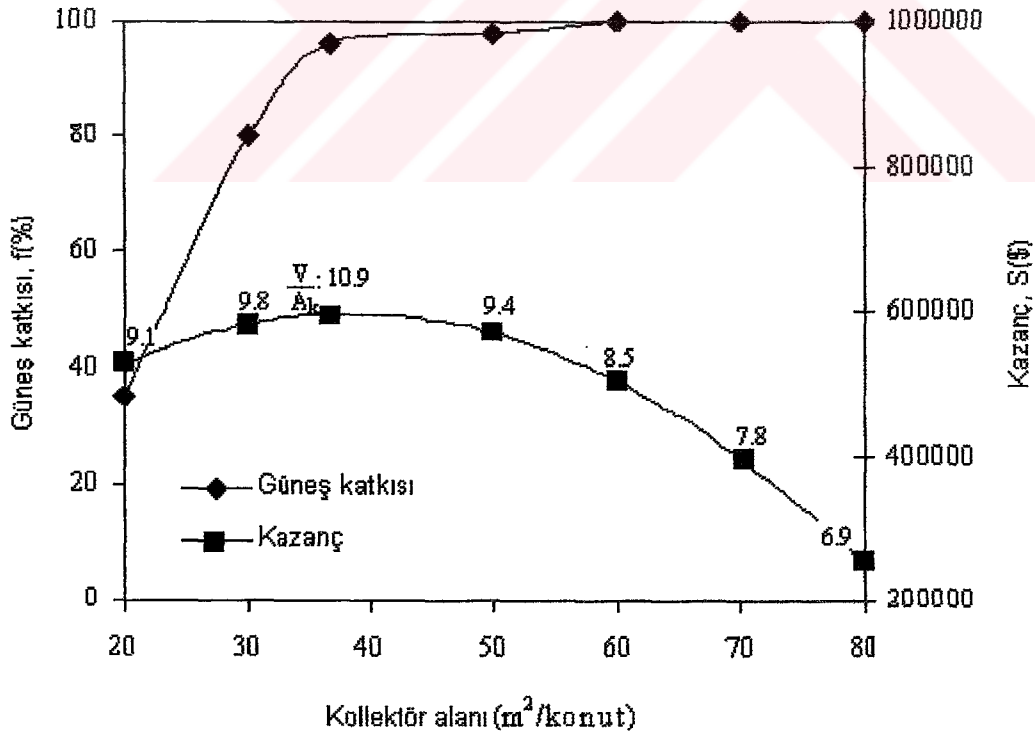


Şekil 5.6. Elazığ 'da 500 konutlu bir sistem için optimum kollektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve ekonomik kazanç değişimi.

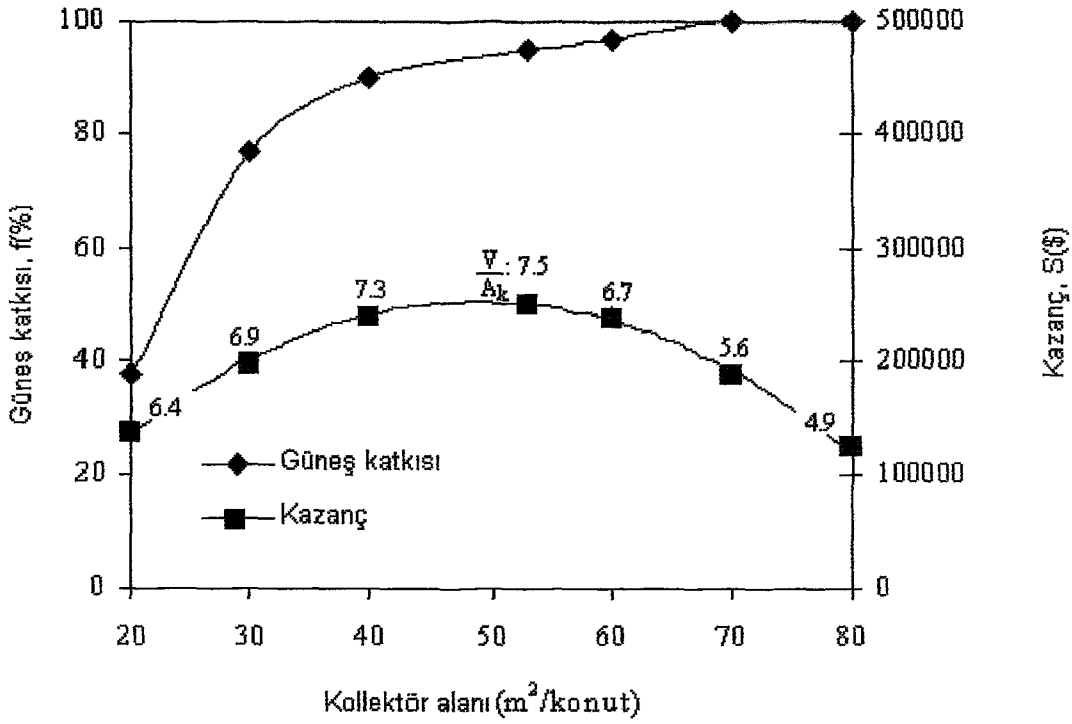
Şekil 5.7, 5.8, 5.9 ve 5.10 'da sırasıyla Adana, İzmir, İstanbul ve Erzurum illeri için bir konutlu sistemde optimum kollektör alanı ve depo hacmi değerleri için hesaplanan güneş katkısı ve sistemin yıllık ekonomik kazanç değerleri gösterilmektedir. Aynı depo hacmi kullanılması durumunda (100 m³), maksimum kazanç ulaşmak için gerekli kollektör alanı, Adana 'da 9 m² iken, Erzurum' da 37 m² 'dir. İzmir 'de ise optimum kollektör alanı değeri Erzurum için bulunan optimum kollektör alanı değerinden %74 daha azdır. Şekillerden görüleceği üzere, Elazığ ve İstanbul 'da optimum kollektör alanı değeri, Erzurum 'daki kollektör alanına göre sırasıyla %23 ve %18 daha küçük olarak tespit edilmiştir.



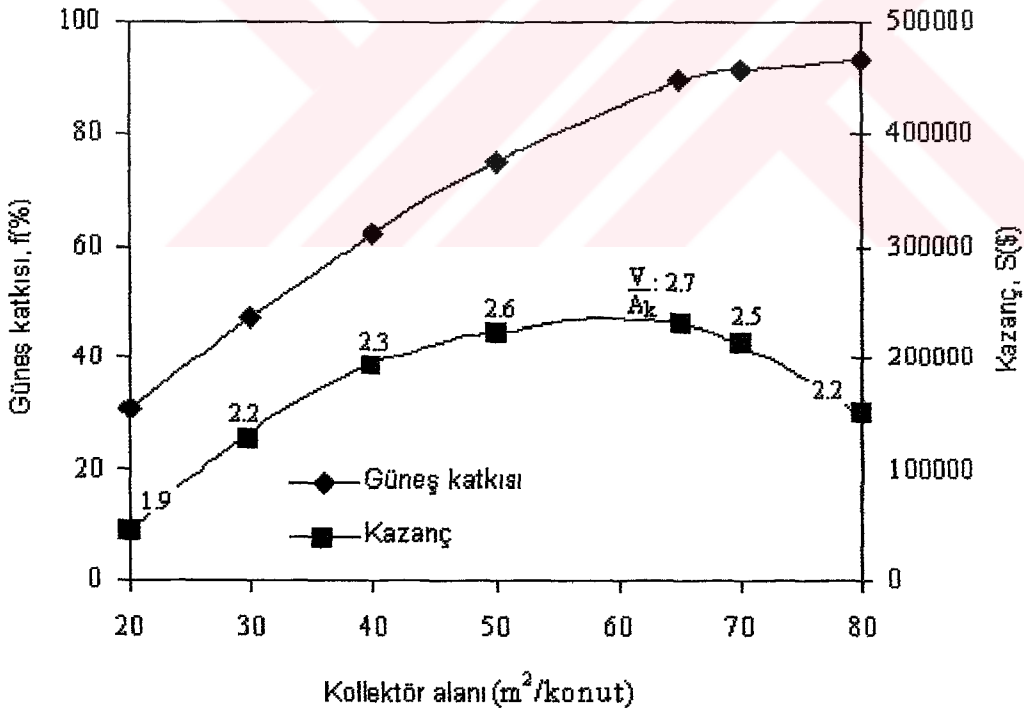
Şekil 5.7. Adana 'da bir konutlu bir sistem için optimum kollektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve ekonomik kazancın değişimi.



Şekil 5.8. İzmir 'de bir konutlu bir sistem için optimum kollektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve ekonomik kazancın değişimi.



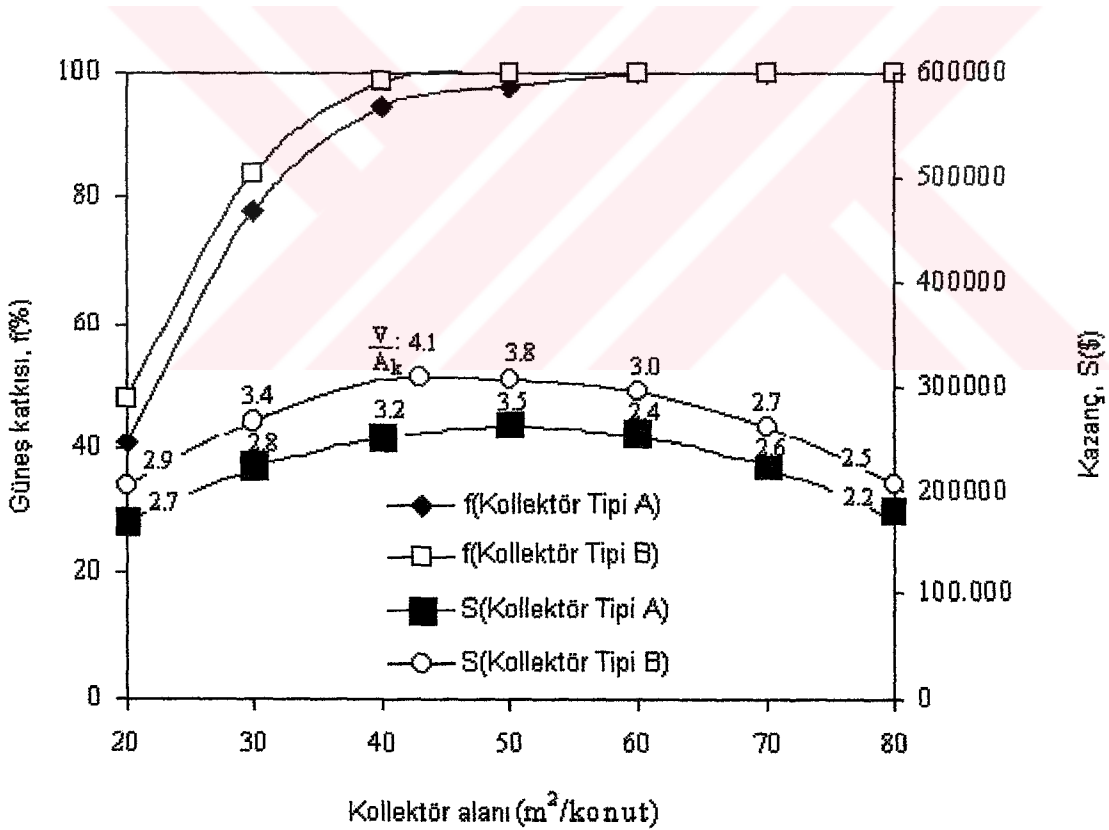
Şekil 5.9. İstanbul 'da bir konutlu bir sistem için optimum kollektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve ekonomik kazancın değişimi.



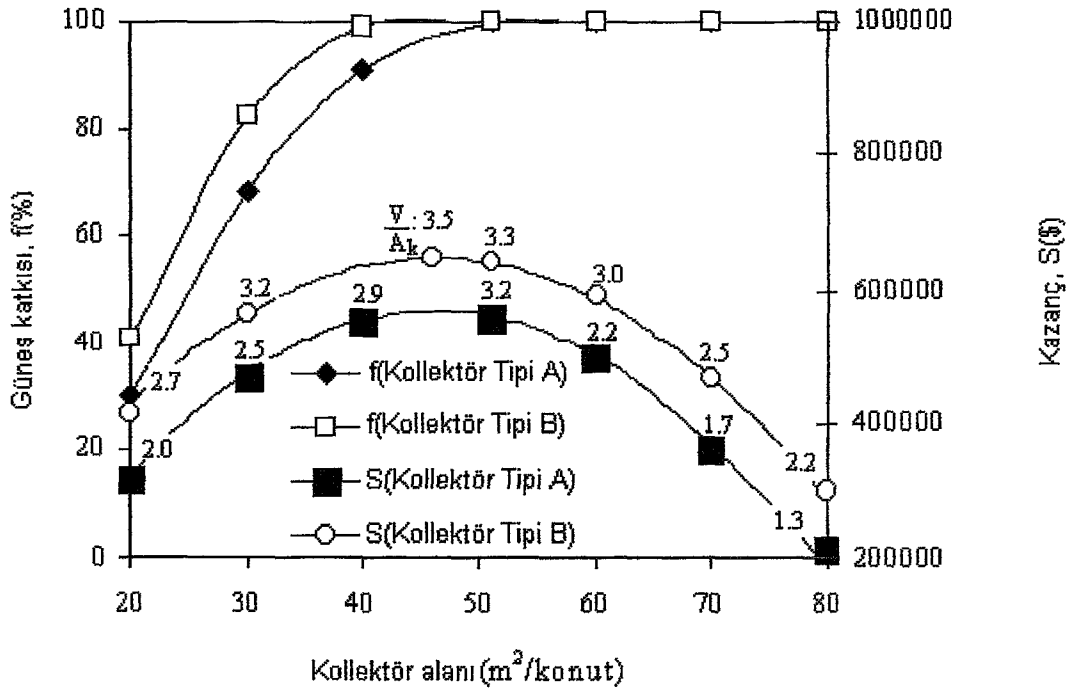
Şekil 5.10. Erzurum 'da bir konutlu bir sistem için optimum kollektör alanının bir fonksiyonu olarak güneş katkısı ve ekonomik kazancın değişimi.

Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13 'de sırasıyla 1, 50 ve 500 konut için, güneş katkısı ve sistemin yıllık kazancı üzerinde kolektör tipinin etkisi gösterilmiştir. Kolektör tipi B olarak gösterilen seçici yüzeyli-düz plakalı kolektörlerin yüksek yutucu özelliğine sahip olması nedeniyle, siyah boyalı güneş kolektörlerine göre daha küçük kolektör alanı gerektirmektedir. Seçici yüzeyli kolektörler siyah boyalı kolektörlere göre daha pahalı olmasına rağmen, daha küçük kolektör alanı kullanılmasından dolayı sistemin ekonomik kazancı da yüksek olmaktadır. Şekillerden görüleceği üzere, iki farklı kolektör tipi için de konut sayısı arttıkça optimum kolektör alanı azalmaktadır.

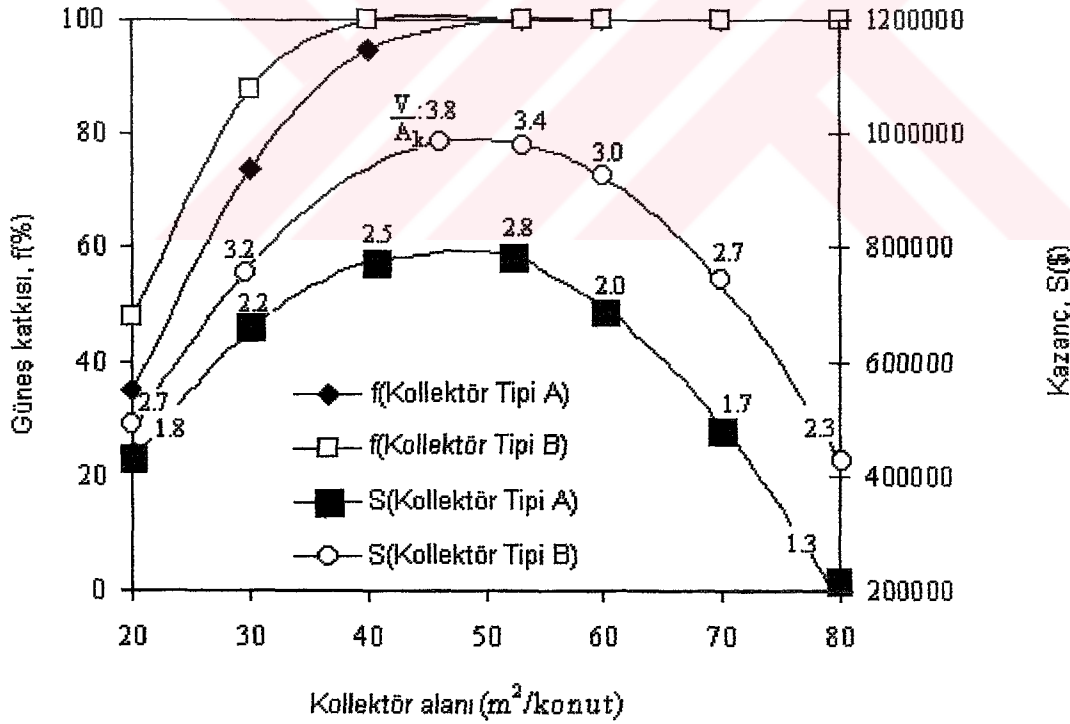
Şekil 5.14 'de beş farklı iklim bölgesi ve bir konutlu sistem için geri dönüş süreleri gösterilmiştir. Geri dönüş süreleri, optimum kolektör alanı ve depo hacmi değerleri için (5.20) eşitliğinden hesaplanmıştır. Adana ve İzmir 'deki sistemin geri dönüş süresi, Erzurum 'daki ısıl sisteme göre sırasıyla %53 ve %44 daha azdır. Elazığ 'daki sistem için hesaplanan geri dönüş süresi, İstanbul ilindeki sistemin geri dönüş süresinden daha az olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin beş farklı bölgesi için en düşük geri dönüş süreleri Tablo 5.4 'de özetlenmiştir.



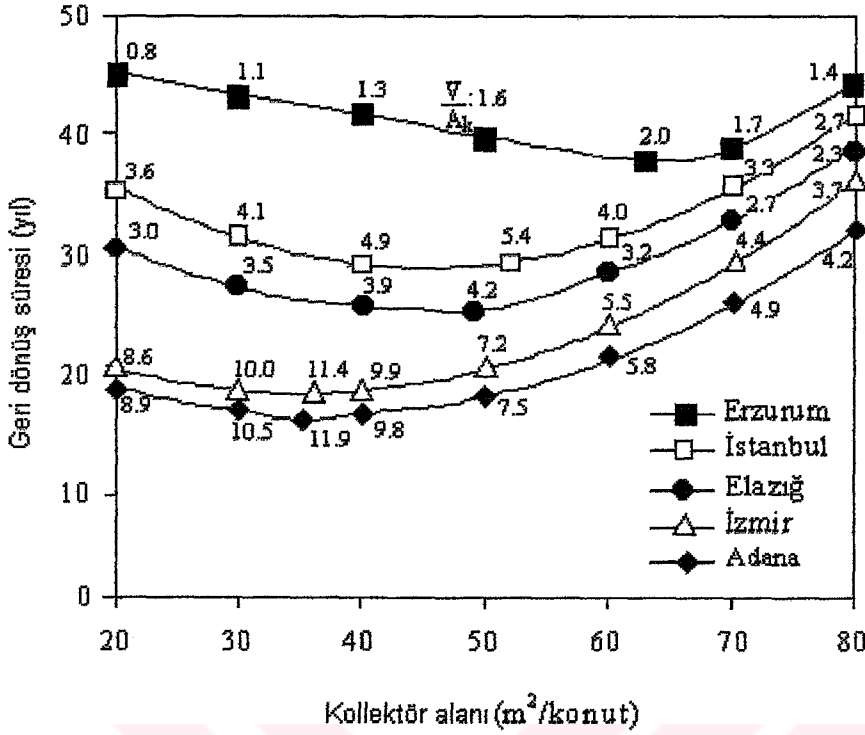
Şekil 5.11. Elazığ 'da bir konutlu bir sistem için güneş katkısı ve sistemin ekonomik kazancı üzerinde kolektör tipinin etkisi.



Şekil 5.12. Elazığ 'da 50 konutlu bir sistem için güneş katkısı ve sistemin ekonomik kazancı üzerinde kollektör tipinin etkisi.



Şekil 5.13. Elazığ 'da 500 konutlu bir sistem için güneş katkısı ve sistemin ekonomik kazancı üzerinde kollektör tipinin etkisi.



Şekil 5.14. 500 konutlu bir sistem için beş bölgenin geri dönüş sürelerinin kolektör alanına bağlı olarak değişimi.

Tablo 5.4. Beş farklı bölge için hesaplanan en düşük geri dönüş süreleri.

İl	Geri Dönüş Süresi, N_p (yıl)
Adana	13
İzmir	15
Elazığ	23
Erzurum	35
İstanbul	26

5.3. Ekserji-Ekonomik Analiz ile Termo-Ekonomik Analiz Sonuçlarının Mukayesesi

Bu kısımda, Bölüm 6 'da verilen ekserji-ekonomik analizi ile bu bölümdeki termo-ekonomik analizinden elde edilen sonuçların mukayesesi yapılmıştır. Silindirik depolu ısıtma sisteminin Elazığ iklim verileri için ekserji-ekonomik analizinden elde edilen depo hacmi ve kolektör alanının optimum değerleri ile termo-ekonomik analiz sonucunda hesaplanan değerler arasında fark olduğu görülmektedir. 50 konutlu bir sistem için bu iki analizden hesaplanan depo hacmi ile kolektör alanının optimum değerlerinin oranları (V/A_k) arasında %47 'lik bir fark

olduğu tespit edilmiştir. Elli konutlu bir sistemde aynı depo hacmi (1000 m^3) için optimum kolektör alanı ekserji-ekonomik analizde $9.1 \text{ m}^2/\text{konut}$ iken, termo-ekonomik analizde ise bu değeri $4.8 \text{ m}^2/\text{konut}$ 'dur. Mukayese edilen bu iki analizden ekserji-ekonomik analiz, temel olarak ekserjiye dayalı olarak yapılan bir ekonomik analizdir. P_1 - P_2 metodunun esas alındığı termo-ekonomik analizde özellikle güneşten kazanılan kazanç dikkate alınmaktadır.



6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, konut ısıtmada kullanılmak üzere güneş enerjisinin yer altına yerleştirilmiş silindirik, prizmatik ve trapez geometrili depolarda mevsimlik depolanması incelenmiş ve bu ısıtma sisteminin uzun süreli performansı araştırılmıştır. Bu araştırmada Türkiye 'nin beş farklı iklim bölgesi esas alınmıştır. Ayrıca, bu üç tip depolu sistemlerin termo-ekonomik ve ekserji-ekonomik analizleri yapılmış ve optimum kollektör alanı ile depo hacmi hesaplanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, ana hatlarıyla aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Kollektör alanı arttıkça, sistemin yıllık güneş katkısı ve ekonomik kazancı artmaktadır.
- En yüksek depo su sıcaklığı kumlu toprakta meydana gelirken, en düşüğü ise granitli toprakta meydana gelmektedir.
- İncelenen iklim bölgelerinin tümü için en yüksek depo su sıcaklığı Ekim, en düşüğü ise Nisan ayında olduğu gözlenmiştir.
- Aynı hacimli silindirik, prizmatik ve trapez depolu sistemler karşılaştırıldığında, en yüksek güneş katkısı trapez depolu sistemlerde meydana gelmektedir. Dolayısıyla, bu tür sistemlerin tasarımında deponun geometrisi oldukça önem taşımaktadır.
- Yüksek güneş katkısına ulaşmak için, trapez depolu sistemde daha küçük kollektör alanı ve depo hacmi kullanıldığından, bu tür sistemlerin yıllık ekonomik kazancı silindirik depolu sistemlere göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir.
- Silindirik ve trapez deponun farklı kompozit yapı içerisine gömülmesi durumunda, en yüksek depo su sıcaklığı kumlu toprakta elde edilmesine rağmen, tamamının kumlu toprağa gömülü sistemlerdekine göre daha küçük olarak hesaplanmıştır.
- Konut sayısı ve depo hacmi arttıkça deponun bulunduğu toprak türünün etkisi azalmaktadır.
- Konut sayısı arttıkça, sistemden elde edilen ekonomik kazanç artmaktadır.
- Deposu toprak üstünde olan sistemlerin yıllık güneş katkısı, toprak altına gömülü olan sistemlere göre daha düşük olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, toprak üstünde olan deponun yalıtım kalınlığı arttıkça yıllık güneş katkısı da artmaktadır.
- Sistemin ekonomik kazancının maksimum değere ulaşması için gerekli kollektör alanı, konut sayısının artmasıyla birlikte azalmaktadır. Örneğin, 1

konutlu bir sistemde maksimum ekonomik kazanca ulaşmak için gerekli kollektör alanı $50 \text{ m}^2/\text{konut}$ iken, 500 konutlu sistemde $45 \text{ m}^2/\text{konut}$ 'dur.

- Seçici yüzeyli düz plakalı kollektörlerin yüksek yutucu özelliğine sahip olması nedeniyle, siyah boyalı güneş kollektörlerine göre daha küçük kollektör alanı kullanılmaktadır. Seçici yüzeyli kollektörler siyah boyalı kollektörler göre daha pahalı olmasına rağmen, daha düşük kollektör alanı kullanıldığından dolayı sistemin kazancı da yüksek olmaktadır.
- Sistemin tasarımında bölgenin iklim verileri oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Aynı depo hacmi kullanılması durumunda (1000 m^3), maksimum kazanca ulaşmak için gerekli kollektör alanı, Adana 'da $36 \text{ m}^2/\text{konut}$ iken, Erzurum 'da bu değer $65 \text{ m}^2/\text{konut}$ olmaktadır.
- Adana ve İzmir 'deki sistemin geri dönüş süresi, Erzurum 'daki sisteme göre sırasıyla %53 ve %44 daha düşüktür. Elazığ 'daki ısıtım sistemi için hesaplanan geri dönüş süresi, İstanbul ilindeki sistemin geri dönüş süresinden daha az olarak tespit edilmiştir.
- İkinci kanun verimi, kollektör alanı ve depo hacminin optimum değerlerinde maksimum değere ulaşırken, toplam maliyet minimum olmaktadır. Bir konutlu bir sistemde, aynı depo hacmi (100 m^3) için minimum maliyete ulaşmak için optimum kollektör alanı trapez depolu sistemde $40 \text{ m}^2/\text{konut}$ iken, silindirik depolu bir sistemde $41.6 \text{ m}^2/\text{konut}$ olmaktadır.
- Trapez depodaki ekserji kaybı, silindirik depolu sistemdeki ekserji kaybından daha düşük olarak bulunmuştur.
- Silindirik depolu sistemde diğer sisteme göre daha büyük kollektör alanı kullanıldığından, silindirik depolu sistemin maliyeti trapez depolu sisteme göre daha yüksek olarak bulunmuştur.

Güneş odaklı alternatif enerjilerin, bugünün basit ve tehlikesiz teknolojileri ile Türkiye'nin bugünkü ve gelecekteki enerjileri ihtiyaçlarını karşılayabilecektir. Türkiye bir güneş ülkesi olup, Avrupa 'nın ve gelişmiş birçok kuzey ülkesinden daha iyi koşullara sahiptir. Bu avantajını iyi kullanmalıdır. Bilindiği gibi kalkınmanın en önemli faktörü, sahip olunan zenginlikleri değerlendirebilmektir. Güneş enerjisi konusundaki bu zenginlik, gelişmenin de en önemli itici gücünü oluşturur. Bu ayrıcalıklı durum, Türkiye 'ye 21. yüzyılda tarihsel bir olanak sunmaktadır. Dünyada artık, enerji tüketen evler sistemi yerine enerji üreten evler sistemleri geliştirilmiş ve hızla uygulanmaya başlamıştır. Türkiye 'nin en önemli kaynağı olan güneş enerjisinden faydalanarak konutların ısıtılması sağlamak, bugünkü ve gelecekteki enerji

ihtiyacının karşılanması açısından oldukça faydalı olacaktır. Bu nedenle, bu tür sistemlerin performanslarının iyileştirilmesi çalışmaları oldukça önem kazanmaktadır.



KAYNAKLAR

- 1- Bankston, C.A, 1988, The Status and Apotential of Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage: an International Report, Advancing in Solar Energy, 352-444.
- 2- Lund, P.D. and Kangas, M.T., 1983, Net Energy Analysis of District Solar Heating with Seasonal Heat Storage, Energy, 8, No.10, 235-251.
- 3- Lund, P.D., 1986, Computational Simulation of District Solar Heating System with Seasonal Thermal Energy Storage, Solar Energy, 36, 397-408.
- 4- Zaheer-Uddin, M., Rink, R.E. and Gourishankar, V.G., 1986, A Design Criterion for Solar-Assisted Heat Pump System, Energy, 12, 355-367.
- 5- Lund, P.D., 1989, A General Design Methodology for Seasonal Storage Solar Systems, Solar Energy, 42, 235-251.
- 6- Reuss, M., Beck, M., J. P, Müller, 1997, Design of a Seasonal Thermal Energy Storage in the Ground, Solar Energy, 59, 247-257.
- 7- Argiriou, A. A., 1997, CSHPSS Systems in Greece: Test of Simulation Software and Analysis of Typical Systems, Solar Energy, 60, 159-170.
- 8- Chung, M., Park, J. and Yoon, H., 1998, Simulation of a Central Solar Heating System with Seasonal Storage in Korea, Solar Energy, 64, 163-178.
- 9- Lindenberger, D., Bruckner, T., Groscurth, H.M. and Kümmel, R., 2000, Optimization of District Heating Systems: Seasonal Storage, Heat Pumps and Cogeneration, Energy, 25, 591-608.

- 10- Bargach, M.N., Tadili, R., Dahman, A.S. and Boukallouch, M., 2000, Survey of Thermal Performances of a Solar System Used for the Heating of Agricultural Greenhouse in Morocco, *Renewable Energy*, 20, 415-433.
- 11- Nordell, B. and Hellström, G., 2000, High Temperature Solar Heated Seasonal Storage System for Low Temperature Heating of Buildings, *Solar Energy*, 69, 511-523.
- 12- Michaelides, I.M. and Wilson, D.R., 1997, Optimisation of Design Criteria for Solar Space Heating Systems through Modeling and Simulation, *Proceedings: Fifth International Conference on Building Simulation*, Prague, 315-319.
- 13- Pahud, D., 2000, Central Solar Heating Plants with Seasonal Duct Storage and Short-Term Water Storage: Design Guidelines Obtained by Dynamic System Simulations, *Solar Energy*, 69, 495-509.
- 14- Kusuda, T. and Bean, J.W., 1982, Simplified Methods for Determining Seasonal Heat Loss from Insulated Slab-on-Grade Floors, *ASHREA*, No.4, 611-632.
- 15- Yavuztürk, C. and Spitler, D.J., 1999, A Short Time Step Response Factor Model for Vertical Ground Loop Heat Exchangers, Submitted to *ASHREA Transactions*.
- 16- Yumrutaş, R. and Ünsal, M., 2000, Analysis of Solar Aided Heat Pump Systems with Seasonal Thermal Energy Storage in Surface Tanks, *Energy*, 25, 1231-1243.
- 17- İnallı, M., Ünsal, M. and Tanyıldızı, V., 1997, A Computational Model of a Domestic Solar Heating System with Underground Spherical Thermal Storage, *Energy*, 22, 1163-1172.

18- Dwayne, S., Breger, James E., Hubbell, Hamid El Hasnaoui and J. Edward Sunderland, 1996, Thermal energy storage in the ground: Comparative analysis of heat transfer modeling using U-tubes and boreholes, *Solar Energy*, 56, 493-503.

19- Bilgen, E, Takahashi H., 2002, Exergy Analysis and Experimental Study of Heat Pump Systems, *Exergy, an International Journal*, 2, No.4, 259-265.

20- Torres-Reyes, E. and Cervantes de Gortari, J., 2001, Optimal Performance of an Irreversible Solar-Assisted Heat Pump, *Exergy, An International Journal*, 1, No.2, 107-111.

21- Singh, N, Kaushik, S.C. and Misra, R.D., 2000, Exergetic Analysis of Solar Thermal Power System, *Renewable Energy*, 19, No.1-2, 135-143.

22- Badescu, V., 2002, First and Second Law Analysis of a Solar Assisted Heat Pump Based Heating System, *Energy Conversion and Management*, 43, No.18, 2539-2552.

23- Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1992, *Solar Engineering of Thermal Process*, John Wiley and Sons, New York.

24- Söylemez, M.S., 2004, On the Thermo Economical Optimization of Single Stage Refrigeration Systems, *Energy and Buildings*, 36, 965-968.

25- Huebner, K.H., 1982, *The Finite Element Method for Engineers*, John Wiley and Sons, Inc., Newyork.

26- Duranay, M., 1998, Değişik Soğutma Durumlarında Dik Kompozit Plakalarda Sıcaklık Dağılımının Zamana Bağlı Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, F.Ü., Elazığ.

- 27- Mc Adams, W.H., 1954, Heat Transmission, 3rd edn, McGraw-Hill, NY.
- 28- Sciubba, E., 2004, Lecture Notes on Thermoeconomic Optimization, International Summer School on Thermodynamic Optimization and Contractual Design, Istanbul, Turkey.
- 29- Öztürk, H.H., 2005, Experimental Evaluation of Energy and Exergy Efficiency of a Seasonal Latent Heat Storage System for Greenhouse Heating, Energy Conversion and Management, 46, No.9-10, 1523-1542.
- 30- Göğüş, Y.A., 2004, Lecture Notes on Thermoeconomic Optimization, International Summer School on Thermodynamic Optimization and Contractual Design, Istanbul, Turkey.
- 31- Student Edition of MATLAB, Student User's Guide, the Math Works Inc., 1992.
- 32- Breger, S. D., Hubbell, J.E., Hasnaoui, H.E. and Sunderland, J.E., 1996, Thermal Energy Storage in the Ground: Comparative Analysis of Heat Transfer Modeling Using U-Tubes and Boreholes, Solar Energy, 56, 49-503.
- 33- Cervantes, J.G. and Torres-Reyes, E., 2002, Experimental on a Solar-Assisted Heat Pump and an Exergy Analysis of the System, Applied Thermal Engineering, 22, 1289-1297.
- 34- Çomaklı, K., Yüksel, B. and Çomaklı, Ö., 2004, Evaluation of Energy and Exergy Losses in District Heating Network, Applied Thermal Engineering, 24, No.7, 1009-1017.
- 35- D'accadia, D.M and Sasso, M., 1998, Exergetic Cost and Exergoeconomic Evaluation of Vapour-Compression Heat Pumps, Energy, 23, No.11, 937-942.

- 36- Hua, B., Chen, Q.L. and Wang, P., 1997, A New Exergoeconomic Approach for Analysis and Optimization of Energy Systems, *Energy*, 22, No.11, 1071-1078.
- 37- Kaygusuz, K. and Ayhan, T., 1993, Exergy Analysis of Solar-Assisted Heat-Pump Systems for Domestic Heating, 18, No.10, 1077-1085.
- 38- Kübler, R., Fisch, N. and Hahne, E., 1997, High Temperature Water Pit Storage Projects for the Seasonal Storage of Solar Energy, *Solar Energy*, 61, No.2, 97-105.
- 39- 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.
- 40- Nordell, B. and Hellström, G., 2000, High Temperature Solar Heated Seasonal Storage System for Low Temperature Heating of Buildings, *Solar Energy*, 69, 511-523.
- 41- Özgener O. and Hepbasli, A., 2005, Experimental Performance Analysis of a Solar Assisted Ground-Source Heat Pump Greenhouse Heating System, *Energy and Buildings*, 37, No.1, 101-110.
- 42- Özgener, O. and Hepbasli, A., 2005, Exergoeconomic Analysis of a Solar Assisted Ground-Source Heat Pump Greenhouse Heating System, *Applied Thermal Engineering*, 25, No.10, 1459-1471.
- 43- Quadir, G.A., Krishnan, G.M. and Seetharamu, K.N., 2002, Modeling of Wire-on-Tube Heat Exchangers using Finite Element Method, *Finite Elements in Analysis and Design*, 38, 417-434.

- 44- Rosen, M.A, Dincer, I., 2003, Exergoeconomic Analysis of Power Plants Operating on Various Fuels, *Applied Thermal Engineering*, 23, No.6, 643-658.
- 45- Schmidt, T., Mangold, D. and Müller-Steinhagen, H., 2004, Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage in Germany, *Solar Energy*, Vol.76, 165-174.
- 46- Shelton, J., 1975, Underground Storage of Heat in Solar Heating Systems, 17, 137-143.
- 47- Ünsal, M. and Doğantan, Z. S., 1980, *Solar Tables*, Design Data for Solar Aided Space Heating System, Middle East Technical University, Gaziantep Campus.
- 48- Valero, A., Lozano, A., Sierra, L., Tsatsaronis, G., Pisa, J., Frangopoulos, C.A. and Von Spakovsky, M.R., 1994, CGAM Problem: Definition and Conventional Solution, *Energy*, 19, No.3, 279-286.
- 49- Yumrutaş, R. and Ünsal, M., 2000, A Computational Model of a Heat Pump System with a Hemispherical Surface Tank as the Ground Heat Source, *Energy*, 25, 371-388.

ÖZGEÇMİŞ

18.06.1973 tarihinde Elazığ 'da doğdum. İlk ve orta öğretimimi Elazığ 'da tamamladım. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında kazandım. 1994 yılında aynı bölümden mezun oldum ve 1996 yılında Termodinamik Anabilim Dalında yüksek lisans çalışmasına başladım. 1997 yılında aynı Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladım. 1998 yılında yüksek lisans derecesini alarak doktora eğitimine başladım. Evli ve bir çocuk annesiyim.

Aynur UÇAR



EK-1. Mevsimlik Depolu Bir Güneş Isıtma Sisteminde Depo ve Deponun Bulunduğu Toprağın Sıcaklık Dağılımını Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Hesaplayan Bilgisayar Programı

clear all

xbyt=50; ybyt=100; % x ve y boyutları

xblt=12; yblt=18; % x ve y yönündeki bölüntü sayıları

ro=2050; Cp=1842; k=0.519; %Deponun bulunduğu toprağın fiziksel özellikleri

PI = 4*atan(1); Tson=15; Th=50; T0=25; TAL=0.76; FR=0.95; UL=4.5;UA=312.5;

DT=86400;

R=(xbyt/xbt)/2; S=(ybyt/yblt)/2;

%İnterpolasyon fonksiyonları

N(1,1)=0.25*(1-R)*(1-S);

N(2,1)=0.25*(1+R)*(1-S);

N(3,1)=0.25*(1+R)*(1+S);

N(4,1)=0.25*(1-R)*(1+S);

TN=N';%İnterpolasyon fonksiyonun tersi

TN1=N*TN;%Matrislerin çarpımı

%[B] Matrisi

B(1,1)=0.25*(-1+S);

B(1,2)=0.25*(1-S);

B(1,3)=0.25*(1+S);

B(1,4)=0.25*(-1-S);

B(2,1)=0.25*(-1+R);

B(2,2)=0.25*(-1-R);

B(2,3)=0.25*(1+R);

B(2,4)=0.25*(1-R);

```

for j=1:(yblt+1)
    x(((j-1)*(xblt+1)+1):(j*(xblt+1)))=0:(xbyl/xblt):xbyl;
    y(((j-1)*(xblt+1)+1):(j*(xblt+1)))=(j-1)*(ybyl/yblt);
end

```

```

T(1:4,1:(xblt*yblt))=15;%Başlangıç sıcaklığı
%Aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları
Taa(1:12)=[27.2 27 22 14.8 7.8 1.5 0 0 4.7 11.8 17.4 22.9];

```

```

%Yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük güneş ışımasını değerleri(Mj/gün.m2)
H(1:12)=[18.3 19.2 17.5 13.5 8.5 6.9 7.1 10.7 12.6 15.4 15.6 18.1];

```

```

%Aylık ortalama depoya giren net enerji miktarının hesaplanması

```

```

for yil=1:12
    L(yil)=UA*KSA*(Ti-Ta(yil));
    C(yil)=U*(Th-Ta(yil))+Ti-Tson;
    A2=2*PI*R*L;
    if Ts(yil)>=C(yil)
        W1(yil)=0;
    else
        W1(yil)=(UA*KSA*(Ti-Ta(yil))*(U*(Ti-Ta(yil)))+(Ti-Ts(yil)))/(B*C(yil));
        qg(yil)=(A*H(yil)*FR*TAL*1000000)/(86400*A2);
        qk(yil)=L(yil)/A2;
        qip(yil)=qk(yil)-W1(yil);
        qy(yil)=qg(yil)-qip(yil);
        Ta=Taa(yil);
        q=qy(yil);
        for ay=1:365
            m=1;

```

```

for n=1:(xblt*yblt)
    x11=x(n+(m-1)); x12=x(n+1+(m-1)); x22=x(n+xblt+2+(m-1)); x21=x(n+xblt+1+(m-1));
    y11=y(n+(m-1)); y12=y(n+1+(m-1)); y22=y(n+xblt+2+(m-1)); y21=y(n+xblt+1+(m-1));
    sr=3;

```

```

if n==((sr-1)*xblt+1)
    ro=1000;
    Cp=4182;
    k=0.577;
else
    ro=1500;
    Cp=848;
    k=1.4;
end

%Jakobian matrisi
JJ=[0.25*((-1*(1-S)*x11)+(1-S)*x12+(1+S)*x21+(-1*(1+S)*x22)) 0.25*((-1*(1-S)*y11)+(1-S)*x12+(1+S)*y21+(-1*(1+S)*y22))
    0.25*((-1*(1-R)*x11)+(-1*(1+R)*x12)+(1+R)*x21+(1-R)*x22) 0.25*((-1*(1-R)*y11)+(-1*(1+R)*y12)+(1+R)*y21+(1-R)*y22)];

J(1:2,((n-1)*2+1):(n*2))=JJ;

DJ=det(JJ); % Jakobiye matrisin determinanti

IJ(1:2,((n-1)*2+1):(n*2))=inv(JJ); % Jakobiye matrisin tersi
BGS=inv(JJ)*B;
BG=k*BGS'*BGS*DJ;
C=ro*Cp*N*N'*DJ;
Rh=H*Ta*N*DJ;
Rq=q*N*DJ;
M=C+0.5*DT*BG;

if (n-1)<=xblt
    T(1:2,n)=15;
else
    T=T;
End

if n==((sr-1)*xblt+1)

```

```

TT(1:4,n)=pinv(M)*(C*T(1:4,n)-DT*Rq);
elseif n>(xblt*yblt-xblt)
    TT(1:4,n)=pinv(M)*((C-0.5*DT*BG)*T(1:4,n)+DT*Rh);
else
    TT(1:4,n)=pinv(M)*((C-0.5*DT*BG)*T(1:4,n));

end

```

```

if n>(xblt*yblt-xblt)
    TT(1:4,n)=pinv(C)*((C-DT*BG)*T(1:4,n)-DT*Rh);
    TT(1:4,n)=pinv(M)*((C-0.5*DT*BG)*T(1:4,n)-DT*Rh);

else
    TT(1:4,n)=pinv(C)*((C-DT*BG)*T(1:4,n));
    TT(1:4,n)=pinv(M)*((C-0.5*DT*BG)*T(1:4,n));

end

```

```

T(1:4,n+1)=TT(1:4,n);
if n>xblt
    TT(1,n)=TT(4,(n-xblt));
    TT(2,n)=TT(3,(n-xblt));
    TT(4,n)=TT(3,(n-1));

end

```

```

if n>xblt
    T(1,n+1)=TT(4,(n-xblt));
    T(2,n+1)=TT(3,(n-xblt));
    T(4,n+1)=TT(3,(n-1));

end
end

```

```

Taylar(((yil-1)*4+1):4*yil,n)=T(1:4,n);
end
end
T

```



```

%*****
% mesh veya contour eğrisi için
%*****
for yg=1:(yb1t+1)
    for xg=1:(xb1t+1)

        if yg==(yb1t+1)
            if xg==(xb1t+1)
                G(yg,xg)=T(3,((yg-2)*(xb1t)+(xg-1)+1));
            else
                G(yg,xg)=T(4,((yg-2)*(xb1t)+xg+1));
            end
        else
            if xg==(xb1t+1)
                G(yg,xg)=T(2,((yg-1)*(xb1t)+(xg-1)+1));
            else
                G(yg,xg)=T(1,((yg-1)*(xb1t)+xg+1));
            end
        end
    end
end
figure(1)
mesh(G)
%*****

```

EK-2. ANSYS Sonlu Elemanlar Programında Silindirik Depo ve Etrafındaki Toprağın Sıcaklık Dağılımını Bir Yıllık Zaman İçin Çözen Program

/PREP7

/TITLE, TOPRAKTA SICAKLIK DAGILIMI

C*** ANALIZ TURU VE KULLANILAN ELEMANNIN SISTEME TANITILMASI

ANTYPE, TRANS

ET, 1, PLANE55

ET, 2, PLANE55

MP, DENS, 1, 1500

MP, C, 1, 848

MP, KXX, 1, 1.4

MP, ALPX, 1, 1.1E-6

MP, DENS, 2, 1000

MP, C, 2, 4200

MP, KXX, 2, 577E-3

! Alanların oluşturulması

K, 1

K, 2, 20

K, 3, 20, 40

K, 4, 40

K, 5, 35

K, 6, 4, 35

K, 7, 4, 19

K, 8, 19

A, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

A, 5, 8, 7, 6

! Alanların elemanlara bölünmesi

esize, 1 *! elemanın boyutu*

mat, 2

amesh, 2 *! bölünecek alan 2*

esize,2 *! elemanın boyutu*
mat,1
real,1
amesh,1 *!bölünecek alan 1*

! Sabit sıcaklık sınır şartının verilmesi

NSEL,S,LOC,X,0
NSEL,S,LOC,Y,0
D,ALL,TEMP,15 **!ALT YÜZEYDEKİ NODLARDA SICAKLIK**
NSEL,ALL

! Aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları

TA1=27.2
TA2=27
TA3=22
TA4=14.8
TA5=7.8
TA6=1.5
TA7=0
TA8=0
TA9=4.7
TA10=11.8
TA11=17.4
TA12=22.9

! Yatay yüzeye gelen aylık ortalama güneş ısıtım değerleri

H1=18.3
H2=19.2
H3=17.5
H4=13.5
H5=8.5
H6=6.9
H7=7.1
H8=10.7
H9=12.6

H10=15.4

H11=15.6

H12=18.1

Ti=20 !İç tasarım sıcaklığı

TAL=0.89 !Yutma-geçirme katsayısı

FR=0.9 !Isı kazanç faktörü

UL=7.4 !Kollektör ısı kayıp katsayısı

UA=312.5 !Konutun (UA) değeri

KSA=1 !Konut sayısı

R=6 !Deponun yarıçapı

L=12 !Deponun yüksekliği

A=30*KSA !Kollektör alanı

PI=3.1415926535897

C2=PI*R*L

!Depoya giren net enerji miktarı

A1=((A*H1*FR*TAL*1000000)/(86400)-(UA*KSA*(Ti-TA1)))/C2

A2=((A*H2*FR*TAL*1000000)/(86400*C2))-((UA*KSA*(Ti-TA2))/C2)

A3=((A*H3*FR*TAL*1000000)/(86400*C2))-((UA*KSA*(Ti-TA3))/C2)

A4=((A*H4*FR*TAL*1000000)/(86400*C2))-((UA*KSA*(Ti-TA4))/C2)

A5=((A*H5*FR*TAL*1000000)/(86400*C2))-((UA*KSA*(Ti-TA5))/C2)

A6=((A*H6*FR*TAL*1000000)/(86400*C2))-((UA*KSA*(Ti-TA6))/C2)

A7=((A*H7*FR*TAL*1000000)/(86400*C2))-((UA*KSA*(Ti-TA7))/C2)

A8=((A*H8*FR*TAL*1000000)/(86400*C2))-((UA*KSA*(Ti-TA8))/C2)

A9=((A*H9*FR*TAL*1000000)/(86400*C2))-((UA*KSA*(Ti-TA9))/C2)

A10=((A*H10*FR*TAL*1000000)/(86400*C2))-((UA*KSA*(Ti-TA10))/C2)

A11=((A*H11*FR*TAL*1000000)/(86400*C2))-((UA*KSA*(Ti-TA11))/C2)

A12=((A*H12*FR*TAL*1000000)/(86400*C2))-((UA*KSA*(Ti-TA12))/C2)

TUNIF,15 !Başlangıç sıcaklığı

FINISH

/SOLU

IC,ALL,TEMP,15

NSEL,ALL

TIME, 2592000

NSUBST,30

SFL,3,CONV,15,TA1
SFL,9,HFLUX,A1
solve

TIME, 2592000*2
NSUBST,30
SFL,3,CONV,15,TA2
SFL,9,HFLUX,A2
solve

TIME, 2592000*3
NSUBST,30
SFL,3,CONV,15,TA3
SFL,9,HFLUX,A3
solve

TIME, 2592000*4
NSUBST,30
SFL,3,CONV,15,TA4
SFL,9,HFLUX,A4
solve

TIME, 2592000*5
NSUBST,30
SFL,3,CONV,15,TA5
SFL,9,HFLUX,A5
solve

TIME, 2592000*6
NSUBST,30
SFL,3,CONV,15,TA6
SFL,9,HFLUX,A6
solve

TIME,2592000*7

NSUBST,30
SFL,3,CONV,15,TA7
SFL,9,HFLUX,A7
solve

TIME, 2592000*8
NSUBST,30
SFL,3,CONV,15,TA8
SFL,9,HFLUX,A8
solve

TIME,2592000*9
NSUBST,30
SFL,3,CONV,15,TA9
SFL,9,HFLUX,A9
solve

TIME,2592000*10
NSUBST,30
SFL,3,CONV,15,TA10
SFL,9,HFLUX,A10
solve

TIME, 2592000*11
NSUBST,30
SFL,3,CONV,15,TA11
SFL,9,HFLUX,A11
solve

TIME,2592000*12
NSUBST,30
SFL,3,CONV,15,TA12
SFL,9,HFLUX,A12
Solve
FINISH

EK-3. Güneş Katkılı Bir Konut Isıtma Sisteminde ekserji-ekonomik olarak Optimum Kollektör Alanı ve Depo Hacmini Hesaplayan Program

function [f,g]=exopt(x)

%Kollektör ve Sabit sıcaklık değerlerin girilmesi

TAL=0.76; FR=0.95; UL=4.5; UA=312.5; U=1;

N=1; Ti=20; Tson=15; Th=50; T0=25;; cp=4200; ro=1000; KSA=1; B=0.25;

R=8;

L=12;

PI = 4*atan(1);

CRF=0.182;

FI=1.06;

SA=2*PI*R*L;

%Dış ortam sıcaklıkları ve güneş ışıınım değerlernin verilmesi

Ta(1:12)=[27.2 27 22 14.8 7.8 1.5 0 0 4.7 11.8 17.4 22.9];

H(1:12)=[18.3 19.2 17.5 13.5 8.5 6.9 7.1 10.7 12.6 15.4 15.6 18.1];

%x(1)Kollektör alanı

%x(2)Depo hacmi

Kc=4*x(1); *%Konutun ilk yatırım maliyeti*

Ks=7.76*x(2); *%Deponun ilk yatırım maliyeti*

Kh=1918*KSA; *%Isı pompasının ilk yatırım maliyeti*

Ko=20689*KSA; *%Konutun ilk yatırım maliyeti*

Kt=Kc+Ks+Kh+Ko;

Ecín=0;

Ecout=0;

Esout=0;

Ekout=0;

LTOT=0;

Qu=0;

W=0;

Qs=0;

Qh=0;

Qc=0;

Qsout=0;

C2=2*PI*R*L;

for yil=1:12

QL(yil)=(UA*KSA*(Ti-Ta(yil)))/C2;

C(yil)=U*(20-Ta(yil))+Ti-Tson;

if Ts(yil)>=C(yil)

W1(yil)=0;

else

W1(yil)=(UA*KSA*(Ti-Ta(yil))*(U*(Ti-Ta(yil)))+(Ti-Ts(yil)))/(B*C(yil)*C2);

end

Qss(yil)=KSA*m*cp*(Tfc(yil)-Tfg(yil));

Quu(yil)=(FR*H(yil)*1000000*TAL)/(86400);

Qhh(yil)=(QL(yil));

Eccin(yil)=Quu(yil)*(1-(T0/Tg(yil)));

Eccout(yil)=(KSA*m*cp*((Tfc(yil)-Tfg(yil))-T0*log(Tfc(yil)/Tfg(yil)))/C2;

Essout(yil)=(QL(yil)-W1(yil))*(1-(T0/Ts(yil)));

Ekkout(yil)=QL(yil)*(1-T0/Th);

Qcout(yil)=(KSA*ro*cp*(Tfc(yil)-Tfg(yil))-T0*log(Tfc(yil)/Tfg(yil)))/(86400*30);

Qssout(yil)=(QL(yil)-W1(yil));

W=W+W1(yil);

Qu=Qu+Quu(yil);

Qc=Qc+Qcout(yil);

Qsout=Qsout+Qssout(yil);

Qs=Qs+Qss(yil);

Qh=Qh+Qhh(yil);

Ecin=Ecin+Eccin(yil);

Ecout=Ecout+Eccout(yil);

Esout=Esout+Essout(yil);

Ekout=Ekout+Ekkout(yil);

LTOT=LTOT+QL(yil);

Esin=Ecout;

Ehin=Esout;

Ehout=W;


```

Ekin=W;
RC=CRF*FI/(3600*86400*50);
Zkol=Kc*RC;
Zdepo=Ks*RC;
Zhp=Kh*RC;
Zkont=Ko*RC;
Ic=Ecín-Qc;
Is=Esín-Esout;
Ih=Ehín-Ehout;
Ik=Ekin-Ekout;
It=Ecín-Ehout;

```

```

end

```

```

cort=(Kc*x(1)+Ks*x(2)+Kh+Ko)/It;
a1=ckín*Ecín;
a2=chout*W;

```

```

f=(cor*(Ecín*x(1)-W)+Zkol*x(1)+Zdepo*x(2)+Zhp+Zkont);
h(1)=(KSA*ro*x(2)*cp*((Tfc(yil)-Tfg(yil))-T0*log(Tfc(yil)/Tfg(yil))));
g(1)=Ecín*x(1)-Qc*x(2);
g(2)=x(1)-4000;
g(3)=500-x(1);
g(4)=x(2)-35000;
g(5)=2500-x(2);

```

EK-4. Güneş Isıtma Sisteminde Kollektör Alanı ve Depo Hacminin Ekonomik Olarak Uygun Optimum Boyutlarını hesaplayan program

```
function [f,g]=opt21(x)
```

```
D=5;I=5;N=5;Ti=20;MU=1;TAL=0.76; FR=0.95; UL=4.5;UA=312.5;U=1;  
RV=4000; MS=1;CA=1200; CE=4000; CF=1;ro=2050;cp=1842;B=0.25;KSA=1;
```

```
%Elazığ ili için sıcaklık ve güneş ışıınım değerleri
```

```
Ta(1:12)=[27.2 27 22 14.8 7.8 1.5 0 0 4.7 11.8 17.4 22.9];
```

```
H(1:12)=[18.3 19.2 17.5 13.5 8.5 6.9 7.1 10.7 12.6 15.4 15.6 18.1];
```

```
Ts(1:12)=[24 42 54 57 51 38 23 12 6 8 19 26];
```

```
% I VE D EŞİT İSE
```

```
if D==I
```

```
    P1=N/(1+I);
```

```
else
```

```
    P1=((1+D)/(D-I))*(1-((1+I)/(1+D)).^N);
```

```
end
```

```
P2=1+P1*MS-RV*(1+D).^(-N);
```

```
LTOT=0;
```

```
F=0;
```

```
W=0;
```

```
Qd=0;
```

```
Qg=0;
```

```
Tson=15;
```

```
ALFA=0;
```

```
BETA=0;
```

```
for yil=1:12
```

```
    if yil==1
```

```
        Qd1(yil)=ro*cp*(Ts(yil)-15);
```

```
    else
```

```
        Qd1(yil)=ro*cp*(Ts(yil)-Ts(yil-1));
```

```
    end
```

```

L(yil)=UA*KSA*(Ti-Ta(yil));
C(yil)=U*(20-Ta(yil))+Ti-Tson;
if Ts(yil)>=C(yil)
    W1(yil)=0;
else
    W1(yil)=(UA*KSA*(Ti-Ta(yil))*(U*(Ti-Ta(yil)))+(Ti-Ts(yil)))/(B*C(yil));
end
qg(yil)=(H(yil)*FR*TAL*1000000)*(20-Ta(yil))/(86400);
W=W+W1(yil);
Qd=Qd+Qd1(yil);
LTOT=LTOT+L(yil);
Qg=Qg+qg(yil);
end

```

```

a1=(P1*CF*LTOT)/1000000;
a2=(P1*CF*W)/1000000;
a3=P1*CF*Qd/(1000000*86400);
a4=P2*CA;
a5=P2*CE;
a6=a1-a2-a5;

```

```

f=-(a6+a3*x(1)-a4*x(2));
g(1)=((x(1)*Qd)/86400-W);
g(2)=(x(1)-0);
g(3)=(500-x(1));
g(4)=(x(2)-100);
g(5)=(10-x(2));

```