

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ. ANABİLİMDALI

**VAN BÖLGESİ İÇİN YENİLİKÇİ GÜNEŞ DESTEKLİ TOPRAK KAYNAKLI ISI
POMPASI MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Hazel SAĞLAM ÖZDAMAR
DANIŞMAN: Doç. Dr. Suha Orçun MERT

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

**VAN BÖLGESİ İÇİN YENİLİKÇİ GÜNEŞ DESTEKLİ TOPRAK KAYNAKLI ISI
POMPASI MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Hazel SAĞLAM ÖZDAMAR

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Suha Orçun MERT danışmanlığında, Hazel SAĞLAM ÖZDAMAR tarafından sunulan "*Van Bölgesi İçin Yenilikçi Güneş Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası Modellenmesi ve Simülasyonu*" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 05/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Zehra ÖZÇELİK

İmza:

Üye : Doç. Dr. Suha Orçun MERT

İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tuba ERŞEN DUDU

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.../07.../2019 tarih ve 2019/42-I..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

26.../07.../2019
Prof. Dr. Suat SENSOY

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hazel SAĞLAM ÖZDAMAR

ÖZET

VAN BÖLGESİ İÇİN GÜNEŞ DESTEKLİ TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI MODELLENMESİ

ÖZDAMAR SAĞLAM, Hazel
Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik Anabilim Dalı
Tez Danışmanı Doç. Dr. Suha Orçun MERT
Temmuz 2019, 139 sayfa

“Toprak Kaynaklı Isı Pompası” (TKIP)’ın toprakta depolanan ısı enerjisini kullanarak binaların, çeşitli mühendislik yapıların ısıtılması ve soğutulmasında, ayrıca sıcak su üretiminde kullanılan bir sistemdir.

Bu çalışmada soğuk iklim koşullarına sahip bölgelerde TKIP ve BTES sistemlerinin birlikte uygulanması modellenmesi ve MATLAB programı kullanılarak hesaplamaları yapılmıştır. Modellenen sistemde farklı yüzeylerde sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Ayrıca sistemin ısı kayıpları, verimi ve ısı çekim değerleri de hesaplanmıştır. Sistemden en çok ısı çekiminin Ocak ve Aralık aylarında olduğu, aynı zamanda en fazla ısı kaybının da bu aylarda olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde çekilen ısının belirlenen konutun ısıtılması için yüzde yüz aktarılabilmesi durumunda yeterli olacağı görülmüştür. Fakat dünyada ki hiçbir ısı transfer sistemi yüzde yüz verime sahip değildir. Bu yüzden konutun için ısıtılması için gerekli çekilen ısının yetersizliği söz konusudur. Bu durumun sebebinin ise depolanan ısı miktarının çekilmek istenilen ısı miktarına nazaran yetersiz kalmasıdır ve bu durum büyük oranda belirlenen ısı depolama hacminin artırılması ile aşılabilir. Sistem için gerekli iyileştirmeler yapılması durumunda özellikle güneş potansiyeli veya jeotermal kaynakları fazla olan soğuk iklim bölgelerindeki ısıtma için TKIP ve BTES sistemlerinin rahatlıkla kullanılabilmesi gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: BTES, Güneş Enerjisi Sonlu elementler yöntemi, Yenilenebilir Enerji, , TKIP.



ABSTRACT

SOLAR SOIL SOURED HEAT PUMP MODELING FOR VAN REGION

SAĞLAM ÖZDAMAR, Hazel
M. Sc.Thesis, Chemical Engineering
Supervisor : Assoc. Prof. Dr Suha Orçun MERT
July 2019, 139 pages

Underground source heat pump (USHP) is a system to get heat energy from various heat sources including the earth thermal energy. This system is widely used for heating and cooling buildings, various engineering structures also supplies the hot water needs for these structures. Borehole thermal energy storage (BTES) is a method of storing thermal energy in a specific area of the soil.

In this study, USHP and BTES systems are applied together and also has been modelled via using MATLAB software for areas which has cold climates conditions. For various plains temperature distribution has been calculated in this model. Also heat loss, efficiency and heat suction values calculated annually and monthly for the system. Month May has been picked as starting month for annually calculations which includes heat suction calculations. Monthly results shows that highest efficiency and temperature values are obtained in July, lowest efficiency and temperature values are obtained in December. In addition through annually results highest efficiency values are obtained for May, highest temperature values in July, highest heat suction values, most of the heat loss are obtained for December and January. Results shows that obtained heat is enough for keeping stable temperature in the selected building if only absorbed heat can be transferred for around hundred percent efficiency. But there is no such highly efficient heat transfer system in the world. So that some predicaments are made for increasing the efficiency of the system. USHP and BTES systems are pretty rational, if not all but the some of predicted improvements are applied to the system, especially for high solar or geothermal potential included cold climate areas.

Keywords: BTES, Finite Difference method, Renewable energy, Solar

Energy, USHP



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Suha Orçun MERT'e teşekkür ederim. Bu çalışmalarında desteğini ve sabrını hiç esirgemeyen sevgili eşim Osman Seyit ÖZDAMARA' a, eğitim hayatımda gösterdikleri destek ve sabır için Suat ve Ayşe SAĞLAM'a ,Azad SAĞLAM SELÇUK ve Levent SELÇUK'a , verdiği yaşam enerjisinden dolayı biricik yeğenim Sarp Daniz SELÇUK'a ve her türlü yardım ve katkılarından dolayı dostum Ceylan Pınar UÇAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

2019

Hazel SAĞLAM ÖZDAMAR



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	4
2.1. Literatür	4
2.2. Teorik Bilgi	13
2.2.1. Termal Enerji ve Termal Enerji Depolaması (TED)	13
2.2.1.2. Faz Değişiminde Enerji Depolama.....	14
2.2.1.2. Katılarda Enerji Depolama	16
2.2.1.3 Sıvılarda Enerji Depolama	16
2.2.1.4. Mevsimsel Enerji Depolama	17
2.2.1.5. Akiflerfe Enerji Depolama	18
2.2.1.6. Yer Altı Kaynaklarında Termal Enerji Depolama.....	20
2.2.1.7. Tank, Çukur ve Kaya Oyuklarında Depolama	21
2.2.2. Isı pompaları	22
2.2.3. Isı pompası kaynakları.....	23
2.2.3.1. Hava-su ısı kaynaklı ısı pompaları	24
2.2.3.2. Yeraltı suyu kaynaklı ısı pompası	24
2.2.3.3. Toprak kaynaklı ısı pompaları	25
2.2.4 Toprak Özellikleri.....	26
2.2.4.1. Toprak Yoğunluğu.....	26
2.2.4.2. Topraktaki Nem Oranı	27

	Sayfa
2.2.4.3. Tanecik Materyalleri	28
2.2.5 Toprak Kaynaklı Isı Pompaları Türleri	29
2.2.5.1. Açık çevrim sistemler	29
2.2.5.2. Kapalı çevrim sistemler	30
2.2.5.3. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompaları.....	31
2.2.5.4. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompaları	33
2.2.5.5. Carnot Isı Makineleri.....	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1. Bilgisayar.....	37
3.2. Hesaplama Programı.....	37
3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi	38
3.4. Isı Transferi Yöntemleri	38
3.5. Paralel Borulu Yatay Toprak Isı Değiştiricisi Modeli.....	39
3.6. Problemin Tanımı	40
3.7. Hesaplamalar	44
3.7.1. Konutun Isıtılması için Gerekli Isı Miktarı	44
3.7.2. Boruların Yerleştirilme Düzeni ve Borunun Özellikleri	48
3.7.3. Toprak Özellikleri.....	50
3.7.4. Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Seçimi	50
3.7.5. Toprak Isı Enerjisi Rezerve Edilmesi.....	51
3.7.6. Sıcaklık Bilgileri.....	51
3.7.7. Boru Uzunluğunun Hesaplanması	53
3.7.8. Debi ve Sirkülasyon Pompa Gücü Hesabı.....	54
3.7.9. Güneşten gelen enerjinin ve gün sayılarının hesaplanması	57
3.7.10. MATLAB programında ısı dağılımının hesaplanması	59
3.7.11. Programında Hesaplamaların Yapılması	62
3.7.11.1. BTES MATLAB Hesaplamaları.....	63
3.7.11.2. TKIP MATLAB Hesaplamaları	65
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	67

	Sayfa
4.1. BTES sisteminin uygulanması	67
4.2. TKIP ve BTES Uygulanması	80
4.3. Isı pompası etkinlik katsayı değeri hesaplama	98
5. SONUÇ.....	101
KAYNAKLAR.....	105
ÖZ GEÇMİŞ.....	108





ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Topraktaki bazı materyallerin ısı özellikleri	28
Çizelge 2.2. Bazı toprak türlerinin ısı karakteristikleri	29
Çizelge 2.3. Boru çaplarına göre boru uzunluk değerleri.....	33
Çizelge 3.1.-Aylara göre sıcaklık ve ısı kaybı değerleri	47
Çizelge 3.2. Bir yıl için gerekli olan ısı miktarı	48
Çizelge 3.3. Boru iç dirençleri.....	49
Çizelge 3.4. Toprak İç Dirençleri	51
Çizelge 3.5. Isı Pompası Özellikleri	52
Çizelge 3.6. Toprak Sıcaklık Değerleri	52
Çizelge 3.7. Sistem için gerekli veriler	56
Çizelge 3.8. Güneşten gelen aylara göre radyasyon değerleri:.....	58
Çizelge 3.9. Kolektörde aylara göre günlük ortalama hesaplanan	59
ısı enerji miktarı	
Çizelge 3.10. Nodların konuma göre SEM eşitlikleri.	59
Çizelge 3.11. Toprak termodinamik özellikleri.....	60
Çizelge 3.12. Şebeke suyu giriş sıcaklıkları.....	62
Çizelge 4.1. Isı pompası giriş sıcaklık değerleri	98



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Yenilenebilir enerji evi.....	3
Şekil 2.1. Faz değişimi sırasında birim hacimde depolanan enerji	15
Şekil 2.2. Katılarda enerji depolama alanı.....	16
Şekil 2.3. UTES Metotları	18
Şekil 2.4. ATES metodun çalışma tekniği.....	19
Şekil 2.5. BTES Metodunun genel çalışma prensibi	21
Şekil 2.6. Isı pompası sistemin genel görünüşü	22
Şekil 2.7. Isı pompası genel ekipmanlarının çalışma prensibi.	23
Şekil 2.8. Isı pompası kaynakları	23
Şekil 2.9. Hava-Su kaynaklı ısı pompası çalışma prensibi.....	24
Şekil 2.10. Yeraltı kaynaklı ısı pompası çalışma prensibi.....	24
Şekil 2.11. Belli aylara ve derinliğe göre toprak sıcaklık değerleri	25
Şekil 2.12. Topraktaki nem ve yoğunluk oranına toprak ısı direnç değerleri	26
Şekil 2.13. Toprak nem oranları ve derinliğe göre toprak sıcaklık değerleri	27
Şekil 2.14. Nemli toprağın aylara ve derinliğe bağlı toprak sıcaklık değerleri	27
Şekil 2.15 Toprak kaynaklı ısı pompaları çevrimleri	29
Şekil 2.16. Açık çevrimli toprak kaynaklı ısı pompası örneği	30
Şekil 2.17. Kapalı çevrim çeşitleri.....	31
Şekil 2.18. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası genel özellikleri	32
Şekil 2.19. Yatay boru döşeme şekilleri	32

Şekil	Sayfa
Şekil 2.20. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası genel özellikleri.....	33
Şekil 2.21. Dikey tip TKIP uygulaması örneği	34
Şekil 2.22. Isı pompasının amacı.....	35
Şekil 2.23. Isı pompası genel görünüş	36
Şekil 3.1. Meshleme örneği	38
Şekil 3.2. Sistemin Görünüşü	40
Şekil 3.3. Boru boyunca akışkandaki sıcaklık ve ısı değişimin.....	42
Şekil 3.4. Konteynırın Kesit Görüntüsü	45
Şekil 3.5. İletim ve taşınım yoluyla ısı geçişi.....	45
Şekil 3.6. Toprak altı boruların yerleşim düzeni	49
Şekil 3.7. Aylara göre toprak sıcaklık değerleri	52
Şekil 3.8. Yüzey kesitinde 67x67 nodun yerleşim gösterimi	63
Şekil 3.9. Toprak katmanlarının 3 boyutta gösterimi	64
Şekil 4.1. BTES Durumunda her ay için günlük verim grafikleri.....	68
Şekil 4.2. BTES durumunda her ay için günlük için ısı kaybı değerleri	70
Şekil 4.3. BTES durumunda her ayın son günü için verim değerleri.....	72
Şekil 4.4. BTES durumunda her ayın son günü için ısı kaybı değerleri.....	71
Şekil 4.5 BTES sadece ısıtma durumu için merkez yüzeydeki (-2,5 m)	74
sıcaklık dağılımı	
Şekil 4.6. BTES ısıtma ve soğutma dahil durumu için merkez yüzeydeki	
(-2,5 m) sıcaklık dağılımı	76
Şekil 4.7. BTES ısıtma ve soğuma dahil durumu için en üst yüzeydeki	
(0 m) sıcaklık dağılımları	78

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. BTES ve TKIP durumu için aylara göre günlük ısı kaybı değerleri	83
Şekil 4.8. BTES ve TKIP durumu için aylara göre verim değerleri.....	81
Şekil 4.10. TKIP ve BTES durumu için aylara göre günlük sistemden	85
çekilen ısı değerleri	
Şekil 4.11. TKIP ve BTES durumunda her ayın son günündeki verim değerleri	86
Şekil 4.12. TKIP & BTES durumunda her ayın son günündeki ısı kaybı değerleri.....	86
sonraki sıcaklık dağılımı	
Şekil 4.13. TKIP & BTES durumunda her ayın son günündeki sistemden	87
çekilen ısı değerleri	
Şekil 4.14. TKIP & BTES sadece ısıtma durumu için aylara göre merkez	89
yüzeydeki (-2,5 m) sıcaklık dağılımları	
Şekil 4.15. TKIP & BTES ısıtma, soğuma ve ısı çekimi durumu için	91
aylara göre merkez yüzeydeki (-2,5 m) sıcaklık dağılımları	
Şekil 4.16. TKIP & BTES ısıtma, soğuma ve ısı çekimi durumu için	93
aylara göre merkez yüzeydeki (-2,5m) sıcaklık dağılımları	
Şekil 4.17. TKIP & BTES durumu için aylara göre en üst	95
yüzeydeki (0 m) sıcaklık dağılımı.....	
Şekil 4.18. Sıcaklık dağılımı düzensizliği	97
Şekil 4.19. Isı çekimi yapılan aylar (Ekim–Kasım–Aralık–Ocak–Şubat-	99
Mart-Nisan) için ortalama COP değerler	



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
c_{p_w}	Suyun ısı kapasitesi, kWh/kgK
L'_{top}	Güneş destekli sistemin toplam boru uzunluğu, m
\dot{m}_w	Suyun debisi, m ³ /h
$\Delta p_{güneş}$	TKIP sistemi basınç kaybı, kPa
A_{boru}	Borunun kesit alanı (m ²)
COP_{IP}	Isı pompası etkinlik katsayısı
C_p	Sabit hacimde ısı kapasitesi (kWh/kg*K)
C_p	Toprak sabit hacimde ısı kapasitesi, MJ/m ³ K
C_v	Materyalin özgül ısısı, Cal/g°C
$\frac{dT}{dx}$	Derinliğe bağlı olarak sıcaklık değişimi, °C/m
\bar{h}	Ortalama konveksiyon katsayısı, W/m ² K
H_h	Havalandırma yoluyla ısı kaybı (W/K)
H_i	İletim yoluyla ısı kaybı(W/K)
k_s	Suyun ısı iletkenliği (W/mK)
k_t	Toprağın ısı iletim katsayısı, W/mK
k_y	Yalıtım malzemesi ısı iletkenliği, W/mK
L'	Güneş destekli birim uzunluğa düşen güç, m/kW
L_{top}	Toplam boru uzunluğu, m
L_y	Yalıtım malzemesi kalınlığı, cm
m_n	Materyalin kütlesi, kg
η_h	Verim
η_k	Kolektör verimi

Simgeler

Açıklama

Nu_d	Nusselt sayısı
P_p	Sirkülasyon pompa gücü, W
Q_H	İstenilen ısı değeri, kJ
Q_i	Konutu ısıtmak için gerekli olan ısı miktarı, kJ
Q_k	Kolektörlerden toplanan enerji miktarı, kW
Q_{kk}	Isı kayıpları, kJ
Q_L	Verilen ısı değeri, kJ
Q_{ortw}	Boru içerisindeki suyun ortalama debisi (m^3/s)
Q_p	Borulardaki suyun debisi, m^3/h
Q_t	Sistem için gerekli olan ısı miktarı, kJ
R_b	Borunun ısı direnci
R_T	Toprağın ısı direnci
$T'_{mintoprak}$	Güneş destekli sistem için en düşük toprak sıcaklığı, °C
$T_ç$	Çevre sıcaklığı, °C
T'_f	Depodaki suyun belli zaman aralığındaki son sıcaklığı, °C
T_{fi}	Suyun giriş sıcaklığı, °C
T_{fo}	Suyun çıkış sıcaklığı, °C
T_H	Isı pompasının çıkış sıcaklığı, °C,
T_i	Depodaki suyun ilk sıcaklığı, °C,
T_L	Isı pompasına akışkanın giriş sıcaklığı, °C,
T_s	Yüzey sıcaklığı, °C
T_{top}	Toprak sıcaklığı, °C,
V_b	Toprak altı borularının hacmi, m^3
V_{ortw}	Boru içerisindeki suyun ortalama hızı (m/s)
W_{net}	Isı pompasına verilen güç, kW

Simgeler

Açıklama

ν_{ortw}	Borular içerisindeki suyun ortalama sıcaklıktaki viskozitesi (m^2/s)
ν_s	Suyun kinematic viskozitesi, m^2/s
P_s	BTES sistemi pompa gücü, kW
∂T	Sıcaklık farklı, °C,
∂t	Zaman aralığı, dk
ΔL	Nodlar arası uzaklık, m
Δx	Nodlar arası mesafe
Δz	Topraktaki derinlik aralığı, cm
A	Borunun kesit alanı
D	Boru veya bağlantı elemanının iç çapı, mm
F	Montaj açısına göre düzeltme faktörü
f	Sürtünme katsayısı
H	Pompanın suyu bastığı yükseklik(m)
k	Isıl iletkenlik (W/mK)
k	Suyun ısıl iletkenliği, W/mK
L	Birim uzunluğa düşen güç, m/kW
m	x yönünde konuma göre notasyon
n	y yönünde konuma göre notasyon
n_h	Değişim katsayısı (W/m ³ K)
P	Borunun kesit çevresi, m
p	Zamana göre notasyon
R	Güneşten gelen radyasyon miktarı, W/m
Re	Reynold sayısı
s	Kolektör alanı, m ²
$T_{dış}$	Van için en düşük dış sıcaklık , °C
$T_{max top}$	Yıllık en yüksek toprak sıcaklık değeri, °C

Simgeler

Açıklama

T_{mintop}:	Yılın en düşük toprak sıcaklık değeri , °C
T_{orthava}	Yıllık ortalama hava sıcaklığı , °C
T_{orttoprak}	Yıllık ortalama toprak sıcaklığı , °C
U	Isıl direnç, kW/m ² K
V_h	Bina bürüt hacmi (m ³) (0.8 x Bina hacmi) (m ³)
α	Toprak ısıl geçirgenliği
v	Çalışma sıcaklığında akışkanın kinematik viskozitesi, m ² /s
ρ	Akışkanın yoğunluğu (kg/m ³)

Kısaltmalar

Açıklama

ATES	Akiferde Termal Enerji Depolama (Aquifer Thermal Energy Storage)
BTES	Kanalda Termal Enerji Depolama (Borehole Thermal Energy Storage)
MTA	Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü
TED	Termal Enerji Depolama
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
TRNSYS	Zamana Bağlı Simulasyon Programı (Transient Systems Simulation Program)
TS	Türkiye Standartları
UTES	Yeraltında Termal Enerji Depolama (Underground Thermal Energy Storage)

1. GİRİŞ

Dünyadaki kontrol edilemeyen nüfus artışı ve tüketimin artmasına bağlı olarak sanayi ve endüstriyel üretim de artmaktadır. Bu durumdan dolayı gün geçtikçe artan sanayi ve endüstriyel üretime paralel olarak enerji tüketimindeki artış kaçınılmazdır. Dünyadaki enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu fosil yakıtlar ile karşılanmaktadır. Fosil yakıtların günümüzde hızlıca tükenmesinden dolayı alternatif enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar da artmıştır. Ülkemizde ithal kaynaklar olmasına rağmen en fazla tüketilen enerji kaynakları petrol, doğalgaz ve taşkömürü gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. 1900'li yılların son çeyreğinde çıkan ve tüm dünyanın etkilendiği enerji krizi sonrası, özellikle çevre dostu ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek alternatif enerji kaynaklarına yönelik önemli Ar-Ge çalışmaları ve bütçeler ayrılmaya başlanmıştır. (Anonim, 2004)

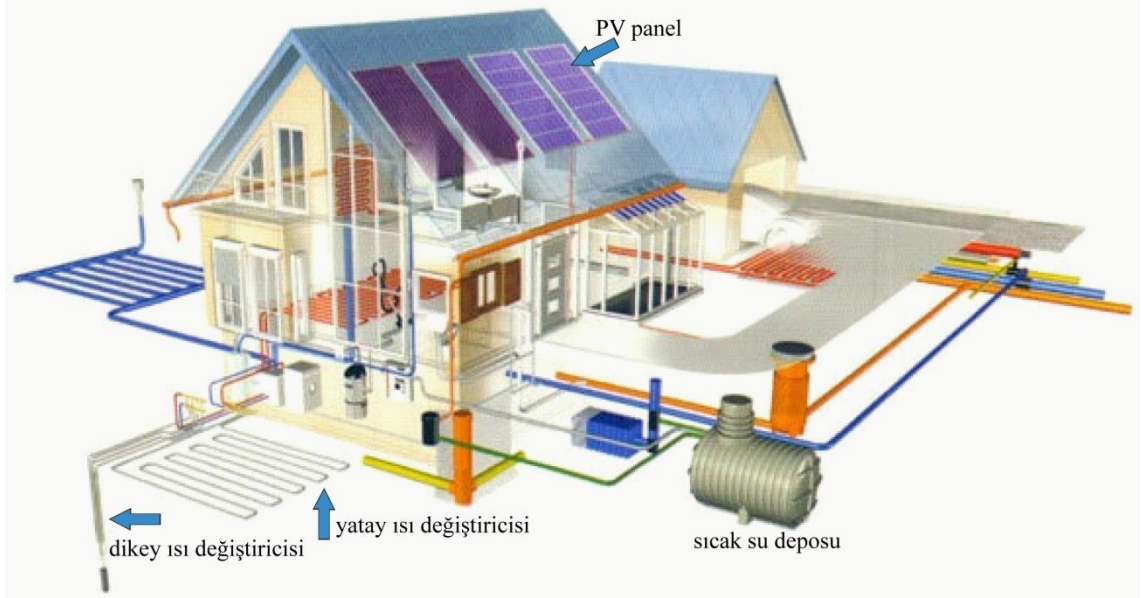
Fosil yakıtların uzun süreli kullanılmasından kaynaklı çevreye zehirli gaz salınımından kaynaklı asit yağmurları ve sera gazlarının artmasına bağlı olarak iklim değişiklikleri meydana gelmektedir. İklim değişikliklerinin sonucunda ise radyoaktif madde ve partikül yaymaları gibi çevreye verdiği zararlı etkiler göz önünde bulundurulduğunda çevre dostu alternatif enerji kaynaklarına talep gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle Türkiye gibi yerli kaynakların sınırlı olduğu bölgelerde, günümüzde ve gelecekte dışa bağımlılık arttırmaktadır. Bu durum ülke ekonomisine büyük zarar vermektedir. Ülkemizde özellikle ısınmada, doğalgaz ve kömür fosil yakıtları kullanılmaktadır. Doğalgazın çevre dostu olmasına rağmen ithal bir kaynaktır ve gün geçtikçe fiyatı artarak ülke ekonomisine zarar vermeye başlamıştır. Kömür ve linyitin ise kullanılmasında çevreye verdiği olumsuz etkiler göz önüne alındığında bu yakıtların tüketiminin azaltılması gerekmektedir. Ayrıca ülkemiz gibi enerji konusunda dışa bağımlı olan ülkeler alternatif enerji kaynaklarını ısınmada daha etkin kullanarak düşük maliyetli, çevre dostu ve sürdürülebilir ısınma yöntemlerinde Ar-Ge çalışmalarını geliştirmelidir. Bu yöntemlerden TED (Termal Enerji Depolama) ve TKIP (Toprak Kaynaklı Isı Pompası) birleştirilmesi ile hem soğuk bölgelerde düşük ısınma maliyetlerine sahip hem de çevre dostu alternatif enerji kaynakları yöntemleri çalışılmaktadır (Çakmaz, 2007).

Son zamanlarda TED sistemlerinin kullanılması gelişmiş ülkelerde yaygınlaşmaya başlamıştır. TED yöntemlerinden biri olan yeraltında termal enerji depolama UTES (Underground Thermal Energy Storage) en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Isınmada yaygın olarak kullanılan yöntemlerle karşılaştırıldığında bu yöntemlerin tercih edilmesine bağlı olarak fosil yakıt tüketimindeki azalma ile sonuçlanması sera gazlarının salınımında ciddi bir düşüş olacağı göz ardı edilmemelidir (Çakmaz, 2007).

Dünyanın en büyük ısı ve temel enerji kaynağı güneştir. Fakat güneş enerjisinin direkt depolanması pahalı ve zordur. Güneş enerjisi geniş bir alana sahip olan jeokütle tarafından soğularak depolanmaktadır. Bu sayede toprak sıcaklığı soğuk aylarda dış ortam sıcaklığında daha yüksek sıcaklığa sahip, sıcak aylarda ise dış ortam sıcaklığından daha soğuk olmaktadır. Jeokütlede depolanan ısı enerjisinin kullanılması için TKIP (Toprak Kaynaklı Isı Pompaları) kullanılmaktadır. Hava ve su kaynaklı ısı pompalarından farklı olarak kurulum maliyeti daha yüksek olmasına rağmen kullanımı daha kolay ve yaygındır. Bu sistemlerin temel çalışma prensibi toprağın belirli bir derinliğine yerleştirilen boruların içinden geçen akışkana toprağın ısı transfer edilmektedir veya akışkanın ısı toprağa aktarılmaktadır. Isı taşıyıcı akışkanı genellikle bulunması kolay ve düşük maliyete sahip olması sebebiyle su ve antifriz karışımı kullanılmaktadır. Toprağın sıcaklığı ve nem miktarı toprağın yapısı ve derinliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Isıtma aylarında topraktan sürekli olarak ısı çekilmesi toprağın belli bir çevrede sıcaklığının düşmesine sebep olmaktadır. Güneş destekli TKIP sistemlerinin avantajı ise topraktan ısı çekiminden dolayı kaybedilen ısının yerine konulması daha erken gerçekleşmektedir. Ayrıca akışkanın sıcaklığını arttırdığı için sistemin verimini de arttırmaktadır (Çakmaz, 2007).

TKIP sistemleri temelde topraktaki depolanan ısı enerjisini kullanır (Şekil 1.1). TKIP temel çalışma prensipleri toprağın altına döşenen borulardan akışkan geçirilerek bu akışkana topraktaki ısı enerjisinin aktarılmasıdır. Akışkan taşıdığı ısıyı ısı pompasında bulunan havaya aktarmaktadır. Bu sistemler TKIP tipindeki ısı değiştiricisinin başlangıcını oluşturmaktadır. TKIP sistemlerinde, topraktaki ısıyı en verimli şekilde almak için toprakaltı borular farklı şekillerde yerleştirilmektedir. Bu borular temel kısımda yatay ve dikey olmak üzere iki konumda yerleştirilir (Şekil 1.1). Yatay ısı değiştiricileri için toprağa açılan kuyu derinliği 1-3m arasında değişmektedir. Bu sistemlerin kurulumu ve maliyeti diğerlerine göre ucuz ve

kolaydır. Konut ısıtması için de en uygun olan bu sistemdir. Toprağın 1-3 m arasındaki sıcaklığı derinlere göre daha azdır. Toprağın altına yatay olarak döşenen borular, topraktaki ısı alışverişinin en verimli şekilde olması için akışkanın temas yüzeyinin artırılmasını gerektirir. Bu yüzden paralel, spiral veya serpantin gibi farklı şekillerde döşenir. Yatay ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompaları konut ısıtılması dışında soğuk bölgelerde yol ısıtılmasında da yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Buna örnek olarak Arjantin, Amerika, Japonya, İzlanda ve İsviçre gibi ülkelerde 500.000 m²'lik yol ısıtılmasında kullanılmaktadır (Hepbaşlı ve Hancıoğlu, 2001).



Şekil 1.1. Yenilenebilir enerji evi (Kıncay, 2019).

Ülkemiz jeotermal potansiyel bakımında dünyadan yedinci sırada bulunmaktadır (MTA, 2005). Bu potansiyel göz önüne alındığında diğer bir TKIP uygulaması olan direkt genleşmeli sistemlerde ülkemizde kullanıma uygundur. Bu sistemlerde ekstra ısı pompası kullanılmamaktadır ve sistemler jeotermal kaynakların bulunduğu alanlarda uygulanmaktadır. Topraktaki ısı miktarı jeotermal kaynakların bulunmadığı bölgelere göre yüksek olduğu için akışkan topraktan ısıyı alarak sıcaklığı artmaktadır. Sıcaklığı artan akışkan direkt olarak kullanıma verilmektedir. Bu sistemlerde ısı yalıtım katsayısı yüksek

olan bakır borular kullanılmaktadır. Sıcaklık değişimlerinden dolayı bakır borularda eğilme ve oksitlenme meydana olabilir (Anonim, 2004).

TKIP sistemlerinde tasarım yaparken en önemli faktörlerden biri boruların yerleşimin yapılacağı toprağın özellikleridir. Toprağın içeriği, nem miktarı ve çeşidi gibi etkenler ısı kapasitesini değiştirmektedir. Ayrıca toprak özellikleri mevsimsel olarak değiştğinde, boruların etrafındaki toprağın fiziksel özellikleri bölgesel ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu duruma örnek olarak ısı pompası sistemleri sıcak aylarda kullanımı durumunda, sıcak akışkan toprağa ısı vererek toprağın ısınmasına sebep olmaktadır. Buda toprağın nem miktarını düşürerek toprağın ısı tutma kapasitesini azaltmaktadır. Bu durum kış aylarında ısı pompası kullanım durumunda verimin düşmesine sebep olmaktadır. Diğer bir durum ise toprağın yeterince ısı depolayamadığı ve kış aylarındaki kullanımında topraktaki ısıyı almasından dolayı toprakta don olayları meydana gelmesidir (Hepbaşı ve Hancıoğlu, 2001).

Toprak kaynaklı ısı pompaları ilk kurulum sırasında sondaj veya kuyu kazılması gibi işlemlerden dolayı hava ve su kaynaklı ısı pompalarına göre daha maliyetlidir. Fakat topraktaki sıcaklığın zamana göre değişiminin az ve kararlı olmasından dolayı diğer ısı pompalarına göre daha avantajlı denilebilir (Hepbaşı ve Hancıoğlu, 2001).

Bu çalışmada, Van bölgesi için güneş enerjisi destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası ve Termal Enerji Depolanmasının bölge için kullanılabilirliğinin modellenmesi ve simülasyonu amaçlanmaktadır. Tez kapsamındaki ana hedeflerden biri, güneşten gelen enerjinin (ısının) toprakta depolanan miktarını arttırmaktır. Toprak sıcaklığının 1-3m derinlik arasında, 10°-15° C'lik değişim gösterebileceği bilinen bir gerçektir. Hedeflerden bir diğeri ise, toprakta depolanan enerjiyi gün ısıyı yöntemiyle arttırarak soğuk aylarda ısı pompasının veriminin arttırılmasıdır. Ayrıca, modelleme aşamasında yapılması planlanan toprağın yapısı yani katı-katı arasındaki ısı iletiminin nasıl davranacağı hakkında bilgi sahibi olmaktır. Bu çalışmada, Van bölgesindeki toprağın özellikleri de göz önünde bulundurularak depolanan ısının zamana bağlı olarak değişimi modellenmiştir. Ayrıca, Van Bölgesindeki güneş potansiyelinden PV paneller aracılığı ile elektrik enerjisi üretmek için gerekli olan elektrik enerjisinin sağlanması da önerilmektedir.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

2.1. Literatür

Toprak kaynaklı ısı pompası ile ilgili yapılan çalışmalar;

Güler (2018), İstanbul ilinde bulunan bir mekânı ısıtmak ve sıcak su ihtiyacını karşılatırmak için TKIP tasarlanmıştır. Tasarlanan TKIP'ın hesaplamaları TRNSYS (zamana bağılı simülasyon programı) kullanarak farklı sondaj derinlikleri (75m, 100m, 125m) ve sistemde verimi arttırmak için farklı alanda ki güneş kolektörleri (4m², 8m²,12m²) için yapılmıştır. İki farklı sistem için simülasyon programında hesaplamalar yapılarak hibritli sistemin veriminin %30 daha az enerji tükettiği hesaplanmıştır. Simülasyon programında farklı iklim koşullarına sahip iller olan Ankara, Çanakkale, Hakkâri, İzmir, Konya, Muğla, Trabzon için yapılan hesaplamalarda en yüksek yıllık enerji 4.753,92 kW ile Hakkâri, de en düşük 1.797,3 kW ile de İzmir ilinde enerji tüketimi olduğu hesaplanmıştır.

Al- Khalıdı (2018), TKIP ısıtma modunda Isparta ili için ısı pompasının daki R-22 akışkanın farklı karışımlar ve debiler için toprak altı ve üstünü teorik ve deneysel olarak çalışmalar yapmıştır. Toprak üstü yapılan çalışmada ısı pompasının ekipmanları üzerindeki etkileri incelenmiştir. R -22 ile %5-%30 arasında farklı oranlarda ki su-etilen-glikol karışımlarının ve 10-27 l/dak arasındaki debilere göre yoğunlaştırıcı, buharlaştırıcı kapasitesi ve sisteme etkisi oda sıcaklığında incelenmiştir. Deneysel sonuçlarına göre en yüksek verimler %5 karışım ile 21 l/dak verilerinde COP en yüksek 3.42 değerine ulaşmıştır.

Horzum (2018), Antalya ilinde bulunan bir lojman için kurulan TKIP'tan ısınma, soğuma ve sıcak su üretiminde tüketilen yakıt ve elektrik değerlerini incelemiştir. Bunun yanı sıra TKIP'ın termodinamiksel olarak da incelemiştir. Isı pompasının bütün ekipmanlarının giriş ve çıkış değerleri ölçülerek enerji ve ekserji hesaplamaları yapılmıştır. Sonuçlara göre yatırım maliyeti 7.3 yıl da geri dönmektedir. Termodinamiğin ikinci kanununa temel alınarak TKIP'ın COP değerleri en yüksek 3.683 ve en düşük 0.6649 olarak hesaplanmıştır.

Bayraktar (2015), Karabük ilinde bulunan pasif ev için TKIP uygulaması yapmıştır. Pasif evlerde en iyi yalıtım yapılarak enerji kaybını minimuma indirmek amaçlanmaktadır. Karabük ilinin farklı bölgelerinde 6 adet kuyu açılmıştır. Açılan kuyularda farklı zamanlarda ölçüm yapılarak en uygun yer bulunması hedeflemiştir. Açılan kuyuların sıcaklıklarına mevsimsel olarak bakıldığında; en yüksek sıcaklıkların sonbahar en düşük sıcaklık ise bahar aylarında olduğu gözlemlenmiştir. Sistemin ilk kurulum maliyetini 1,5 yıl içinde karşıladığı hesaplanmıştır.

Öztürk (2015), Karabük üniversitesinde kurulan test düzeneğinde ince taneli, farklı nemlere göre (%0 (kuru), %10,%20,%30,%40) toprak türlerinin enerji tüketimine olan etkisi incelemiştir. Deneyin sonuçlarına göre nem oranı ile birlikte toprağın ısıl iletkenliğinin doğru orantılı olarak arttığını gözlemlenmiştir. TKIP sisteminde bulunan buharlaştırıcının kapasitesinin %39, yoğunlaştırıcı kapasitesinin %32 daha fazla olduğu sistemin toplam kapasitesinin %7 arttığı gözlenmiştir. Topakta nem oranının artmasıyla enerji tüketiminin azaldığı ve %30 ve %40 nem değerlerinde doygunluğa ulaştığı ve bu değerlerde enerji tüketiminde 32.5 Wh'lık tasarruf edildiği hesaplanmıştır.

Özdemir (2011), TKIP sistemlerinde kullanılan alternatif akışkan olan R407c ve R410a akışkanlarının performanslarını incelemiştir. Araştırmadan 20.7 m³'lük bir odanın ısıtılması için düşey tip toprak kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır. Sistem için 40 m sondaj açılıp akışkan olarak R407c kullanılmıştır. Periyodik olarak akışkan sıcaklıkları, kompresör giriş ve çıkış sıcaklıkları, basınç değerleri ve tüketilen güç değerleri ölçülmüştür. Deney aşamasında 40m derinlik toprak sıcaklıkları ölçülmüş ve en yüksek sıcaklık değeri ısıtma mevsiminde 11 °C, en düşük sıcaklık değeri soğutma mevsiminde 18°C olarak ölçülmüştür. Deney sonuçlarına göre soğutma durumunda COP değerleri 3,12 ve 2,8 olarak ısıtma durumunda ise 3,85 ve 3,44 olarak hesaplanmıştır. Kullanılan akışkanın içerisinde R407c'nin en yüksek COP değerini verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ısıtma durumunda sisteme katılan su-antifriz karışımı oranı arttıkça sistemin veriminin düştüğü tespit edilmiştir.

Evirgen (2009), karayollarında oluşan buzlanmaya karşı, TKIP sistemini kullanarak topraktan çekilen ısının buzlanma olan zemine taşınarak buzlanmanın oluşmasını önleme amaçlamıştır. Sistemin performansını incelemek için farklı boru çaplarına karşı topraktan çekilen ısı miktarı incelenmiştir. Topraktan çekilen ısı miktarının borunun çapı ve Reynolds

sayısı ile ilişki olduğu tespit edilmiştir. Borunun çapının artması ile ters orantılı olarak Reynold sayısı azalmaktadır. Bunun sonucunda ise iç dirençler artmaktadır ve bu da topraktan çekilen ısınını azalmasına sebep olmaktadır. Fakat çapın büyüklüğünün fazla olmasından kaynaklı çekilen ısı miktarının, iç dirençlerden dolayı oluşan kayba göre, daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Alkan (2014), Isparta ili için kullanılan TKIP sisteminde farklı soğutucu akışkanları için termodinamik ve termo ekonomik analizler yapmıştır. Yapılan analizler de R22,R134a,R290,R410A,R404A c-ve R600a soğutucu akışkanlar kullanılmıştır Sonuç olarak en iyi verimin sırasıyla R600a, R22,R134a,R290,R410A ve R404A olduğu gözlemiştir.

Gültekin (2014), toprak kaynaklı ısı pompaların en önemli ekipmanlarından olan borular arasındaki mesafeyi deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Bunun için İstanbul ilinde 50 m ve 100 m derinliğinde iki adet kuyu açılmıştır. Kuyular beraber çalıştırılarak, 44 gün için borulardan sıcak su geçişi sağlanmıştır. Deneyin sonucunda kuyulardaki performans kaybının %5 olduğu tespit edilmiştir. Farklı kuyu derinlikleri ve mesafeler COMSOL Multiphysics programı ile teorik olarak incelenmiştir. 6 aylık bir zaman için çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda kuyular arasındaki mesafenin birden fazla değışkene bağı olduğu ve bu değışkenlerin konuma göre farklılık göstermesinden dolayı boru arası mesafenin belirlenmesinin her sistemde farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmada kuyular arasındaki mesafenin fazla olması durumunda topraktan çekilen ısı miktarının yıllar içinde daha yavaş azaldığı hesaplamıştır.

Aslan (2014), Edirne ilinde bulunan toprak kaynaklı ısı pompasının verileri DIN 4701-10 standartlarında hesaplamış ve verimliliği incelemiştir. DIN 4701-10 standartları tablo yöntemi kullanılarak gaz yakıtlı yoğunmalı kombi ile toprak kaynaklı ısı pompasının enerji tüketimi hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre toprak kaynaklı ısı pompası %45 daha verimli olduğu tespit etmiştir.

Dumlu (2012), TS 825 standartlarına uygun olarak Erzurum ili için bir konutun ısı kayıplarını hesaplamış ve konutun ısıtılması için TKIP kullanılması durumunda 20 yıl için ekonomik hesaplamalar yapmıştır. Hesaplamalarda farklı COP değerleri için LPG, fueloil, kömürlü ve toprak kaynaklı ısı pompaları karşılaştırması yapmıştır. Ayrıca konutun fosil

yakıtla ısıtılması durumdaki CO₂ emisyon analiz hesaplamalarını yapmıştır. COP değerinin 4 olmasında TKIP sistemi 4 yıl sonra, 5 ve 6 'da ise 3 yıl sonra avantajlı duruma gelmektedir. Yapılan analizler de CO₂ emisyon sonuçlarına göre TKIP 'ın çevre dostu olduğu tespit etmiştir.

Başkal (2011), Yıldız Teknik Üniversitesinde kurulan dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası incelemiştir. Toprak kısmı olarak 2 adet 60 m derinliğinde aralarındaki mesafe 7.5m olan kuyular kullanmıştır. Konutun ısıtılması ve soğutulmasında ise duvara gömülü halde radyanthermik serpantin kullanmıştır. Isıtılacak konutun TS 825 standartlarına uygun olarak yalıtımı yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda ısıtma mevsiminde COP_H değerini yaklaşık olarak 4 bulmuştur. Bu değer sistemin ısınma için enerjinin %25'nin elektrik enerjisi, olarak kalan kısmın ise toprak kaynaklı ısı pompasında karşılandığını göstermektedir. Soğutma mevsiminde COP_c değerini yaklaşık 5.15 olarak hesaplamıştır.

Tunçel (2011), MATLAB programı kullanarak toprak kaynaklı ısı pompalarında kullanılan R134a, R4041, R410a, R12, R22 ve R502 soğutucu akışkanlar için COP değerleri, kompresör gücü, farklı akışkan debileri, boru çapları ve uzunluğu parametrelerinin etkilerini incelemiştir. Hesaplamaların sonucunda ısınma ve soğuma için en yüksek COP değerleri ve en düşük kompresör gücü R22'de, sonra R410a'da gelmektedir. Isınma için en düşük akışkan debisi R22'dir sonra R 410a'dır. Bu durum soğutma için tam tersi olduğu hesaplanmıştır. Boru uzunluğu en az olan akışkan ısıtma için R22 iken soğutma durumu için R410a'dır. Boru çapının artması ile toprak direncinin ters orantılı olduğunu ama gömme derinliğinin doğru orantılı olduğunu tespit etmiştir.

Elbir (2010), göller Bölgesinde bulunan Isparta, Burdur ve Antalya illeri için toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin COP değerlerini hesaplamıştır. Hesaplamalar ısınma ihtiyacının en yoğun olduğu Ocak ve en az olduğu Kasım ayları için yapmıştır. Antalya ili için COP_H değerleri sırasıyla 1.32 – 2.03, Burdur için 2.41 -3.48, Isparta ili için 2.52-3.52 olarak hesaplamıştır. Değerlere bakıldığında toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin soğuk iklime sahip bölgelere ısıtma için kullanımının verimli olduğunu göstermektedir.

Esen (2007), Elazığ ilinde bulunan konutun ısıtılması için 30m, 60m ve 90m kuyular kullanmıştır. Sistemde borular U şeklinde yerleştirilmiştir. Toprağın ısı iletkenliği 90 m ve 60m'lik borularda testler sonucunda 1,7 W/mK olarak bulunmuştur. Kuyulardaki ısı

dirençler sırasıyla 0.05 ve 0.03 mK/W, kuyu derinliklerine göre COP_H değeri sırasıyla 3.37, 3.85 ve 4.33 olarak hesaplanmıştır. COP_C değerleri ise 1.93, 2.37 ve 3.03'dür. Deney sonucunda en yüksek COP değerleri 90m derinliğindeki kuyuda olduğu tespit edilmiştir. Soğutma mevsiminde toprağa atılan en yüksek ısı miktarı 90.3 W/m, en düşük değer ise 49.1 W/m'dir. Isınma mevsiminde ise topraktan çekilen en yüksek ısı miktarı 81.9 W/m, en düşük ısı miktarı 45.6 W/m olarak tespit etmiştir. Yapılan teorik ve pratik hesaplamalar sonucunda Elazığ ili için TKIP sisteminin uygulanabilir olduğunu tespit etmiştir.

Erdem (2007), Mardin de 4 villa tipi konuttan oluşan site için güneş destekli düşey tipli toprak kaynaklı ısı pompası sistemi tasarımı yapmıştır. Sistemin ısı kayıpları ve soğutma maksimum yüklerini MATLAB programı ile saatlik olarak hesaplamıştır. Maksimum ısı kaybını $-2,7^{\circ}C$ 'de 16,78 kW ve maksimum soğutma yükünü $38^{\circ}C$ 'de 20,22 kW olarak hesaplamıştır. Sistemde güneş kolektörleri ile birlikte toprak kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır. Güneş kolektörlerindeki su yeterli sıcaklığa ulaştığında ısı pompası girişine gitmektedir. Bu sayede ısı pompasının kompresörü daha az güç harcamaktadır. Hesaplamalar tek konut için yapıldığında verim toprak kaynaklı ısı pompasının harcadığı gücün %12,5 kadar azaldığı görülmektedir. Çalışmalarda maliyet analizleri yapılmıştır. Yapılan hesaplamalara güneş kolektör hibritli toprak kaynaklı ısı pompası ve tek konutlu sistemin başlangıç maliyetinin yüksek olduğunu hesaplamıştır.

Çakmaz (2007), termal enerji depolama (TED) sistemlerindeki kanallarda termal enerji depolama (BTES) yöntemi kullanmıştır. TKIP sistemlerinde kullanılan farklı akışkanlar için de COP değerlerini R22, R134a, R410A, R404A sırasıyla olduğunu tespit etmiştir. BTES sistemlerinde kullanılan boru ve dolgu malzemesinin ısı transferi bakımından verimi en çok etkileyen faktörler olduğu gözlemiştir.

Ünlü (2005), hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarının mevsimlere göre performans analizini yapmıştır. Yapılan analizler sonucunda, yaz şartlarında hava kaynaklı ısı pompasının verimi TKIP göre daha yüksek olmasına rağmen kış aylarında ise TKIP performansının daha yüksek olduğunu tespit etmiştir.

Saeidi ve ark. (2018), TKIP'ların nümerik olarak modellenmesinde çeşitli yazılımlar da kabulleri yapmışlardır. Yöntem olarak genellikle sonlu elementler yöntemi kullanılmıştır. Spiral tipte dikey ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompasının nümerik olarak

modellenmesi COMSOL yazılımı kullanılarak 1B ve 3B olarak farklı derinlik, boru çapı ve uzunlukları da suyun akış hızına ve zamana bağlı olarak ısı dağılımını modellemişlerdir. Fakat modellemede toprak özellikleri sabit olarak kabul etmişlerdir.

Kayacı ve ark. (2018) , yatay ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompasında zamana bağlı toprak sıcaklığının nümerik olarak modellenmesi çalışmada 200m²'lik bir ofisin ısıtılmasını için gerekli ısının 10 yıllık zaman diliminde değerlendirilmesi yapılmıştır. Modellemede toprak özellikleri sabit olarak kabul etmişlerdir. Fakat sınır koşulları meteorolojik veriler kullanılarak zamana bağlı olarak ısı akıları için değerlendirilmiştir.

Demir (2006), toprak kaynaklı ısı pompası ve toprak ısı değiştiricilerinin optimizasyonu ve geliştirilmesi çalışmasında yatay ve dikey ısı değiştiricilerde kullanılan farklı matematiksel metotlar incelemiştir. Metotlar MATLAB yazılımı kullanılarak karşılaştırma yapmıştır. Sonuç olarak yatay ısı değiştirici toprak kaynaklı ısı pompası için yeni bir matematiksel metot geliştirmiştir.

Özsoy (2015), güneş enerjisinin ısıtma amaçlı mevsimlik depolanması ve ısı pompası destekli kullanımı çalışmasında Isparta şehrinde 120m²'lik bir konutun yatay ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtılması amaçlamıştır. Çalışmada uygulama olarak gün ısısı tankındaki akışkan 50°C'nin üstünde ise doğrudan konuta verilmiş, düşük olduğu sıcaklıklarda ise yatay ısı değiştiricisinde akışkan için ön ısıtma olarak kullanmıştır.

Yurt dışında TKIP ile güneş enerjisi ile birlikte yapılan çalışmalar;

Emmi ve ark, (2015), TKIP ile güneş panelini aynı sistemde kullanmışlardır. Sistemin farklı alternatifleri için TRNSYS simülasyon programı kullanılmıştır. Sistemin alternatifleri ile arasında farklar olduğunu tespit etmişlerdir. Güneş panelinde sıcak aylarda ısıtılan sıcak su sondajdan gönderilmiş, soğuk aylarda ise kompresör girişi güneş paneli bağlanmıştır. Böylece kompresör girişindeki su ısıtılarak TKIP COP değerinin arttığı hesaplanmışlardır. Sistemin avantajları sıcak su gönderilen sondajın komşularının da sıcaklık değerlerinin arttığı ve topraktan çekilen ısının düştüğüdür. Sistemin dezavantajı ise sıcak su devridaim yaparken kullanılan sirkülasyon pompasının harcadığı elektrik gücüdür. Sistemin genel analizi yapıldığında; COP ve verim değerleri artarken, topraktan çekilen ısı gücünün azaldığını tespit etmişlerdir.

Özgener ve ark. (2003), Ege Üniversitesinde 50 m derinliğinde 32 mm çapında U tipi dikey ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kurmuşlardır. Kurulan sistem sera ısıtmasında kullanılmıştır. Sistemin alışma verileri mevsimlere göre kaydedilmiştir. Sistemden çıkan suyun sıcaklığının ortalama 14°C olduğu, ısıtma aylarında topraktan çekilen ortalama gücün 57.78W/m ve seranın maksimum sıcaklığı 31°C, minimum sıcaklığında 14.54°C olduğu gözlenmiştir. Isıtma COP_H bulutlu günde 2.00, güneşli günde ise 3.13'dir. Diğer zamanlarda ise bu değerden %5-%20 arasında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Düşey tip TKIP sisteminin İzmir ili iklim koşullarında sera ısıtmasına uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Wang ve ark., (2011), güneş destekli yatay ve dikey ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompası ile ısı tankı kombini nümerik olarak modellmişlerdir. Güneşten gelen enerji su ısıtılarak ısı enerjisi depolanmış ve ısı pompasının kullanıldığında kompresör girişine ön ısıtma olacak şekilde kullanılmıştır. Sistemde yatay ısı değiştiriciden geçen akışkan, daha sonra dikey değiştiriciden geçip güneş tarafından ısıtılan suyun ienden geçmektedir. İstenilen sıcaklığa ulaşması durumunda sıcak su ısıtılan odaya gitmektedir. Düşük sıcaklıkta kalması durumunda ise ısı pompası kullanılmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası ısı rezervi olmadan çalışması durumunda COP_H değeri 3.28'dir. İlk ve son ısıtma dönemlerinde ise COP_H 5.95'dir ve sistemde ısı pompası kullanılmasına gerek duyulmamıştır. Isı enerjisi tankının sistemin veriminde büyük önemi olduğunu tespit etmişlerdir.

Trillat-Berdal ve ark. (2006), bina ısıtması ve sıcak su ihtiyaında jeotermal ısı pompalarının termal güneş kolektrleriyle birleştirilmesinin farklı konfigürasyonlarının TRNSYS yazılımı ile simülasyonu yapmışlardır. Çalışmada enerji, ekonomik ve çevresel performansları açısından en iyi konfigürasyonun belirlenmesi için alternatiflerin analizleri yapılmıştır. Alternatiflerin analizleri sonucunda tek başına jeotermal ısı pompası sıcak su ve ısıtma için yeterli olduğu fakat kombine sistemde güneş kolektörlerinin sistemin ısıtmasına direkt olarak bağlanması ve güneş enerjisinin fazla olması durumunda toprağa verilmesinin COP değerini artırdığını tespit etmişlerdir.

Termal Enerji Depolama Sistemi ile ilgili yapılan alışmalar;

Wu ve ark. (2013) ,bu çalışmada güneş enerji depolama üzerine aktif olan çalışmaları derlemişlerdir. Güneş enerjisinde günümüzde en çok kullanılan sistem güneş kolektrleridir.

Bu çalışmada mevsimsel ısı depolamanın üç çeşidi olan hassas ısı depolama, gizli ısı depolama ve kimyasal ısı depolamanın karşılaştırılması yapılmıştır. Hassas ısı depolama yöntemi uygulanması yaygın olan bir yöntem olup diğer tekniklere göre eski bir yöntemdir. Depolama malzemesi olarak su, kayalar ve toprak kullanılmaktadır. Gizli ısı ve kimyasal depolama yöntemleri ise daha fazla enerji depolama kapasitesine daha az hacimde sahiptirler. Fakat bu teknolojiler uygulamaları tam olarak oturmuş olmamakla beraber günümüzde malzemeleri ve uygulamaları genellikle laboratuvar ortamlarında yapılmaktadır. Hassas ısı depolama mevsimsel ve uzun depolamaya açık bir alternatiftir. Özellikle bu sistemlerde su tankları kullanılmaktadır. Su temelli depolama sistemleri uygulamada elverişli, kolay ve ısı depolama için uygun olmasına rağmen uygulama sırasında sıcaklık limiti ısı depolamasını sınırlamaktadır. Son yıllarda ısı depolamada, yeraltı su kaynakları ve toprak sıklıkla uygulanmaya başlanmıştır. Bu yöntem su tanklarına göre daha ucuz ve yüksek sıcaklık derecelerine de uygun olmaktadır. Bu sistemlerin kurulumu su tanklarına göre daha ucuzdur fakat kurulum aşamasında jeolojik yapının iyice araştırılması gerekmektedir. Çünkü ısı depolama kapasitesi malzemenin ısı transfer katsayısı ile orantılı olarak değişmektedir. Hissedilebilir ısı depolama sistemlerinin ileriki zamanlarda ısı pompaları ile birleştirilerek sistemin verimin artması sağlanmaktadır. Gizli ısı depolama da ise faz değişimi sırasında depolanan enerji kullanılmaktadır. Bu sistem genellikle geniş tarım arazileri kullanılmaktadır. Sistemin dezavantajları ise ısı sabit tutulması gerekmektedir çünkü erime durumlarına karşı önlemlerin alınması gerekmektedir. Termal dengesizlik, kristalleşme ve korozyona, başlangıçta yüksek kurulum maliyetleri gibi dezavantajları vardır. Kimyasal ısı depolama, reaksiyonlar sırasında veya sonucunda çıkan ısının depolama yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem yüksek ısı depolama ısı kapasitesine sahip olduklarından, sistemde oluşan ısı kayıpları ihmal edebilmektedir. Fakat bu sistemlerin termo dinamiksel sorunları ve benzer sorunlar tam olarak çözülmemiştir.

Reuss ve ark. (1997), mevsimsel ısı depolamanın toprağa yapılması durumu için model oluşturmuşlardır. Oluşturulan model 30 m derinliğinde 140 adet dikey ısı değiştiricisi 15000 m³ hacimli yer altı su kaynağı olmayan alana yerleştirilmiştir. Sistemin simülasyonu yapılırken toprağın termodinamik özellikleri toprağın içerisindeki su ve mineral oranlarına göre hesaplamıştır. Deneyle sonuçta atık ısılarından 418 MWh/a depolandığı ve

sıcaklığın 90 °C'ye kadar ulaştığı, topraktan 266 MWh/a kadar ısının ısınma zamanında çekildiğini tespit etmişler.

Uzun (2010), güneş enerjisinin ısı enerjisi olarak farklı depolama yöntemleri incelemiştir. Derinlerde toprak sıcaklık değerlerinin özellikle kış aylarına göre yüksek ve sabit olmasından dolayı yer altına uygun yalıtım yapılması durumunda enerji kayıplarının büyük ölçüde azaldığını tespit etmiştir. Fakat kayıpların ısının depolanma süresi, iklim şartları ve toprağın termodinamik özelliklerine bağlı olduğunda tespit edilmiştir. Isı depolama sistemlerinin güneş enerjisi sistemleri ile entegre olması durumunda yaz aylarında güneş enerjisini yer altında depolanıp kış aylarında ise kullanıma imkân sağlamaktadır. Bu sistemler TKIP ile birleştirilerek büyük ölçüde enerji tasarrufu ve verim sağlamakta olduğu tespit etmiştir.

Turan ve Yönetken. (2012), bu çalışmada enerji depolama ve yöntemlerini teorik olarak incelemiştir. Çok çeşitli yöntem ve depolama olmasına rağmen başlıca kimyasal, mekaniksel, ısıl ve elektriksel enerji depolama yöntemleri araştırmışlardır. Araştırmalar sonucunda en düşük maliyete sahip olan sistemin basınçlı hava depolama sistemi olduğu tespit edilmiştir. Yakıt hücrelerinin başlangıç maliyetlerinin düşük olmasına rağmen kullanım ömürlerinin az olması dezavantajı bulunmaktadır. Büyük ölçekli enerji depolama sistemlerinde kullanılacak en uygun metotların yeraltı termal enerji, hidroelektrik enerji ve basınçlı hava enerji depolama olduğu görülmüştür.

2.2.TEORİK BİLGİ

2.2.1. Termal Enerji ve Termal Enerji Depolaması (TED)

Bir maddenin atom veya moleküllerinin sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerji toplamı maddenin termal enerjisidir. Termal enerji atomların veya moleküllerin kendi aralarındaki titreşimi sonucunda oluşmaktadır. Termal enerjinin başka bir enerjiye iletimi ise ısı enerjisi ile olmaktadır. Isı enerjisi madde içerisindeki enerji değişimleri olan duyulur ısı, gizli ısı, tepkime sırasında oluşan ısı veya bunların tamamı olarak depolanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan duyulur ısı depolamada maddenin sıcaklık farkından yararlanmaktadır. Gizli ısı depolamada maddelerin faz değişimi sırasında ortaya çıkan ısı

kullanılmaktadır. Depolamada kullanılacak olan maddenin belirli sıcaklıkta erime, buharlaşma gibi faz değişimlerinden ortaya çıkan gizli ısı dan yararlanılmaktadır. Termokimyasal depolamada belli sıcaklık değerlerinde birleşiklerin arasındaki bağların kopması sonucunda ısı ortaya çıkmaktadır. Bu depolama yönteminde malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken oluşan kimyasal tepkimenin tersinir olmasıdır (Kakaç ve ark., 1989).

Termal enerji depolamada temel etken ısı kaynağıdır. Isı kaynakları güneş enerjisi, yer kaynağı suları ve atık ısı olabilmektedir. Temel ısı kaynağımız güneş olmasına rağmen bu ısı kaynağı mevsimsel ve günlük olarak değişkenlik göstermektedir. Isı enerjisinin zamana bağlı olarak değişmesine rağmen diğer ısı enerji kaynaklarına göre ucuz ve kullanımı kolay olmasından dolayı kurulum maliyetini diğer sistemlere göre daha kısa sürede amortise etmektedir (Willemsen ve ark., 1994).

Termal enerji depolama yöntemleri depolanma sürelerine göre ikiye ayrılmaktadır. Kısa süreli (gece-gündüz) ve mevsimsel (yaz-kış) uzun depolama olarak ayrılmaktadır. Mevsimsel enerji depolamada genellikle yazın ısı depolanan soğuk aylarda ısınma için kullanılmaktadır. Termal enerji depolamada yaygın olarak kullanılan yöntemler;

1. Faz değişiminde enerji depolama
2. Katılarda enerji depolama
3. Sıvılarda enerji depolama
4. Mevsimsel enerji depolama
5. Termo Kimyasal enerji depolama

2.2.1.1. Faz Değişiminde Enerji Depolama

Belli bir sıcaklık aralığında faz değişimi gerçekleştiren yüksek ısı kapasitesine sahip elementler bu işlem sırasında kullanılmaktadır. Kullanılan materyallerin faz değişimi için yüksek ısı kapasitesi ve bu işlemin belli bir sıcaklık aralığından sonra tersinir olması gerekmektedir. Bu yöntemin temel çalışma prensibi faz değişiminde sıcaklık sabit kalmaktadır ve ısı enerjisi faz değişimi için çevreden enerji alınmaktadır. Böylece sistemde gizli ısı enerji depolanması gerçekleşmektedir. Sıcaklığın düşmesi ile faz değişimi olayının

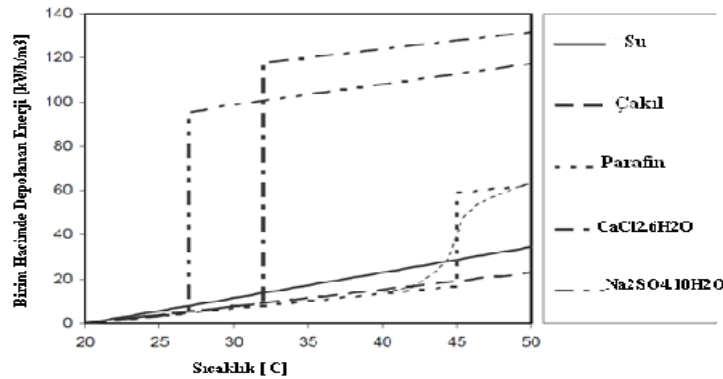
tersi gerçekleşir ve çevreye ısı verilir. Bu sistemde maliyeti asıl belirleyen kullanılan malzemedir (Yılmazoğlu, 2010).

Genel olarak kullanılan malzeme yanıcı ve patlayıcı riski olmayan, kimyasal yapısı kararlı, aşındırma özelliği olmayan ve sıcaklıkla beraber zehirli gaz salınımı yapmayan özelliklere sahip olmalıdır. Enerji depolanması için faz değişiminde yüksek ısı depolayabilen ve yüksek ısı iletkenlik katsayısına, faz değişim esnasında hacimsel değişimi az olan özelliklere sahip olmalıdır. Maddeler kimyasal yapısına göre organik ve inorganik olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu özelliklere sahip organik ve inorganik birçok madde bulunmaktadır (Yılmazoğlu, 2010).

İnorganik maddeler yüksek ısı depolama kapasitesi ve yüksek ısıl iletkenlik kapasitesine sahiplerdir, yanma ve patlama riski az olması ve maliyetinin düşük olması gibi avantajlı özellikleri vardır. Fakat inorganik maddeler birçok metalle tepkimeye girerek korozyona sebep olmaktadır (Yılmazoğlu, 2010).

Organik maddeler ise yüksek gizli termal ısı depolama özelliğine sahip olup, dengeli bir kimyasal yapıları, faz değişiminde zehirli gaz salınımı ve aşındırıcı özellikleri yoktur. Dezavantajları ise ısıl iletkenlik katsayıları düşüktür, faz değişimleri sırasında önce ve sonraki hacimleri arasında büyük fark bulunmaktadır, yanma riskleri yüksektir (Yılmazoğlu, 2010).

Bu sistemde yaygın olarak kullanılan maddelerin faz değişimi sırasında depolanan termal enerjinin birim hacimdeki değişimleri Şekil-2.1.'de verilmiştir.

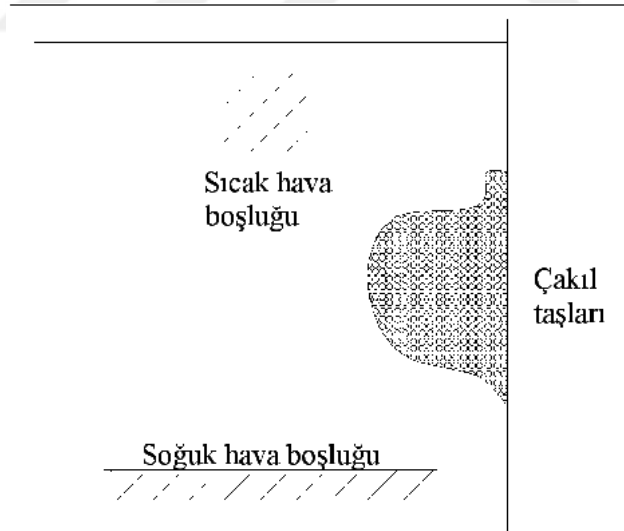


Şekil 2.1. Faz değişimi sırasında birim hacimde depolanan enerji (Yılmazoğlu, 2010).

2.2.1.2. Katılarda Enerji Depolama

Katılarda enerji depolamada içerisi boşluklu olduğu için çakıl taşları kullanılmaktadır. Genellikle akışkan olarak hava kullanılmaktadır. Sıcak hava çakıl taşlarının içerisinden geçerken sıcaklık farkından dolayı ısının belli miktarını çakıl taşlarına bırakmaktadır. Bu sayede depolanan ısı enerjisi soğuk aylarda ısıtma için kullanılmaktadır.

Depolama yapılan yanma ve patlama, zehirli gaz riski gibi tehlikeli faktörlerden korunmalıdır. Diğer depolama sistemlerine göre maliyetleri düşüktür. Taşların toplam yüzey alanı hesaplandığında daha küçük bir alanda geniş bir ısı transferi yüzeyi elde edilmektedir. Depolama alanının dar olması ve taşların birbirine temas yüzeyinin az olması nedeniyle ısı kaybı da azalmaktadır. Bu sistemlerde aynı zamanda ısıtma ve soğutma işlemi yapılmamaktadır (Yılmazoğlu, 2010).



Şekil 2.2. Katılarda enerji depolama alanı (Yılmazoğlu, 2010).

2.2.1.3. Sıvılarda Enerji Depolama

Ülkemizde termal enerji depolanmasında en fazla kullanılan yöntem sıvı içerisinde ısı depolama yöntemidir. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde güneş kolektörleri yardımıyla

depolama tankların içerisinde sıcak sıvı depolanmaktadır. Bu sistemlerde en fazla kullanılan akışkan su olmaktadır. Genellikle güneş kolektörleri yapıların çatısına kurulmaktadır. Yapının yüksekliğine bağlı olarak doğal ve zorlanmış sirkülasyon olmak üzere iki farklı sirkülasyon çeşidi mevcuttur. Doğal sirkülasyonda ısınan su yoğunluğu azaldıkça yukarı doğru çıkacaktır. Böylece ısınan su kendiliğinden dönerek sirkülasyonu sağlamaktadır. Diğer yöntemde ise sirkülasyon pompası ile suyun sirkülasyonu sağlanmaktadır. (Yılmazoğlu, 2010) Belirli zaman aralığı için depolama tankının son sıcaklık denkliği;

$$T_f' = T_i + \frac{\Delta t}{(mc_p)_i} (Q_i - Q_o - (UA)_i (T_i - T_\varphi)) \quad (2.1)$$

$(Q_i - Q_o)$ = Kolektörden çekilen toplam enerji

'dir.

2.2.1.4. Mevsimsel Enerji Depolama (Yeraltında Termal Enerji Depolama)

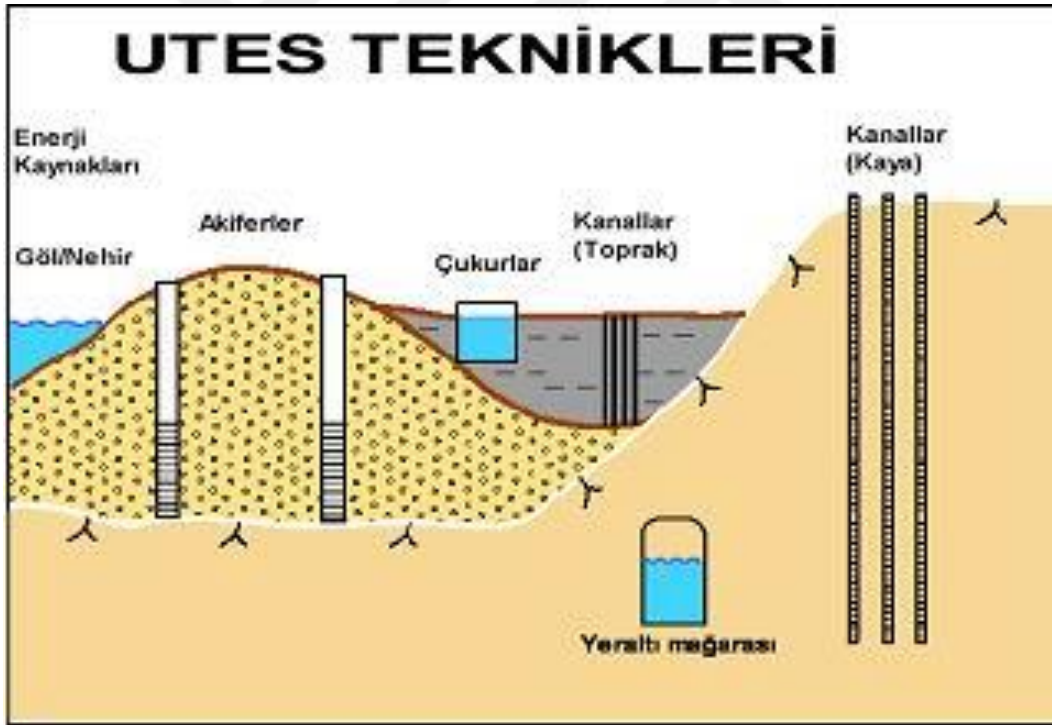
Mevsimsel enerji depolama genellikle uzun süreli enerji depolanmasına ihtiyaç duyulduğunda tercih edilmektedir. Uzun süreli depolamada amaçlanan sıcak aylarda termal ısıyı depolayıp soğuk aylarda ısıyı kullanmak veya soğuk aylarda ısıyı vererek sıcak aylarda klima gibi kullanmaktır. Özellikle ülkemizde konut ısıtılması ve soğutulması da fosil yakıtlar veya elektrik enerjisi kullanılmaktadır. TED'lerin kullanımı ile yerli kaynak kullanımı ve enerji tasarrufu yapılabilmektedir (Yılmazoğlu, 2010).

Uzun süreli termal enerji depolanması için genellikle yeraltı kullanılmaktadır. Yeraltında termal ısının depolanmasında yalıtıma ihtiyaç yoktur ve depolanma alanı yerin altında olduğundan üst kısmı farklı amaçlar için kullanılabilir. Yer altınının en önemli özelliği belli bir derinlikten sonra değişmez, böylece sıcaklık mevsimsel koşullara bağlı değildir. Toprağın 10-20 m arasına Nötr Kararlı Bölge denilmektedir. Yeraltında termal depolama geniş bir hacimde uzun süreli termal enerji depolama imkânı sunmaktadır. UTES temel çalışma prensibi; yüzey ile yeraltı arasındaki sıcaklık farkını kullanarak ihtiyaca göre ısıtma ve soğutmanın yapılmasıdır. Sıcak aylarda yüzeydeki sıcak akışkan toprağa gönderil ve ısınıp toprağa bırakır. Isısını bırakırken sıcaklığı düşer böylece istenilen ortam soğutulur.

Toprağa verilen ısı ise soğuk aylarda toprağa gönderilen akışkanın ısıtılması için kullanılır. UTES diğeri bir avantajı ise kullanımı sırasında çevreye zararlı salınımları yapmamasıdır (Anderson,1997).

Genel UTES'ler depolama şekline ve kullanım amacına göre üçe ayrılmaktadır:

1. Akiferde Termal Enerji Depolama (ATES): Depolamada suyun ve toprağın kullanılmasıdır.
2. Kanallarda Termal Enerji Depolama (BTES): Depolamada toprağın veya kayanın kullanılmasıdır.
3. Çukurlarda, Mağaralarda ve Depolarda Termal Enerji Depolama (CTES): Depolama olarak suyun kullanılması



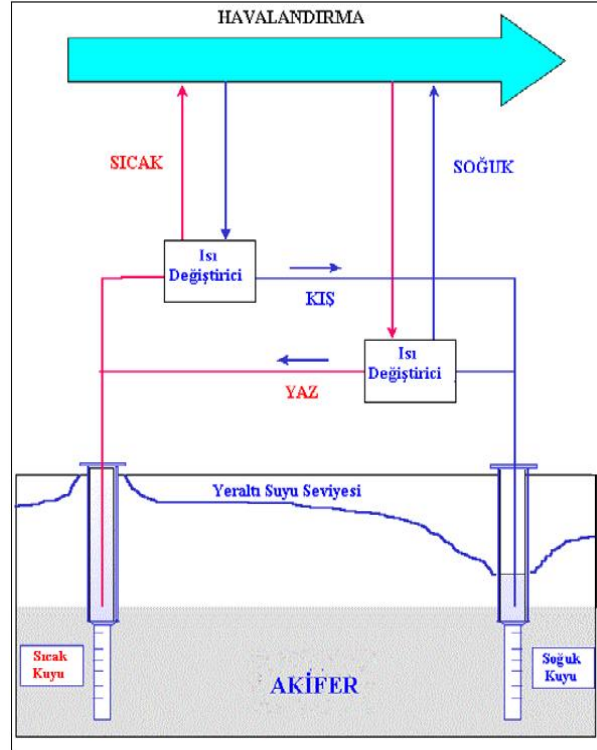
Şekil 2.3. UTES Metotları (Anderson,1997).

2.2.1.5. Akiflerde Termal Enerji Depolama (Aquifer Thermal Energy Storage- ATES)

Havzanın alt ve üst bölgesi geçirimsiz veya az geçirimli tabakadan oluşan ve akifer bölgesinde ise geçirimli materyal bulunduran yer altı su havzaları tercih edilmektedir. Bu teknik hem soğutma ve hem de ısıtma için kullanılabilir. Soğutma işleminde temel çalışma prensibi, yer altına açılan sondajlardan kışın su çekilmesidir. Çekilen su soğuk hava yardımıyla soğutulmuş olarak tekrardan havzaya geri gönderilmektedir. Böylece havzada soğuk su depolanmaktadır. Depolanan soğuk su sıcak aylarda ihtiyaca göre sondajdan çekilir ve ısı değiştiriciler yardımıyla konutun mevcut soğutmasında kullanıldıktan sonra havzaya su geri gönderilir.

Bu sistemi ısıtma için kullanıldığında en az iki adet birbirleri ile etkileşimde olmayacak mesafeye yerleştirilmiş biri sıcak biri soğuk olan sondajlar açılmalıdır. Sondajdan çekilen su ısıtma ve soğutma için yeterli olmadığı zamanlarda sistemde ısı pompaları kullanılmaktadır (Turgut, 2002).

ATES en çok kullanıldığı ülkeler Hollanda, İsveç, ABD, Kanada, Çin, Japonya ve Almanya başta olmaktadır. (Turgut, 2002)



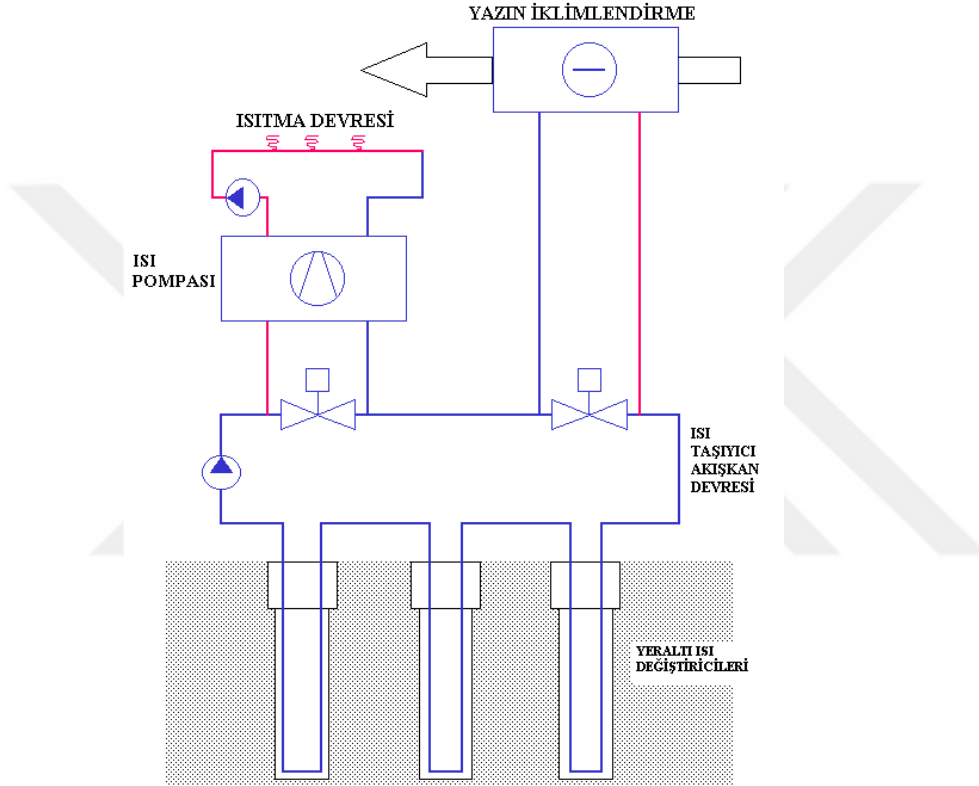
Şekil 2.4. ATES metodun çalışma tekniği (Turgut, 2002).

2.2.1.6. Yer Altı Kaynaklarında Termal Enerji Depolama (Borehole Thermal Energy Storage, BTES)

BTES metodu genellikle akifer bulundurmeyen jeolojik olarak dengeli ve bozulmalarını olmadığı bölgelerde kullanılmaktadır. Bu metod diğerlerine göre daha küçük ölçekli konutların ısıtılmasında ve soğutulmasında kullanılmaktadır. Tekniğin temel çalışma prensibi toprağın altı ve üstü arasındaki sıcaklık farkından kaynaklı ısı taşınımına dayanmaktadır. Örnek olarak Türkiye'nin doğusunda bulunan Van bölgesi kış aylarında -30°C 'lere kadar düşmektedir. Fakat Van bölgesinin jeolojik yapısı incelendiğinde jeotermal bakımdan, orta entalpi bakımından zengin bir bölge olduğu tespit edilmiştir. Buda yeraltı toprak sıcaklarının 10°C ile 15°C arasında olmasını sağlamaktadır. Kanallarda termal enerji depolamanın temel prensibi yeraltı ve üstündeki sıcaklık farkından yararlanarak, bu farkı ısıtma ve soğutmada kullanmaktır. Genel olarak çalışma prensibi; ısıtma veya soğutma yapılacak olan yapının ısı yükleri hesaplanır. Bu hesaplamalara göre ısı yüklerini karşılayacak sondajlar açılır ve sondaj derinliği kadar yalıtım özelliği olmayan ve korozyona karşı dirençli polietilen borular yerleştirilir. Boruların yerleştirilmesi sırasında düzgün olması için boruların alt kısmına ağırlık yerleştirilir. Burada dikkat edilmesi gereken sondajlar arasında ısı etkileşimi olmaması için aralarındaki mesafenin 10 m olacak şekilde yerleşimleri yapılır. Boru ile toprak arasında ısı direnci en aza indirmek için dolgu malzemesi enjeksiyonu yapılır. Bu sayede boru ile toprak arasındaki temas maksimum düzeye çıkartılır. Isıtma aylarında soğuk bir akışkan borular içerisinde dolaştırılır ve akışkanın sıcaklığı yükseltilerek ısıtılması istenilen konuta verilir. Aynı işlem soğutma aylarında ise sıcak olan akışkan borularda dolaştırılarak akışkanın sıcaklığı düşürülür. Bu teknikte dikkat edilmesi gerekenlerden biri sistemin sürekli olarak ısıtma için kullanılması durumunda topraktan çekilen ısı miktarı, toprağa verilen ısı miktarını geçerse toprak sıcaklığı zamana bağlı olarak düşmeye başlayacaktır. Bu durumu önlemek için sıcak aylarda güneş enerjisi veya atık ısı kaynağı gibi kaynaklardan elde edilen sıcak akışkan borularda dolaştırılarak toprak sıcaklığı ve verimi artırılmış olur (Turgut, 2002).

Yer altı kanallarında termal enerji depolama iki temel birleşenden oluşmaktadır. Boruların yerleştirildiği ve akışkanın dolaştığı yer altı kanalları ve ısının depolama

kapasitesini belirleyen toprak özellikleridir. BTES metodunda yaygın olarak derin sondaj kuyuları tercih edilmektedir. Fakat daha küçük konutları ısıtmak için kurulum maliyeti daha düşük olan yatay borulamada kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. BTES Metodunun genel çalışma prensibi (Turgut,2002).

2.2.1.7. Tank, çukur ve kaya oyuklarında depolama (Cavity Thermal Energy Storage CTES)

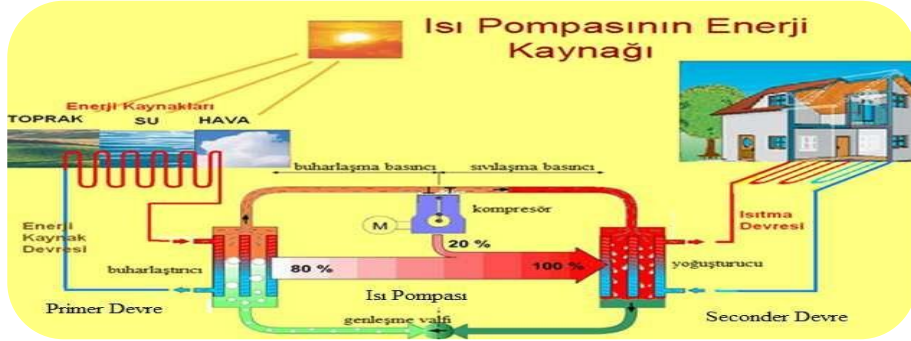
Yeraltı termal enerji depolama metodlarının en sonucusudur. Diğer metotlara göre daha az uygulanmaktadır. Bunun sebebi ise yeraltında açılacak olan tankların ve çukurların kurulum maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Bu teknik genellikle Almanya ve İsveç gibi ülkelerde test için kullanılmaktadır.

En düşük maliyetli depolama çeşidi ise yeraltı mağarası ve karstik yapılarada bulunan boşluklardır. Fakat depolama alanı ısıtma yapılacak yere yakın olmalı ve depolamaya uygun

koşulları sağlamalıdır. Diğer tekniklerde ısıtma veya soğutma yüklerine göre depolama alanı seçimi yapılabilmektedir. Bu teknikte ise depolama alanına göre ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmaktadır. Bu sebeplerden dolayı fazla kullanılmamaktadır. CTES'in soğutma için kullanılması durumunda kaynak olarak soğuk aylardaki yüzey suları veya hava sıcaklığı kullanılmaktadır. Isıtma için gerekli olan enerji genellikle güneş enerjisinden sağlanmaktadır (Andersson, 1997).

2.2.2. Isı Pompaları

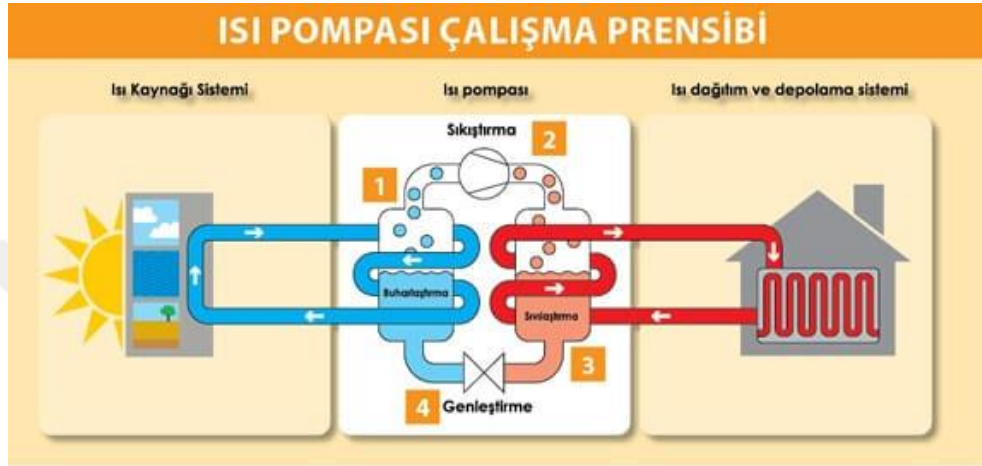
Isı pompaları bir ortamdaki ısıyı diğer bir ortama taşıyan sistemlerdir. Güçlerini elektrik enerjisinden almaktadırlar. Isı pompalarının temel çalışma prensibi ısının taşınır olmasına dayanmaktadır. Isı pompalarının termal kaynağı toprak, hava ve sudur. Isı pompalar ısıtma ve soğutma için aynı zamanda kullanılabilir. Şekil 2.6. ısı pompasının sisteminin genel görünüşünü gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Isı pompası sistemin genel görünüşü (Anonim, 2016a).

Isı pompaları kapalı devre sistemlerdir. İçerisinde akışkan olarak Freon gazları bulunmaktadır. Bu gazlar düşük sıcaklıklarda buharlaşma özelliğine sahiptirler. Kaynaktan gelen akışkan ile ısı alışverişi buharlaştırıcı da gerçekleşir. Kaynaktan gelen akışkan ısı pompasındaki freon gazlarına ısınıyı bırakır. Isıyı alan akışkan buharlaşmaya başlar. Buharlaşan akışkan kompresörde sıkıştırılarak sıcaklığı ve basıncı yükseltilir. Sıcaklığı artan gaz yoğuşturucu ısıtılacak olan ortamın akışkanına ısınıyı bırakır. Isısını bırakan gaz

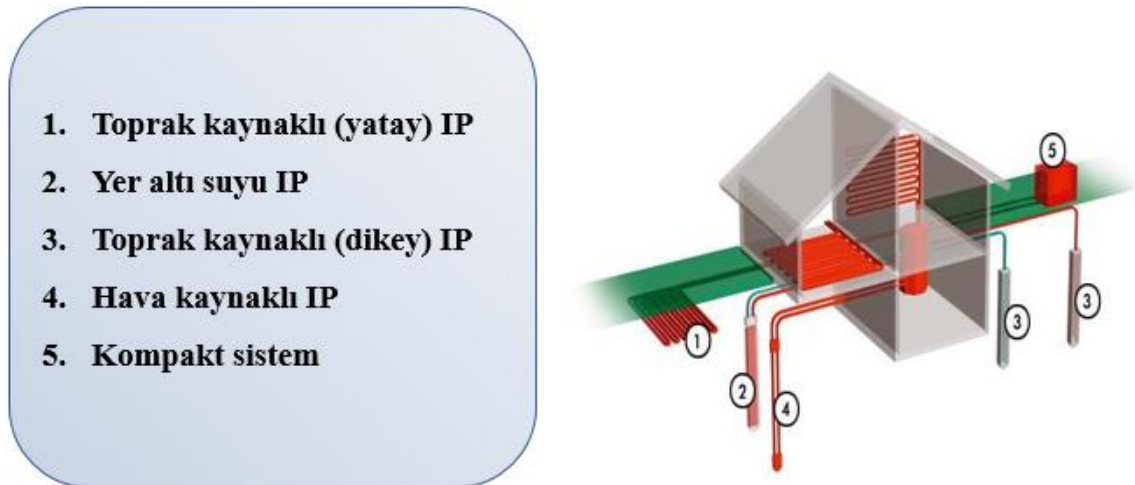
genleşme valfine gelir. Burada kompresörün tersine işlem gerçekleşir. Gaz hacmi artırılarak basıncı düşürülür ve sıvı hale geri gelerek buharlaştırıcıya geri döner. Böylece sistem kendini tamamlamış olur (Patlar, 2006).



Şekil 2.7. Isı pompası genel ekipmanlarının çalışma prensibi (Anonim, 2016a).

2.2.3. Isı pompası kaynakları

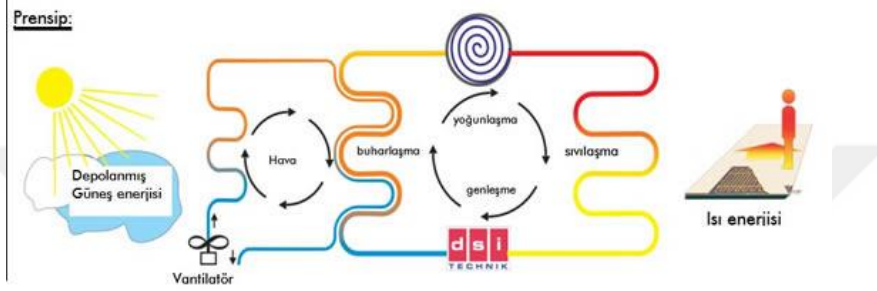
Isı pompaları ısı enerjisini aldığı veya verdiği kaynaklar bakımından üçe ayrılır (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Isı pompası kaynakları.

2.2.3.1. Hava-su ısı kaynaklı ısı pompaları

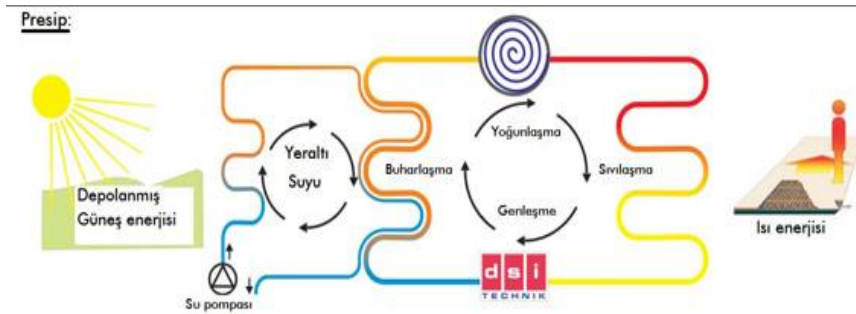
Bu sistemler termal enerjiyi havadan sağlarlar. Başlangıç maliyetleri diğer sistemlere göre daha düşüktür. Fakat hava koşullarının mevsimsel ve günlük olarak değişmesinden dolayı sabit bir verimleri yoktur ve diğer sistemlere göre verimleri daha düşük kalmaktadır. Hava-su kaynaklı ısı pompasının çalışma prensibi Şekil 2.9.'de gösterilmiştir. (Patlar, 2006)



Şekil 2.9. Hava-Su kaynaklı ısı pompası çalışma prensibi (Patlar, 2006).

2.2.3.2. Yeraltı suyu kaynaklı ısı pompası

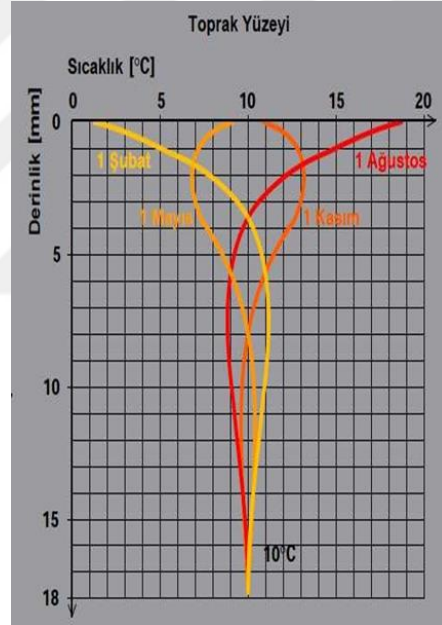
Yeraltında bulunan kaynak sular termal enerji kaynağı olarak kullanılır. Yeraltı kaynak suları soğuk aylarda bile sıcaklık değerleri 8 °C ile 12 °C arasında değişmektedir. Bu da sistemin veriminin yüksek olmasını sağlamaktadır. Yeraltı kaynak suları yaygın olarak bulunmasına rağmen yeryüzüne çıkartma işlemi için dalgıç pompalar kullanılmaktadır. Bu da maliyeti arttırmaktadır. Şekil 2.10. yeraltı kaynaklı ısı pompasının çalışma prensibi gösterilmiştir (Patlar, 2006).



Şekil 2.10. Yeraltı kaynaklı ısı pompası çalışma prensibi(Patlar, 2006).

2.2.3.3. Toprak kaynaklı ısı pompaları

Yeryüzüne gelen güneş ışınlarının ısı enerjisi toprakta rezerve edilmektedir. Belli bir derinlikten sonra toprak sıcaklıkları mevsimsel koşullara göre değişmemektedir. Toprağın diğer bir özelliği ise sıcaklık değerlerinin eksi değerlere düşmemesidir. Toprak kaynaklı ısı pompaları ısıtma ve soğutma içinde kullanılabilir. Bunun sebebi toprak sıcaklık değerlerinin yazın dışarıdan daha serin kışın ise daha sıcak olmasıdır. Bu sistemlerin toprağın sıcaklık değerleri yıl boyunca dengeli olduğundan verimleri diğer kaynaklı sistemlere göre daha yüksektir (Patlar, 2006). Toprak sıcaklık değerlerinin belli aylara ve derinliğe göre değerleri Şekil 2.11. de verilmiştir.



Şekil 2.11. Belli aylara ve derinliğe göre toprak sıcaklık değerleri (Ünlü, 2005).

Yeraltında bulunan termal enerjiyi ısıtma veya soğutmada kullanmak için tasarlanan sistemlere Toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP) denir. Yeraltının belli bir derinliğine yerleştirilen boruların içerisinde dolaştırılan akışkan topraktaki ısıyı alır veya toprağa ısı bırakır. Böylece akışkan ile toprak arasında ısı transferi sağlanır. Akışkan topraktan ısıyı aldıktan sonra ısı değiştirgecinde ısını bırakır. Sonra kapalı çevrimde sirkülasyon pompası ile toprakta dönmeye devam eder. Böylece toprakta depolanan enerji başka bir yere transfer edilir. TKIP genellikle konutların ısıtılmasında veya soğutulmasında kullanılmaktadır.

2.2.4. Toprak Özellikleri

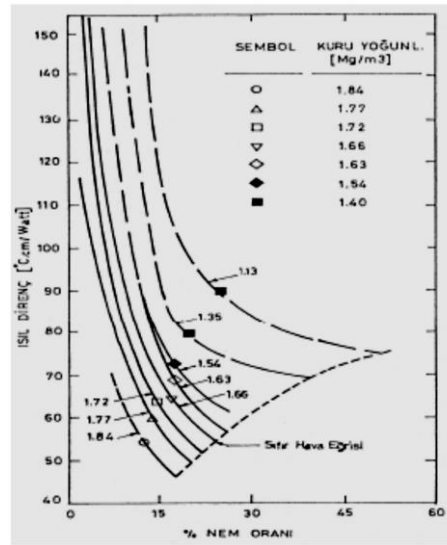
TKIP sistemlerinde ısının depolanması ve çekilmesindeki ısı enerjisini belirleyen en önemli etken toprağın yapısal özellikleridir (Ünlü, 2005).

Toprağın yapısal özelliklerini belirleyen faktörler;

- Yoğunluk
- Nem oranı
- Materyal oranıdır.

2.2.4.1. Toprak Yoğunluğu

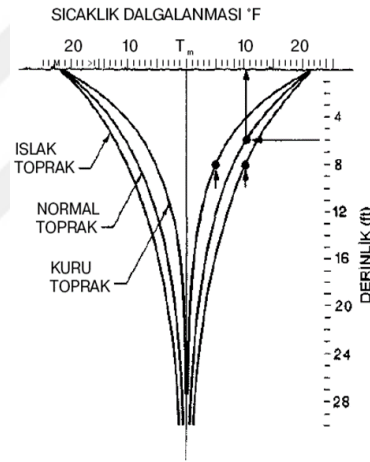
Toprak ve akışkan arasındaki ısı iletiminin verimli olması toprağın ısıl iletkenlik katsayısı ile doğru orantılıdır. Bu değerın hesaplanabilmesi için belirlenen toprağın kuru yoğunluğu (g) ve içerisindeki nem oranı (Ψ) belirlenmektedir. Toprağın içerisindeki nem oranı ve bir kuru yoğunluk değerine karşılık gelmektedir. Şekil-3.12’de farklı toprak nem oranı ve yoğunluklarına göre toprağın ısıl direnç katsayısı değerleri verilmiştir. Toprağın en düşük ısıl direnci sıfır hava eğrisinde karşılık gelen değerlerdir (Ünlü, 2005).



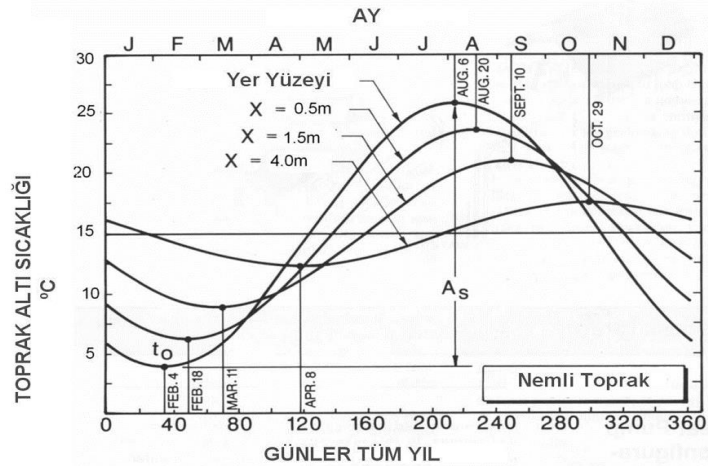
Şekil 2.12. Topraktaki nem ve yoğunluk oranına toprak ısıl direnç değerleri (Ünlü, 2005).

2.2.4.2. Topraktaki Nem Oranı

Yeraltında termal enerji depolanmasında toprağın içerisindeki nem büyük bir önem taşımaktadır. Toprağın içerisindeki nem miktarı toprak içerisinde depolanan termal enerji ile doğru orantılıdır. Diğer bir deyişle doymuş toprağın ısı iletim katsayısı kuru toprağa göre yüksektir ve ısıl direncide daha düşüktür. Bunun sebebi topraktaki nem miktarı artıkcça içerisinde daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olan havanın yerine daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip suyun geçmesidir.(Ünlü, 2005) Topraktaki neme bağlı olarak farklı toprak çeşitlerine ve derinliğe bağlı olarak toprak sıcaklık değerleri Şekil 3.13 de verilmiştir.



Şekil 2.13 Toprak nem oranları ve derinliğe göre toprak sıcaklık değerleri (Ünlü, 2005).



Şekil 2.14 Nemli toprağın aylara ve derinliğe bağlı toprak sıcaklık değerleri (Ünlü, 2005).

2.2.4.3. Tanecik Materyaller

Toprağın içerisinde bulunan katı tanecikli materyaller toprağın ısı iletim katsayısını belirlemektedir. TKIP'in kurulacağı bölgeden alınan toprak numunesi de taneciklerinin oranı belirlenir. Belirlenen materyal oranlarına göre toprağın ısı iletim katsayısı hesaplanır. Belirli bir kütledeki toprağın ısı iletim katsayısı Eş. 3.2 de verilmiştir.

$$C_v = C_{1v}m_1 + C_{2v}m_2 + \dots + C_{nv}m_n \quad (2.2)$$

Toprakta genellikle bulunan materyallerin ısı iletim katsayıları Çizelge 2.1. verilmiştir.

Çizelge 2.1. Topraktaki bazı materyallerin ısı özellikleri (Ünlü, 2005).

Materyal	Isıl direnç (m°C/W)	Isıl iletim katsayısı (W/m°C)
Kuartz	0,11	9,2
Granit	0,25-0,28	4,0-3,6
Kireç taşı	0,45	2,2
Kum taşı	0,58	1,7
Mika	1,70	0,59
Organik materyaller	4/7	0,25/0,14
Islak/Kuru		
Su	1,65	0,6
Hava	41,00	0,025
Buz	0,78	2,23

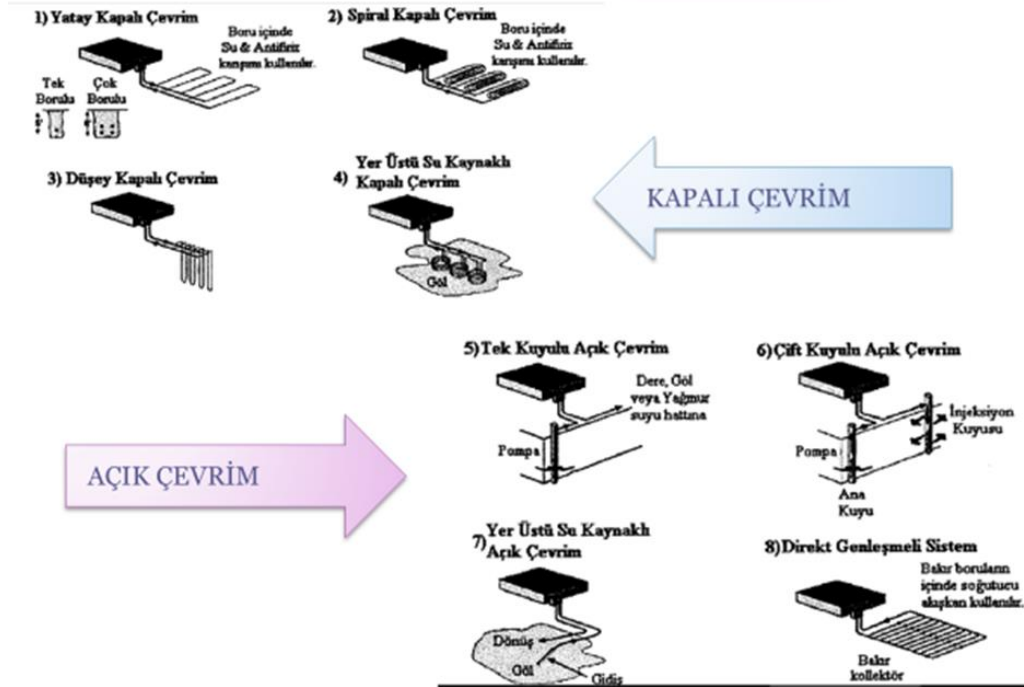
Çizelge 2.1. incelendiğinde toprakta ısı enerji depolama ve iletim bakımından en iyi materyalin kuartz olduğu gözlenmektedir. Bu materyaller genellikle killi topraklarda bulunmaktadır. Bu yüzden killi topraklar TKIP ve BES sistemlerinde kullanılmaya daha uygundur. Bazı toprakların ısı özellikleri Çizelge 2.2. de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı toprak türlerinin ısıl karakteristikleri (Ünlü, 2005).

Materyal	Isıl direnç (m°C/W)	Isıl iletim katsayısı (W/m°C)
Gevşek Kuru Kum	1,75	0,57
Nemli kil	0,8-0,9	1,25-1,11
Nemli kumlu kil	0,8-0,9	1,25-1,11
Sıkı kum	0,8-0,9	1,25-1,11
Kül dolgu	2,00	0,5

2.2.5. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları Türleri

Temel olarak çevrim çeşidine göre ikiye ayrılmaktadır.



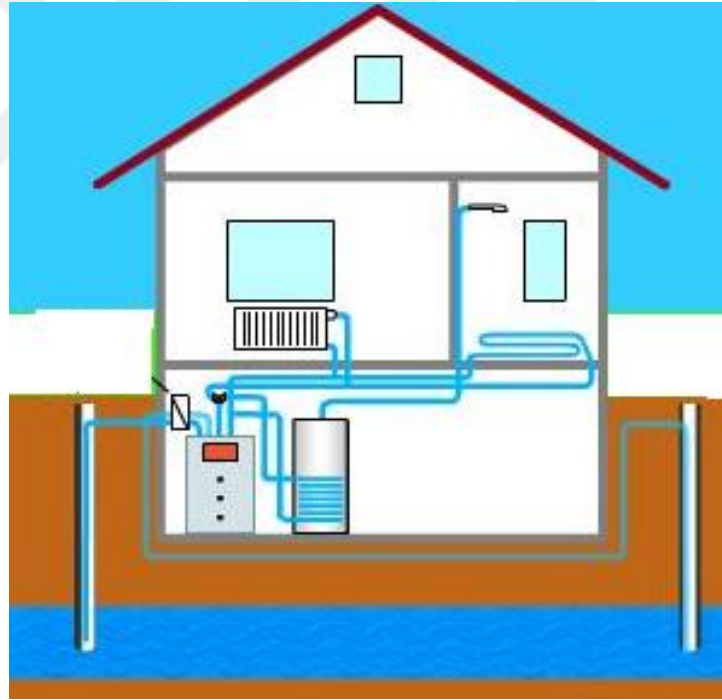
Şekil 2.15. Toprak kaynaklı ısı pompaları çevrimleri (Anonim, 2004).

2.2.5.1. Açık çevrim sistemler

Açık çevrimli sistemler kaynak sularının bol bulunduğu bölgelerde kullanıma uygundur. Sistemin çalışma prensibi jeotermal kaynağın olduğu bölgeye kuyular açılarak sıcak su yüzeye çıkartılır. Isı pompası yardımıyla ısı değişimi yapılır ve deşarj kuyuları ile

su tekrar yeraltına pompalanır. Sistem sayesinde hem ısınma hem de sıcak su ihtiyacı karşılanmaktadır. Suyun deşarj edilmesi sistemin sürekliliğini ve verimini arttırmaktadır. (Miles, 1994)

Açık sistemlerin kurulum maliyeti ucuzdur. Fakat jeotermal kaynakların içerisinde SO_x veya CO_x zehirli elementler basınçtan dolayı çözülmüş halde bulunmaktadır. Kaynağın yeryüzüne çıkmasında bu elementler gaz formuna geçerler. Kaynağın içerisinde diğer bazı ağır metaller çözülmüş halde bulunabilmektedir. Bu nedenler sondaj borularında ve ısı değiştiricilerinde korozyona ve tıkanmaya sebep olabilmektedir. Jeotermal kaynağın içerisindeki SO_x veya CO_x gibi elementlerin oranlarının yüksek olduğu bölgelerde kaynakların çıkarılması yasaklanmıştır (Miles, 1994).

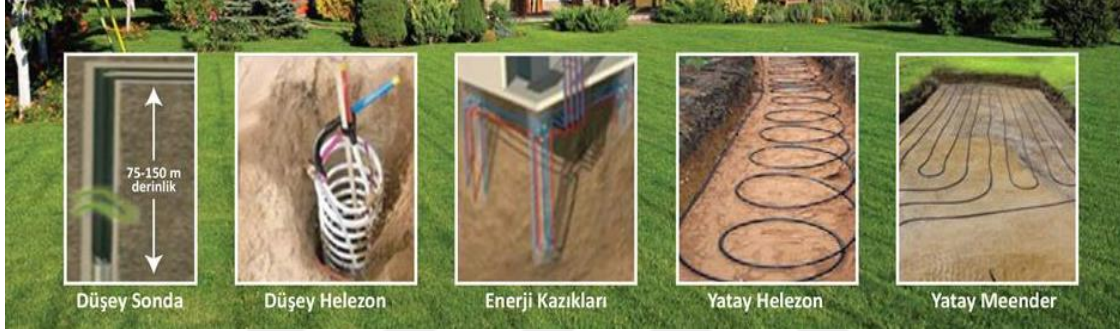


Şekil 2.16. Açık çevrimli toprak kaynaklı ısı pompası örneği (Miles, 1994).

2.2.5.2. Kapalı çevrim sistemler

Kapalı çevrimli sistemler yaygın olarak kullanılan tekniktir. Sistemin çalışma prensibi toprağın belli bir derinliğine döşenen borulardan akışkan sürekli olarak dolaşmaktadır. Akışkan topraktan aldığı veya verdiği ısıyı, ısı pompası yardımı ile ısıtma

veya soğutma için ısı değişimi gerçekleşir. Isı değişimi işleminden sonra akışkan borularda sirkülasyona devam eder. Akışkan olarak genellikle su- antifriz karışımı kullanılır. Sistemde kullanılacak olan borular ısı iletimi bakımından yalıtımsız ve topraktaki korozyona karşı dayanıklı olmalıdır. Maliyetlerinin düşük olması sebebiyle poli-etilen borular tercih edilmektedir (Selvi,2002).



Şekil 2.17. Kapalı çevrim çeşitleri (Kıncay,2019).

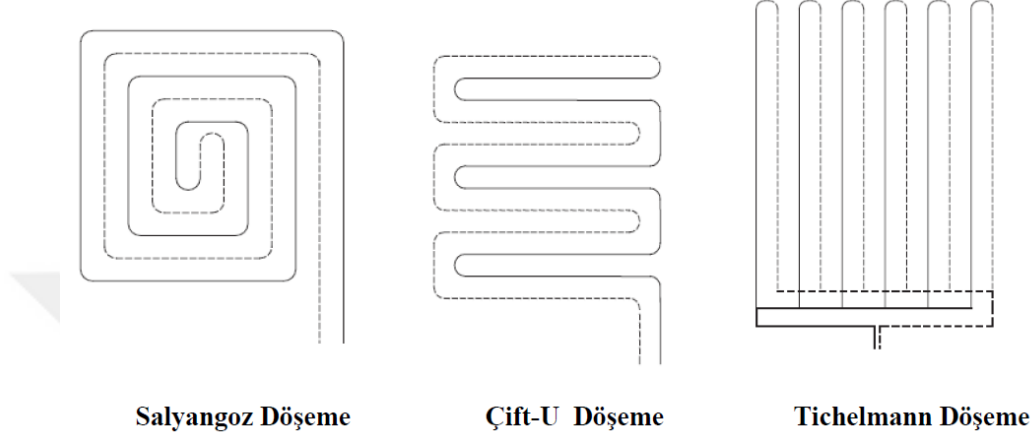
Boruların döşenmesi bakımından ikiye ayrılmaktadır.

2.2.5.3. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompaları

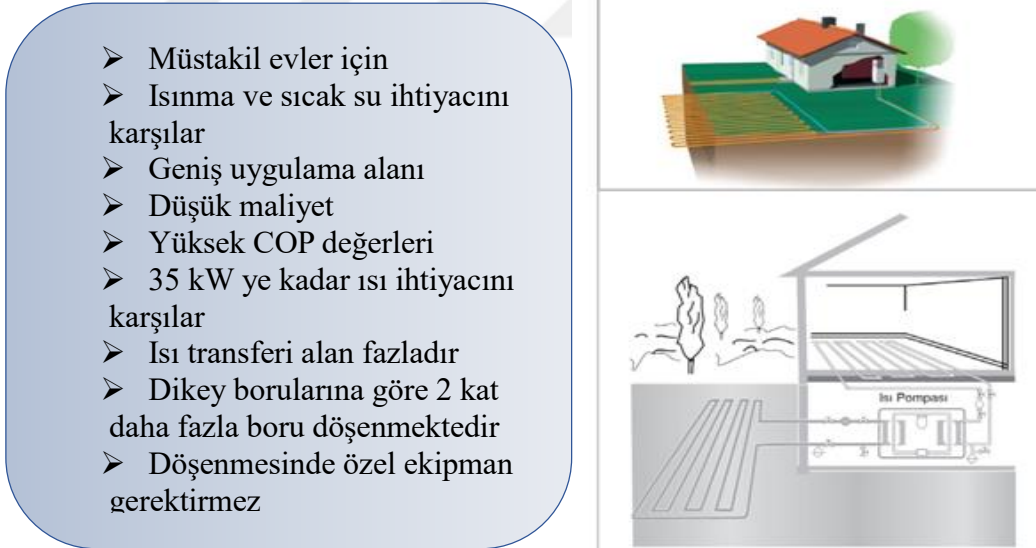
Yatay kaynaklı ısı pompaları genellikle küçük konutların ısıtılmasında veya soğutulmasında kullanılmaktadır. Kurulum maliyetleri düşük ve kolaydır. Bu sistemlerde borular toprağın 1m ve 2 m derinliğine farklı şekillerde yerleştirilmektedir. Borular arasında ısı etkileşiminin azalması için borular arası mesafe 0.3m- 0.6m arasındadır. Boruların yerleştirilmesinden sonra borular ile toprağın arasında boşluk kalmaması ısı transferi bakımından çok önemlidir. Bu yüzden toprağın çok iyi sıkıştırılması gereklidir. Şekilde 2.19. boruların farklı döşenme şekilleri gösterilmiştir. (Güven, 2002)

Kullanılacak olan boruların çapları ısı transferi bakımından çok önemlidir. Toprak ile akışkan arasındaki ısı transferinin verimli olması için akışkanın debisi ve boru çapının üst limitleri 2'' ,700 m ve 1 lt/sn olması gerektiği önceki çalışmalardan tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise boru çapı genişledikçe çeperlerdeki akışkanın sıcaklığı ile iç kısımları arasındaki fark artmaktadır. Boru uzunluğu arttıkça ısıl direnç artmaktadır ve ısı transferi azalmaktadır. Çizelge 2.3. de boru çaplarına bağlı olarak boru uzunluk değerleri verilmiştir. Yatay tip TKIP'lar

jkolektörler çok fazla alan kaplamaktadır. Bu alanda tarım gibi faaliyetler için kullanılamamaktadır.



Şekil 2.18. Yatay boru döşeme şekilleri



Şekil 2.19. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası genel özellikleri (Anonim, 2015a).

Kullanılacak olan boruların çapları ısı transferi bakımından çok önemlidir. Toprak ile akışkan arasındaki ısı transferinin verimli olması için akışkanın debisi ve boru çapının üst limitleri 2'' ,700 m ve 1 lt/sn olması gerektiği önceki çalışmalardan tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise boru çapı genişledikçe çeperlerdeki akışkanın sıcaklığı ile iç kısımları arasındaki fark

artmaktadır. Boru uzunluğu arttıkça ısı direnci artmaktadır ve ısı transferi azalmaktadır. Çizelge 2.3. de boru çaplarına bağlı olarak boru uzunluk değerleri verilmiştir. Yatay tip TKIP'lar kolektörler çok fazla alan kaplamaktadır. Bu alanda tarım gibi faaliyetler için kullanılamamaktadır.

Çizelge 2.3 Boru çaplarına göre boru uzunluk değerleri (Miles,1994).

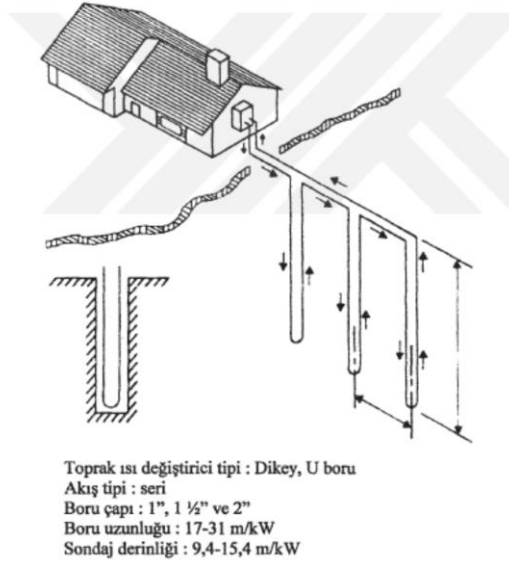
Boru Çapı(inç)	Boru uzunluğu (m)
3/4	≤150
1	≤230
1-1/4	≤900
1-1/2	≤1200
2	≤2500

2.2.5.4. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompaları

Düşey tip toprak kaynaklı ısı pompaları hastane, kampüs gibi ısıtma ve soğutma ihtiyacının fazla olduğu ve alanın kısıtlı olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Borular sondaj kuyuları ile toprağın 50m ile 150m derinliğine yerleştirilir. Borular arasında ısı etkileşimi olmaması için sondajlar arası mesafe 6m ile 10m arasında değişmektedir. Açılan sondajlara yerleştirilen borular ile toprak arasında boşluk kalmaması için ısıl iletkenlik katsayıları yüksek olan dolgu malzemeleri kullanılarak toprak ve boru arasındaki boşluklar doldurulmaktadır. Bu işlem yapılmazsa ısı direnci yüksek olan hava, akışkan ile toprak arasındaki ısı transferi veriminin düşmesine sebep olmaktadır. Şekil 2.21. U tipi dikey kolektörlerinin yerleşimini göstermektedir.



Şekil 2.20. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası genel özellikleri (Kıncay,2019)



şekil 2.21. Dikey tip TKIP uygulaması rneği (Miles, 1994; Selvi, 2002).

Yeraltı kolektörlerinde 3/4" – 2" boru çapları kullanılmaktadır. Kullanılan borular yatay tipte olduğu gibi topraktaki korozyona dayanıklı ve yalıtım malzemesi bulundurmeyen polietilen borular tercih edilmektedir.

Bu sistemlerin en büyük avantajları mevsimsel koşullardan etkilenmemeleridir. Çünkü toprağın sıcaklığı belli bir derinlikten sonra yıl boyunca sabit kalmaktadır. Diğer bir avantajları ise az boru kullanımına bağlı olarak düşük gte sirkülasyon pompasına ihtiyaç duyarlar. Fakat sondaj kuyularının açılım maliyetlerinin yüksek olması, dolayısı ile ilk kurulum maliyetlerini yükseltmektedir.

2.2.5.5. Carnot Isı Pompaları

Isıl enerjinin başka enerji çeşitlerine dönüşmesinin sağlayan sistemlere ısı makineleri denir. Carnot ısı makinelerini ise tersinir carnot çevrimi prensibiyle çalışan sanal makinelere Carnot ısı makineleri olarak tanımlanır. Diğer sistemlerden yüksek verime sahip sistemler olmasıdır (Cengel,2002). Isı makinelerini ısı pompalarına uyarlanırsa şekil 2.22. elde edilmektedir.



Şekil 2.22. Isı pompasının amacı.

Isı pompasının verimleri COP terimi ile gösterilmektedir. Bu değer her zaman birden büyük olmaktadır. Isı pompaları için COP değeri aşağıdaki Eş.de gösterilmektedir (Cengel, 2002).

$$COP_{IP} = \frac{\text{İstenilen değer}}{\text{Sisteme verilen değer}} = \frac{Q_h}{W_{net}} \quad (2.3)$$

$$W_{net} = Q_h - Q_l \quad (2.4)$$

$$COP_{IP} = \frac{Q_h}{Q_h - Q_l} = \frac{1}{1 - Q_l/Q_h} \quad (2.5)$$

COP_{IP} bu değer birden küçük olması durumunda ısı pompası bir elektrikli ısıtıcı gibi çalışmakta olup tükettiği elektrik enerjisini eve ısı enerjisi olarak vermektedir.

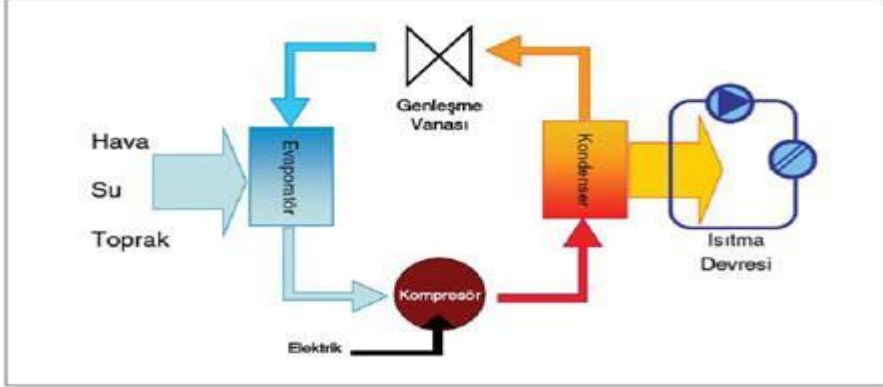
Isı pompaları tersinir sistemler olduğundan ısı ve sıcaklık arasındaki bağlantı Kelvin ölçeği ile tanımlanır;

$$\left(\frac{Q_H}{Q_L}\right) = \frac{T_H}{T_L} \quad (2.6)$$

Sıcaklık değerleri mutlak sıcaklık olarak belirlenmektedir. Eş. 2.7 yeniden düzenlenirse;

$$COP_{IP} = \frac{Q_h}{Q_h - Q_l} = \frac{1}{1 - Q_l/Q_h} = \frac{1}{1 - T_l/T_h} \quad (2.7)$$

Eş. 2.7 carnot ısı pompaları için COP değerini hesaplamamızı sağlamaktadır.



Şekil 2.23. Isı pompası genel görünüş (Orman,2018).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Zeve Kampüsü için modellenen BTES ve TKIP'in tasarım adımlarında kullanılan materyal ve yöntemler anlatılacaktır. Tasarımın ilk kısmında kurulacağı yer Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Zeve Kampüsü olarak seçilmiştir. Van bölgesinin güneş potansiyeli göz önüne alındığında bu potansiyel BTES kısmında termal enerji depolama olarak kullanılacaktır. Toprakta 5m*5m*5m bir alan kazılmıştır. Toprağın 2,5 metre derinliğine BTES borularının yerleştirildiği kabul edilmiştir. Bu boruların içerisinde sıcak aylarda (Mayıs-Haziran-Temmuz-Ağustos-Eylül) güneşten gelen ısı ile ısınan sıcak su gönderilmesi planlanmıştır. Bu sayede toprakta belirlenen alandan termal ısı depolanmasına bağlı olarak toprağın sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Konutun ısıtılması gereken aylarda (Ekim-Kasım-Aralık-Ocak-Şubat-Mart-Nisan) sistemden TKIP yardımıyla ısı çekilmesi durumları incelenmiştir. Isı çekilmesi ve ısı kayıpları dâhil edildikten sonraki belirlenen depolama alanındaki sıcaklık dağılımı ve verim grafikleri elde edilmiştir.

3.1. Bilgisayar

BTES ve TKIP tasarımlarının modellenmesinde kullanılan bilgisayarın işlemcisi Intel Core İ7-4700Hq CPU@2.40 GHz , ram 16 Gb, Windows 64 bit işletim sistemine sahip bilgisayar kullanılmıştır.

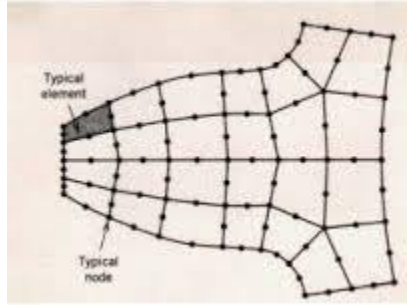
3.2. Hesaplama Programı

Tasarımların sayısal hesaplamaları MATLAB 2017 programında yapılmıştır. MATLAB programı genel olarak ileri nümerik hesaplamalar, çoklu matris hesaplama ve sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi gibi birçok matematiksel problemi kapsayan yüksek kapasiteye sahip bir programdır. Matlab yazılımının yaygın kullanım alanları: Matematik ve hesaplama işlemleri / Algoritma geliştirme / Modelleme, simülasyon (benzetim) ve veri analizi ve görsel efektlerle destekli gösterim / Bilimsel ve mühendislik grafikleri / Uygulama Geliştirme şeklinde özetlenebilir.

3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Günümüzde karmaşık yapıya sahip olan mühendislik problemlerinin çözümü için yaygın olarak kullanılan yöntemdir. 1956 yıllarında uçaklardaki gövdenin gerilme analizlerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Zaman geçtikçe bu yöntemin farklı mühendislik alanları için de kullanılabileceği anlaşılmıştır. Yöntemin temeli karmaşık olan fiziksel bir mühendislik problemini matematiksel Eş.ler kullanarak basite indirgeyip kesin sonuca en yakın çözüme ulaşmaktır (Anonim, 2015a).

Yöntemde ilk olarak fiziksel problemin matematiksel Eş.lerinin uygulanabilmesi için matematiksel model belirlenmelidir. Bu aşamadan sonra sistemin başlangıç ve sınır koşulları belirlenmektedir. Yöntemin temeli belirlenen modeli küçük düğüm noktalarına ayırmaktadır. Bu işleme mesh denilmektedir. Başlangıç ve sınır koşulları belli olan düğüm noktalarından komşu düğüm noktaları hesaplanarak genel model için yaklaşık hesap yapılmaktadır (Anonim, 2015a). Şekil 3.1 meshlemeye örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Meshleme örneği (Anonim, 2015a).

Sonlu elemanlar metodunun günümüzde kullanım alanları artmaktadır. Mekanik problemlerle birlikte ısı iletimi, akışkanlar mekaniği, elektrik ve manyetik alan problemlerinin çözümü de kullanılmaktadır (Anonim, 2015a).

3.4. Isı Transferi Yöntemleri

Isı geçişi belli bir sıcaklığa sahip bir sistemden daha düşük sıcaklıktaki bir sisteme sıcaklık farkından dolayı oluşan ısı transferine denir (Karakuş,2016).

Isı transferinin üç temel yöntemi bulunmaktadır;

1. İletim (Kondüksiyon)
2. Taşınım (Konveksiyon)
3. Işınım (Radyasyon)

Isı iletimi: Bir cismin farklı sıcaklıktaki bölgeleri arasında, birbirleriyle temas halindeki parçacıkların, yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine doğru ısının geçmesidir. Bu transfer şekli Fourier Kanunu ile ifade edilir (Karakuş, 2016).

Taşınım: Hareketli bir akışkan ile katı yüzeyin temas durumunda, aralarındaki ısı transfer şeklidir. Bu transfer şekli Newton Soğuma Yasası ile ifade edilir (Karakuş, 2016).

Işınım: Bir maddeden yapısındaki atomların veya moleküllerinin, elektronik şekillerinde meydana gelen değişimler sonucunda enerjinin elektromanyetik dalgalar halinde yayılmasıdır. Bu transfer şekli Stefan-Boltzmann Yasası ile ifade edilir. (Karakuş, 2016)

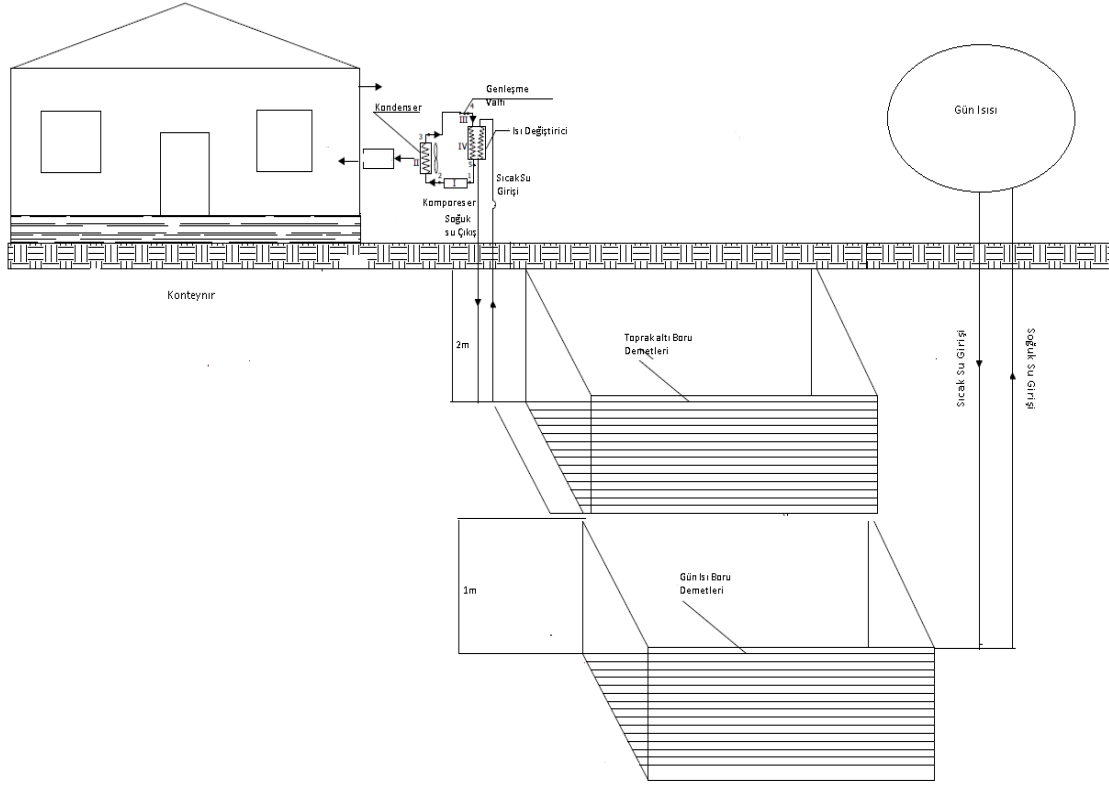
3.5. Paralel Borulu Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Değiştiricisi Modeli

BTES ve TKIP uygulamalarında birden fazla toprak için ısı değiştirici uygulamaları bulunmaktadır. Bu çalışmada toprağın altına BTES ve TKIP uygulamaları için ayrı ayrı yerleştirilmiş olan paralel borular ile sağlanan ısı transferi modellenmiştir. Şekil 3.2. de sistemin genel görüşü verilmiştir.

Sistem için ısı kayıpları ve ısı geçişlerinin olmadığını ihmal edersek Kartezyen koordinatlarda 3 boyutlu ve zamana bağlı olan ısı eşitlikleri;

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (3.1)$$

Yatay toprak değiştiricilerinde, borular arası ısı iletimini en aza indirmek için borular arasında belli bir mesafe bulunmaktadır. BTES uygulamasında toprağa gönderilecek ısının korunması için toprağın kazılan kısmı yalıtım yapılmıştır. Buna bağlı dış ve köşe nodların modellenmesi iç nodlara göre daha farklı olmaktadır.



Şekil 3.2. Sistemin genel görünüşü.

3.6. Problemin Tanımı;

Şekil 3.2.'de çalışmanın genel görünüşü verilmiştir. Matematiksel model bu şekilde verilen sistem için oluşturulmuştur. Problemin çözümünde ilk olarak iki boyutta çözümler yapılarak sonra üç boyuta geçilmiştir. Problemin çözümde kolaylıklar olması için kabuller yapılmıştır:

- Borular toprağın içerisinde aynı derinlikte ve aralarındaki mesafe sabittir,
- Boru içerisindeki suyun akışı laminardır.
- Borular içerisindeki suyun debisinin eşittir,
- Boru boyunca boru özellikleri aynıdır,
- Sistemin modellenmesi Kartezyen koordinatlardadır,

- Toprağın termodinamik ve diğer yapısal özellikleri her noktada aynıdır, konuma ve zamana bağlı olarak değişmemektedir,
- Topraktaki kütle geçişlerinden oluşan ısı kayıpları ihmal edilmiştir,
- Toprakta belirlenen bölgenin yalıtımında kullanılan malzemenin özellikleri her noktada aynıdır,
- Toprak sıcaklığı her noktada sabittir,
- Ay içerisinde güneşli günler peş peşedir,
- Isı geçişi iletim yoluyla olmaktadır.

Topraktaki ısı geçişinin belli sınır ve başlangıç koşullarında tek boyutta belli merkezdeki node için çözümü;

$$T_o = T(x, t), \quad t = 0 \quad (3.2)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=\frac{a}{2}} = 0 \quad \text{sınır koşulları}$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad \text{sınır koşulları}$$

$$Q \left(\frac{W}{m^2} \right) = 0 \quad y = L$$

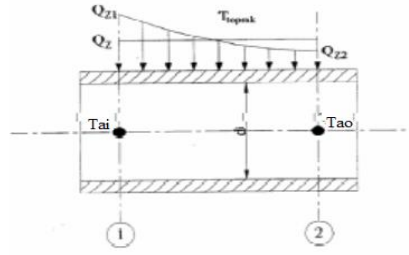
$$Q \left(\frac{W}{m^2} \right) = 0 \quad y = 0$$

$$T_{top} = sbt$$

İlk iki sınır koşulu içerde ısı üretimi olmadığı durumlar için geçerli olan koşullardır. Diğer sınır koşulları ise duvarlarda sadece ısı geçişi olduğu durumları kapsamaktadır. Zamandan bağımsız olarak ısı akısını eşitliklerine Fourier Eşitliği denir. Eşitlik aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir;

$$q = -k_t \frac{dT}{dx} \quad (3.3)$$

Başlangıç için boru içerisindeki akışkanın konuma göre sıcaklık değişiminin belirlenmesi gerekmektedir. Toprak altında gömülü bulunan borulardan geçen akışkan yataydaki konuma bağlı olarak zamanla sıcaklığı değişmektedir. Şekil 4.3 boru boyunca akışkanın sıcaklık ve ısı değişimini temsili olarak gösterimdir.



Şekil 3.3. Boru boyunca akışkandaki sıcaklık ve ısı değişimin (Demir, 2006).

Akışkanın boru boyunca sıcaklık değişimi hesaplanırken; boru içerisindeki akışın iç ve laminar akış olması ve sabit yüzey sıcaklığı durumları için Eş. 3.4 düzenlenirse;

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = \frac{T_{fo} - T_s}{T_{fi} - T_s} = \exp\left(-\frac{P\Delta L}{\dot{m}_w c_{pw}} \bar{h}\right) \quad (3.4)$$

Eş. 3.4 de T_{fo} eşitlenecek şekilde düzenlenirse;

$$T_{fo} = \exp\left(-\frac{P\Delta L}{\dot{m}_w c_{pw}} \bar{h}\right) (T_{fi} - T_s) + T_s \quad (3.5)$$

Bu çalışmada ısı transferinin verimli olması için akışın laminar olduğu kabul edilmiştir. Laminar ve tamamıyla gelişmiş koşullarda sabit yüzey sıcaklığı için Nusselt sayısı 3.66 olarak kabul edilmiştir.

$$Nu_d = \frac{\bar{h}D}{k} \quad (3.6)$$

\bar{h} değeri hesaplırsak;

$$Nu_d = 3.66$$

$$D = 2.54 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$k = 613 \times 10^3 \text{ W/mK}$$

$$\bar{h} = \frac{Nu_d k}{D} = \frac{3.66 \times 613 \times 10^3 \text{ W/mK}}{2.54 \times 10^{-2}} \cong 8.1 \times 10^5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

\bar{h} değerinin hesaplamasından sonra Eş. 3.5 de bilinen değerler hesaplanıp genel hali aşağıda hesaplamalardan sonra oluşturulmuştur.

$$\exp\left(-\frac{P \Delta L}{\dot{m}_w c_{p_w} \bar{h}}\right) = f \quad (3.7)$$

$$P = \pi D = \pi \times 2.54 \times 10^{-2} = 7.62 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\Delta L = 6 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\dot{m}_w = 0.4 \text{ m}^3/\text{h} = 0.4 \times 10^{-3} \text{ kg/h}$$

$$c_{p_w} = 0.001152 \text{ kWh/kgK}$$

$$\bar{h} \cong 8.1 \times 10^5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$T_{fi} = 70^\circ \text{C}$$

$$T_s = 10^\circ \text{C}$$

$$f = \exp\left(-\frac{7.62 \times 10^{-2} \text{ m} \times 6 \times 10^{-2} \text{ m}}{0.4 \times 10^{-3} \text{ kg/h} \times 0.001152 \text{ kWh/kgK}} \times 8.1 \times 10^5 \text{ W/m}^2 \text{ K}\right) \cong 0.97$$

Eş. 3.4'de f yerine konulursa;

$$T_{fo} = 0.97 (T_{fi} - T_s) + T_s \quad (3.8)$$

Programda Eş. 4.8 boru boyunca geçen akışkanın sıcaklık değişimini hesaplamakta kullanılmıştır.

3.7. HESAPLAMALAR

Çalışmanın tasarım adımları sırasıyla aşağıdaki gibidir;

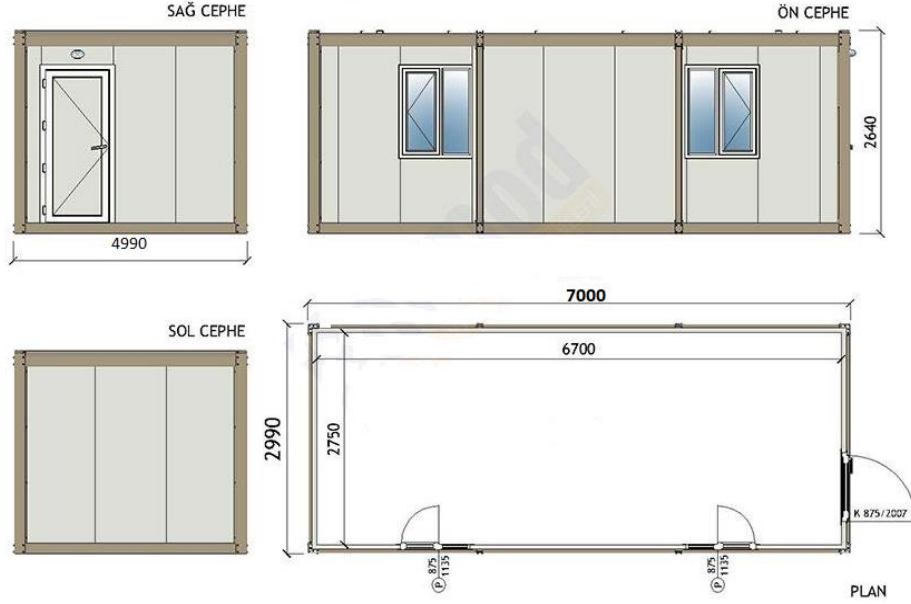
1. Konutun ısı kayıpları ve gerekli ısı yükleri hesaplandı,
2. Yatay tip TKIP seçildi,
3. TKIP kurulacağı bölgenin toprak çeşidine göre ısı direnç ve ısı iletim katsayıları belirlendi,
4. Boru secimi yapıldı,
5. Boru çapı belirlendi ve buna göre boru uzunluğu hesaplandı,
6. Isı pompası seçimi yapıldı,
7. Matematiksel model oluşturuldu
8. BTES kısmı için güneşli günlere göre gelen enerjinin aylık ortalama değerleri hesaplandı,
9. MATLAB'da Sonlu Elemanlar Yöntemi temel alınarak oluşturulan matematiksel model ile bir yıl için topraktaki sıcaklık dağılımı ve depolanmış ısı enerji değerleri hesaplandı.
10. Aynı zamanda oluşturulan modelde toprakta depolanan enerjinin ısı çekme durumunda oluşan sıcaklık dağılımı ve elde edilen ısı miktarı hesaplandı.

3.7.1. Konutun Isıtılması için Gerekli Isı Miktarı

Çalışmanın ilk aşamasında ısıtılacak konutun belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada Van Yüzüncü Yıl Üniversitesinde bulunan müstakil bir prefabrik konutun ısıtılması için hesaplamalar yapılmıştır.

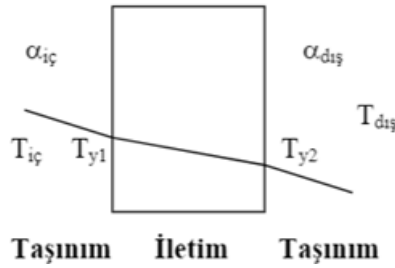
$$Q_t = Q_i + Q_k \quad (3.9)$$

Sistem ısı kayıplarını hesaplamak için ilk adım ısıl direnç hesaplanmasıdır;



Şekil 3.4. Konutun bir kısmının kesit görüntüsü.

Bina özgül ısı kaybı (H) değeri $Q_k = H_i + H_h$ yolu ile bulunur. Bu eşitlikteki H_i iletim yoluyla ısı kaybı, H_h ise havalandırma yolu ile ısı kaybıdır.



Şekil 3.5. İletim ve taşınım yolu ile ısı geçişi (Karaduman, 2017).

Binayı çevreleyen dış yapı kabuğundan oluşacak ($\sum UA$) değeri bina özgül ısı kaybının bulunmasında H_i değerinin tespit edilmesi için kullanılır. İletim yolu ile ısı kaybı hesaplamasında ilk olarak hava ile temas eden yüzeyler belirlenir. Yüzey özelliklerine göre belirlenen değerler ile Eş. 3.10'den her yüzey ısıl iç dirençler hesaplandı. Her yüzey için ısıl direnç hesaplamaları;

$$U_x = \frac{1}{\alpha_{dış} + \frac{d_x}{\lambda_x} + \alpha_{iç}} \quad (3.10)$$

$$U_{duvar} = \frac{1}{\alpha_{dış} + \frac{d_T}{\lambda_T} + \frac{d_{pvc}}{\lambda_{pvc}} + \frac{d_{EPS}}{\lambda_{EPS}} + \alpha_{iç}}$$

$$U_{duvar} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,08}{15} + \frac{0,024}{0,035} + \frac{0,125}{0,23} + 0,04} \cong 0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{tavan} = \frac{1}{\alpha_{dış} + \frac{d_T}{\lambda_T} + \frac{d_{pvc}}{\lambda_{pvc}} + \frac{d_{cam \text{ yünü}}}{\lambda_{cam \text{ yünü}}} + \alpha_{iç}}$$

$$U_{tavan} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,08}{15} + \frac{0,08}{0,04} + \frac{0,25}{0,23} + 0,04} \cong 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{taban} = \frac{1}{\alpha_{dış} + \frac{d_{kaplama}}{\lambda_{kaplama}} + \frac{d_{beton}}{\lambda_{beton}} + \alpha_{iç}}$$

$$U_{taban} = \frac{1}{0,17 + \frac{0,25}{0,07} + \frac{0,015}{0,12} + 0,04} \cong 3,14 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{Kapı} = \frac{1}{\alpha_{dış} + \frac{d_{pvc}}{\lambda_{pvc}} + \frac{d_{cam}}{\lambda_{cam}} + \frac{d_{pvc}}{\lambda_{pvc}} + \alpha_{iç}}$$

$$U_{Kapı} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,015}{15} + \frac{0,03}{0,2} + \frac{0,015}{15} + 0,04} \cong 0,97 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{Pencere} = 3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$H_i = \sum UA = 114,97 \frac{W}{K} \quad (3.11)$$

Havalandırma yoluyla oluşacak ısı kaybı değerinin bulunması için aşağıdaki yöntem kullanılır.

$$H_h = 0.33 n_h x V_h \quad (3.12)$$

Bu eşitlikde

$$n_h = 1,2 \text{ (W/m}^3 \text{ K)}$$

$$V_h \cong 84 \text{ m}^3$$

$$H_h = 0,33x\eta_h x V_h = 0,33x1,2 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{ K}} \right) x 84 \text{ m}^3 \cong 33.26 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$Q_k'' = H_k + H_i = 114,97 + 33.26 \cong 144 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Meteorolojiden alınan sıcaklık değerlerine göre Çizelge 3.1. oluşturuldu.

Çizelge 3.1-Aylara göre sıcaklık ve ısı kaybı değerleri (MGM,2016).

Aylar	Ort. Sıcaklık Değeri (C)	İstenilen Ortam Sıcaklığı (C)	Toplam Isıl Direnç (W/K)	Aylık Ortalama Isı Kaybı (kW)
Ocak	-3,10	20,00	144,00	3,33
Şubat	-2,60	20,00	144,00	3,25
Mart	1,5	20,00	144,00	2,66
Nisan	7,7	20,00	144,00	1,77
Ekim	11,2	20,00	144,00	1,27
Kasım	4,9	20,00	144,00	2,17
Aralık	-0,5	20,00	144,00	2,95
Yıllık Toplam				17,41

Meteorolojiden aylık ortalama sıcaklık değerleri alınmıştır. Sistemin istenilen konteyner iç sıcaklığı $T_{iç}=20^{\circ}\text{C}$ olarak kabul edilerek ısıtmak için gerekli olan ısı hesaplamaları Çizelge 3.2. dedir.

Çizelge 3.2. Bir yıl için gerekli olan ısı miktarı.

Aylar	Ort. Sıcaklık Değeri (C)	Havanın Özgül ısısı (kJ/kg.K)	İstenilen Ortam Sıcaklığı (C)	Odanın içerisindeki Havanın Kütle(kg)	Aylık Ort. Gerekli Isıtma için Enerji Mik .(kJ)	Aylık Ort. Gerekli Isıtma için Enerji Mik. (kWh)	Aylık Ort. Gerekli Isıtma için Güç Mik. (kW)
Ocak	-3,10	0,72	20,00	146,00	72494,04	19,57	0,82
Şubat	-2,60	0,72	20,00	146,00	70924,90	19,15	0,80
Mart	1,5	0,72	20,00	146,00	58058,00	15,68	0,65

Çizelge 3.2. Bir yıl için gerekli olan ısı miktarı (devamı).

Aylar	Ort. Sıcaklık Değeri (C)	Havanın Özgül ısısı (kJ/kg.K)	İstenilen Ortam Sıcaklığı (C)	Odanın içerisindeki Havanın Kütle(kg)	Aylık Ort. Gerekli Isıtma için Enerji Mik .(kJ)	Aylık Ort. Gerekli Isıtma için Enerji Mik. (kWh)	Aylık Ort. Gerekli Isıtma için Güç Mik. (kW)
Nisan	7,7	0,72	20,00	146,00	38600,72	10,42	0,43
Ekim	11,2	0,72	20,00	146,00	27616,78	7,46	0,31
Kasım	4,9	0,72	20,00	146,00	47387,88	12,79	0,53
Aralık	-0,5	0,72	20,00	146,00	64334,54	17,37	0,72
Yıllık Toplam						102,00	4,30

Sistem için gerekli toplam ısı miktarı:

$$Q_t = Q_i + Q_{kk} = 17,41 + 4,3 = 21,7k W$$

3.7.2. Boruların Yerleştirilme Düzeni ve Borunun Özellikleri

İlk aşama olarak boruların döşeme şeklini yatay olarak kabul edilmiştir. Yatay toprak kaynaklı ısı pompaları kurulum aşaması ve maliyet açısından dikeye göre daha ucuz ve kolaydır. Toprak altında korozyona dayanıklı ve ısı iletim katsayısı yüksek olan esnek Polietilen borular kullanılmaktadır. Çizelge 5.3’de farklı boru çaplarına göre boru dirençleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Boru iç dirençleri (Miles, 1994)

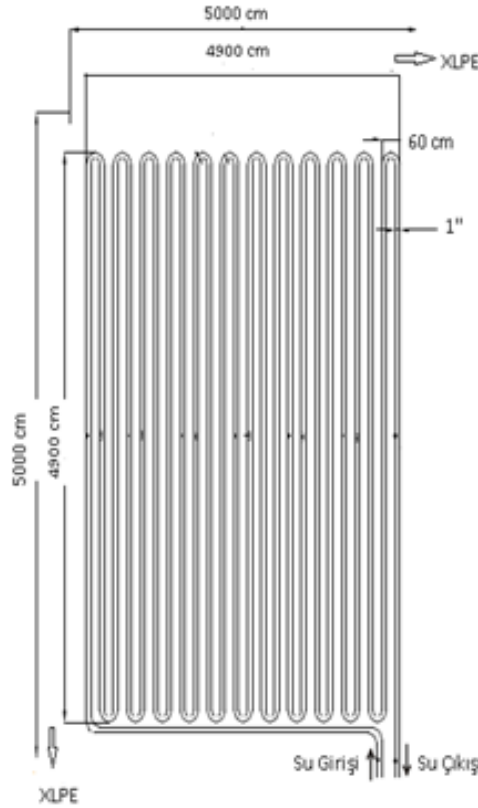
Boru çapı	PESCH- 40
¾”	0.17 / 0.116
1”	0.159 / 0.109
1 ¼”	1.130 / 0.089
1 ½”	0.117 / 0.080
2”	0.098 / 0.068

Literatürlere en yaygın yatay ısı değiştiricilerinin ¾, 1”, 1 ½” çapta tek borulu 0,5-2,5 m toprak derinliğine ve aralarındaki mesafenin 0,6-2,5 m aralıklarda döşenmiş yatay ısı

değiştiricileri olduğunu belirtilmiştir (Ünlü, 2005). Bu tip ısı değiştiriciler, genelde temel kabul edilir ve diğer ısı değiştiricilerinin iyilik dereceleri bunlara göre mukayese edilir. Yatay toprak ısı değiştiricilerinin üst sınırları 700 m boru boyu , 2" boru çapı ve 1 lt/s akışkan debisi kabul edilir.

Çizelge 3.3 incelediğinde yatay toprak kaynaklı ısı değiştiricisinde kullanılacak olan borunun uzunluğu 230 metrenin altında olacağından, borunun çapının 1" bulunma kolaylığı ve korozyona dayanaklığı nedeniyle polietilen 40 boru seçilerek; borunun iç direnci çizelge 3.3. $R_b = 0.159$ olur.

Sistemde 2 farklı kapalı çevrim mevcuttur. Yüzeye yakın olan sistem toprak kaynaklı ısı pompasının çevrim sistemidir. İkinci sistem ise gün ısından gelen sıcak su ile toprağın ısıtılması sistemin kapalı çevrimidir. Bu sistemde sıcaklığa dayanıklı korozyona karsı PPRC (Polipropilen Rastgele Kopolimer) düz boru kullanılacaktır



Şekil 3.6. Toprak altı boruların yerleşim düzeni.

3.7.3. Toprak Özellikleri

Toprak kaynaklı ısı pompalarında ısı geçişini sağlayan en önemli etmenlerden birisi toprağın özellikleridir. Toprağın özelliklerine göre ısı direnç değişmektedir ve buda verimliliği etkilemektedir. Örneğin toprağın nemlilik miktarı artıkça toprakta toplanan ısı enerjisi miktarı artmaktadır. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Zeve Kampüsündeki toprağın özellikleri killi topraktır. Boruların yerleşimi yaklaşık 2 metre derine yapılması planlanmaktadır. Bu bölgede toprağın hafif nemli olduğu kabul edilmektedir. Çizelge 3.4. derinliğe ve yerleştirmeye bağlı olarak toprak direnç değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.4. Toprak İç Dirençleri (Miles, 1994).

R_T(Ağır Toprak Nemli)/R_T (Ağır Toprak Kuru veya Hafif Toprak Nemli)	3	4	5	6
¾"	1.02/1.38	1.06/1.44	1.09/1.47	1.11/1.49
1"	0.97/1.32	1.02/1.37	1.04/1.40	1.06/1.42
1 ¼"	0.92/1.25	0.97/1.31	0.99/1.34	1.01/1.36
1 ½ "	0.89/1.15	0.94/1.27	0.97/1.30	0.98/1.32

Şekil 3.7.'e göre $R_T = 1,42$ 'dir.

3.7.4. Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Seçimi

Isı pompalarının hava, toprak ve su kaynaklı olmak üzere farklı kaynakları bulunmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompalarında boruların içinde su ile ısı akışı sağlanacaktır. Bu çeşit ısı pompalarında su ısınını bırakarak daha soğuk olarak çıkmaktadır. İki farklı çıkışları bulunmaktadır. Bu çalışmada sıvı kaynaklı ısı pompası ve çıkışında hava olan 7kW gücünde Climamaster model ısı pompası seçilmiştir. Pompanın özellikleri Çizelge 3.5.'de verilmiştir,

Çizelge 3.5. Isı Pompası Özellikleri (Anonim ,2017).

Model	Soğutma/ Su Giriş Sıcaklığı 30°C			Isıtma/ Su Girişi Sıcaklığı 20°C					
	Toplam Soğutma	EER	Çektiği Güç	Toplam Isıtma	COP	Çektiği Güç	Hava Debisi	Su Debisi	Ağırlık
	kW	w/w	kW	kW	w/w	kW	m ³ /h	l/s	Kg
TSH/V/D/024	6,20	4,90	1,27	7,00	4,90	1,43	1.200	0,38	125

3.7.5. Toprakten Isı Enerjisinin Rezerve Edilmesi

Van Bölgesi yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu potansiyeli ısı enerjisi olarak depolamak için iyi ısı iletim katsayısına sahip toprağın kullanılması planlanmaktadır. Bunun için toprağın belli bir alanının ısı yalıtım malzemesi olan XLPE ile kaplandığı kabul edilmiştir. Böylece ısıtılan bölgenin etrafla teması engellenerek ısı rezervini korumak amaçlanmaktadır. Toprağı ısıtmak için gün ısı sistemlerinden yararlanılacaktır. Toprağın malzemesi kullanılacaktır. Gün ısı sisteminin yatay toprak kaynaklı borulama sistemine benzer olarak toprağın 3m altına döşenmesi planlanmaktadır. Sistemde kullanılacak olan gün ısı yaz ve kış şartlarına uygun olan sistemlerde kullanılarak suyun ısı istenilen sıcaklığa geldiğinde toprak ısıtma işlemini yapacaktır.

Bu sistem sayesinde toprak sıcaklığının $T_{mintoprak} = 10^{\circ}\text{C}$ olacağı tahmin edilmektedir.

3.7.6. Sıcaklık Bilgileri

Hesaplamaları yaparken dış ortam ve toprak sıcaklığı bilgileri gerekmektedir. Van bölgesi için meteorolojiden alınan veriler doğrultusunda ortalama hava sıcaklığı $T_{orthava} = 9,4^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Hesaplamalarda toprak sıcaklık değerleri gereklidir. Orman işlerinden alınan veriler doğrultusunda 100 cm derinliğindeki toprak sıcaklıkları değerleri kabul edilmiştir.

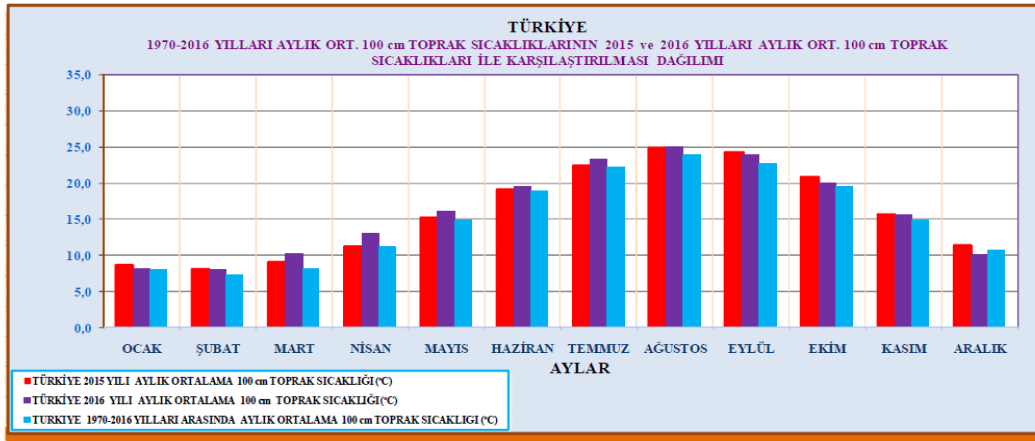
1970-2016 Yılları Arasında En Sıcak yıl : 2010 16,6°C

1970-2016 Yılları Arasında En Soğuk yıl : 1992 14,2°C

1970-2016 Yılları Türkiye 100 cm derinlikte Toprak Sıcaklığı Ortalaması: 15,2°C

Çizelge 3.6 Toprak Sıcaklık Değerleri (Anonim, 2016b).

Minimum Sıcaklık 1970-2016			
Aylar	İstasyon	Min. Sıcaklık Gün °C	Ort. Toprak Sıcaklığı °C
Ocak	Yüksekova	-4,5	8,1
Şubat	Yüksekova	-5,6	7,2
Mart	Yüksekova	-4,3	8,3
Nisan	Ardahan	-1,2	11,2
Mayıs	Gümüşhane	0,1	14,9
Haziran	Kars	5,0	18,8
Temmuz	Kars	8,6	22,2
Ağustos	Bolvadin	10,7	23,8
Eylül	Zara	0,2	22,8
Ekim	Sarıkamış	7,8	19,5
Kasım	Kangal	-0,2	14,9
Aralık	Başkale	-3,5	10,8



Şekil 3.7. Aylara göre toprak sıcaklık değerleri (Anonim, 2016b).

$$T_{\text{ort toprak}} = 10^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{min toprak}} = 7,2^{\circ}\text{C} \text{ Çizelge 5.6'ya göre}$$

$$T_{\text{max toprak}} = 25^{\circ}\text{C} \text{ Şekil 5.4'e göre}$$

$$T'_{\text{min toprak}} = 10^{\circ}\text{C} \text{ Güneş destekli sistem için yapılan kabul.}$$

3.7.7. Boru Uzunluğunun Hesaplanması:

TKIP'larda genellikle korozyona dayanıklı polietilen boru seçilmektedir. Boru uzunluğunu hesaplamak için gerekli olan sabitler diğer adımlarda bulunmuştur.

$$L = \frac{572[(COP_1 - 1)/COP_1] \times (R_b + R_t \times F_1)}{T_{\text{min toprak}} - T_{\text{min giriş}}} \quad (3.13)$$

Eşitlikten metre başına güç bulunmaktadır.

$$COP_1 = 4,9$$

$$R_b = 0,159$$

$$R_t = 1,42$$

$$T_{\text{min toprak}} = 7,2^{\circ}\text{C}$$

$$T'_{\text{min toprak}} = 15^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{min giriş}} = 0^{\circ}\text{C}$$

$$F_1 = \frac{\text{Ortalama Isı Kaybı}}{\text{Cihazın Isıtma Kapasitesi}} \quad (3.14)$$

Isıtma mevsimi için saat değeri, soğuk aylarda kaç saat ısıtma yapıldığının değeridir. Bu değer 7,14 ve 21 saatleri olarak değişmektedir. Van gibi soğuk iklim koşullarına sahip bölgelerde 21 olarak kabul edilmektedir.

$$\text{Ortalama Isı Kaybı} = \frac{\text{Toplam Isı Kaybı}}{\text{Isıtma Mevsimi için saat}} = \frac{17,41}{21} \cong 0,83 \text{ kW} \quad (3.15)$$

Cihazın Isıtma Kapasitesi = 21,4 kW

$$F_1 = \frac{\text{Ortlama Isı Kaybı}}{\text{Cihazın Isıtma Kapasitesi}} = \frac{0,83kW}{21,4kW} \cong 0,039$$

Boru uzunluğu hesaplamaları güneş destekli sistem ve güneş desteksiz sistem için yapılmıştır.

$$L = \frac{572[(COP_1 - 1)/COP_1]x(R_b + R_txF_1)}{T_{\min \text{ toprak}} - T_{\min \text{ giriş}}} = \frac{572 \left[\frac{4,9-1}{4,9} \right] x(0,159 + 1,42x0,039)}{7,2^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}}$$

$$\cong 13,5 \text{ m/kW}$$

$$L_{top} = Q_{top}xL = 21,4 \text{ kW}x13,5 \frac{\text{m}}{\text{kW}} \cong \mathbf{290m} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{Güneş desteksiz sistem}$$

$$L' = \frac{572[(COP_1 - 1)/COP_1]x(R_b + R_txF_1)}{T_{\min \text{ toprak}'} - T_{\min \text{ giriş}}} = \frac{572 \left[\frac{4,9-1}{4,9} \right] x(0,159 + 1,42x0,039)}{15^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}}$$

$$\cong 6,47 \text{ m/kW}$$

$$L'_{top} = Q_{top}xL = 21,4 \text{ kW}x6,47 \frac{\text{m}}{\text{kW}} \cong \mathbf{140m} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{Güneş destekli sistem}$$

Boru uzunluğu hesaplaması iki farklı sistem içinde yapılmıştır. Çalışmanın hesaplamaları güneş destekli sistem için yapıldı. Bu yüzden TKIP kısmı için kullanılacak boru uzunluğu 140 m ve BTES kısmı içinde aynı uzunluktaki boru uzunlukları için hesaplamalar yapıldı.

3.7.8. Debi ve Sirkülasyon Pompa Gücü Hesabı:

BTES ve TKIP'in her biri için ayrı toprak altı boruları için hesaplamalar yapıldı. BTES kısmındaki dolaşım kapalı çevrimdir. Bu yüzden suyun borular içinde dolaşımı ve tanka geri dönmesi için sirkülasyon pompasına ihtiyaç vardır.

İlk olarak borular içerisindeki debi ortalama debi hesabı yapıldı. Boruların içerisindeki ısı değişiminin maksimum olması için boru iç akışının laminar olması istenmektedir. Laminar akış için $Re \leq 2300$ olması gerekmektedir. Boru çapı $D=1''$ olarak belirlenmiştir. Kinematik viskozitesi borular içerisindeki suyun ortalama sıcaklığı $T_{ortw} = 20^\circ\text{C}$ olarak kabul edilirse,

$$v_{ortw} = 0,9x10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (3.16)$$

Re=2000 kabul edilirse:

V_{ortw} : Boru içerisindeki suyun ortalama hızı

$$V_{ortw} = \frac{Re\nu}{D} = \frac{2000 \times 0,9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}{0,0254 \text{ m}} = 0,294 \text{ m/s}$$

$$Q_{ortw} = A_{boru} \times V_{ortw} \quad (3.17)$$

$$A_{boru} = \pi \frac{D^2}{4} \cong 5,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (3.18)$$

$$Q_{ortw} = AxV = 5,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 0,294 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cong 15 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \mathbf{0,536 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Hesaplanan debi değerine BTES kısmı için sirkülasyon pompası hesaplamaları yapıldı.

$$P = \frac{QxHx\rho}{\eta_h} \quad (3.19)$$

Pompa güç hesaplarında diğer bir faktör emniyet payıdır. Değerleri;

$P \leq 1,5 \text{ kW}$ 'lık mil güçleri için %15 (çarpım faktörü 1.15)

$P \leq 15 \text{ kW}$ 'lık mil güçlerine kadar %10 (çarpım faktörü 1.10)

$P > 15 \text{ kW}$ 'lık mil güçlerin için %5 (çarpım faktörü 1.05)

$$Q_{toprak} = 0,536 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 15 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{sn}}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

$$\rho_w = 997 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta_h = \%70$$

$$P_s = \frac{Q_{ortw} \times H \times \rho_w}{\eta_h} = \frac{15 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3 \text{ m} \times 997 \text{ kg/m}^3}{0,7} = 0,64 \text{ kW}$$

Emniyet Faktörü 1,15 alınırsa $P_s = 0,64 \times 1,15 \text{ kW} = 0,75 \text{ kW}$

Boru içerisindeki meydana gelen basınç kayıpları;

$$\Delta p = \frac{v^2 x f x L x \rho}{2D} \quad (3.20)$$

$$\Delta p_{güneş} = \frac{v^2 x f x L x \rho}{2D} = \frac{0,0746^2 x 3,2 x 10^{-2} x 160 x 997}{2 x 0,0254} \cong 5,6 \text{ Pa}$$

Q : debi (m^3/sn)

v : akışkan hızı (m/s)

D : boru veya bağlantı elemanının iç çapı (mm)

Re : Reynold sayısı (Laminer bir akış için $Re < 2300$ olması gerekir.)

f : sürtünme katsayısı

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{2000} = 0,032$$

$$\Delta p_{toprak} = \frac{v^2 x f x L x \rho}{2D} = \frac{0,294^2 x 3,2 x 10^{-2} x 140 x 997}{2 x 0,0254} \cong 4,3 \text{ Pa}$$

Çizelge 3.7. Sistem için gerekli veriler.

Açıklama	Birim	Değer	Hesaplama
Boru malzemesi	-	PESCH40	Seçilir
Boru çapı	İnç	1	Seçilir
Boru direnci, R_b	$m^\circ C/W$	0,159	Çizelge 2.3.
Toprak cinsi	-	Killi-Nemli	Kabul
Toprak direnci, R_t	$m^\circ C/W$	1,42	Çizelge 2.3.
Ortalama yıllık hava sıcaklığı, $T_{orthava}$	$^\circ C$	9,4	Meteoroloji
Ortalama yıllık toprak sıcaklığı, $T_{orthava}$	$^\circ C$	15,2	Meteoroloji
Yüksek toprak sıcaklığı, $T_{maxtoprak}$	$^\circ C$	25	Çizelge 3.6.
Düşük toprak sıcaklığı, $T_{mintoprak}$	$^\circ C$	7,2	Çizelge 3.6.
Düşük toprak sıcaklığı, $T'_{mintoprak}$	$^\circ C$	15	Tahmin
Üniteye giren en düşük su sıcaklığı, T_{max}	$^\circ C$	7	Kabul
Üniteye giren en yüksek su sıcaklığı, T_{min}	$^\circ C$	70	Kabul

Çizelge 3.7. Sistem için gerekli verileri (devam).

Açıklama	Birim	Değer	Hesaplama
Isıtma çalışma faktörü, F_1	-	0,134	Eş. 3.15
Ünitenin ısıtma performansı, COP_1	-	3,2	Çizelge 3.5.
Ünitenin ısıtma kapasitesi	Kw	21,4	Hesap
Boru uzunluğu	m	140	Eş. 3.18.
Boru kullanım şekli	-	Yatay	Seçilir
Gün Isısı Sistemi	-	30 Vakumlu	Seçilir
Yalıtım Malzemesi	XLPE	60 m ²	Seçilir
Boru içerisindeki akışkanın debisi	m ³ /h	0,536	Hesaplama
Sirkülasyon Pompa Gücü	kW	0,8 kW	Hesaplama
Kontrol Mekanizması	-	Isı Sensörü Basınç Sensoru	Seçilir

3.7.9. Güneşten gelen enerjinin ve gün sayılarının hesaplanması

BTES kısmı için toprağa verilen ısının hesaplanması gerekmektedir. Meteorolojiden alınan verilerde günün belli saatleri için Van bölgesindeki güneşten gelen radyasyon ölçülmüştür. Fakat verilenin değişken olmasından dolayı aylar için günlük güneşten gelen ortalama radyasyon değerleri hesaplanmıştır. Tabloda ayrıca aylara göre güneşlenme süresi ve günlük güneşlenme sürelerinin ortalama değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.8. Güneşten gelen aylara göre radyasyon değerleri (MGM, 2016).

Aylar	Güneşten gelen ortalama radyasyon miktarı (W/hm ²)	Aylık güneşli gün sayısı (gün)	Günlük ortalama güneşlenme süresi (saat)
Ocak	11.9	19.1	4.6
Şubat	17.7	21.1	5.4
Mart	19.9	17.8	6.0
Nisan	26.4	17.7	7.3
Mayıs	27.4	19.9	9.3

Çizelge 3.8. Güneşten gelen aylara göre radyasyon değerleri (MGM, 2016) (devam).

Aylar	Güneşten gelen ortalama radyasyon miktarı (W/hm ²)	Aylık güneşli gün sayısı (gün)	Günlük ortalama güneşlenme süresi (saat)
Haziran	30.6	24.8	11.7
Temmuz	31.9	28	12.1
Ağustos	27.6	28.7	11.4
Eylül	25.6	27.6	9.8
Ekim	18.9	21.6	7.1
Kasım	15.6	21	5.5
Aralık	11.7	20.2	4.2

Güneşten gelen radyasyon gün ısısı yöntemi ile depolanmıştır. Suda depolanan enerji toprak altı boruları yardımıyla toprakta termal enerji depolanması için kullanılmıştır. Günlük sisteme verilecek olan toplam ısı miktarı aylara göre aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır (Anonim, 2016c).

$$Q_k = R * F * s * \eta_k \quad (3.21)$$

Hesaplamalarda aşağıdaki fiziksel özelliklere sahip gün ısısı sistemi kullanıldığı kabul edilip ve hesaplamalar bu değerlere göre yapılmıştır. Aylara göre kolektörde toplanan ortalama günlük ısı enerji miktarı Çizelge 3.9. da gösterilmiştir.

R : Çizelge 3.8 aylara göre ortalama güneşten gelen radyasyon miktarı (W/m²)

F : 30 ° eğimli güneş kolektörü için eğim faktörü 1,03

s : 1,76 m²

η_k : 0,7

Çizelge 3.9. daki veriler termal enerji depolama hesaplamalarında kullanılacaktır. Su depolama hacmi 300 lt olarak seçilmiştir.

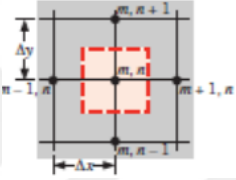
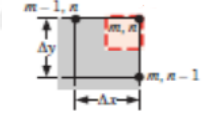
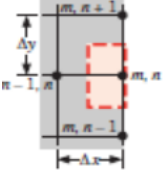
Çizelge 3.9. Kolektörde aylara göre günlük ortalama hesaplanan ısı enerji miktarı.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Q_k (kW/g)	15.0	26.3	29.7	39.3	40.71	45.5
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Ekim	Kasım
Q_k (kW/g)	47.5	41.1	38.2	28.1	23.3	17.4

3.7.10. MATLAB programında ısı dağılımının hesaplanması

Bu çalışmada güneş destekli toprak kaynaklı ısı pompası için topraktaki belli bir alan için 2 farklı ısı dağılımı yapılmıştır. Hesaplamalarda matematiksel model için sonlu elementler yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda köşe, iç ve kenar nodlar için farklı eşitlikler kullanılmaktadır. Bu eşitlikler Çizelge 3.10'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Nodların konuma göre SEM eşitlikleri (Incropera, 1996).

Konum	Model	SEM eşitlik
İç nodu		$T_{m,n}^{p+1} = Fo(T_{m+1,n}^p + T_{m-1,n}^p + T_{m,n+1}^p + T_{m,n-1}^p) + (1-4Fo)T_{m,n}^p \quad (3.23)$
Köşe nodu		$T_{m,n}^{p+1} = Fo(T_{m+1,n}^p + 2T_{m-1,n}^p + T_{m,n-1}^p) + (1-4Fo)T_{m,n}^p \quad (3.24)$
Kenar nodu		$T_{m,n}^{p+1} = 2Fo(T_{m+1,n}^p + T_{m-1,n}^p) + (1-4Fo)T_{m,n}^p \quad (3.25)$

Nodları belirlenirken $\Delta x = \Delta y$ olarak seçildiğinde SEM metodunda zamana bağlı iki boyutlu ısı eşitliğinde sabitler bir değerde toplanmıştır. Bu değere Fourier sayısı denmektedir. Eş. 3.26. fourier sayısının eşitliği gösterilmiştir.

$$Fo = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x^2)} \quad (3.25)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (3.26)$$

Seçilen pompa debisine göre bir tam tur 10 dk içerisinde gerçekleştiği için zaman aralığı adımları her döngü başına olacak şekilde $\Delta t = 10 dk$ tanımlanmıştır.

Hesaplamalarda ısı transferi iletim yoluyla olduğu kabul edilmiştir. MATLAB da hesaplamalar yapılırken Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Zeve Kampüsü için toprak özellikler killi nemli toprak olarak kabul edilmiştir. Literatür taramalarında kuru killi toprak ve doygun nemli toprak için yapılan deneysel sonuçlar bulunmuştur. Bu değerlerin ortalamaları alınarak toprak için sabitler aşağıda listelenmiştir.

$$k_t = \frac{1,7+0,5}{2} = 0,92 W/mK \quad \text{Toprak ısı iletkenliği}$$

$$C_p = \frac{3,4+1,6}{2} = 2,5 MJ/m^3K \quad \text{Toprak sabit hacimde ısı kapasitesi}$$

$$\alpha = \frac{0,5+0,31}{2} = 0,415 \cdot 10^{-6} m^2/s \quad \text{Toprak ısı geçirgenliği}$$

$$\Delta x = 6cm \quad \text{Nodlar arası mesafe}$$

Çizelge 3.11. Toprak termodinamik özellikleri (Marquez, 2016).

Toprak Tipi	Isıl iletkenlik (W/mK)			Sabit hacimde ısı kapasitesi (MJ/m^3K)	Toprak ısı geçirgenliği ($\frac{m^2}{s}$)		
	Min.	Ort.	Maks.		Ort.	Min.	Ort.
Kuru killi	0,4	0,5	1	1,6	0,25	0,31	0,68
Doygun nemli killi	0,9	1,7	2,3	3,4	0,26	0,5	0,62

Zaman aralığının hesaplamasında akışkanın toprak altı borularda tam bir döngüyü yapması için gerekli süre alınmıştır. Δt hesaplanması;

$$V_b = \pi x r_b^2 x L'_{top} \quad (3.27)$$

$$r_b = 1,27 cm$$

$$L'_{top} = 140 m$$

$$V_b = \pi x r_b^2 x L'_{top} = \pi x (1,27 x 10^{-2} m)^2 x 140 m \cong 0,071 m^3$$

$$\Delta t = \frac{V_b}{Q_p} = \frac{0.07m^3}{0.4 m^3/h} \cong 10 dk \quad (3.28)$$

$$V_b = \pi r_b^2 L_b = \pi x (1.25x10^{-2}m)^2 x 140m \cong 0.07m^3$$

$$\Delta t = 10 dk \quad \text{Zaman aralığı}$$

Toprak için fourier sayısı aşağıda hesaplamıştır.

$$Fo = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x^2)} = \frac{0,415 \cdot 10^{-6} m^2/s * 600s}{(6 * 10^{-2} m)^2} \cong 0,069$$

Tasarımda toprakta belirlenen alanın duvarlarında 20 cm kalınlıkta polietilen köpük kullanılarak yalıtım yapılmıştır. Yalıtım malzemesinin özellikleri aşağıda listelenmiştir.

$$k_y = 0,04 W/mK \quad \text{Yalıtım malzemesi ısı iletkenliği}$$

$$L_y = 20 cm \quad \text{Yalıtım malzemesi kalınlığı}$$

Diğer gerekli bir bilgi borular içerisindeki suyun debisi bilinmesi gerekmektedir. 8. adımda akışın laminar ve reynold sayısı 2000 olarak kabul edilmiştir. Buradan yapılan hesaplamalarda suyun debisi $0,536 \frac{m^3}{h}$ olarak hesaplanmıştır. Pompa gücü hesaplanıp ve piyasa araştırması yapıldığında aşağıdaki özelliklere sahip pompa seçimi yapılmıştır.

$$P_p = 700 W \quad \text{Kabul edilen sirkülasyon pompa gücü}$$

$$Q_p = 0.5 m^3/h \quad \text{Kabul edilen borulardaki suyun debisi}$$

Hesaplamalarda kolaylık olması için ilk olarak iki boyutta merkez kısım için hesaplamalar yapılmıştır. Sonraki kısımda derinlik için hesaplamalar yapılarak farklı derinlikler için ısı dağılımı hesaplanmıştır. Burada foruier değeri yeniden program tarafından hesaplanmıştır.

$$\Delta z = 10 cm \quad \text{Topraktaki derinlik aralığı}$$

TKIP kısmında sisteme giriş yapan su sıcaklıkları Ankara için olan veriler kullanılmıştır.

Çizelge 3.12. Şebeke suyu giriş sıcaklıkları (Anonim, 2015b).

Aylara göre Ankara ilinin şebeke suyu sıcaklıkları	
Aylar	Su sıcaklığı (°C)
Ocak	8,20

Çizelge 3.12. Şebeke suyu giriş sıcaklıkları (Anonim, 2015b).(devam)

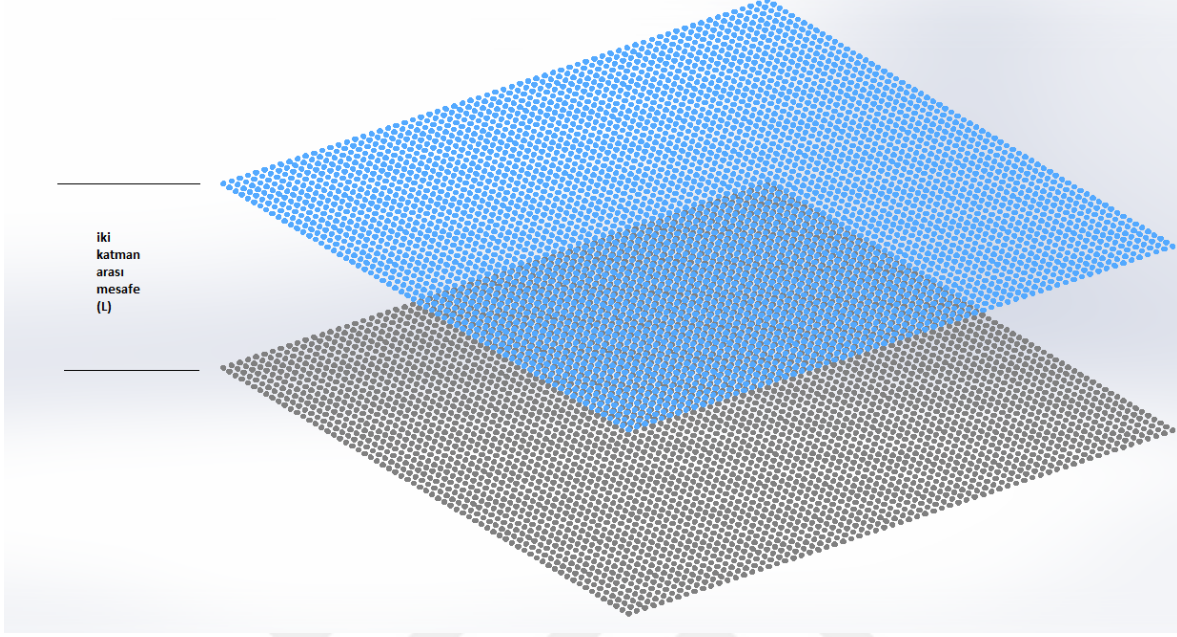
Aylara göre Ankara ilinin şebeke suyu sıcaklıkları	Aylara göre Ankara ilinin şebeke suyu sıcaklıkları
Su sıcaklığı (°C)	Su sıcaklığı (°C)
Şubat	6,60
Mart	7,80
Nisan	10,70
Mayıs	14,50
Haziran	18,00
Temmuz	20,90
Ağustos	22,80
Eylül	21,60
Ekim	18,10
Kasım	14,60

3.7.11. MATLAB Programında Hesaplamaların Yapılması

Bu çalışma iki ana bölümden oluşmaktadır. Toprak altına boruların yerleşimi iki farklı derinlikte olduğu kabul edilmiştir. Hesaplamaların ilk kısmı BTES uygulaması için ikinci kısım ise TKIP ve BTES uygulamaları için soğutma aylarında beraber kullanıldığı varsayılarak yapılmıştır.

3.7.11.1. BTES MATLAB Hesaplamaları

Hesaplamalara iki boyutta merkez yüzey seçilerek başlanmıştır. Merkez yüzeyinin yaklaşık 4m*4m yüzey alanına sahip olduğu kabul edilerek ve bu alanı çevreleyen 20 cm kalınlığında bir yalıtım yüzeyinin olduğu varsayılmıştır Buna dayanarak 6 cm aralıklarla 67*67 nodun uygun bir biçimde tüm yüzey alanının istenilen hassasiyette kapladığı bir çalışma alanı oluşturulmuştur. Sol alt köşenin hemen bir sağındaki noddan itibaren sıcak su girişinin yapıldığı varsayıp bu nodun sağında ve solunda toprak yüzey nodlarının bulunduğu kabul edilmiştir. Giriş suyu sıcaklığı gün ısı sistemi yardımıyla ısıtılan sıcak su değerleridir. Sıcak su girişi 70 °C olarak kabul edilmiştir. Sıcak su girişinin yapıldığı 1. noddan 66. noda kadar akışın devam ettiği düşünülerek 67. sınır nodunun yine sınır toprak nodu olduğu kabul edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 5.4 nodların yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Toprak katmanlarının 3 boyutta gösterimi.

. Güneşli süre zarfında kaç kez döngü oluşturabileceği göz önüne alınarak toprağın ısınması için toplam kaç kere döngü yapabileceği de ısıtma zaman adım sayısı olarak belirlenmiştir. Mevsimlere göre akşam saatleri temel alınarak soğutma kısmı içinde soğutma adım sayısı belirlenmiştir.

Gün ışığının olmadığı zamanlarda ise sistem soğuma durumuna geçmiştir. Bu soğumanın etkisi hesaplanırken, soğumanın tüm yüzeylerde, yalıtım malzemesi sıcaklığına b ağırlık olarak ve soğuma süresi adımları boyunca ısı kayıpları hesaplandı. Hesaplamalarda soğumanın sınırlara aynı anda etki ettiği dikkate alınmıştır.

Bütün bu hesaplamalarının sonucunda bütün yüzeylerde sıcaklık değerleri oluşturulmuştur. Sınırdaki nodların sıcaklıkları ve sınır nodlarının yüksekliği ve aralığı doğrultusunda hesaplanan yüzey alanları baz alınarak ve sınır nodu ile toprak sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan yalıtım sıcaklığı farkı ile, bütün yüzey nodlarının kaybettiği ısı miktarları ve bunların toplamı sistemimizin kaybettiği toplam ısı miktarı olarak ortaya çıkmıştır.

3.7.11.2. TKIP MATLAB Hesaplamaları

Bu kısımda başlangıç sıcaklıkları yukarıdaki zaman adımı sonucunda ortaya çıkan sıcaklık profili baz alınarak oluşturulmuştur. BTES'in merkez yüzeyinin toprağa yakın olan bir üst katmanı TKIP sisteminin borularının döşendiği yüzey olarak seçilmiştir. Bu seçimde merkez yüzey sıcaklığının daha yüksek olması ve buradan çekilecek olan ısı miktarının daha fazla olması nedeniyle ve de merkeze en yakın katman olması itibariyle bu yüzey en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Boruların yerleşimdeki geometri ise daha yüksek verim elde edebilmek için BTES paralel olarak ve akış yönüne zıt akış biçiminde tanımlanmıştır. Bu yüzden yine yüzeylerde 67x67 nod sayısı ve 6 cm nod aralıkları devam ettirilmiştir. Burada farklı olarak sisteme giren suyun ilk sıcaklığı mevsimlere bağlı olarak şebeke su sıcaklıkları ile örtüşecek biçimde belirlenmiştir. Yine sisteme giriş ve sistemden çıkış yapan çevrim suyu sıcaklıkları farkı ile ısı pompasının verimi göz önüne alınarak sistemden farklı sürelerdeki ısı miktarları hesaplanmıştır



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

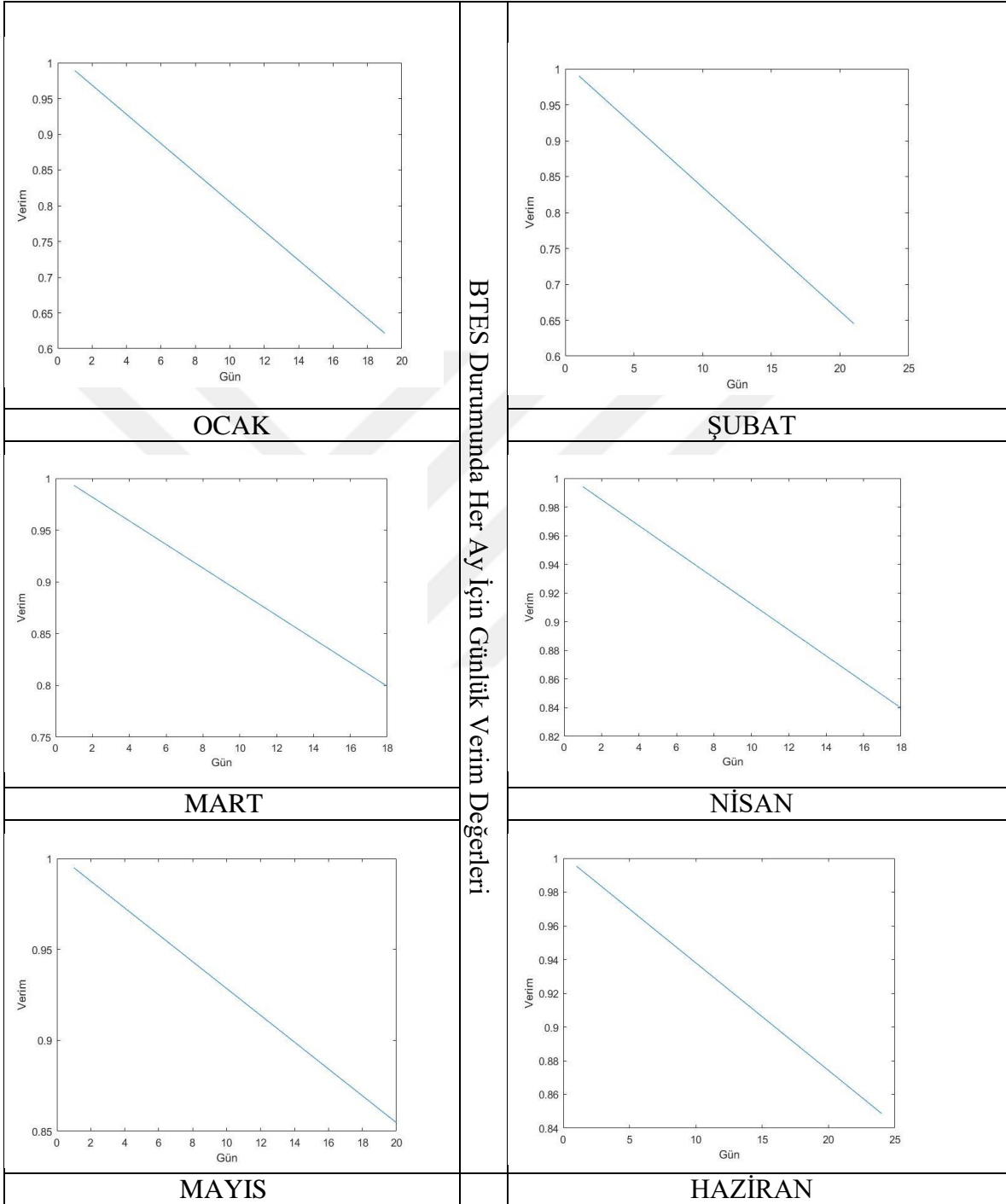
TKIPVE BTES sistemlerinin birlikte uygulandığı tasarım için MATLAB programı kullanılarak yapılan hesaplamaların sonuçları bu kısımda grafikler ve sıcaklık dağılımları olarak gösterilmiştir. Ayrıca grafik ve sıcaklık dağılımları ile ilgili bulgular kendi içerisinde incelemiş ve değerlendirilmiştir.

Bulgular iki kısımda incelenmiştir. İlk kısımda BTES uygulamasıyla her ay birbirinden bağımsız olarak hesaplanmıştır. Bu kısımdaki veriler incelendiğinde en yüksek verimin ve sıcaklık değerlerinin Temmuz ayında olduğu, en düşük verim ve sıcaklık değerlerinin de Aralık ayında olduğu tespit edilmiştir.

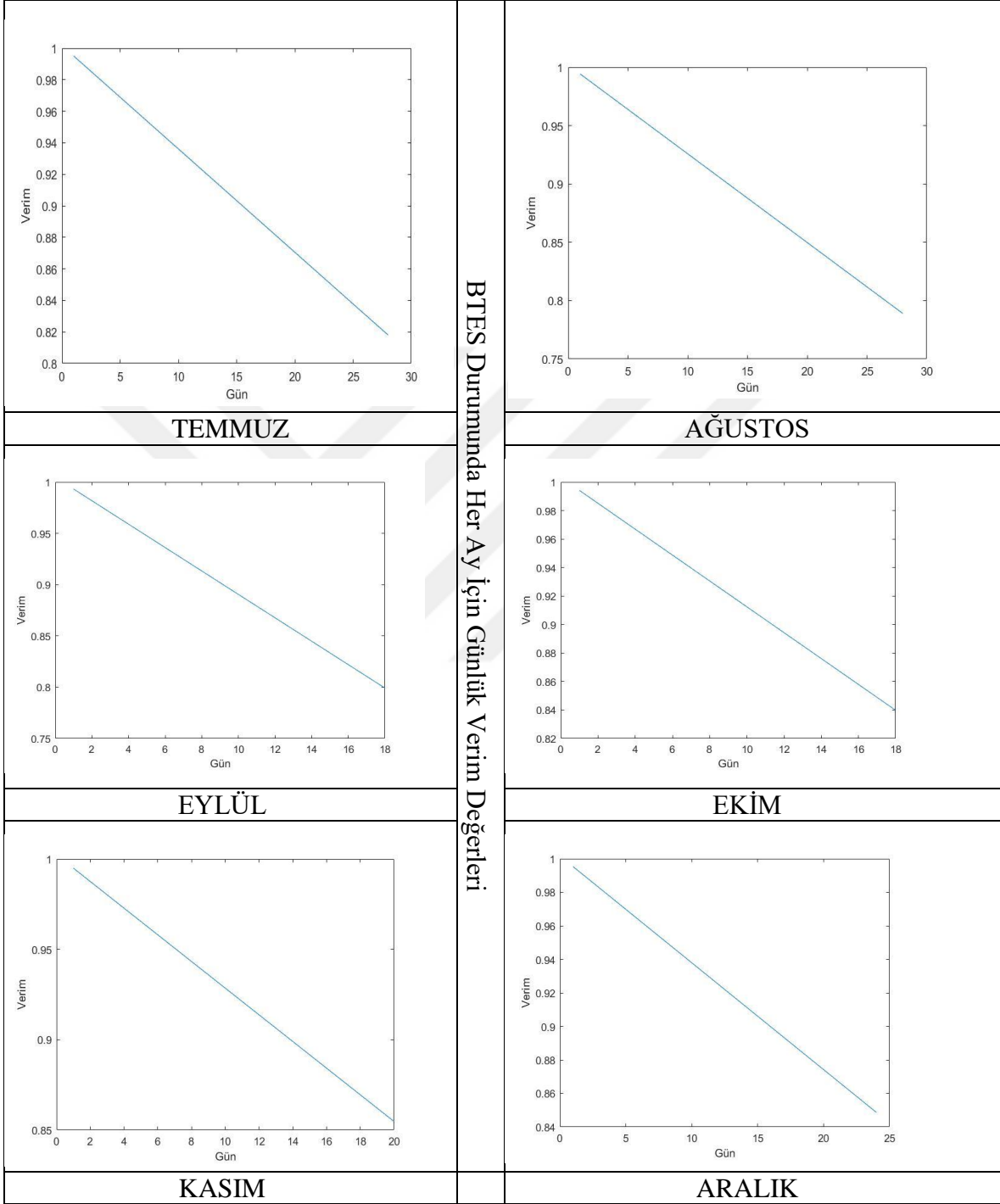
Diğer kısımda ise TKIP ve BTES sistemlerinin birlikte uygulandığı tasarımın hesaplamaları yapılmıştır. Bu bölümde Mayıs-Eylül ayları arasında sadece BTES için hesaplamalar yapılmıştır. Ekim-Nisan arasında ise ısı depolanan hacimden hem ısı gönderimi hem de ısı çekimi yapılmıştır. Fakat ayların başlangıç koşulları diğer ayın bitimindeki koşullar göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Bu sayede bir yıl için sistemin verileri elde edilmiştir. Bu kısımdaki veriler incelendiğinde sistemden en fazla ısı çekimi ve ısı kayıpları Aralık ve Ocak aylarında, sistemin en fazla sıcaklık değerleri ise Temmuz ve Ağustos aylarında tespit edilmiştir.

4.1. BTES sisteminin uygulanması

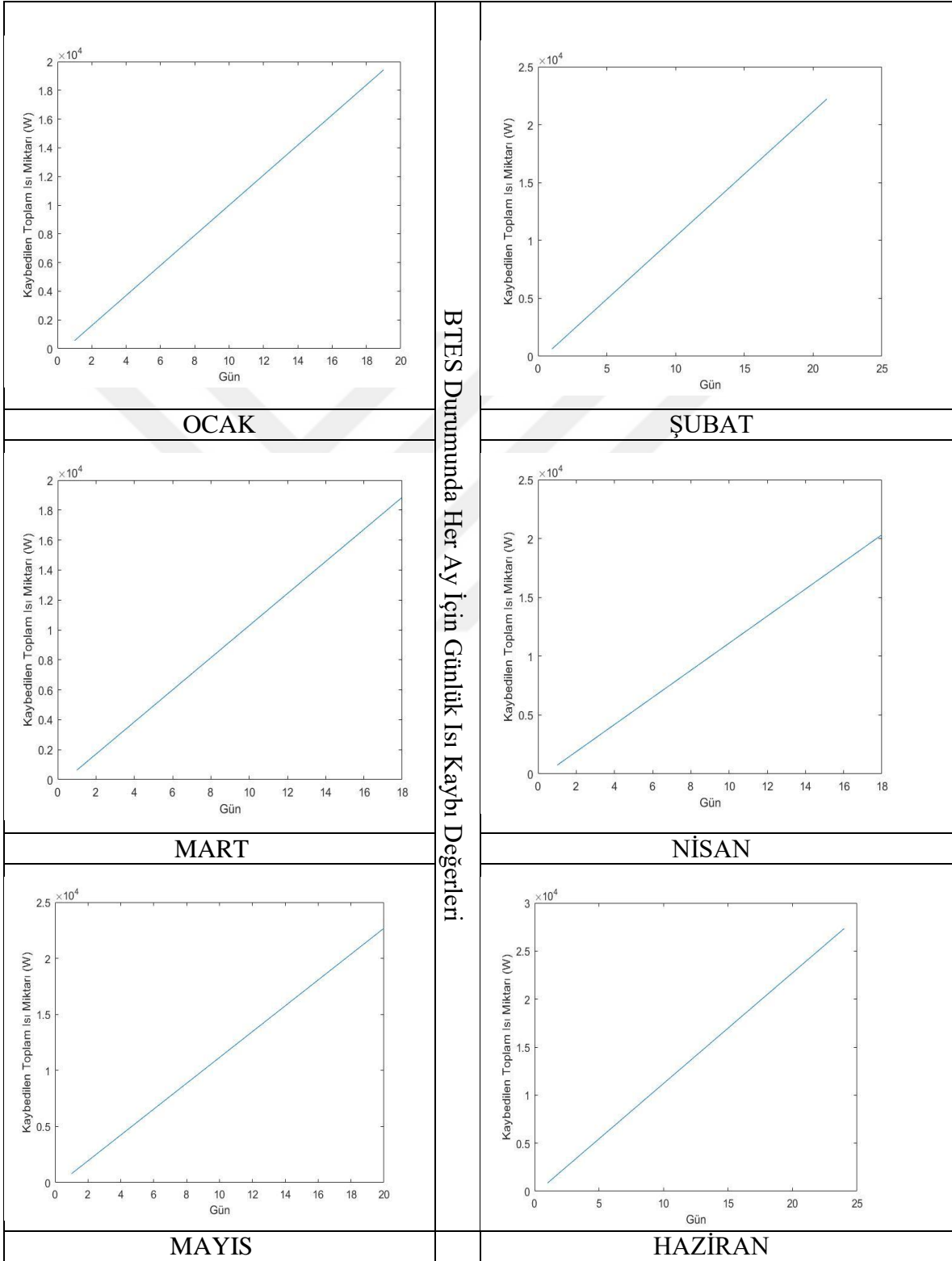
Bu bölümde toprağın her ay için ayrı ayrı başlangıç koşulları tanımlanarak hesaplanması ile elde edilen grafikler sunulmuştur.



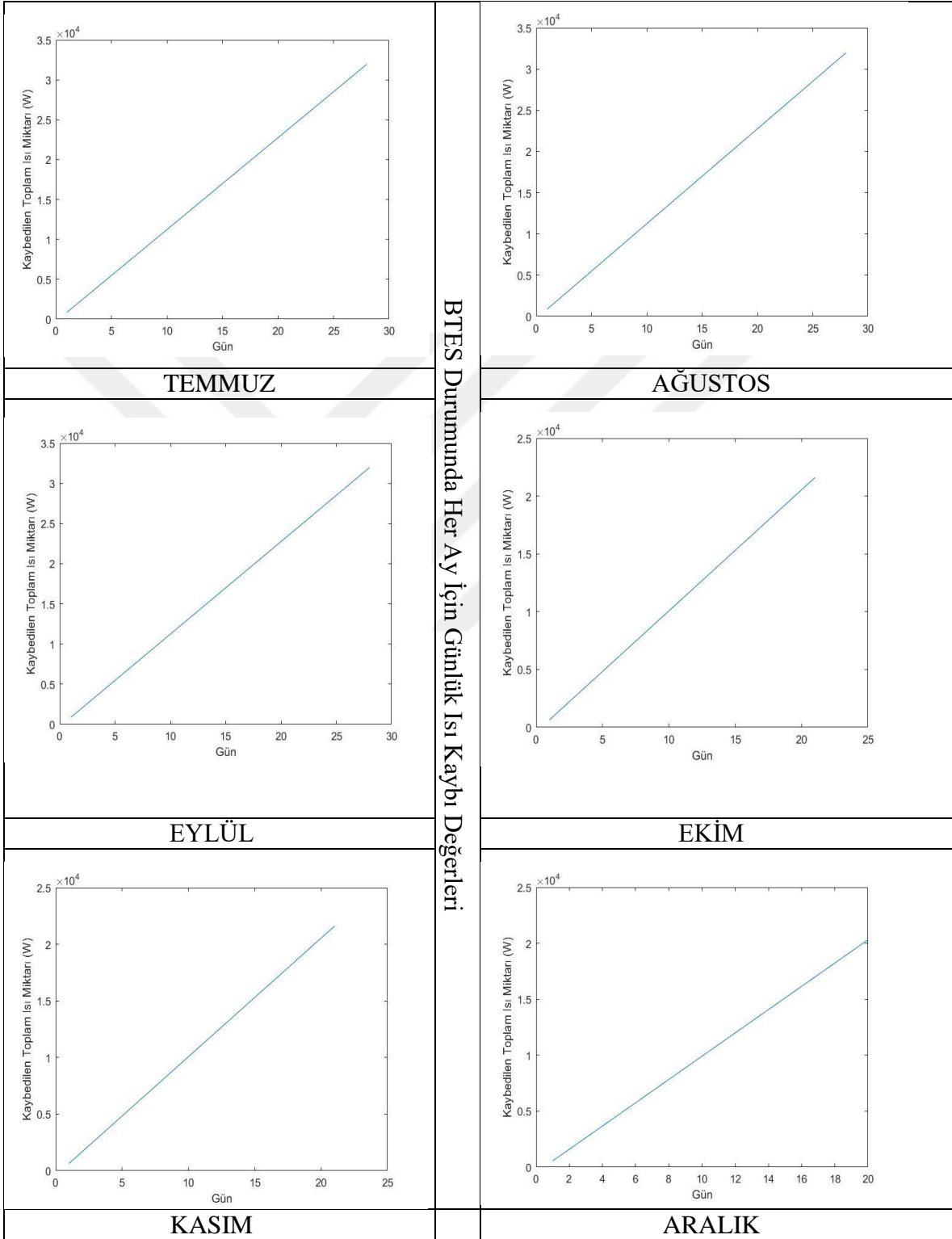
Şekil 4.1. BTES Durumunda her ay için günlük verim grafikleri.



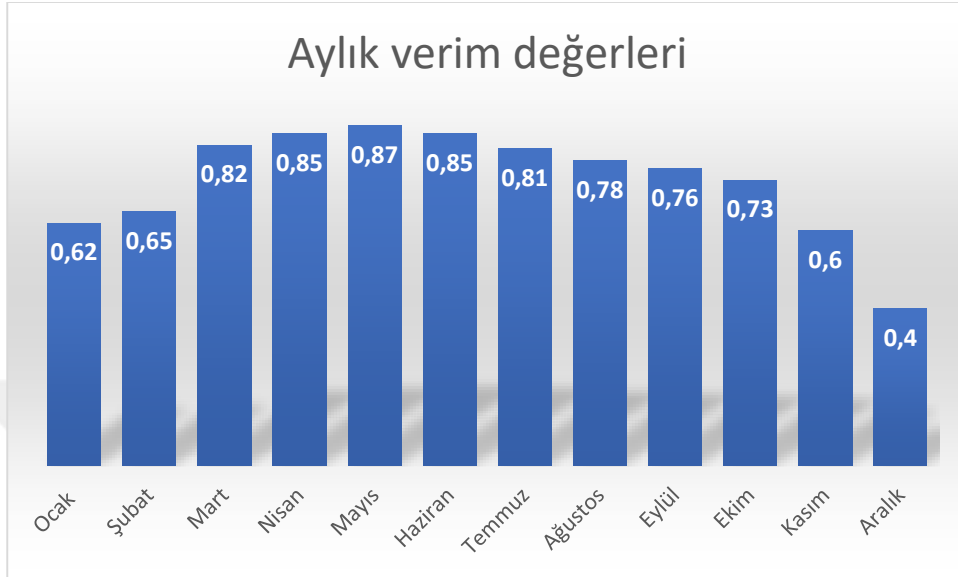
Şekil 4.1. BTES Durumunda her ay için günlük verim grafikleri (devam).



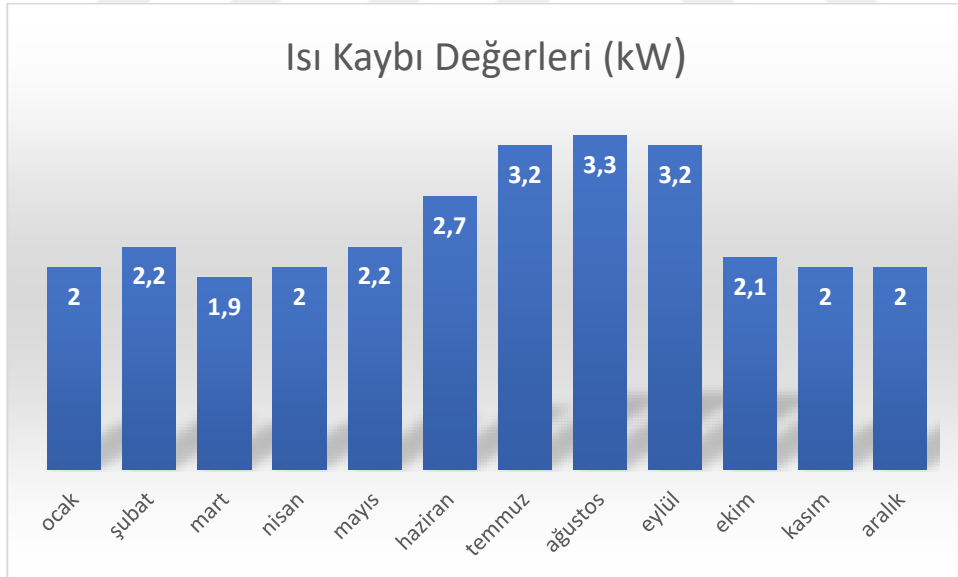
Şekil 4.2. BTES durumunda her ay için günlük için ısı kaybı değerleri.



Şekil 4.2. BTES durumunda her ay için günlük ısı kaybı değerleri (devam).



Şekil 4.3. BTES durumunda her ayın son günü için verim değerleri

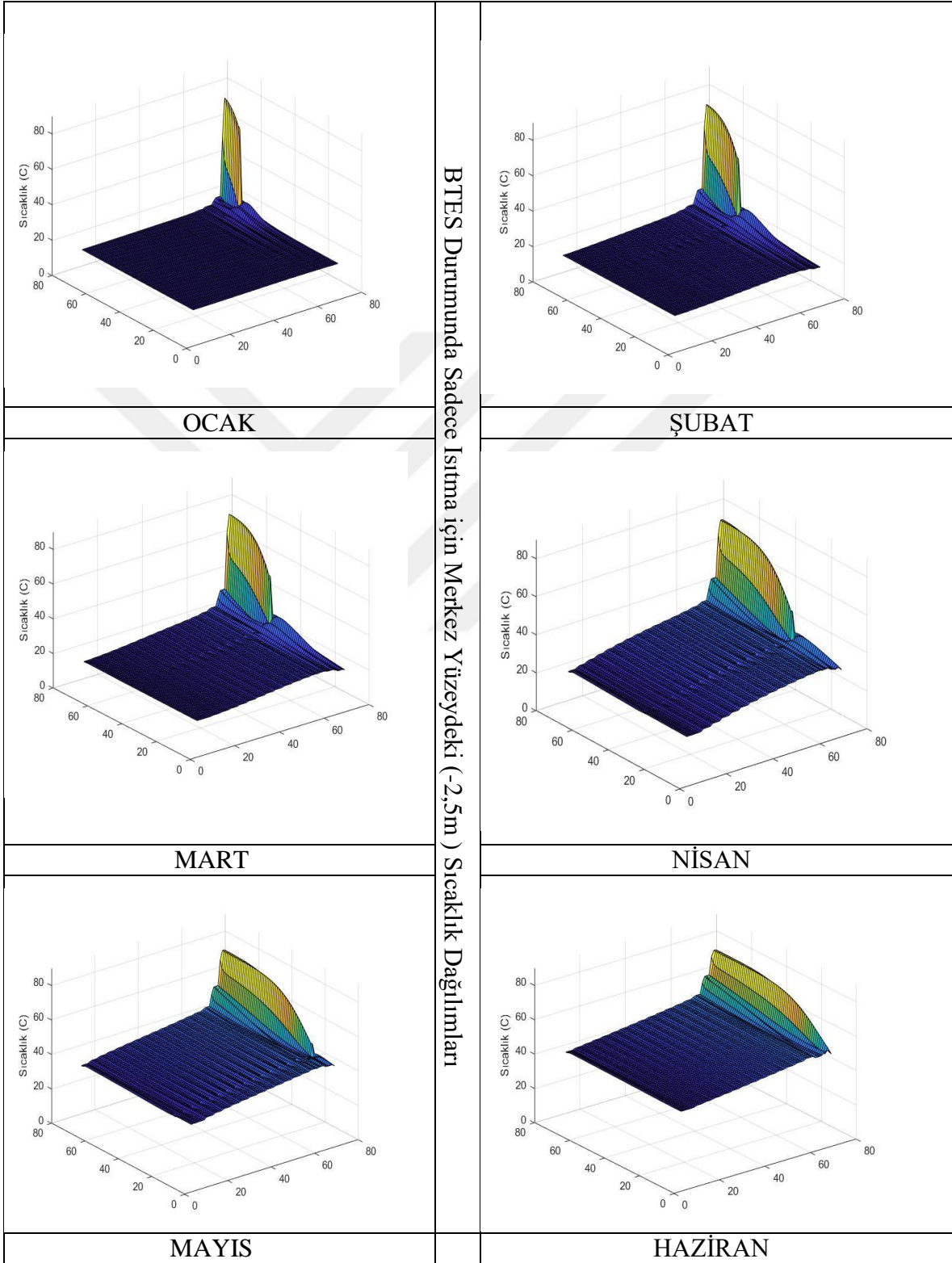


Şekil 4.4. BTES durumunda her ayın son günü için ısı kaybı değerleri

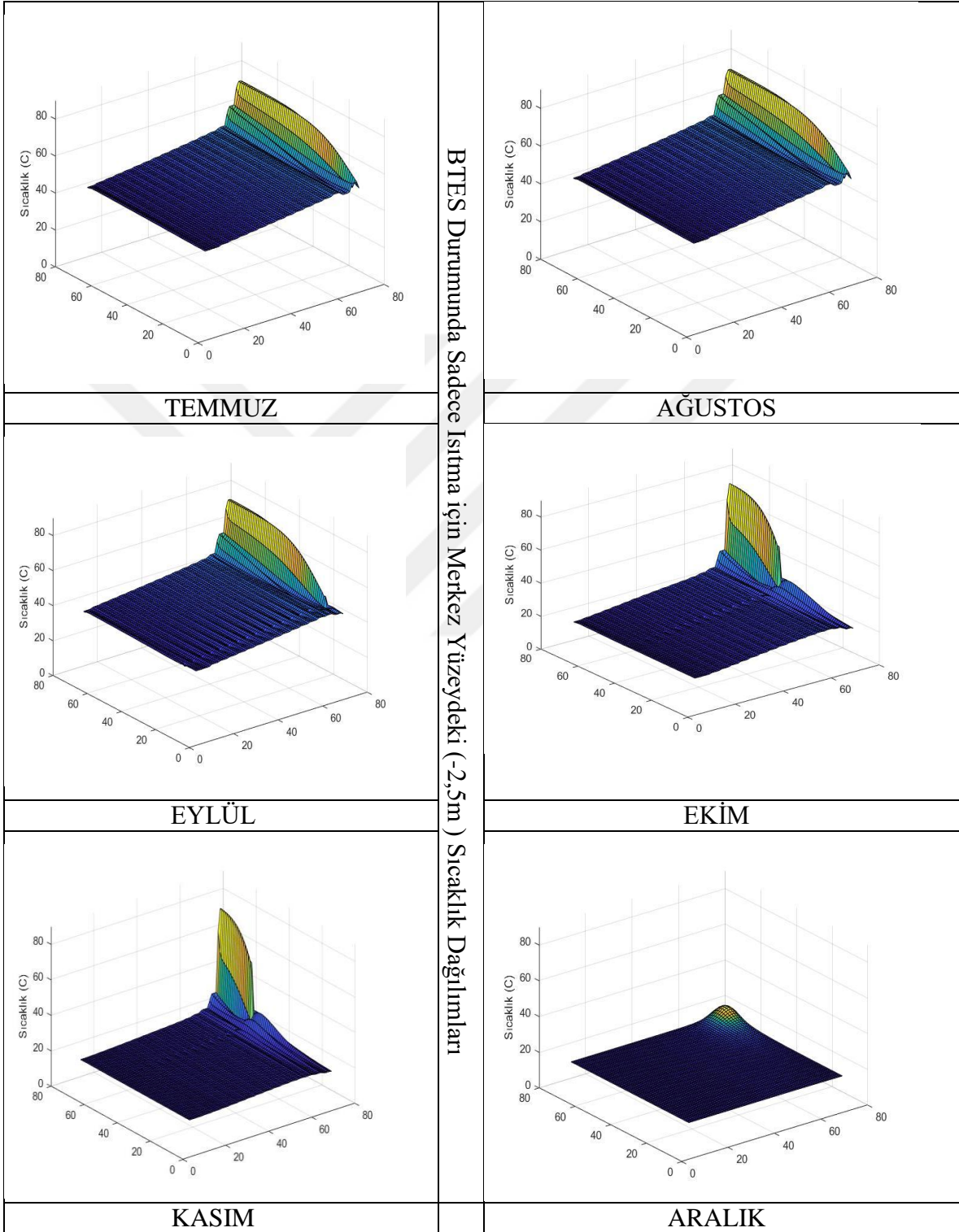
Genel olarak toprağın ısıya doyması ile gün geçtikçe verim değerleri lineer olarak azalmaktadır. Verimin düşmesi ve ısı kaybının artmasındaki en büyük etken çeper nodların sıcaklıklarının yükselmesi ile ısı kaybındaki artıştır. Aynı zamanda sıcaklığı artan bir kütleli zamana bağlı olarak ısı çekmesi de azalmaktadır. Özellikle kış aylarında verimin yıl

içerisindeki en düşük değerleri gözlemlenmektedir. Bunun sebebi kış aylarında güneşte gelen radyasyonun az olması ile birlikte ısı kaybının da çevre koşullarına bağlı olarak artmasıdır. Görüldüğü üzere günlere bağlı olarak ısı kayıpları lineer olarak artmaktadır. En yüksek verimler de beklendiği gibi yaz aylarında gözlenmiştir. Bunun sebepleri ise güneşten gelen radyasyon miktarının artması ve aynı zamanda toprak sıcaklığının yükselmesi ile ısı kayıplarının azalmasıdır. Şekil 4.1.-4.2.-4.3.-4.4. incelendiğinde yıl içerisinde en düşük verimin aralık ayında en yüksek verimin ise temmuz ayında olduğu tespit edilmiştir. $\times 10^3$

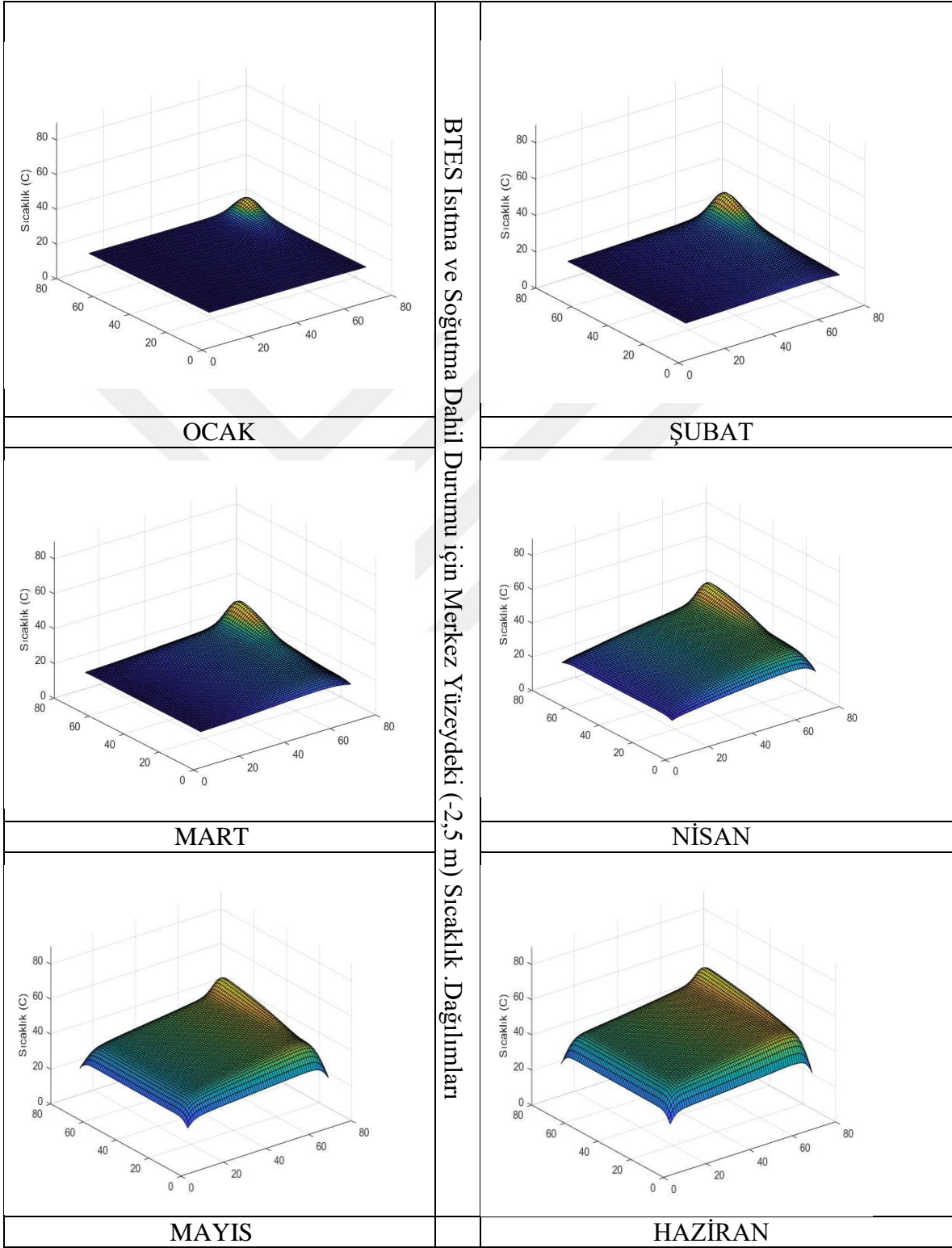
Merkez (-2.5m) yüzey sıcaklıklarının ısı kaybına uğramadan önceki ve ısı kaybına uğradıktan sonraki durumları için yapılan hesaplamaların sonuçları her ay için ayrı ayrı Şekil 4.5.-4.6. gösterilmiştir. Çıkan sonuçlara göre merkez yüzeyde x doğrultusunda aşağı konkav sıcaklık düşüşünün genel davranış olduğu anlaşılmaktadır. Y doğrultusunda ise bir önceki nod grubuna nazaran lineer sayılabilecek sıcaklık düşüşleri gözlemlenmiştir. Isı kaybına uğradıktan sonra, ısı kaybına uğramadan önceki duruma göre sıcaklık düşüş eğrilerini daha yumuşak eğimde davranır. Bunun temel sebebi maksimum sıcaklık noktalarının ortalama değerlere göre daha fazla ısı kaybetmesi nedeniyle ortalama değerlere yaklaşmasıdır. Ortalama ve ortalamanın altındaki sıcaklık değerlerine sahip nodlarda ise daha az ısı kaybı gerçekleştiği için sıcaklık değerlerinde daha az değişme eğilimi gözlemlenmiştir. Sistemden ısı çekiminin olduğu aylar (Ekim-Kasım-Aralık-Ocak-Şubat-Mart-Nisan) incelendiğinde ani bir sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir. Bunun sebebi özellikle soğuk aylarda güneşlenme süresi azaldığı için sisteme giren ısı azalmıştır. Buna bağlı olarak giren az miktardaki güneş ısı sisteme girdikten hemen sonra ısı kayıplarının (sıcaklık farkının yüksek olması nedeniyle) yüksek olması sebebiyle hızlı sıcaklık düşmesine sebep olmaktadır. Yıl içerisindeki maksimum sıcaklık ortalama değerleri Temmuz ayında minimum sıcaklık ortalama değerleri ise Aralık ayında hesaplanmıştır.



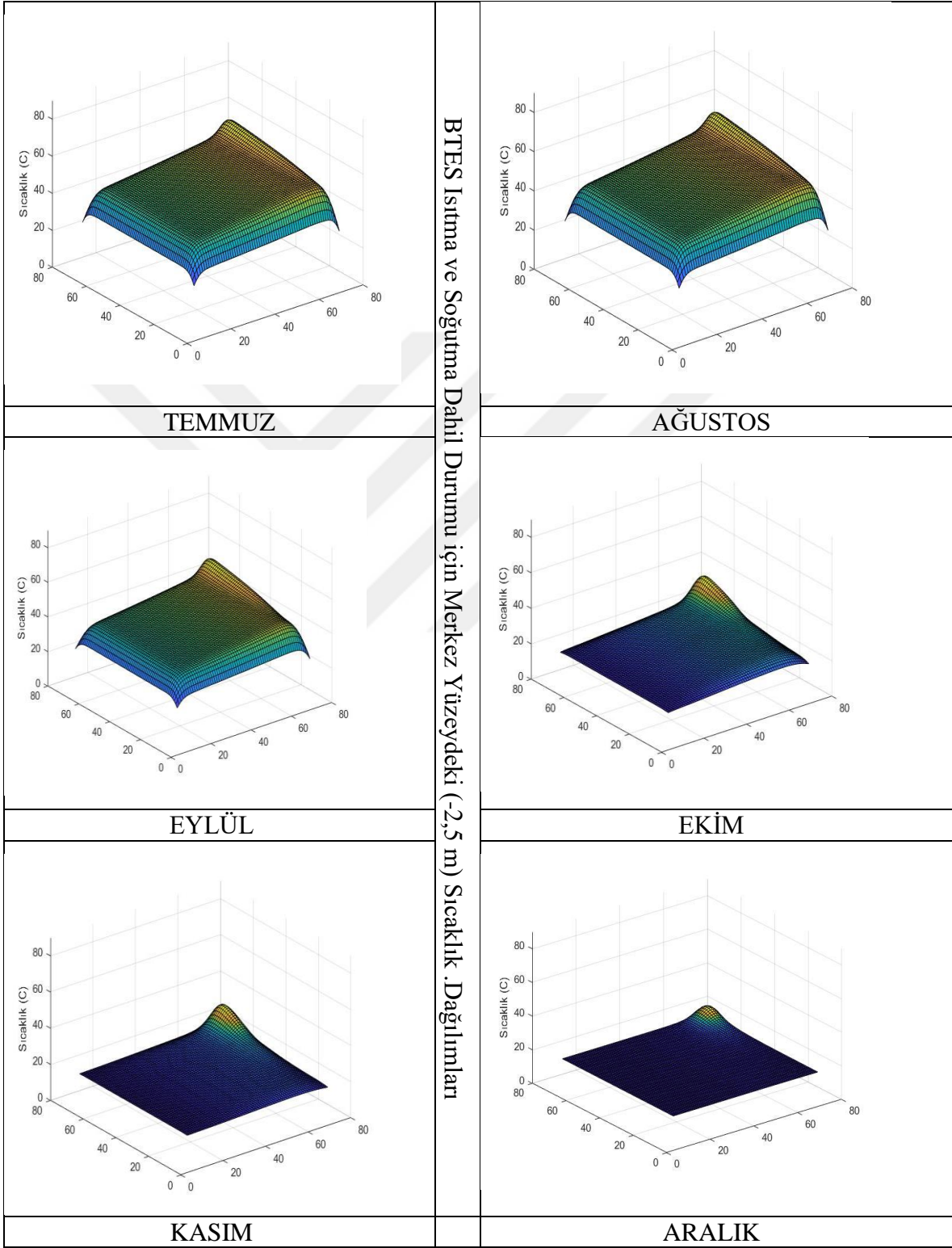
Şekil 4.5. BTES durumunda sadece ısıtma için merkez yüzeydeki (-2,5 m) sıcaklık dağılımı.



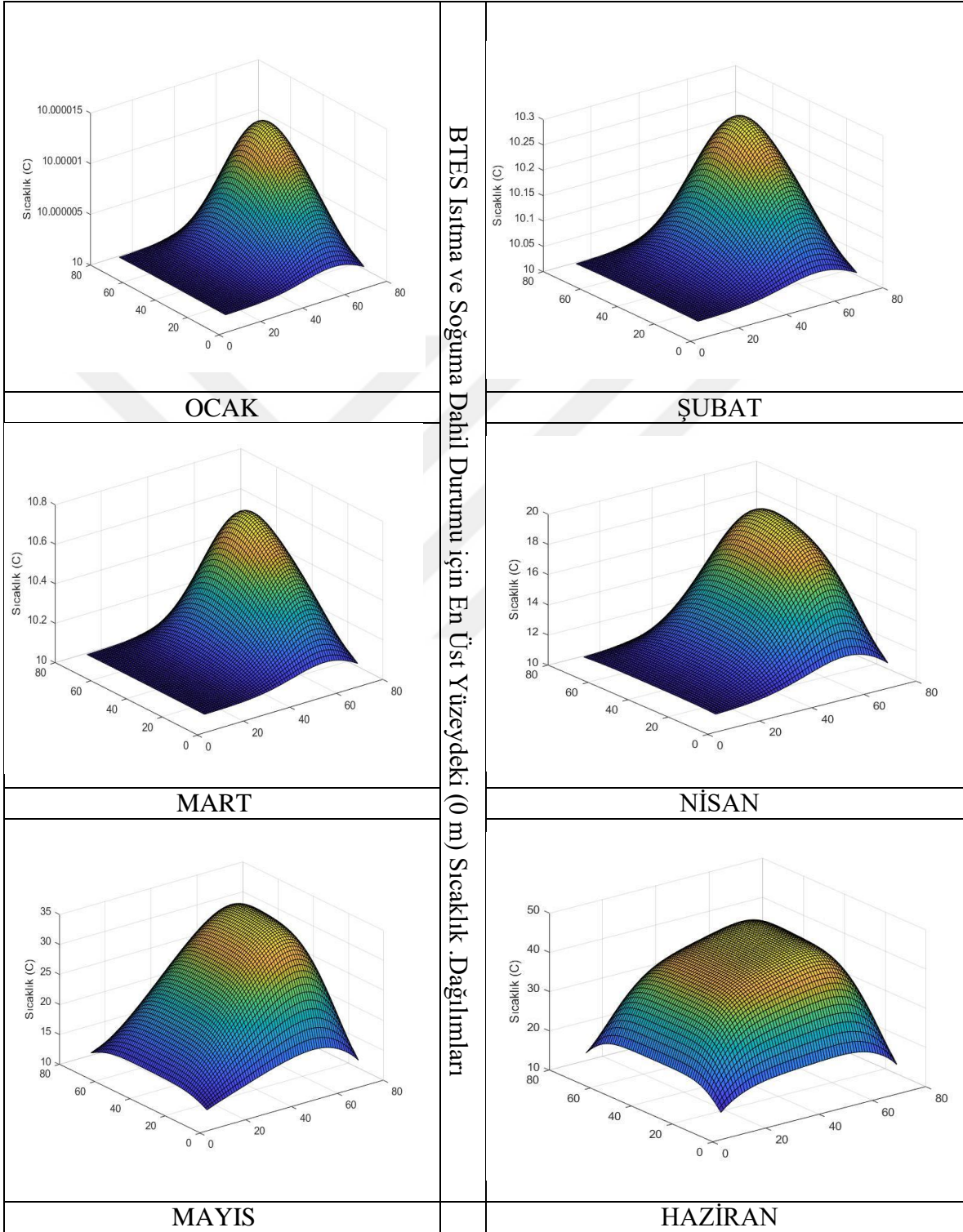
Şekil 4.5. BTES sadece ısıtma durumu için merkez yüzeydeki (-2,5 m) sıcaklık dağılımı (devam).



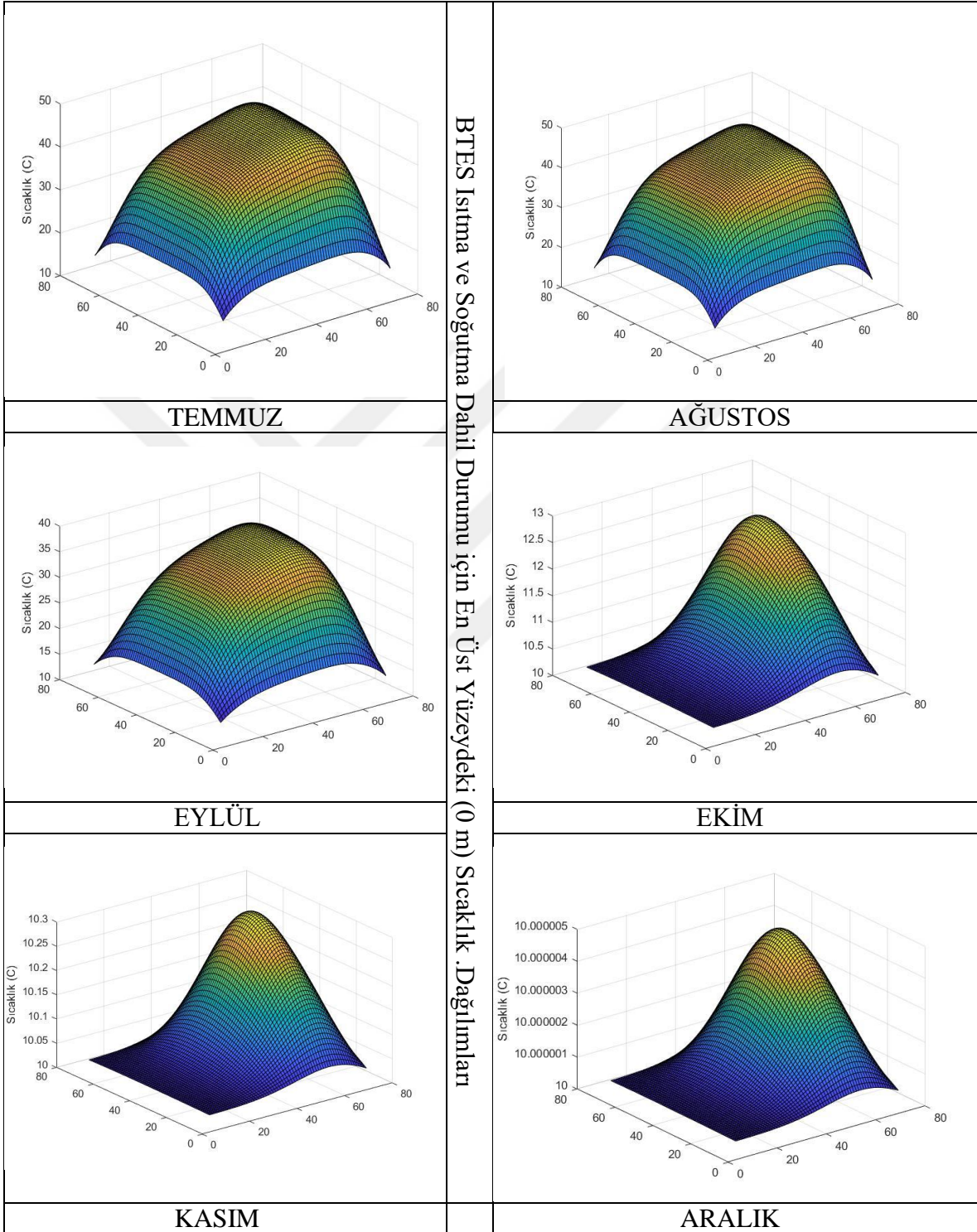
Şekil 4.6. BTES ısıtma ve soğutma dahil durumu için merkez yüzeydeki (-2,5 m) sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.6. BTES ısıtma ve soğutma dahil durumu için merkez yüzeydeki (-2,5 m) sıcaklık dağılımı (devam).



Şekil 4.7. BTES ısıtma ve soğuma dahil durumu için en üst yüzeydeki (0 m) sıcaklık dağılımları.

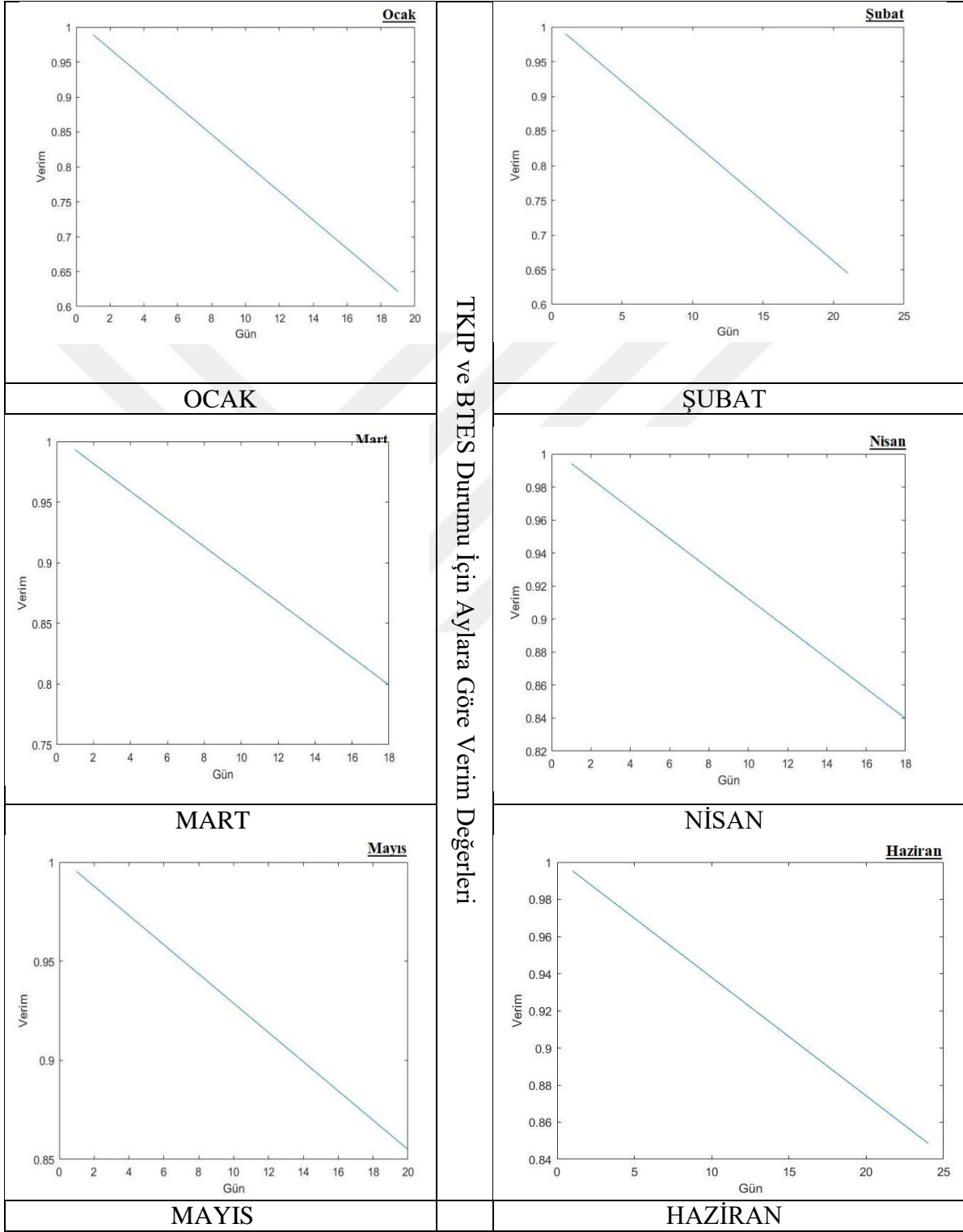


Şekil 4.7. BTES ısıtma ve soğutma dahil durumu için en üst yüzey için (0 m) sıcaklık dağılımı (devam).

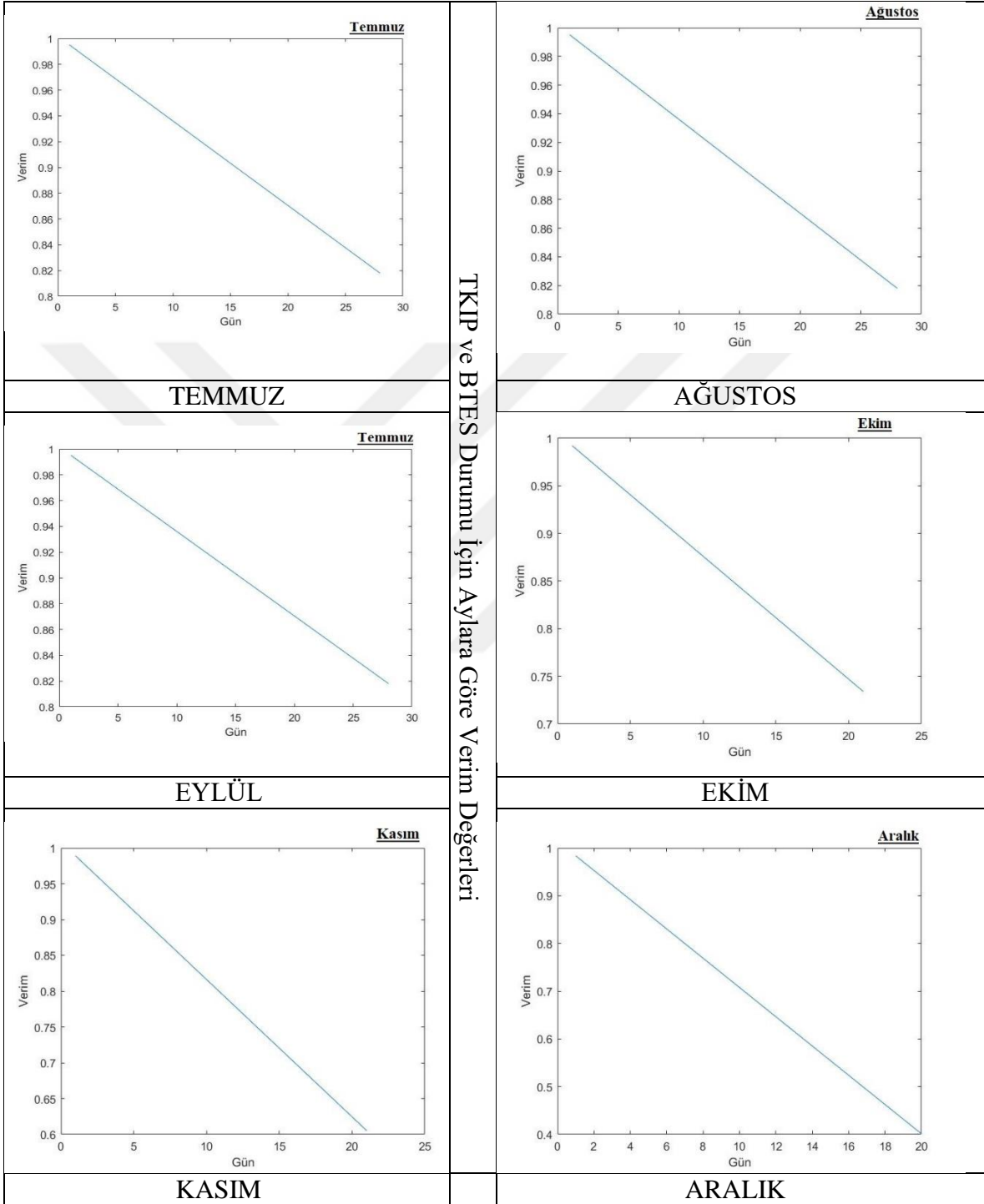
En üst yüzeydeki katman için ısı kaybından sonraki aylara göre sıcaklık dağılımı hesaplamalar sonucu üretilen grafikler Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde özellikle soğuk aylarda sıcaklığın belli bölgelerde yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sıcak su girişinin olduğu kısımda toprak ile sıcak su arasındaki sıcaklık farkı fazla olduğundan ısı iletimi hızlı olmaktadır. Bunun sonucunda sıcak su ısısının büyük bir kısmını başlangıçta kaybetmektedir ve diğer kısımlarda daha az sıcaklık artışı gözlemlenmektedir. Soğuk aylarda güneşten gelen radyasyon miktarının az olmasından dolayı diğer kısımların ısınmasına yetecek kadar ısı girişi olmamaktadır. Sıcak aylardaki grafikler incelendiğinde toprağa giren ısı miktarındaki artışa bağlı olarak sıcaklık dağılımının daha homojen olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi sıcak su giriş kısmının zamanla ısınmasından dolayı ısı transferinin daha yavaş gerçekleşmesi ve sıcak suyun boru boyunca ısı aktarabilmesidir. Burada en yüksek sıcaklık Temmuz ayında, en düşük sıcaklık ise Aralık ayındadır.

4.2. TKIP ve BTES Uygulanması

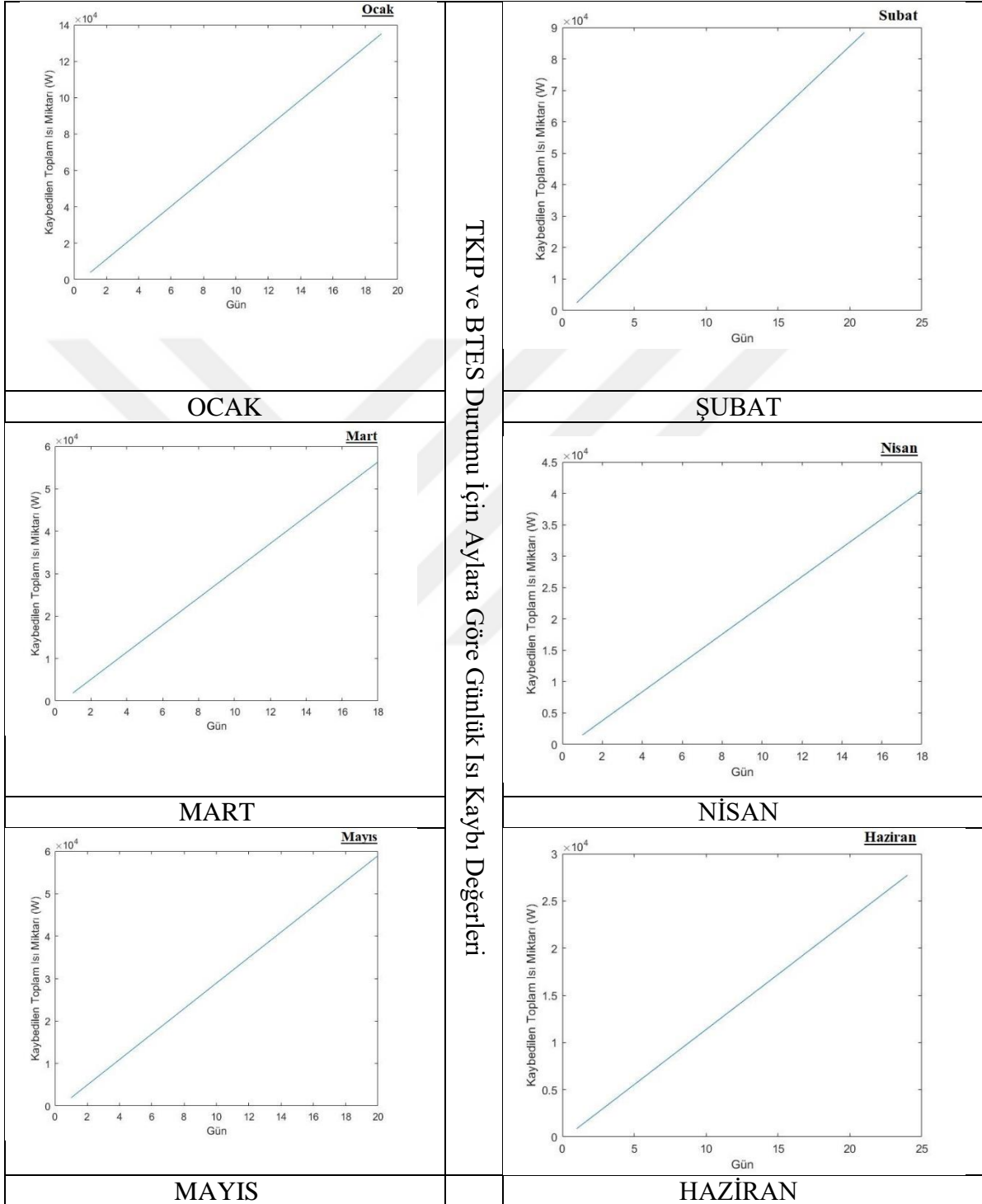
Bu bölümde sistemin ısıtılması ve sistemden ısı çekilmesi durumları aylara göre hesaplanmış ve sonuçları incelenmiştir. Hesaplamaları Mayıs ayı başlangıç ayı olarak seçilmiş ve hesaplamalara bu ay itibari ile devam edilmiştir. Sistemden ısı çekilmesi Ekim-Nisan ayları arasında olup hesaplamalar mevsim sıcaklıklarına göre yapılmıştır. Mayıs ayının sonu itibari ile yapılan hesaplamaların sonuçları bir sonraki ayın başlangıç koşulu olarak kabul edilmiştir. Böylelikle sistem baştan başlatılmadan sürekliliği olan bir yıllık bir davranış gözlenmiştir. Ayrıca bu kısımda Ekim-Nisan ayları için sistemden çekebildiğimiz ısı miktarları hesaplanarak grafiğe dökülmüştür.



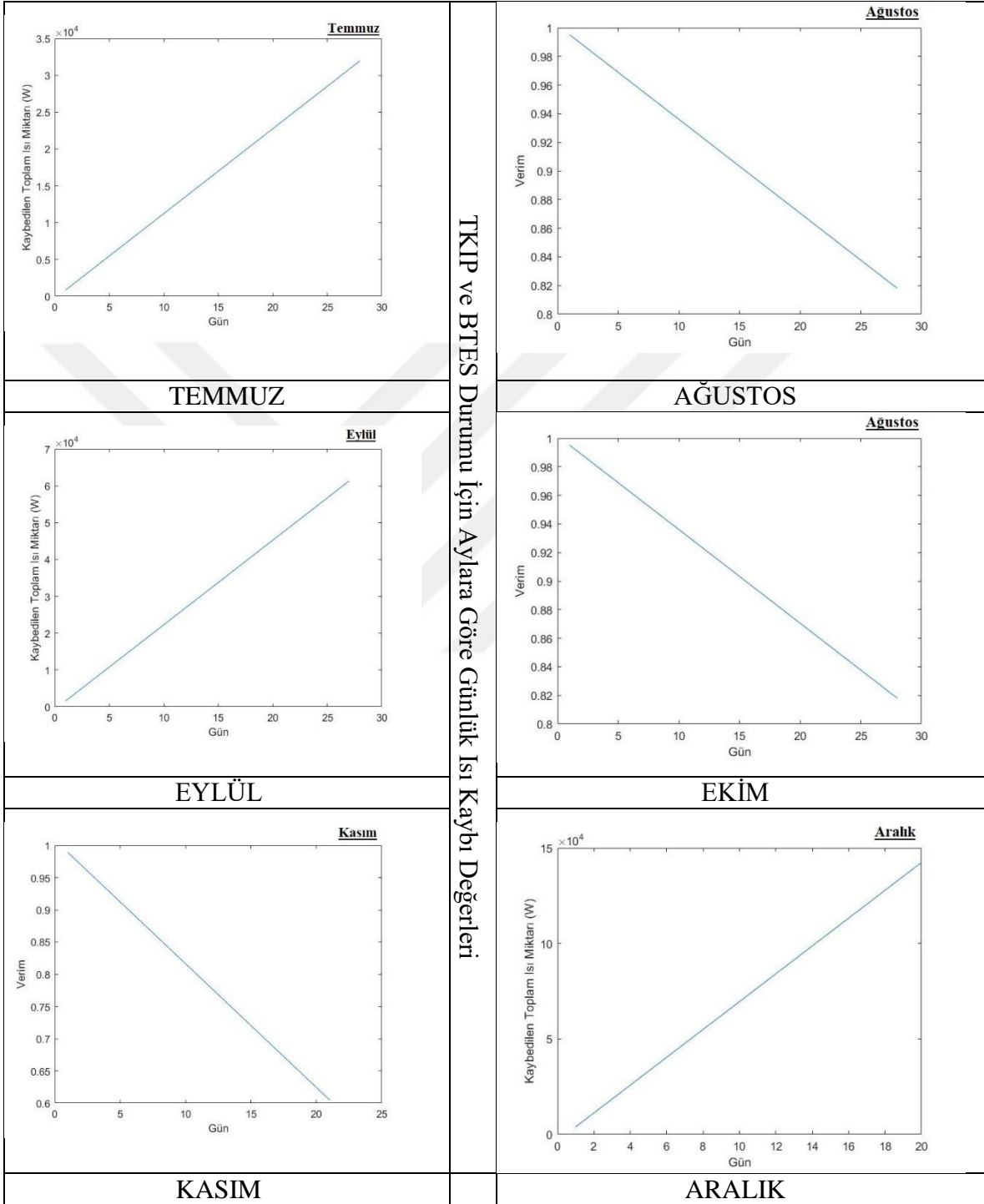
Şekil 4.8. BTES ve TKIP durumu için aylara göre verim değerleri.



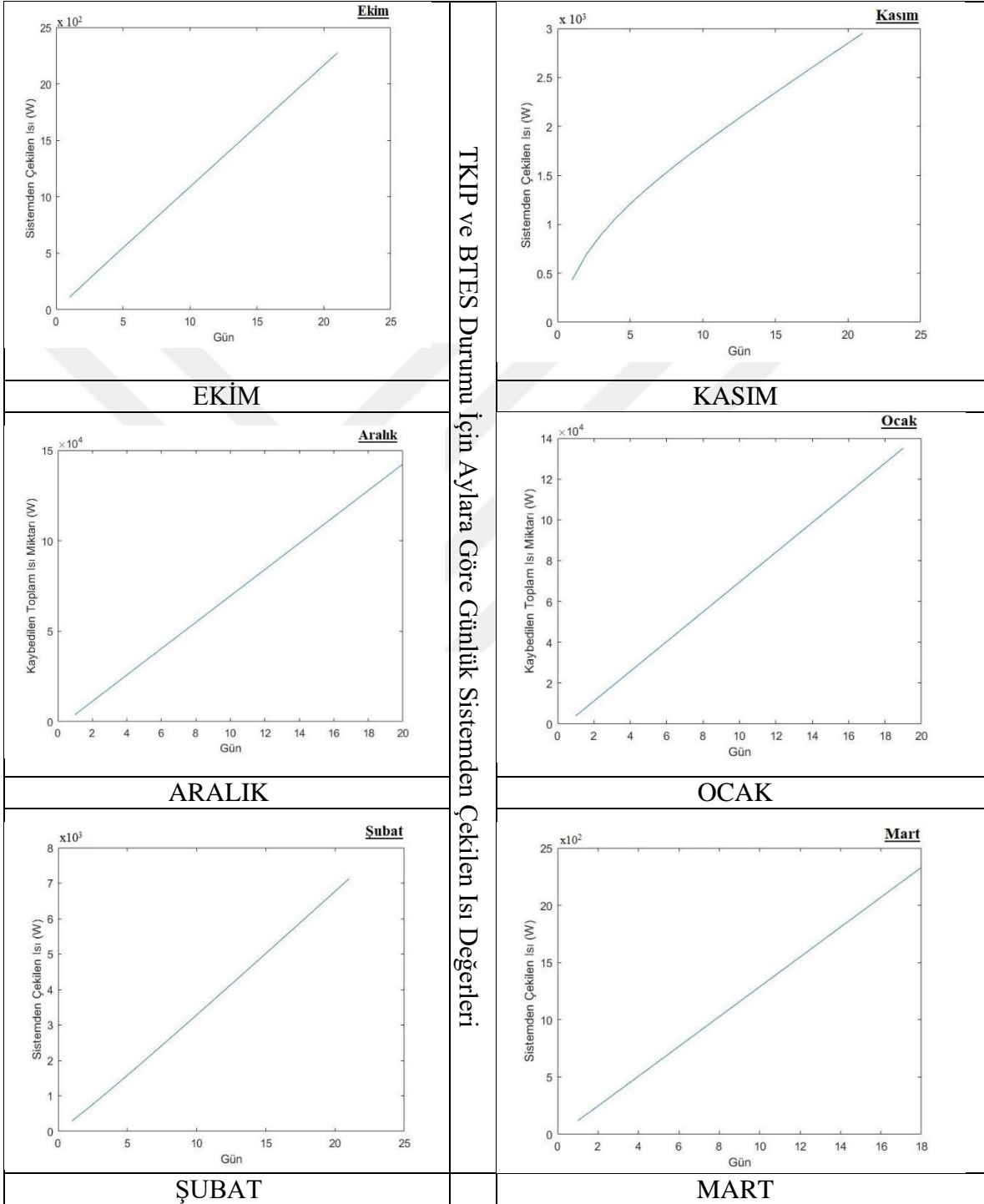
Şekil 4.8. BTES ve TKIP durumu için aylara göre verim değerleri (devam).



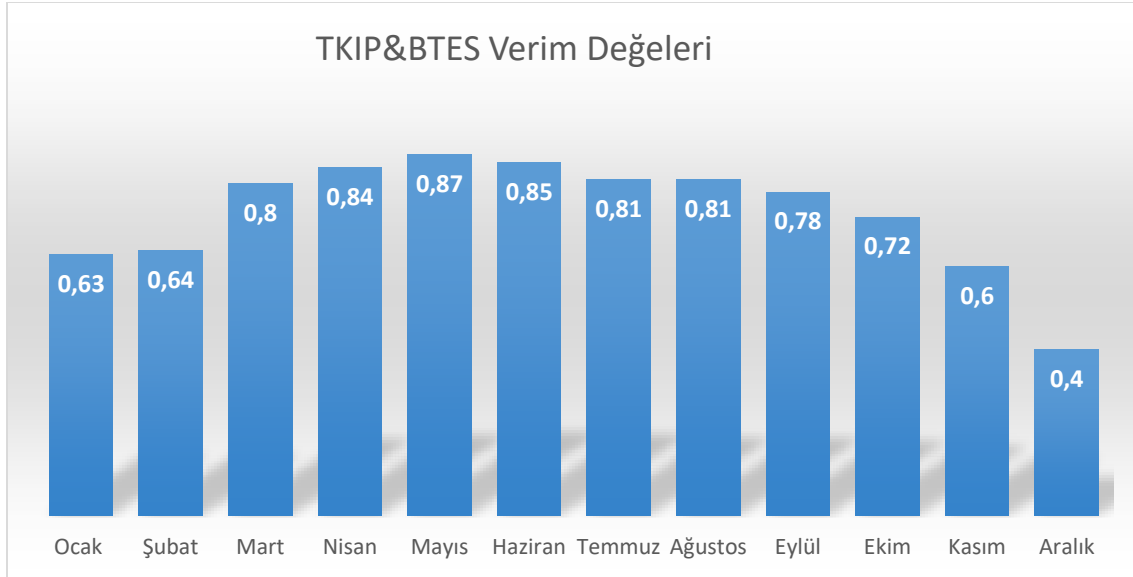
Şekil 4.9. BTES ve TKIP durumu için aylara göre günlük ısı kaybı değerleri.



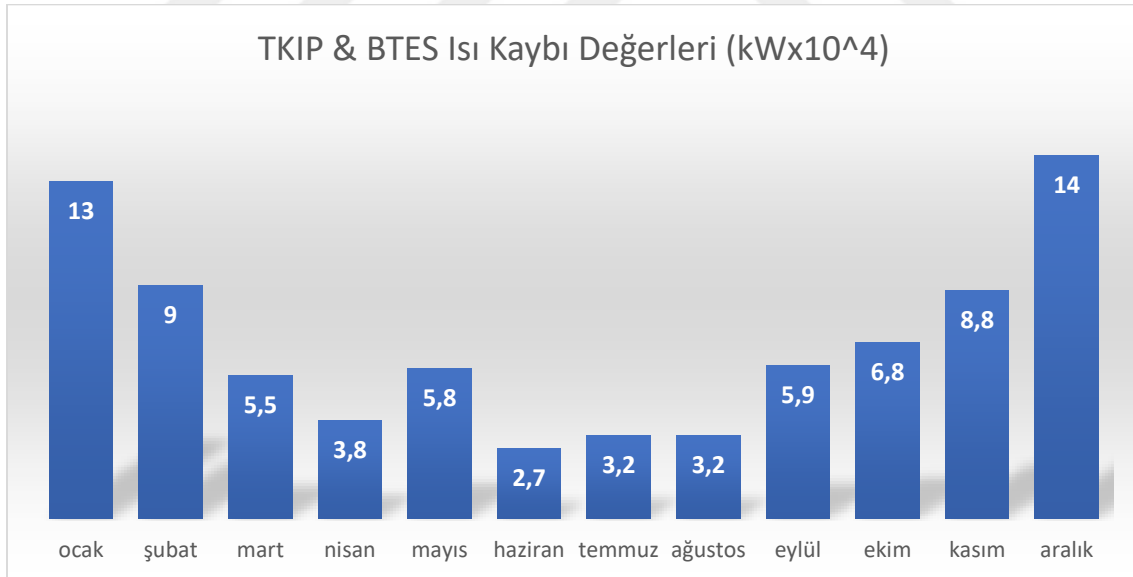
Şekil 4.9. TKIP & BTES durumu için aylara göre günlük ısı kaybı değerleri (devam).



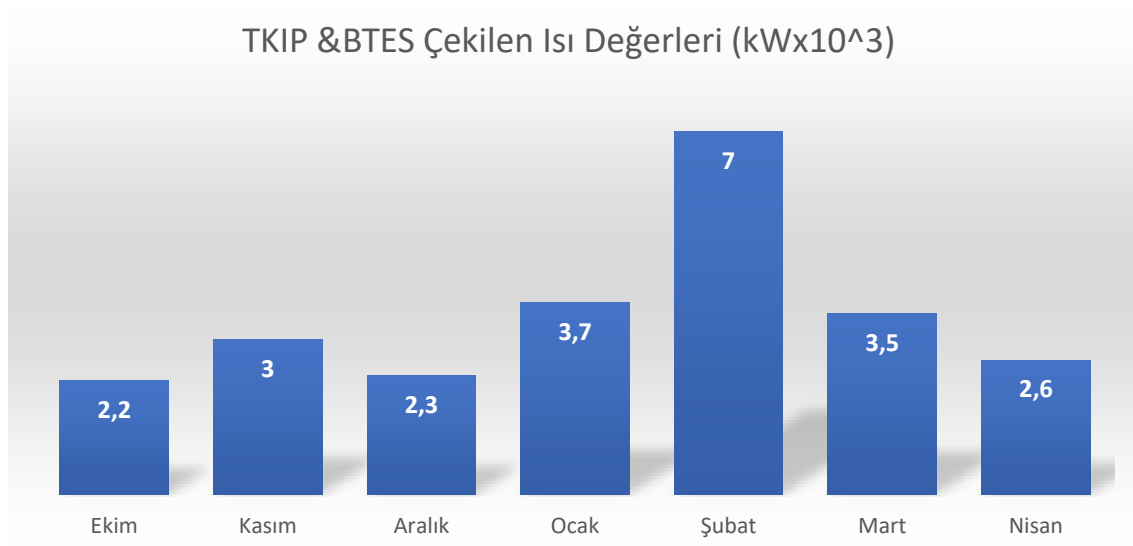
Şekil 4.10. TKIP ve BTES durumu için aylara göre günlük sistemden çekilen ısı değerleri.



Şekil 4.11. TKIP ve BTES durumunda her ayın son günündeki verim değerleri.



Şekil 4.12. TKIP & BTES durumunda her ayın son günündeki ısı kaybı değerleri.

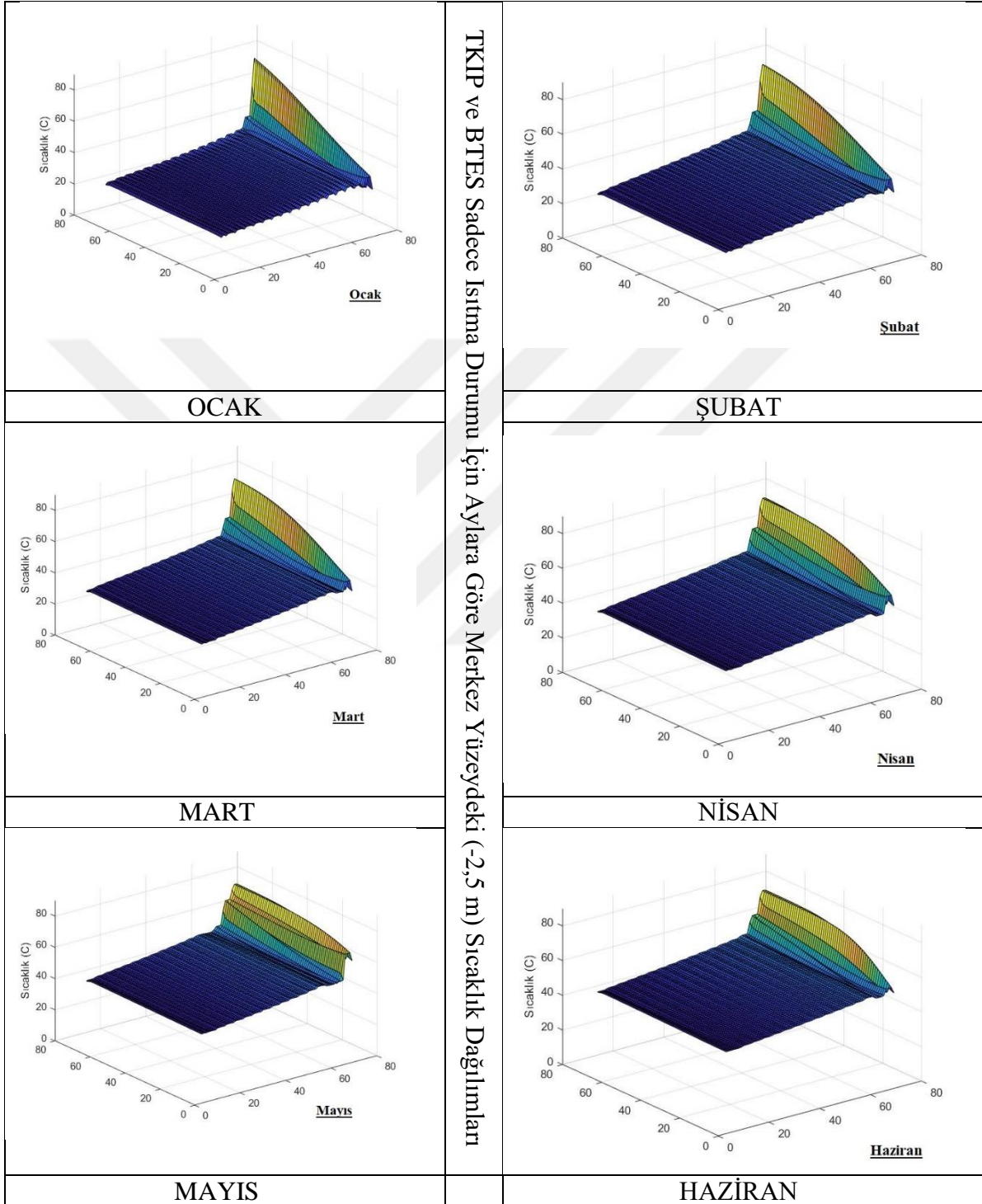


Şekil 4.13. TKIP & BTES durumunda her ayın son günündeki sistemden çekilen ısı değerleri.

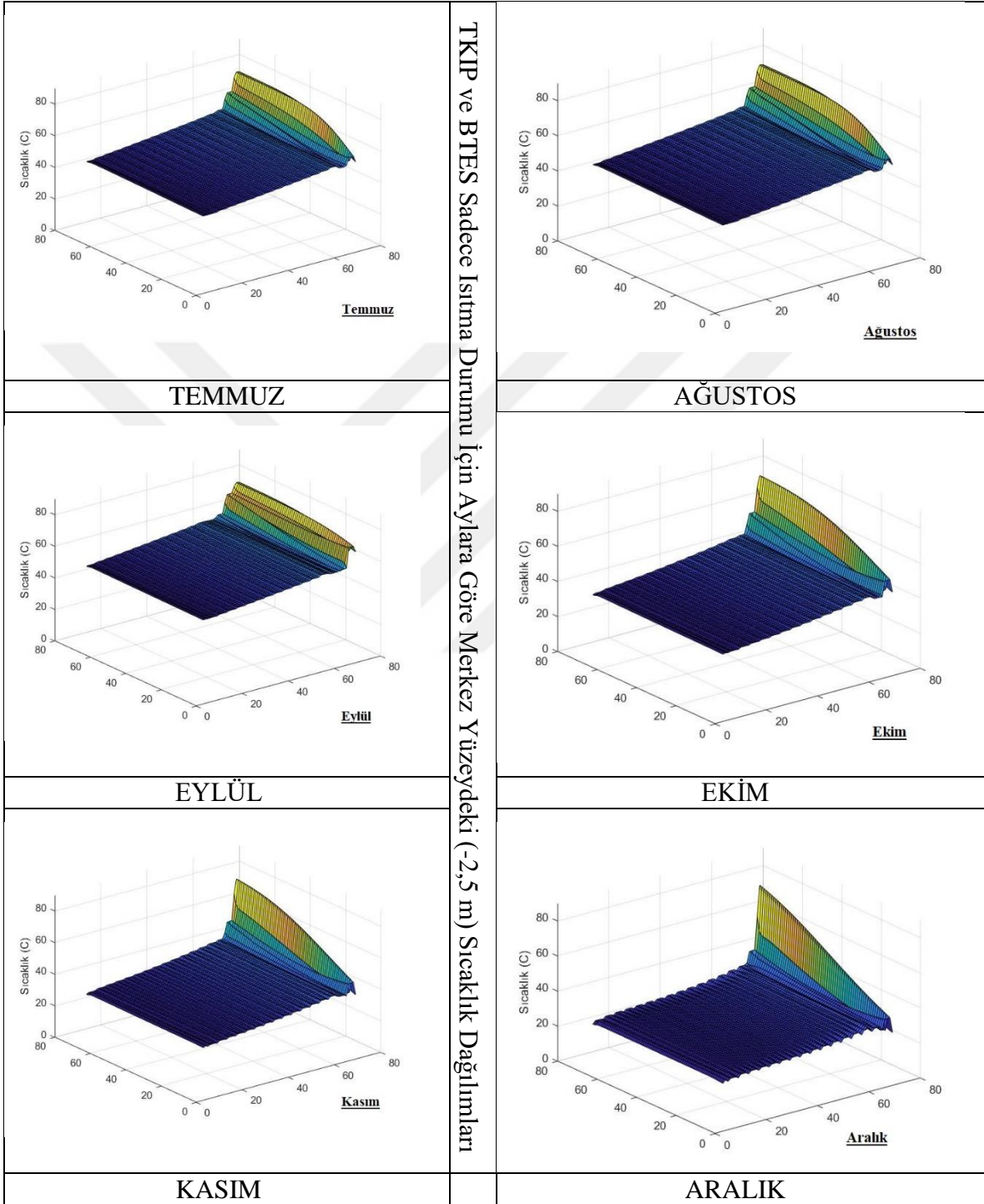
Üretilen grafikler (Şekil 4.8.-Şekil 4.13) incelendiğinde ilk ısıtmanın yapıldığı Mayıs ayında en yüksek verim ortaya çıkmıştır. Bunun temel sebebi, ısı depolama hacmi olarak seçtiğimiz toprak sıcaklığı, başlangıç koşullarında olduğu için sisteme giriş yapan su sıcaklığı ve sistemin kendi sıcaklığı arasındaki fark en yüksek değerlerindedir. Bu da ısı transferinin yüksek olmasına sebep olmuştur. Aynı zamanda belirlenen hacmin çeper sıcaklıkları ile ortam sıcaklıkları arasındaki fark minimum olduğu için ısı kaybı da minimum değerlerdedir. Bu da verimin yüksek olma nedenidir. Seçtiğimiz modelde ilerleyen aylarda ısı depolama hacminin ısınması sonucu ısı transferleri de azalmaktadır, dış çeper sıcaklıklarının artmasıyla da ısı kaybımız arttığı için verim değerlerimiz azalmaktadır. Sıcak su sabit bir debide (kg/s) aktığı için sistemde belirli bir zaman kalabilmektedir. Zamana bağlı olarak toprak sıcaklığı artıkça toprak ile sıcak su arasındaki sıcaklık farkı ve ısı transferi azalmaktadır. Bundan dolayı sıcak suyun sisteme bıraktığı ısı aylar geçtikçe azalmaktadır. Sadece ısıtma yapılan aylarda verimi zamanla azalırken ısı kaybının arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek verim Mayıs ayında iken, en düşük verimin Eylül ayında olduğu tespit edilmiştir.

Ekim ayından itibaren Nisan ayına kadar öncekine ek olarak mevsimsel koşullara bağlı olarak sistemden ısı çekerek buna bağlı değişimler de hesaplamıştır. Yine gün bazlı olarak bir ay için sistemden çekilen toplam ısı ve sistemden kaybedilen toplam ısı hesaplamalarının sonuçları yansıtılmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında Aralık ayında sistemden çekilen ısı 24kW'a yaklaşan bir değerle maksimum olmuştur. Nisan ayı için ise 2.7kW'a yaklaşan bir değer ile minimum aylık değer hesaplanmıştır. Değerler de beklendiği üzere hava sıcaklığının düşmesi ile artarak ve yine hava sıcaklığının artması ise düşerek beklenen değerlere yakın bir davranış göstermiştir. Ekim ayı ve özellikle Kasım ayında sistemden çekilen toplam ısının bir miktar parabolik davranış gösterdiği görülmektedir. Bunun sebebi ise ısı çekmeye başladığımız ilk aylarda sistemin sıcaklık değerlerinin yüksek olmasından, akışkanın sıcaklığının yüksek sıcaklık değerlerine hızlıca ulaşmasıdır. İlerleyen aylarda sistemimizde depolanan ısının azalmasına bağlı olarak sistemimizden çekilen toplam ısı değerleri lineer bir davranışa yönelmiştir.

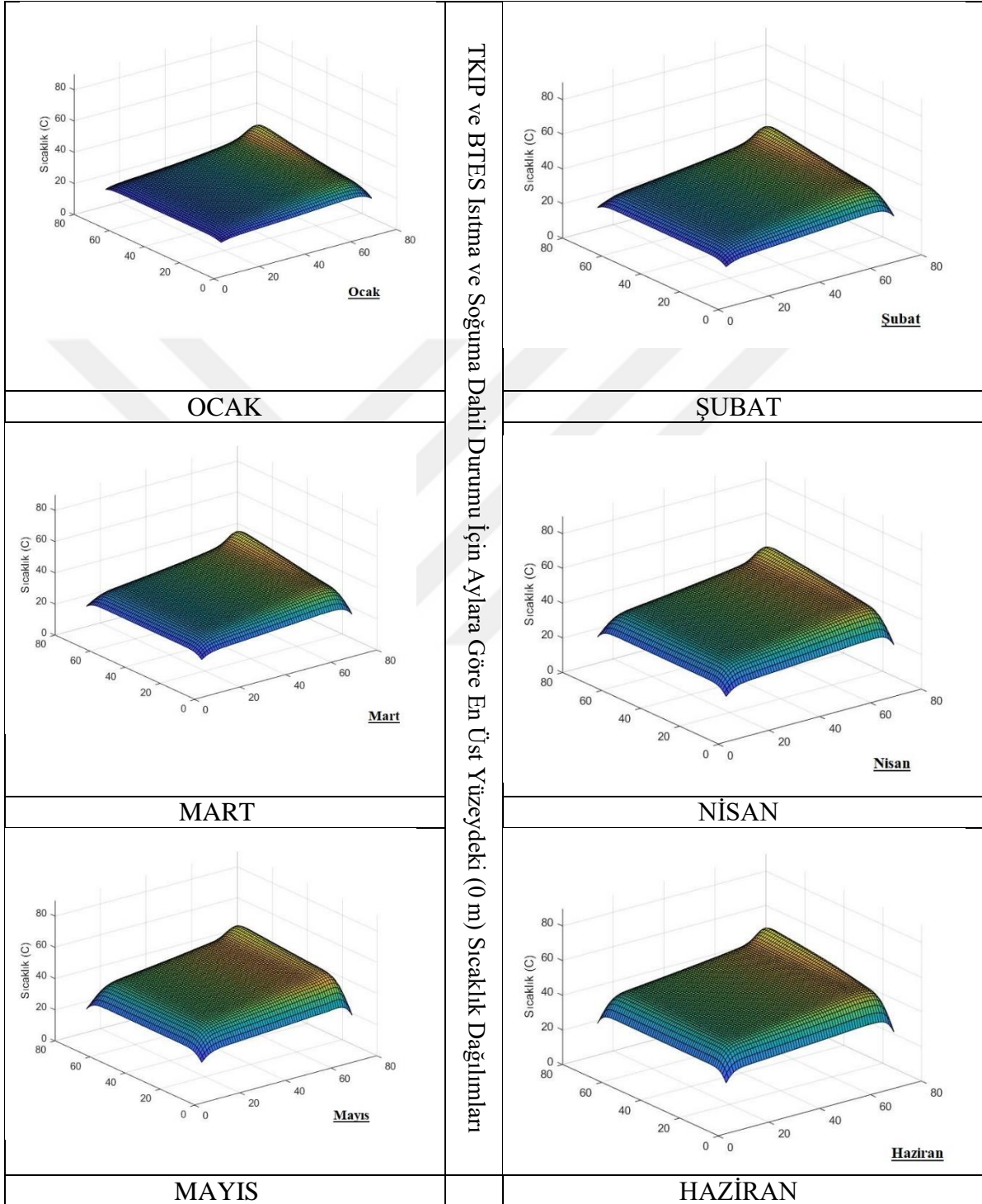
BTES ve TKIP uygulamasının yapıldığı bir yıllık merkez yüzeyi için sadece ısıtmanın uygulandığı ve sonrasında ise de yüzey soğumasının gerçekleştiği grafikler bir arada verilmiştir. Grafikler incelendiğinde merkez yüzey sıcaklığının başlangıçta hızlı arttığı gözlemlenmiştir. Zaman geçtikçe diğer aylarda sıcaklık artışının yavaşladığı fakat sıcaklık dağılımının yüzeyde daha homojen olduğu gözlemlenmiştir. Bu davranışın sebebi zamanla toprak merkez yüzeyindeki sıcaklıkların artmasıyla, akışkandan çekilen ısı miktarının azalmasıdır. Bir anlamda sıcaklıklar artıkça bahsi geçen yüzeyin ısıya doygunluğu da artmaktadır. Görüldüğü üzere yüzey soğumasının gerçekleştiği grafiklerde çeperlere yaklaştıkça yüzey sıcaklığı azalmaktadır. Bunun da nedeni ısı kaybının çeperlerde gerçekleşmesi sonucu çeperlere yaklaşan nodların sıcaklığının sistemin dışındaki toprak sıcaklığına yaklaşma eğilimi göstermesidir.



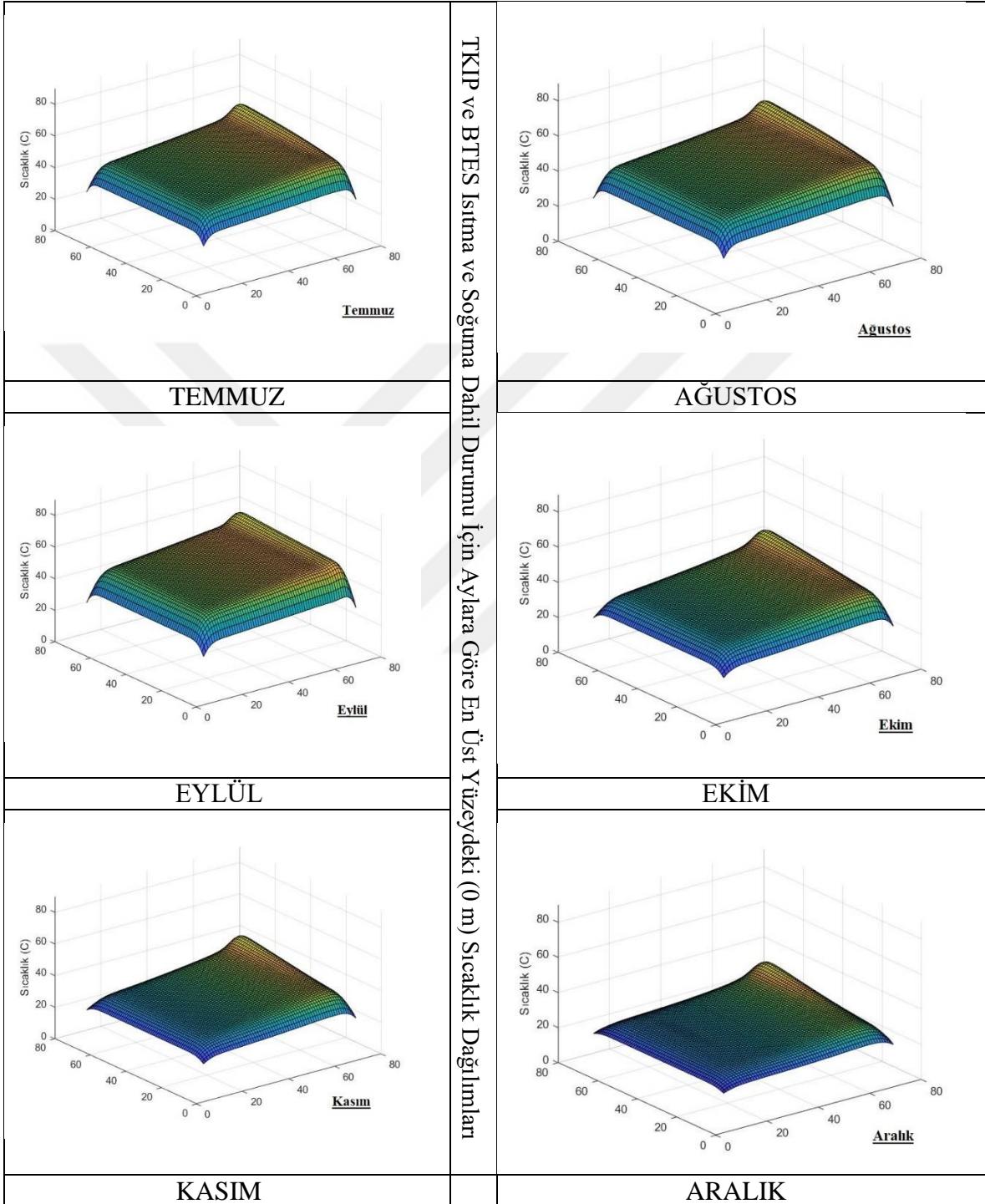
Şekil 4.14. TKIP & BTES sadece ısıtma durumu için aylara göre merkez yüzeydeki (-2,5 m) sıcaklık dağılımları.



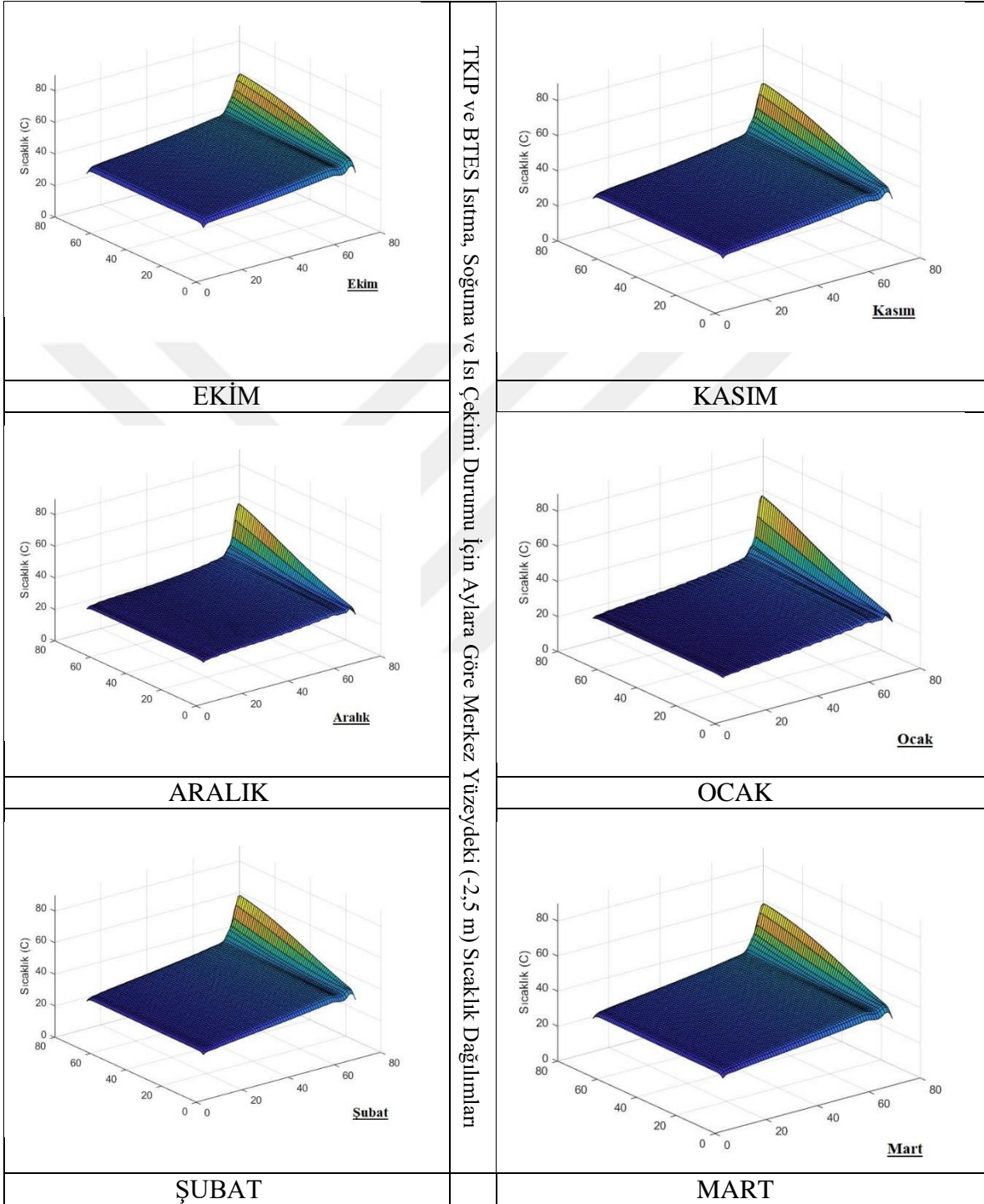
Şekil 4.14. TKIP & BTES sadece ısıtma durumu için aylara göre merkez yüzeydeki (-2,5 m) sıcaklık dağılımı (devam).



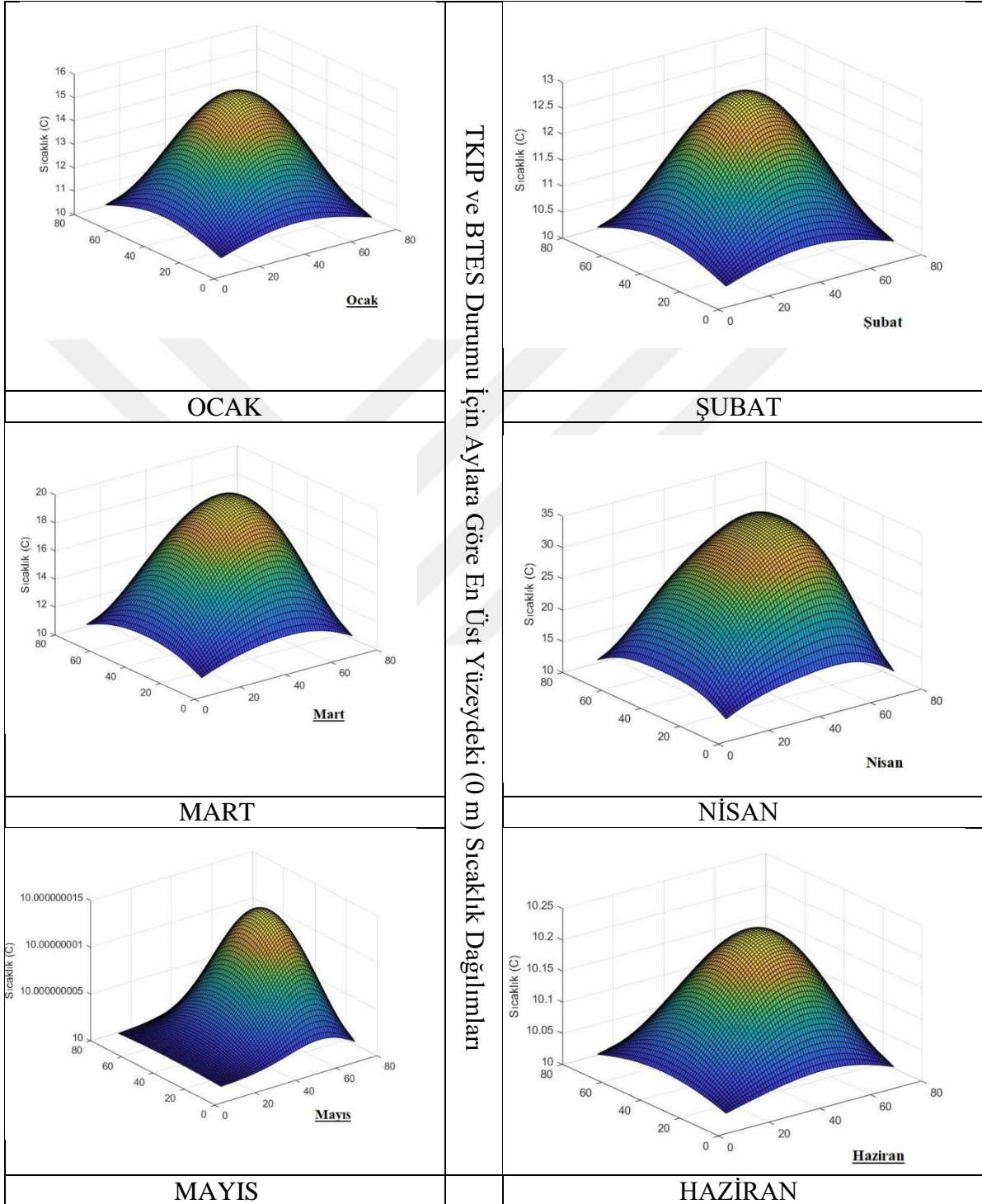
Şekil 4.15. TKIP& BTES ısıtma, soğuma ve ısı çekimi durumu için aylara göre merkez yüzeydeki (-2,5 m) sıcaklık dağılımları.



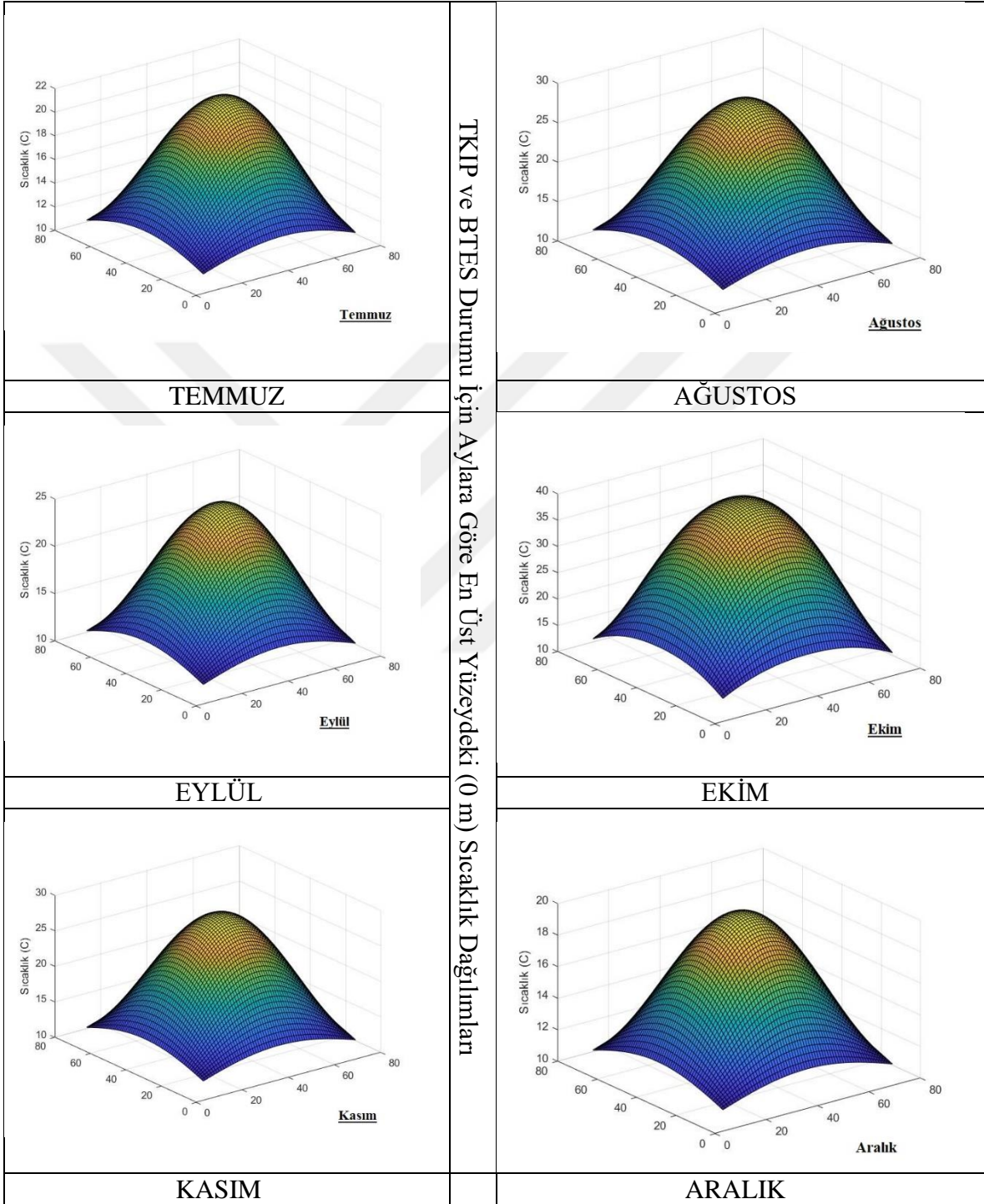
Şekil 4.15. TKIP & BTES ısıtma ve soğuma dahil durumları için aylara göre merkez yüzeydeki (-2,5 m) sıcaklık dağılımları (devam).



Şekil 4.16. TKIP & BTES ısıtma, soğuma ve ısı çekimi durumu için aylara göre merkez yüzeydeki (-2,5m) sıcaklık dağılımları.



Şekil 4.17. TKIP & BTES durumu için aylara göre en üst yüzeydeki (0 m) sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.17. TKIP & BTES durumu için aylara göre en üst yüzeydeki (0 m) sıcaklık dağılımları (devam)

Merkez (-2.5m) yüzey sıcaklıklarının ısı kaybına uğramadan önceki ve ısı kaybına uğradıktan sonraki durumları için yapılan hesaplamaların sonuçları her ay için ayrı ayrı Şekil 4.14.-4.15. gösterilmiştir. Çıkan sonuçlara göre merkez yüzeyde x doğrultusunda aşağı konkav sıcaklık düşüşü genel davranış olduğu anlaşılmaktadır. Y doğrultusunda ise bir önceki nod grubuna nazaran lineer sayılabilecek sıcaklık düşüşleri gözlemlenmiştir. Isı kaybını uğradıktan sonra ise ısı kaybına uğramadan önceki duruma nazaran sıcaklık düşüş eğrilerinin daha yumuşak bir eğimde gerçekleştiğini görüyoruz. Bunun temel sebebi sıcaklık maksimum noktalarının ortalama değerlere göre daha fazla ısı kaybetmesi nedeniyle ortalama değerlere yakınlaşmıştır, ortalama ve ortalamamanın altındaki sıcaklık değerlerine sahip nodlarda ise daha az ısı kaybı gerçekleştiği için sıcaklık değerlerinde daha az değişme eğilimi gözlemlenmiştir. Sistemden ısı çekiminin olduğu aylar (Ekim-Kasım-Aralık-Ocak-Şubat-Mart-Nisan) incelendiğinde ani bir sıcaklık düşüşü olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi özellikle soğuk aylarda güneşlenme süresi azaldığı için sisteme giren ısı azalmıştır. Buna bağlı olarak da giren az miktardaki güneş ısıyı sisteme girdikten hemen sonra ısı kayıplarının (sıcaklık farkının yüksek olması nedeniyle) yüksek olması sebebiyle hızlı sıcaklık düşmesine sebep olmaktadır. Yıl içerisindeki maksimum sıcaklık ortalama değerleri Temmuz ayında minimum sıcaklık ortalama değerleri ise Aralık ayında hesaplanmıştır.

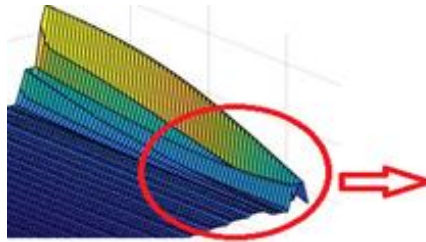
Sistem modellenirken merkez yüzey (-2.5m) orta nokta olarak kabul edilerek 24 üst katman ve bunlara simetrik olan 24 alt katman olarak 49 katmandan oluşturulmuştur. Şekil 4.17.'deki grafikler en üstteki 25 yüzey sıcaklık dağılımının sonuçlarını göstermektedir. Isı aktarımının doğası gereği ısı kaynağına en yakın nodların ısınması öncelikli olarak gerçekleşir. Ancak ve ancak bu nodların ısınması sonucu diğer komşuluktaki nodların ısınması sağlanabilir. Grafiklerde de görüldüğü üzere Mayıs ve Haziran aylarında yeterli ısınma sağlanamaması sonucunda dış çeper yüzey sıcaklığında ciddi bir artış gözlenmemektedir. Ancak Temmuz ayına gelindiğinde maksimum yüzey sıcaklıklarının neredeyse 2°C'lere yaklaştığı gözlemlenmektedir. Sıcaklık dağılımının genel olarak yüzey merkezine doğru artışta olduğu gözlemlenmektedir. Ağustos ayına geçildiğinde yine artış miktarı yüksek olup maksimum dış yüzey sıcaklığı 25°C'ye kadar artmıştır. Eylül ayında ise maksimum dış yüzey sıcaklığı 20 °C'nin biraz üzerine düşmüştür. Bu düşüşün sebebi Eylül ayında güneşten gelen radyasyon miktarının düşmesi ve güneşlenme süresinin azalmasıdır.

Bu azalmalara karşın soğuma süresindeki artışta ısı kaybını tetiklemiştir ve sistem genel olarak ısı kaybetmiştir.

Beklendiği gibi bütün yüzeylerde ısı kaybı kenardaki nodlardan gerçekleştiği için kenar nodların sıcaklıkları düşük kalmaktadır. Merkez yüzeyden itibaren, merkezdeki sıcaklıkların yüksek olması, bir sonraki yüzeye ısı aktarımının fazla, kenar nodlarda ise sıcaklığın düşük olması ile bir sonraki yüzeye ısı aktarımının az olmasına neden olmaktadır. Bu davranışta üst yüzeylere çıkıldıkça yüzey merkez sıcaklıkları ile yüzey kenarları arasındaki sıcaklık farkının daha da belirgin olması ile sonuçlanmaktadır Bunun sonucu olarak da en üst katmandaki grafik görünümü tepe şeklini almıştır.

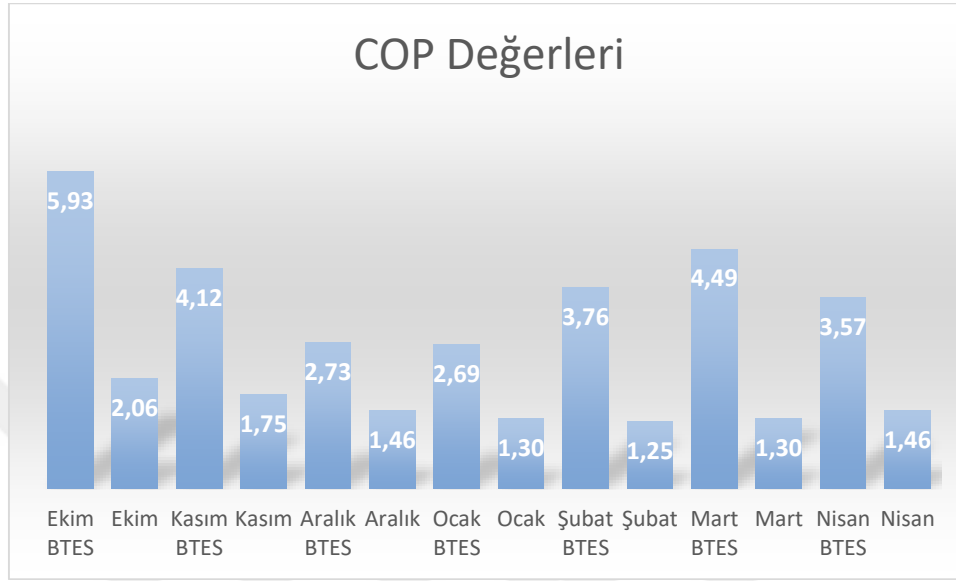
Merkez yüzey soğuma sonrası hesaplamaların sonuçları ile merkez yüzeyde ısı çekimi sonrası soğumalarda dahil edilerek yapılan hesaplamaların sonuçları yukarıdaki dağılım gruplarında (Şekil 6.16) gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde Ekim ve Nisan ayları için maksimum merkez yüzey sıcaklıkları ortalamaları elde edilmiştir. Aralık ve Ocak ayları için ise minimum merkez yüzey sıcaklık ortalamaları elde edilmiştir. Bunun sebebi ise tamamen mevsimsel toprak ve şebeke suyu sıcaklıklarına bağlıdır. İkili grafik arasındaki farka bakıldığında sistemden ısı çekilmesi sonucunda sıcaklık dağılımının daha homojen ve nispeten grafiklerin soluna gidildikçe başlangıç sıcaklığına göre sıcaklık farkının arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni sisteme TKIP'ın başlangıç akış girişinin BTES' e simetrik olarak tersten akmaya başlaması ve iki çevrimin birbirine ters akışlı olmasıdır.

Her ay ayrı ayrı başlangıç koşullarının toprak sıcaklığı kabul edildiği kısım ile karşılaştırılmasında soğuk aylarda sistemin daha fazla ısındığı gözlenmiştir. En yüksek sıcaklık değerlerinin Ekim ayında iken en düşük sıcaklıkların Şubat ayında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.18. Sıcaklık dağılımı düzensizliği

Tersinir Carnot ısı pompası için COP değerleri aşağıdaki Şekil 6.18 de gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Isı çekimi yapılan aylar (Ekim –Şubat) için ortalama COP değerleri

COP değerleri şebeke suyu sıcaklık ve konutun ısıtılması için gerekli olan ısı miktarının aylara göre değişmesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. En yüksek COP değeri şebeke suyu sıcaklığı ve konutun ısınma ihtiyacına bağlı olarak Ekim ayında görülmektedir. Ekim ayındaki değerlere bakıldığında ısı pompasına olan ihtiyacın minimum olduğu tespit edilmiştir. Aralık ve Ocak aylarında ise minimum COP_B ve COP değerleri hesaplanmıştır. Genel olarak COP_B ve COP değerleri karşılaştırıldığında BTES destekli sistemin COP değerinin yaklaşık olarak iki kat daha fazla olduğu görülmektedir. Buradan BTES destekli TKIP'ın TKIP sistemlerine göre daha az elektrik gücüne ihtiyaçları olmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalarda COP değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Horzum (2018), yaptığı çalışmada en yüksek COP değerinin 3,683, Başkal (2011), çalışmasında en yüksek COP değerini ise 5,15, Elbir (2010), Isparta ili için yaptığı çalışmada en yüksek COP değerini 3,52, Esen (2007), Elazığ ilindeki konut ısıtması için yapmış olduğu çalışmada en yüksek COP değerini 4,33 olarak bulmuşlardır. Bu tez çalışmasında belirlenen model için yapılan hesaplamalarda en yüksek COP değerleri 7 civarında çıkmaktadır. Fakat karşılaştırılması yapılan çalışmalarda güneş desteği ve mevsimsel depolama

bulunmamaktadır. Bundan dolayı COP değerleri tezde modellenen sisteme göre düşük kalmaktadır.

Wang ve ark. (2011), güneş destekli dikey ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompası ve ısı tankının nümerik olarak modellenmesini yapmışlardır. Bu çalışma tez çalışmasına gibi hibritli bir sistem olmasına rağmen ısı değiştirici ve termal enerji depolama şekilleri farklıdır. Bu çalışmada en yüksek COP değerimi 5,95 olarak hesaplamışlardır. Bu değer standart TKIP COP değerlerinden yüksek çıkmıştır.

Liu ve ark. (2013), güneş destekli ve enerji depolamalı sistemler üzerine yapılan çalışmaların derlemesi yapılmıştır. Çalışmaların sonuçlarına göre güneş destekli TKIP uygulamalarının diğer sistemlere göre daha yüksek COP değerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde hibritli sistemlerin daha yüksek COP değerine sahip oldukları gözlenmiştir. Fakat TKIP ve BTES'in bir çok farklı uygulanması bulunmaktadır. Ayrıca her uygulamanın başlangıç ve uygulandığı koşullar farklı olduğundan sonuçları her sistem için kendi içerisinde değerlendirilmesi daha verimli sonuçlar elde etmemizi sağlar.

5.SONUÇ

Güneş destekli BTES ve TKIP sistemlerini inceleme amaçlı yapılan bu çalışmada sistemlerin matematiksel modellemesini MATLAB yazılımı ile uyguladık. Matematiksel model oluşturulurken akışkanın geçtiği güzergah gerçeğe yakın olması amaçlanarak, ısı dağılımı yalnızca düz bir plaka olarak değil Şekil 5.4 deki gibi zikzak biçiminde tasarlanmıştır. Ayrıca soğumanın gerçekleştiği anlarda, soğuma kenarlardan sırasıyla değil de, aynı anda gerçekleştiği kabul edilerek model oluşturulmuştur. Bu yaklaşımlar daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesine yardımcı olmuştur. Oluşturulan sistemde sadece ısınma ve ısınma anındaki soğumaların yanı sıra, aynı zamanda güneşlenme süresi bitiminde ortaya çıkan soğuma evresi de dikkate alınmıştır. Bütün bunlara ek olarak model, üçüncü boyut içinde incelemeye olanak sağlaması düşünülerek katmanlara ayrılarak, katmanlardaki sıcaklık dağılımı hesaplamaları da yapılmıştır.

Sistemde BTES ve TKIP için iki farklı akış modeli oluşturulmuştur ve bunlar birbirlerine zıt akış olacak biçimde modellenmiştir. BTES'in akış modeli için seçilen yüzey merkez yüzey olmakla birlikte, TKIP'in akışı için seçilen yüzey merkezin 5 cm üzerinde ki yüzey olarak tanımlanmıştır. Bu iki sistemdeki zıt akışı olarak seçilmesinin nedeni sistemler arası ısı transferinin daha verimli olacağına ön görülmesidir.

Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda sistemin çalıştırılmaya başlandığı ilk aylarda verimli bir şekilde ısı depolama sağlanabilmiştir. Daha sonrasında ise modellemesi yapılan hacmin yeterli olmaması nedeniyle bu verimin giderek düştüğü gözlemlenmiştir. Benzer şekilde ısı çekimi süresince sistemden verimli ve yeterli bir biçimde ısı çekmeyi başlandığı gözlemlenmiştir. Isı çekiminin yapıldığı aylarda kullanılması planlanan ısı pompasının COP değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında BTES uygulamalı sistemin daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen konutun ısıtılması için gerekli ısı miktarının sistemden karşılandığı hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde çekilen ısının belirlenen konutun ısıtılması için yüzde yüz aktarılabilmesi durumunda yeterli olacağı görülmüştür. Fakat dünyada ki hiçbir ısı transfer sistemi yüzde yüz verime sahip değildir. Bu yüzden konutun için ısıtılması için gerekli çekilen ısının yetersizliği söz konusudur

Hesaplamalar yapılırken kabul edilen ihmallerde göz önüne alındığında COP değerinin, sistemde depolanan ısı enerjisinin ve ısı çekimi değerlerinin düşmesi beklemektedir. Bu değerleri iyileştirmek için oluşturulan modele göre sistemimizde birtakım iyileştirmeler yapılması gerekmektedir.

Sistemi iyileştirilmesi için verimin artırılması gerekmektedir. Bu da üç farklı yolla yapılabilir. Birinci olarak sistemdeki ısı kayıplarının azaltılması, ikinci olarak toplanabilen enerji miktarını artırma, üçüncü olarak aktarılabilen ve depolanabilen enerji miktarını artırma şeklinde gerçekleştirilebilir.

Isı kayıplarını azaltmak için öngörülen yöntemler aşağıdaki gibidir;

- Daha verimli yalıtım malzemesi kullanılabilir veya hali hazırda kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığı artırılabilir.
- Derinlerde toprak sıcaklığının daha yüksek olması nedeniyle sistem daha derine yerleştirilebilir.
- Sistemde ısı depolama malzemesi toprak yerine ısıl kapasitesi daha yüksek bir malzeme seçilebilir.
- Sistemin yerleştirilme biçimi değiştirilerek sistem sıcaklığı merkez de daha yüksek olacak şekilde yeni bir boru yerleştirme şekli seçilebilir. (örn. Spiral boru düzeni)
- Sistemin yerleştirildiği sınırlardaki toprağın boşluklu yapısı (porozite) artırılarak sistemden kayıp ısı transferi düşürülebilir.

Toplanabilir enerji miktarını arttırmak için öngörülen yöntemler olarak;

- Güneşten gelen radyasyonu toplamak için kolektör sayısı artırılabilir. Daha verimli kolektörler kullanılabilir.
- Kolektör açısı güneşin konumuna göre hareketlendirilebilir.

Aktarılabilen ve depolanabilen ısı enerji miktarını arttırmak için öngörülen yöntemler ise;

- Sistemin uygulama hacmi artırılabilir. Sıcak su tank kapasitesi artırılabilir.
- Sistemden geçen boru uzunluğu ve çapı artırılıp, akışkanın debisini azaltarak daha verimli bir ısı transferi sağlanabilir.
- Sistemde sudan farklı olarak ısıl geçirgenliği daha yüksek olan bir akışkan kullanılabilir.

- Daha iyi ısı transferine imkan sağlayan boru malzemesi veya daha az et kalınlığı olan boru seçimi yapılabilir. (Basınç ve dayanıklılık testlerine tabi tutularak)

Modellemesinin yapıldığı TKIP ve BTES uygulamaları soğuk iklime sahip ancak güneş alan veya jeotermal kaynaklara yakın bölgelerde kullanım için gayet uygun sistemlerdir. Hesaplar dâhilinde verilen aralıkta yeterli ısı enerjisi üretilememesinin temel nedeni seğtiğimiz sistem hacminin küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Yukarıdaki verim artış yöntemlerinin uygulanması dâhilinde oldukça TKIP ve BTES'in akılcı ve çevreci sistemler olduğu ispatlanmıştır.





KAYNAKLAR

- Alkan, R., 2014. *Farklı Soğutucu Akışkanlar İçin Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Termoekonomik Analizi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Al-Khalıdı, M., 2018. *Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Isparta Şartlarında Bir Isıtma Uygulaması* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Andújar Márquez, J., Martínez Bohórquez, M., & Gómez Melgar, S. 2016. Ground thermal diffusivity calculation by direct soil temperature measurement. *Application to very low enthalpy geothermal energy systems, Sensors*, **16** (3): 306.
- Anonim, 2004. Toprak Kaynaklı Isı pompası, uygulamaları ve hesaplamaları ile ilgili bilgiler, <http://www.dicle.edu.tr/Contents/c1bc26e3-4692-4a8e-933e-04ef617ac1df.doc>. Dicle Üniversitesi, Diyarbakır. Erişim Tarihi 14.04.2019
- Anonim, 2011. AutoCad'de Örnek bir kalorifer projesi. <http://antmekanik.com/?p=294>. Erişim Tarihi 10.01 2019
- Anonim, 2015a. Sonlu elementler yöntemi, nedir ve kullanım alanları. <http://roboturka.com/abaqus/sonlu-elemanlar-yontemiwhat-is-fea/>. Erişim tarihi 02.05.2019
- Anonim, 2016a. Isı pompası, genel çalışma prensibi ile ilgili gösterim. <https://www.thesisat.org/isi-pompasi-nedir-isi-pompasi-nasil-calisir.html>. Tesisat Bilgi ve Haber Portalı. Erişim tarihi: 01.05.2019
- Anonim , 2015b, İllere göre şebeke suyu sıcaklıkları. <http://www.svsld.com.tr/gunes3.htm>. SVS Enerji Sistemleri, İstanbul. Erişim tarihi: 01.04.2018
- Anonim , 2016b. İllere göre toprak sıcaklık maksimum ve minimum toprak sıcaklık değerleri raporu. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx> Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim tarihi: 10.04.2019
- Anonim, 2016c. Güneş enerjisi kollektör hesabı ve tesisat bağlantıları. <https://www.thesisat.org/gunes-enerjisi-kollektor-hesabi-ve-tesisat-baglantilari.html>. Tesisat Bilgi ve Haber Portalı. Erişim Tarihi 10.01 2019
- Anonim, 2017. Toprak kaynaklı ısı pompası teknik özellikleri. http://formklima.com/UserFiles/Catalogue/2018_Climate%20Master.pdf. Form Klima A.Ş., İstanbul. Erişim tarihi 02.04.2019
- Başkal, A., 2011. *Duvar dan Isıtma Ve Soğutmalı Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Performansının İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayraktar, M., 2015. *Toprak Kaynaklı Isı Pompası Destekli Pasif Ev Tasarımının Karabük İlinde Uygulanması* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Cruickshanks, Frank B., O. Anderson, and James Bardsley.,2007. Borehole sealing in a coaxial heat exchanger by bentonite treatment. *Report Prepared for Environment Canada, Climate Change Division (Atlantic Region), Halifax, Dartmouth, Canada.*

- Çakmaz, T., 2007. *Termal Enerjinin Yeraltında Depolanması ve Toprak Kaynaklı Dikey Borulu Isı Pompalı Sistemler İçin Ekserji Analizi* (doktora tezi, basılmamış) YTU, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çengel Y., Boles M.A.,2002. The Second Law of Thermodynamics, Chap.5. *Thermodynamic An Engineering Approach*, 4th ed. Mc Graw Hill, Boston, England.
- Demir, H., 2006. *Toprak Kaynaklı Isı Pompası Ve Toprak Isı Değiştiricilerinin Optimizasyonu ve Geliştirilmesi* (doktora tezi, basılmamış). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dumlu, S. 2012. *Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Ekonomik Analizi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Elbir, A., 2010. *Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Termodinamik Analizi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Emmi, G., Zarrella, A., De Carli, M., and Galgaro, A., (2015). An analysis of solar assisted ground source heat pumps in cold climates. *Energy Conversion and Management*, **106**, 660-675.
- Erdem, S.,2007. *Villa Isıtmasında Ve Soğutmasında Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Ekonomikliğinin Analizi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Esen, H., 2007. *Düşey Borulu Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Konut İklimlendirme Sistemlerinde Mevsimlik Davranışının Araştırılması* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Evirgen Y.F., (2009), *Karayollarında Buzlanmayı Engelleyici Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Analizi ve PLC-SCADA İle Denetimi* (yüksek lisans tezi, basılmamış) Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güler, F., 2018. *Evsel Uygulama İçin Hibrit Bir Toprak Kaynaklı Isı Pompası sisteminin Nümerik Analizi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Gültekin, A., 2014. *Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinde Kuyular Arası Uzaklığın Performansa Etkisinin Deneysel Ve Sayısal İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güven, Ş., 2002. *Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Diğer Sistemlerle Karşılaştırılması* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Hepbaşı A. ve Hancıoğlu E. 2001 Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı pompalarının tasarımı, testi ve fizibilitesi. *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*. 3-6, Ekim, Konya: 521-564.
- Horzum, F., 2018. *Bir Turizm Tesisinde Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Termodinamik Analizi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Incropera, F, P., Dewitt, P.,1996. Fundamentals of Heat and Mass Transfer Internal 4th ed, , Chap.8. *Internal Flow*, Willey, United States of America, 340.
- KaKac, S., E. Paykoc, and Y. Yener., 1989. Storage of solar thermal energy. *Energy Storage Systems*. Springer: 129-161.
- Karaduman, B., 2017 Isı kaybı hesabı. <https://docplayer.biz.tr/43026685-3-isi-kaybi-hesabi-3-1-iletimsel-isi-kaybi.html>. Erişim tarihi 13.04.2019

- Karakuş, S., 2016. Isı transferi yöntemleri ve ısı iletkenlik katsayısının önemi. <https://www.muhendisbeyinler.net/isi-transfer-yontemleri-ve-isi-iletkenlik-katsayisinin-onemi/>. Erişim tarihi 02.05.2019
- Kayaci, N., ve Demir, H. 2018.. Numerical modelling of transient soil temperature distribution for horizontal ground heat exchanger of ground source heat pump. *Geothermics*, (73): 33-47
- Kıncay, O., 2019. Isı pompaları <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/IsiPompasi.pdf>. Yıldız Teknik Üniversitesi, İzmir Erişim Tarihi 15.06.2018
- Liu, Z., Yao, Y. and Wu, H., 2013. Numerical modeling for solid–liquid phase change phenomena in porous media: Shell-and-tube type latent heat thermal energy storage. *Applied energy*, **112**: 1222-1232.
- Miles, L. 1994 , Heat pump theory and services. **Delmar Publishers Inc**
- MTA, 2005. Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri, MTA, Ankara
- Orman, B., 2018. Soğutma makinelerinin tarihçesi <https://www.enerjimuhendisleri.com/kose-yazisi/oku/soğutma-makinelerinin-tarihcesi>. Erişim Tarihi 15.06.2018
- Özdemir, M., 2011. **R407C Soğutucu Akışkan Kullanılan Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Performansının Deneysel İncelenmesi** (doktora tezi, basılmamış). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özgener, L., & HEPBAŞLI, A., 2003. HVAC sistemlerinde ekserji analizinin gerekliliği ve uygulamaları. **VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi**, 1-14.
- Özsoy, A., 2015. Güneş enerjisinin ısıtma amaçlı mevsimlik depolanması ve ısı pompası destekli. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2): 55-59.
- Öztürk, M., (2015). **Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Toprak Neminin Isı Pompasının Enerji Tüketimine Etkisi** (yüksek lisans tezi, basılmamış). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Patlar, Ö. 2006 **Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Ekserji Analizi** (yüksek lisans tezi, basılmamış). Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Reuss, M., Beck, M., and Müller, J. P., 1997. Design of a seasonal thermal energy storage in the ground. *Solar energy*, **59** (4-6): 247-257.
- Saeidi, R., Noorollahi, Y., and Esfahanian, V. ,2018. Numerical simulation of a novel spiral type ground heat exchanger for enhancing heat transfer performance of geothermal heat pump. *Energy Conversion and Management*, (168): 296-307.
- Selvi, U., 2002. **Toprak Kaynaklı Isı Pompaları Dizaynı Ve Lpg'li Isıtma Sistemleriyle Tekno-Ekonomik Karşılaştırılması** (yüksek lisans tezi, basılmamış). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Trillat-Berdal, V., Souyri, B., and Achard, G., 2007. Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors. *Applied Thermal Engineering*, **27** (10): 1750-1755.
- Tunçel, E., 2011. **Bolu ve Çevresi Özelinde Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Sayısal İncelenmesi** (yüksek lisans tezi, basılmamış). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Turan, D., & Yönetken, A. (2016). Enerji depolama sistemlerinin araştırılması ve analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16** : 113-121.

- Turgut, B. 2002 ***Yeraltında Termal Enerji Depolama Tekniklerinde Belirleyici Koşulların İncelenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Uzun, M.H., 2010 ***Güneş Enerjisi Depolama Olanakları ve Bir Yöntemin Değerlendirilmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmamış). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya.
- Ünlü, K., (2005) ***Hava Ve Toprak Kaynaklı Isı Pompalarına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi*** (doktora tezi, basılmamış). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Wang, Y., Xia, T. D., Zheng, H., and Feng, H. X., (2011). Stearic acid/silica fume composite as form-stable phase change material for thermal energy storage. ***Energy and Buildings***, **43** (9): 2365-2370.
- Willemsen, G., Bakema, G., and Snijders, A. L. ,1994. Status of cold storage in aquifers in the netherlands in 1994. in aquifer thermal energy storage. ***International Symposium*** : 41-59.
- Yılmazoğlu, M Mustafa Zeki., 2010. Isı enerjisi depolama yöntemleri ve binalarda uygulanması. ***Politeknik Dergisi*** ,13.1: 33-42.

ÖZ GEÇMİŞ

Hazel SAĞLAM ÖZDAMAR 1985 yılında Elazığ'da doğdu. İlköğretimi Süleyman Uyar İlköğretim Okulun'da, ortaöğretimi Dumlu Pınar İlköğretim Okulu ve Liseyi Özel Halime Hatun Kız Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliğinden mezun oldu. 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Kimya Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Öğrenimine başladı. 2016 yılından itibaren Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Başkale Meslek Yüksek Okulunda Elektrik Bölümünde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 01/...07../20109...

Tez Başlığı / Konusu:

Van Bölgesi İçin Yenilikçi Güneş Destekli Toprak kaynaklı Isıtma Pompası Modellenmesi ve Simülasyonu ...

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 137 sayfalık kısmına ilişkin, 01/...07/2019. tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin...intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6..... (0.4...) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

01/07/19

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Hazel SAĞLAM ÖZDAMAR

Öğrenci No: 159121167.....

Anabilim Dalı: Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Programı: Kimya Mühendisliği

Statüsü: Y. Lisans

Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Doç. Dr. Suha Orçun MERT

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

(Unvan, Ad Soyad, İmza)