T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DUYULUR ISI DEPOLAMADA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

EVREN OSMA

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Berrin YILMAZ

EDİRNE-2023

EVREN OSMA'nın hazırladığı "**DUYULUR ISI DEPOLAMADA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir **Doktora tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Doç. Dr. Berrin YILMAZ (Danışman)	…….....
Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA	..……..
Prof. Dr.-Ing. Ahmet CAN	..……..
Dr. Öğr. Üyesi Deniz TAŞKIN	…….
Dr. Öğr. Üyesi İsmet TIKIZ	…….

Tez Savunma Tarihi: 03/01/2023

Bu tezin Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Doç. Dr. Berrin YILMAZ

Tez Danışmanı

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI DOKTORA PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

02/01/2023

Evren OSMA

Doktora Tezi
Duyulur Isı Depolamada Nanoakışkan Kullanımının Deneysel Araştırılması
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Enerji krizi tıpkı 1970'lerde olduğu gibi, günümüzde de ciddi bir seviyeye ulaşmıştır. Bu nedenle sadece enerjinin üretimi değil, aynı zamanda enerjinin uzun vadede depo edilmesi de son derece önemlidir. Öyle ki, enerji hangi formda olursa olsun, gerektiğinde kolaylıkla kullanıma hazır hâle getirilebilecek şeklide depo edilebilmelidir. Bu bağlamda termal enerji depolama, enerjinin korunumu için önemli bir teknolojidir.

Termal enerji depolamanın önemli avantajlarından birisi, bu depolama şeklinin ısıtma ve soğutma uygulamaları için uygun olmasıdır. Dolayısıyla, termal enerji depolama, çevre dostu enerjiden yararlanmada nüfusun ihtiyaçlarını temin etme konusunda da önemli bir katkı sağlayabilir.

Günümüzde nanoteknoloji nüfuz alanını giderek arttırmaktadır. Özellikle termal enerjinin depolanmasında nanoteknolojiden yararlanma olanağı "nanoakışkan" teriminin literatüre kazandırıldığı 1995 yılından beri özel bir araştırma konusu olmuştur. Bu konu üzerindeki çalışmalar son yıllarda gittikçe yoğunlaşmaktadır.

Sunulan tez çalışmasında, güneş enerjisi ve atık ısı uygulamalarında kullanılmak üzere farklı ısı depolama maddelerinin duyulur ısı depolama kapasiteleri ve şarj-deşarj periyotları deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmanın gerçekleştirilebilmesi amacıyla; öncelikle bir ısı depolama ünitesi tasarlanmış ve yine ilgili bağıntılar kullanılarak, bu depolama ünitesi için de iki uygun ısı değiştiricisi (serpantin) tasarlanıp, üretilmiştir. Deney tesisatının oluşturulmasıyla birlikte, ısı depolama ünitesine başta su bazlı Al_2O_3 (alümina)'ün %1.0'lık nanoparçacık hacim derişimi ile elde edilen su-Al_2O_3 nanoakışkanı, gliserin, ısı transfer yağı ve şebeke suyu ayrı ayrı yerleştirilmiş ve her bir depolama maddesiyle, önceden belirlenmiş şartlar altında (Birinci şart: Depolama

ünitesine sadece ısı girişi var, ikinci şart: Depolama ünitesinden sadece ısı çıkışı var, üçüncü şart: Hem depolama ünitesine ısı girişi hem de depolama ünitesinden ısı çıkışı var.) 23 deney yürütülmüştür. Toplam 92 deney gerçekleştirilmiştir. Deneyler süresince elde edilen veriler yardımı ile depolama maddelerinin depolama kapasiteleri, depolama ünitesinin enerji dengesi ve sıcaklık dağılımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada özellikle nanoakışkanın, diğer ısı depolama maddeleriyle karşılaştırılması özel bir yer tutmuştur. Elde edilen verilerle yapılan değerlendirmeler şu gerçeği göstermiştir: Nanoakışkan, ısınma sürecinde 2.1 l/dk'lık bir pompa debisinde ve de depodan ısı çekilmesi sırasında da 1.2 l/dk, 1.5 l/dk, 1.8 l/dk ve 2.1 l/dk'lık kullanım suyu musluk debilerinde, diğer depolama maddelerine göre kesin bir üstünlük kurmuştur.

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 225

Anahtar Kelimeler : Duyulur Isı, Duyulur Isı Depolama, Isıl Enerji, Nanoakışkan, Al_2O_3 (Alümina)

Doctoral Thesis
Investigation of the Usage of Nanofluids in Sensible Heat Storage
Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

As it happened also in 1970's, today energy crisis has reached to a critical level. Thus, not only the production of energy, but also the energy storage is remarkably important in the long term. Such an extent that, no matter in which form the energy is, it should be storaged as operationalized, in case you need it. In this context, thermal energy storage is a substantial technology for conservation of energy.

One notable advantage of thermal energy storage is, that it is quite applicable for heating and cooling technics. Therefore, thermal energy storage can make a remarkable contribution, when it is about supplying the needs of people who make use of eco-friendly energy

Today, nanotechnology is gradually enhancing its area of influence. Most particularly, benefiting from the potentiality of using nanotechnology, in thermal energy storage, has become a specific research subject, since the date 1995, the term of "nanotechnology" brougt into the literature. Studies on this subject have been escalated in the recent years.

In this thesis study presented, the sensible heat capacity and the charge-discharge periods of several heat storage materials were investgiated experimentally in order to exploit solar energy and waste heat applications. Firstly, a heat storage unit has been designed to carry out this experimental study and also for this storage unit, two optimal heat exchangers (serpentine) specifically designed and manufactured using the related equations (formulae). Following the construction of the experiment equipment, as one of

them is water-Al_2O_3 nanofluid, which was prepared from 1.0% concentration of water-based Al_2O_3 nanoparticle (alumina) by volume, the others be glycerol, heat transfer oil and tap water, as the heat storage substances, filled in the storage unit seperately and then 23 experiments for each were accomplished under specific conditions (1st condition: There's only a heat input into the storage unit, 2nd condition: There's only a heat output from the storage unit, 3rd condition: There are both heat input and output into/from the storage unit.). 92 experiments conducted successfully totally. Through the data obtained during the experiments conducted; the storage capacity of the storage materials, the energy balance of the storage unit and the temperature distribution in the storage unit were evaluated comparatively.

In the study, the comparison of the nanofluid to other heat storage substances has a special place. The data obtained from the experiments reveal that fact: The nanofluid has established a certain superiority over the other storage substances not only on the condition of the flow rate of the pump which has a 2.1 l/min value but also on during the heat drawn out of the storage unit where the tap water having flow rates of 1.2 l/min, 1.5 l/min, 1.8 l/min and 2.1 l/min.

Year : 2023

Number of Pages : 225

Keywords : Sensible Heat, Sensible Heat Storage, Thermal Energy, Nanofluid, Alumina (Al_2O_3)

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana her zaman yardımcı olan, değerli fikirleriyle ve tecrübesiyle yol gösteren ve desteklerini hiç esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Berrin YILMAZ'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında bana maddi destek sağlayan Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na, değerli görüş ve tecrübelerinden yararlandığım, başta Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA olmak üzere tez çalışmamın belirli aşamalarında bana deneysel görüntüleme olanağı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Deniz TAŞKIN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Ufuk BAĞCI'ya, değerli arkadaşım Arş. Gör. Dr. Kadir AYDIN'a teşekkürü de bir borç bilirim.

Beni ömürleri boyunca maddi ve manevi olarak destekleyen aileme de sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **İV**

ABSTRACT ..... **Vİ**

TEŞEKKÜR ..... **Vİİİ**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **Xİİ**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **XVİİ**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **XİX**

BÖLÜM 1 ..... **1**

GİRİŞ **1**

1.1. Tezin Konusu ve Önemi **1**

1.2. Tezin Kapsamı **3**

1.3. Çalışmanın Amacı **4**

BÖLÜM 2 ..... **6**

ENERJİ DEPOLAMA **6**

2.1. Mekanik Enerjinin Depolanması **7**

2.2. Kimyasal Enerjinin Depolanması **7**

2.3. Biyolojik Enerjinin Depolanması **7**

2.4. Manyetik Enerjinin Depolanması **8**

2.5. Isıl Enerji Depolama **8**

BÖLÜM 3 ..... **10**

ISIL ENERJİ DEPOLAMA **10**

3.1. Isıl Enerji Depolama Yöntemleri **10**
3.1.1. Duyulur Isı Depolama 10
3.1.2. Gizli Isı Depolama 10
3.1.3. Termokimyasal Isı Depolama 11

3.2. Duyulur Isı Depolama Maddeleri **11**
3.2.1. Depolama Maddesi: Su 12
3.2.2. Depolama Maddesi: Termal yağlar 12
3.2.3. Depolama Maddesi: Nanoakışkanlar 13

BÖLÜM 4 ..... **15**

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **15**

BÖLÜM 5 ..... **20**

MATERYAL VE METOT **20**

5.1. Deney Tesisatının Tanıtımı **20**

5.2. Deney Tesisatının Tasarımı **22**
5.2.1. Depolama Ünitesinin Enerji Dengesi 22
5.2.2. Isı Değiştiricilerinin Tasarlanması 23

5.3. Nanoakışkana Ait Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Bağıntılar **29**

5.4. Deney Tesisatını Oluşturan Elemanlar **30**
5.4.1.Solid Polikarbon Depo (Depolama Ünitesi) 30
5.4.2. Termosifon 31
5.4.3. Termokupllar 31
5.4.4. Isı Değiştiricileri 32
5.4.5. Datalogger (Veri Kayıt Cihazı) 33
5.4.6. Debiölçer ve Dijital Debi Göstergesi 34
5.4.7. Otomatik Kontrol Ünitesi 34
5.4.8. Elektrik Sayacı 35
5.4.9. Sirkülasyon Pompası 35
5.4.10. Deney Tesisatında Kullanılan Diğer Ekipmanlar ve Deney Akışkanları 36

5.5. Deneyler **37**
5.5.1. İlk Kademe Deneyler 37
5.5.2. İkinci Kademe Deneyler 38

5.5.3. Üçüncü Kademe Deneyler 39

BÖLÜM 6 41

6.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 41
6.1.1. Isı Depolama Ünitesine Sadece Isı Girişi Olduğu Duruma Ait Sonuçlar 41
6.1.2. Depolama Ünitesinden Sadece Kullanım Suyu İle Isı Çekilmesi Durumuna Ait Sonuçlar 60
6.1.3. Isı Depolama Ünitesine Isı Girişinin Ve Isı Depolama Ünitesinden Isı Çıkışının Olduğu Durum İçin Sonuçlar 83

BÖLÜM 7 149

SONUÇLAR VE TARTIŞMA 149

7.1. Depolama Ünitesine Sadece Isı Girişinin Olduğu Duruma Dair Çıkarımlar. 149

7.2. Depolama Ünitesinden Sadece Kullanım Suyuyla Isı Çıkışı Olduğu Duruma Dair Çıkarımlar 153

7.3. Depolama Ünitesine Isı Girişi Ve Kullanım Suyu ile Isı Çıkışı Olduğu Duruma Dair Çıkarımlar 157

KAYNAKLAR 171

ÖZGEÇMİŞ 176

EKLER 177

***EK A.* Suya Dair Deney Verileri 177**

***EK B.* Gliserine Dair Deney Verileri 181**

***EK C.* Nanoakışkana Dair Deney Verileri 185**

***EK D.* Isı Transfer Yağına Dair Deney Verileri 189**

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Alan, m^2
A_{depo}	Depo yüzey alanı, m^2
A_{gir}	1 numaralı ısı değiştiricisinin yüzey alanı, m^2
A_{kul}	2 numaralı ısı değiştiricisinin yüzey alanı, m^2
C_p	Sabit basınçta özgül ısı, J/gK
$C_{p_{ısı}}$	Isı taşıyıcı akışkanın özgül ısı değeri, kJ/kgK
$C_{p_{kul}}$	Kullanım suyunun özgül ısı değeri, kJ/kgK
D	Çap, m
D_{gir}	1 numaralı ısı değiştiricisini oluşturan borunun dış çapı, m
D_{kul}	2 numaralı ısı değiştiricisini oluşturan borunun dış çapı, m
$d_{dış}$	Boru dış çapı, m
dt	Zamanın diferansiyeli
$d_{iç}$	İç çap, m
E	Enerji, J
g	Yerçekimi ivmesi, m/s^2
Gr	Grashof sayısı
h	Isı taşınım kabiliyeti W/m^2K
$h_{dış}$	Dış taraftaki ısı taşınım kabiliyeti, W/m^2K
$h_{dış,ısı}$	2 numaralı ısı değiştiricisinin dış tarafındaki ısı taşınım kabiliyeti, W/m^2K
$h_{dış,kul}$	1 numaralı ısı değiştiricisinin dış tarafındaki ısı taşınım kabiliyeti, W/m^2K
$h_{iç}$	İç taraftaki ısı taşınım kabiliyeti, W/m^2K
$h_{iç,ısı}$	2 numaralı ısı değiştiricisinin iç tarafındaki ısı taşınım kabiliyeti, W/m^2K

$h_{iç,kul}$	1 numaralı ısı değiştiricisinin iç tarafındaki ısı taşınım kabiliyeti, W/m²K
k	Isı iletim kabiliyeti, W/mK
$k_{bakır}$	Bakır borunun ısı iletim kabiliyeti, W/mK
$k_{bakır,45°C}$	45°C'deki bakır borunun ısı iletim kabiliyeti, W/mK
$k_{bakır,70°C}$	70°C'deki bakır borunun ısı iletim kabiliyeti, W/mK
k_{na}	Nanoakışkanın ısı iletim kabiliyeti, W/mK
k_{su}	Suyun ısı iletim kabiliyeti, W/mK
L_{gir}	2 numaralı ısı değiştiricisinin uzunluğu, m
L_{kul}	1 numaralı ısı değiştiricisinin uzunluğu, m
m	Kütle, kg
$\dot{m}$	Kütlesel debi, kg/s
$\dot{m}_{ısı}$	Isı taşıyıcı akışkanın kütlesel debisi, kg/s
$\dot{m}_{kul}$	Kullanım suyunun kütlesel debisi, kg/s
$Nu_{dış}$	Isı değiştirici borularının dış yüzeyindeki Nu sayısı
$Nu_{iç}$	Isı değiştiricilerin içerisindeki suya ait Nu değeri
Q	Isı, J
$\dot{Q}_{dep}(t)$	Depolama ünitesinde depo edilen (toplanan) ısıl güç, W
$\dot{Q}_{gir}$	1 numaralı ısı değiştiricisine aktarılan toplam ısıl güç, W
$\dot{Q}_{gir}(t)$	Depolama ünitesine ısı taşıyıcı akışkan ile aktarılan ısıl güç, W
$\dot{Q}_{kay}(t)$	Depolama ünitesinden çevresine olan kayıp ısıl güç, W
$\dot{Q}_{kul}$	2 numaralı ısı değiştiricisine aktarılan toplam ısıl güç, W
$\dot{Q}_{kul}(t)$	Depolama ünitesinden sıcak su kullanımı ile çekilen ısıl güç, W
Pr	Prandtl sayısı
Pr_{na}	Nanoakışkanın Prandtl sayısı
Pr_f	Baz (temel) akışkanın Prandtl sayısı
Pr_{su}	Suyun Prandtl sayısı
$r_{dış}$	Isı değiştiricileri oluşturan boruların dış yarıçapı , m
$r_{iç}$	Isı değiştiricileri oluşturan boruların iç yarıçapı, m

Ra	Rayleigh sayısı
Re	Re sayısı
Re_{cr}	Kritik Re sayısı
$Re_{ısı}$	Isıtma tarafındaki ısı değiştiricisine ait Re sayısı
Re_{kul}	Kullanım tarafındaki ısı değiştiricisine ait Re sayısı
S	Sarım sayısı
S_{gir}	1 numaralı ısı değiştiricisinin sarım sayısı
S_{kul}	2 numaralı ısı değiştiricisinin sarım sayısı
t	Zaman, s
t_0	Başlangıç zamanı, s
T	Sıcaklık, K
$T_{çd}$ (t)	Isı taşıyıcı akışkanın (suyun) depolama ünitesinden çıkış sıcaklığı, K
$T_{ç,d,1}$	Suyun 1 numaralı ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı, K
$T_{ç,d,2}$	Suyun 2 numaralı ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı, K
$T_{çev}$ (t)	Çevre (ortam) sıcaklığı, K
$T_{çk}$ (t)	Kullanım suyunun depolama ünitesinden çıkış sıcaklığı, K
$T_{d_{ort}}$ (t)	Depo içerisindeki depolama maddesinin ortalama sıcaklığı, K
T_{gd} (t)	Isı taşıyıcı akışkanın depolama ünitesine giriş sıcaklığı, K
$T_{g,d,1}$	Suyun 1 numaralı ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı, K
$T_{g,d,2}$	Suyun 2 numaralı ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı, K
T_{gk} (t)	Şebeke suyu sıcaklığı, K
T_s	Boru yüzey sıcaklığı, K
T_∞	Depolama ünitesi içindeki su sıcaklığı, K
T_1	İlk sıcaklık, K
T_2	Son sıcaklık, K
U	Toplam ısı transfer kabiliyeti, W/mK
U_{depo}	Depo içerisindeki toplam ısı transfer kabiliyeti, W/mK
U_{gir}	Isıtma tarafındaki ısı değiştiricisi için toplam ısı transfer kabiliyeti, W/mK

U_{kul}	Kullanım tarafındaki ısı değiştiricisi için toplam ısı transfer kabiliyeti, W/mK
V	Hacim, m^3
$\sum_{t=t_0}^{t=t} Q_{dep}$	Belirli bir zaman aralığında depolanan toplam ısı, J
$\sum_{t=t_0}^{t=t} Q_{gir}$	Depolama ünitesine verilen toplam ısı, J
$\sum_{t=t_0}^{t=t} Q_{kay}$	Depolama ünitesinden çevresine olan kayıp ısı, J
$\sum_{t=t_0}^{t=t} Q_{kul}$	Depolama ünitesinden sıcak su kullanımı ile çekilen toplam ısı, J
α	Isıl yayınım kabiliyeti, m^2/s
α_{na}	Nanoakışkanın ilgili sıcaklıktaki ısıl yayınım kabiliyeti, m^2/s
β	Genleşme katbiliyeti, 1/K
ΔT_{lm}	Ortalama logaritmik sıcaklık farkı, K
ΔT_1	İlk ortalama logaritmik sıcaklık farkı, K
ΔT_2	Son ortalama logaritmik sıcaklık farkı, K
μ	Dinamik viskozite, Pa.s
μ_{na}	İlgili sıcaklıkta nanoakışkanın dinamik viskozitesi, Pa.s
μ_{su}	İlgili sıcaklıkta suyun dinamik viskozitesi, Pa.s
υ	Suyun kinematik viskozitesi, m^2/s
υ_{na}	Nanoakışkanın kinematik viskozitesi, m^2/s
π	Pi sayısı
ρ	Özkütle, kg/m^3
ρ_{na}	Nanoakışkanın özkütlesi, kg/m^3
ρ_{np}	Nanoparçcaığın özkütlesi, kg/m^3
ρ_{su}	Suyun özkütlesi, kg/m^3
φ	Nanoakışkanın hacimsel derişimi

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
DKV	Debi kısma vanası
FDM	Faz değiştiren maddeler
HTC	Hava tahliye cihazı
IED	Isıl enerji depolama
LED	Light-emitting diode (Işık yayan diyot)
LPG	Liquefied petroleum gas (Sıvılaştırılmış petrol gazı)
PPRC	Polyproylene random copolimer (Polipropilen rastgele kopolimer)
TFT	Thin-film transistor (İnce film transistör)

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1. Isı değiştiricisi tasarım parametreleri 24
Çizelge 5.2. Film sıcaklığına bağlı olarak 1 ve 2 numaralı ısı değiştiricileri için depo tarafındaki hesaplama sonuçları 29
Çizelge 5.3. Isı değiştiricileri hesaplama sonuçları 29
Çizelge 6.1. Isı depolama maddelerinin ısıl yayınım kabiliyetleri (T=25°C) 46
Çizelge 6.2. Isı depolama maddelerinin ısı iletim kabiliyetleri (T=25°C) 47
Çizelge 7.1. Sadece ısıtma sürecindeki karakteristik deneylere ait veriler 150
Çizelge 7.2. Sadece ısıtma sürecindeki karakteristik deneylerde yer alan ısı depolama maddelerinin depolanabilirlikleri 151
Çizelge 7.3. Sadece ısıtma sürecindeki karakteristik deneylerde, depolama ünitesi içindeki sıcaklıklar 152
Çizelge 7.5. Sadece depodan ısı çekilmesi sırasındaki karakteristik deneylerde, depolama ünitesi içindeki ortalama merkezi nokta sıcaklıkları 156
Çizelge 7.6. Su için, depodan çekilen toplam ısılar (kW) 157
Çizelge 7.7. Nanoakışkan için, depodan çekilen toplam ısılar (kW) 157
Çizelge 7.8. Gliserin için, depodan çekilen toplam ısılar (kW) 158
Çizelge 7.9. Isı transfer yağı için, depodan çekilen toplam ısılar (kW) 158
Çizelge 7.11. Nanoakışkan için, toplam kayıp ısılar (kW) 159
Çizelge 7.12. Gliserin için, toplam kayıp ısılar (kW) 159
Çizelge 7.13. Isı transfer yağı için, toplam kayıp ısılar (kW) 160
Çizelge 7.14. Su için, ortalama kullanım suyu çıkış sıcaklıkları (°C) 161
Çizelge 7.15. Nanoakışkan için, ortalama kullanım suyu çıkış sıcaklıkları (°C) 161
Çizelge 7.16. Gliserin için, ortalama kullanım suyu çıkış sıcaklıkları (°C) 161
Çizelge 7.17. Isı transfer yağı için, ortalama kullanım suyu çıkış sıcaklıkları (°C) 162
Çizelge 7.18. Su için, depolama ünitesinin en alt noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C) 162
Çizelge 7.19. Nanoakışkan için, depolama ünitesinin en alt noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C) 163
Çizelge 7.20. Gliserin için, depolama ünitesinin en alt noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C) 163
Çizelge 7. 21. Isı transfer yağı için, depolama ünitesinin en alt noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C) 163
Çizelge 7.22. Su için, merkezi sıcaklıklardaki düşüş (°C) 164
Çizelge 7.23. Nanoakışkan için, merkezi sıcaklıklardaki düşüş (°C) 164
Çizelge 7.24 Gliserin için, merkezi sıcaklıklardaki düşüş (°C) 165
Çizelge 7.25. Isı transfer yağı için, merkezi sıcaklıklardaki düşüş (°C) 165

Çizelge 7.26. Su için, depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklıklar (°C) 166
Çizelge 7.27. Nanoakışkan için, depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklıklar (°C) 166
Çizelge 7.28. Gliserin için, depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklıklar (°C) ... 166
Çizelge 7.29. Isı transfer yağı için, depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklıklar (°C) 167
Çizelge 7.30. Su için, depolama ünitesinin en üst noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C) 167
Çizelge 7.31. Nanoakışkan için, depolama ünitesinin en üst noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C) 168
Çizelge 7.32. Gliserin için, depolama ünitesinin en üst noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C) 169
Çizelge 7.33. Isı transfer yağı için, depolama ünitesinin en üst noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C) 169

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Isıl enerji depolama prosesi 9
Şekil 2.2. Genel ısıl enerji depolama sisteminde işlem aşamaları 9
Şekil 5.1. Deney tesisatının şematik gösterimi 21
Şekil 5.2. Deney tesisatının genel görünümü 21
Şekil 5.3. Depolama ünitesi genel enerji dengesi 22
Şekil 5.4. Isı değiştiricilerin depolama ünitesi içerisindeki görünümü 24
Şekil 5.5. Solid polikarbon depo 31
Şekil 5.6. Termosifon 31
Şekil 5.7. J tipi termokupl 32
Şekil 5.8. K tipi termokupl 32
Şekil 5.9. Depodan kullanım suyuna ısı aktarımı için kullanılan ısı değiştiricisi 33
Şekil 5.10. Termosifondan depoya ısı aktarımı için kullanılan ısı değiştiricisi 33
Şekil 5.11. Datalogger 34
Şekil 5.12 Dijital debi göstergesi ve debimetre 34
Şekil 5.13. Otomatik kontrol ünitesi 35
Şekil 5.14. Elektrik sayacı 35
Şekil 5.15. Sirkülasyon pompası 36
Şekil 5.16. Basınçölçer 36
Şekil 5.17. Emniyet ventili 37
Şekil 6.1. 2.1 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesine giren ısı enerjisinin ısı depolama maddelerine göre dağılımı 42
Şekil 6.2. 1.8 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesine giren ısı enerjisinin ısı depolama maddelerine göre dağılımı 42
Şekil 6.3. 1.5 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesine giren ısı enerjisinin ısı depolama maddelerine göre dağılımı 43
Şekil 6.4. Deneyler süresince depolama ünitesine giren toplam ısılar 44

Şekil 6.5. 2.1 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisinin depolama maddelerine göre depolanış dağılımı 45
Şekil 6.6. 1.8 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisinin depolama maddelerine göre depolanış dağılımı 45
Şekil 6.7. 1.5 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisinin depolama maddelerine göre depolanış dağılımı 46
Şekil 6.8. Depolama ünitesinde bulunan depolama maddelerinin depoladığı toplam ısı enerjisinin pompa debisine bağlı değişimi 48
Şekil 6.9. Çeşitli pompa debilerinde depolama maddelerinin ısı depolama kapasiteleri 48
Şekil 6.10. Isı depolama maddelerinin özkütleleri, sabit basınçta özgül ısıları ve ısı depolama kapasiteleri 49
Şekil 6.11. 2.1 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kayıplarının depolama maddelerine göre dağılımı 50
Şekil 6.12. 1.8 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kayıplarının depolama maddelerine göre dağılımı 51
Şekil 6.13. 1.5 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kayıplarının depolama maddelerine göre dağılımı 51
Şekil 6.14. Pompa debisine bağlı olarak depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan toplam ısı kayıpları 52
Şekil 6.15. Pompa debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 53
Şekil 6.16. Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 53
Şekil 6.17. Pompa debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 54
Şekil 6.18. Pompa debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 55
Şekil 6.19. Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 55
Şekil 6.20. Pompa debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 56

Şekil 6.21. Pompa debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 57
Şekil 6.22. Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 57
Şekil 6.23. Pompa debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 58
Şekil 6.24. Pompa debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 59
Şekil 6.25. Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 59
Şekil 6.26. Pompa debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 60
Şekil 6.27. 2.4 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen ısı 62
Şekil 6.28. 2.1 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen ısı 62
Şekil 6.29. 1.8 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen 63
Şekil 6.30. 1.5 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen ısı 63
Şekil 6.31. 1.2 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen ısı 64
Şekil 6.32. Depolama ünitesinden çekilen toplam ısının kullanım suyu musluk debisine bağlı değişimi 64
Şekil 6.33. 2.4 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı 65
Şekil 6.34. 2.1 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı 66
Şekil 6.35. 1.8 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı 66
Şekil 6.36. 1.5 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı 67

Şekil 6.37. 1.2 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı 67
Şekil 6.38. Kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi 68
Şekil 6.39. Kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi 69
Şekil 6.40. Kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi 69
Şekil 6.41. Kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi 70
Şekil 6.42. Kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi 70
Şekil 6.43. Kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 71
Şekil 6.44. Kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 72
Şekil 6.45. Kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 72
Şekil 6.46. Kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 73
Şekil 6.47. Kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 73
Şekil 6.48. Kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 74
Şekil 6.49. Kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 75
Şekil 6.50. Kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 75
Şekil 6.51. Kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 76
Şekil 6.52. Kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 76

Şekil 6.53. Kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 77
Şekil 6.54. Kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 78
Şekil 6.55. Kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 78
Şekil 6.56. Kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 79
Şekil 6.57. Kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 79
Şekil 6.58. Kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 81
Şekil 6.59. Kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 81
Şekil 6.60. Kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 82
Şekil 6.61. Kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 82
Şekil 6.62. Kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 83
Şekil 6.63. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk için depolama ünitesinden çekilen ısıların dağılımı 84
Şekil 6.64. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk için depolama ünitesinden çekilen ısıların dağılımı 84
Şekil 6.65. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk için depolama ünitesinden çekilen ısıların dağılımı 85
Şekil 6.66. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk için depolama ünitesinden çekilen ısıların dağılımı 85
Şekil 6.67. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk için depolama ünitesinden çekilen ısıların dağılımı 86
Şekil 6.68. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 87

Şekil 6.69. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 88
Şekil 6.70. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 88
Şekil 6.71. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 89
Şekil 6.72. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 89
Şekil 6.73. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı 90
Şekil 6.74. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı 91
Şekil 6.75. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı 92
Şekil 6.76. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı 93
Şekil 6.77. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı 94
Şekil 6.78. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı 95
Şekil 6.79. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/ dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı 95
Şekil 6.80. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı 96
Şekil 6.81. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı 96

Şekil 6.82. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı 97
Şekil 6.83. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 98
Şekil 6.84. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 98
Şekil 6.85. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 99
Şekil 6.86. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 99
Şekil 6.87. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 100
Şekil 6.88. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı 101
Şekil 6.89. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı 101
Şekil 6.90. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı 102
Şekil 6.91. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı 102
Şekil 6.92. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı 103
Şekil 6.93. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı 104
Şekil 6.94. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı 104
Şekil 6.95. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı 105
Şekil 6.96. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı 105
Şekil 6.97. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı 106

Şekil 6.98. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 107
Şekil 6.99. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 107
Şekil 6.100. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 108
Şekil 6.101. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 108
Şekil 6.102. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı 109
Şekil 6.103. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı 110
Şekil 6.104. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı 110
Şekil 6.105. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı 111
Şekil 6.106. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı 111
Şekil 6.107. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı 112
Şekil 6.108. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 113
Şekil 6.109. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 113
Şekil 6.110. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 114
Şekil 6.111. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 114
Şekil 6.112. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 115
Şekil 6.113. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 116

Şekil 6.114. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 116
Şekil 6.115. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 117
Şekil 6.116. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 117
Şekil 6.117. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 118
Şekil 6.118. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 119
Şekil 6.119. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 119
Şekil 6.120. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 120
Şekil 6.121. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 120
Şekil 6.122 Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 121
Şekil 6.123. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 122
Şekil 6.124. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 122
Şekil 6.125. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 123
Şekil 6.126. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 123
Şekil 6.127. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 124
Şekil 6.128. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 125
Şekil 6.129. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 125

Şekil 6.130. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 126
Şekil 6.131. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 126
Şekil 6.132. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 127
Şekil 6.133. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 128
Şekil 6.134. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 128
Şekil 6.135. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 129
Şekil 6.136. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 129
Şekil 6.137. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 130
Şekil 6.138. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 131
Şekil 6.139. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 132
Şekil 6.140. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 132
Şekil 6.141. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 133
Şekil 6.142. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 133
Şekil 6.143. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 134
Şekil 6.144. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 135
Şekil 6.145. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 135

Şekil 6.146. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 136
Şekil 6.147. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 136
Şekil 6.148. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 137
Şekil 6.149. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 138
Şekil 6.150. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 138
Şekil 6.151. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 139
Şekil 6.152. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları 139
Şekil 6.153. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 140
Şekil 6.154. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 141
Şekil 6.155. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 141
Şekil 6.156. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 142
Şekil 6.157. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları 142
Şekil 6.158. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 143
Şekil 6.159. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 144
Şekil 6.160. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 144
Şekil 6.161. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 145

Şekil 6.162. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları 145
Şekil 6.163. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 146
Şekil 6.164. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 147
Şekil 6.165. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 147
Şekil 6.166. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 148
Şekil 6.167. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları 148

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Tezin Konusu ve Önemi

Enerji temel anlamda, fiziksel bir sistemin yararlı iş yapabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Enerji potansiyel enerji, kinetik enerji, mekanik enerji, ısıl (termal) enerji, kimyasal enerji, nükleer enerji, radyant enerji, ışık enerjisi, elektrik enerjisi ve ses enerjisi olarak sınıflandırılır.

Enerji depolaması ise sözü edilen enerji türlerini, belirli bir şekilde ve amaçla depo etmek ve istenildiğinde de yeniden kullanıma hazır hâle getirmek ifadesini içerir. Böylece kesintili bir enerji kaynağından âdeta kesintisiz bir enerji kaynağı yaratmak mümkün olmaktadır. Bu durum, örneğin güneş enerjisi için büyük bir önem arz etmektedir.

Enerji depolamasını günümüzde önemli hâle getiren temel etmen, yeryüzünde mevcut olan fosil temelli enerji kaynaklarının artan endüstriyelleşmeyle birlikte hızlıca ve kontrolsüzce tüketilmesi sonucu ciddi boyutlara ulaşan bir enerji krizidir. Özellikle 2008'de yaşanan geniş çaplı ekonomik krizle birlikte söz konusu enerji krizi daha da belirgin bir hâle gelmiştir.

Yukarıda yazılanlara ilave olarak; örneğin gerektiği gibi yalıtılmamış bir binada veya tesiste, özellikle ısı enerjisi depolamanın önemi artmaktadır. Böylesi bir durum özellikle sürdürülebilirliğin sağlanması açısından da gereklidir (Yılmazoğlu, 2010). Kaldı ki sürdürebilirlik şartlarını (kullanıcı konforu ve yüksek iç ortam kalitesi) yerine getirebilmek için talep edilen ısı enerjisiyle, kullanıma sunulan ısı enerjisi arasında sürekli bir dengenin bulunması zorunludur. Hatta ısıl enerji depolama sadece sürdürülebilirliği değil; bu kavramın yanında verimlilik kavramının önemini de vurgulamaktadır. Ancak ve

ancak ısıl enerji gerektiği ölçüde depolandığı takdirde bir sistemden yeterli ve hatta yüksek verimin elde edilmesinin mümkün olduğu nettir.

Isıl enerji depolama konusu, yukarıda sözü geçen iki kavramın (sürdürülebilirlik ve verimlilik) yanı sıra iklim krizi kavramı için de değerli bir gereksinimdir. Öyle ki; iklim krizi kapsamında, çeşitli gelişmiş ülkeler tarafından 2050'ye kadar yerine getirilmesi taahhüt edilen "net sıfır karbon" uygulaması atmosfere karbon salınımlarını sıfırlama hususunu içermektedir. İşte bugün uygulanacak doğru yatırımlar ve politikalarla, 2050'ye kadar yeterli düzeyde ısıl enerji depolaması mümkün kılınabilir. Bu durum, doğal olarak uzun vadeli plânları içermektedir. Kısa vadeli plânlamadaysa daha önce sözü edildiği gibi, ısıl yüklerin uygun bir şekilde karşılanması (telâfi edilmesi) hususu yatmaktadır. Hatta ısıl enerji, yine doğru ve uygun bir prosedürle, bir sistemdeki veya tesisteki pik yük gereksinimini rahatlıkla karşılayabilecek düzeyde de olabilir. (Scheepers vd., 2022)

Buraya kadar her üç kavram bağlamında, ısıl enerjinin neden depolanması gerektiği sorusuna gerekli yanıtlar verilmeye çalışılmıştır. Takip eden cümlelerde, tezin esasını oluşturan ısıl enerji-nanoakışkan etkileşimi konusuna değinilmiştir.

Isıl enerji depolama (IED) amacına uygun olarak, pek çoğu yapay olarak elde edilen çeşitli kimyasal maddeler ve bileşikler mevcuttur. Isıl enerji depolama alanında bu maddelerin ve bileşiklerin depolama kapasitesinin geliştirilmesine yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetlerine de ağırlık verilmektedir. Bu bağlamda, yakın geleceğimizin en dikkat çeken konularından biri olan nanoteknolojinin ısıl enerji ile entegrasyonu da bu faaliyetlerin kapsamı içerisindedir.

Nanoteknolojinin ısıl enerji ile entegrasyonu söz konusu olduğunda nanoakışkanlar çok önemli bir yer tutmaktadır. 1995 yılında Argonne Laboratuvarı'nda ilk kez Choi tarafından dile getirilen "nanoakışkan" kavramı, gün geçtikçe nanoteknoloji alanında çalışan araştırmacılar arasında popülerliğini arttırmaktadır (Choi ve Eastman, 1995). Çünkü nanoakışkanlarla, ekonomik anlamda ısı transferini ciddi derecede iyileştirmenin yanı sıra ısı depolayabilmek de günümüzde gerçekleştirilmesi son derece mümkün bir hedef hâlindedir. Bu hedefe ulaşmak konusunda, genellikle ve özellikle faz değiştiren maddeler (FDM) tercih edilse de bu tez çalışması; faz değiştiren maddelerden yararlanmadan çeşitli ısı depolama maddelerinin (su, gliserin, ısı transfer yağı ve Al_2O_3-

su nanoakışkanı) sadece duyulur ısı depolama alanında, oluşturulan sistemde yer alan sirkülasyon pompasının farklı debi değerlerinde ve benzer şekilde farklı kullanım suyu musluk debilerindeki ısı depolayabilme yeteneklerini açığa çıkarma amacı taşımaktadır. Bu amaçla beraber, literatürde daha önce hemen hemen hiç yer almayan bir konuda olabildiğince özgün bir çalışmayı ortaya koymak da duyulur ısıl enerjisinin depolanması konusunda bir önem arz etmektedir.

1.2. Tezin Kapsamı

Enerjinin kullanıma hazır hâlde depolanması da günümüzde en az, asgari ölçüde kayıpla ve çevre dostu bir şekilde elde edilmesi kadar büyük bir önem taşımaktadır. Ancak, enerjinin hangi şekilde depolanacağını net olarak söyleyebilmek mümkün değildir. Bu nedenle, enerji depolama kavramı zaman zaman aynı anda birden çok kaynağın kullanılması hususunu doğurur. İşte bu kaynakların kullanılmasıyla ortaya çeşitli enerji depolama formları ortaya çıkmaktadır. Bu formlar içerisinde "ısıl enerji depolama" geniş bir yer tutmaktadır.

Isıl enerji depolamanın önemli avantajlarından birisi, bu depolama şeklinin ısıtma ve soğutma uygulamaları için uygun olmasıdır. Dolayısıyla, ısıl enerji depolama, çevre dostu enerjiden yararlanma ve enerji yükünü temin etme konusunda önemli bir katkı sağlayabilir.

Bu tezin kapsamında; tez konusu doğrultusunda daha önceden gerçekleştirilen çalışmalar, seçilen tez konusu hakkındaki bilgilendirmeler, belirlenmiş şartlar (belirli pompa debileri ve kullanım suyu musluk debileri) altında yapılan deneyler ve bu deneyler sonucunda gerek toplanan gerekse de analiz edilen veriler, analiz edilen verilerin ışığında da ulaşılan sonuçlar ayrıntılı bir şekilde bölümler halinde sunulmuştur.

Bölüm 1 tezin konusu, önemi, kapsamı ve amacı temel alınarak hazırlanmıştır.

Bölüm 2'de tezin iskeletini oluşturan enerji depolama ve enerji depolama türleriyle ilgili temel bilgiler sunulmuştur.

Bölüm 3'te ısıl enerji depolamayla ilgili detaylı bilgiler verilmiş olup, ısıl enerji depolama çeşitleriyle birlikte ısıl enerji depolama maddeleri tanıtılmıştır.

Bölüm 4'te ısıl enerji depolama kapsamında, son yıllarda gerçekleştirilmiş olan çeşitli sayısal (nümerik) ve deneysel çalışmalardan söz edilmiştir.

Bölüm 5'te temel enerji dengesi eşitlikleri ışığında, tezin temelini oluşturan deneylerin gerçekleştirilmesinde rol oynayan tesisat tasarımı hakkında bilgiler ve ısı değiştiricilerin boyutlarının hesaplanmasında izlenen sayısal adımlar verilmiştir. Bu bölümde ayrıca, tesisatın oluşturulmasında kullanılan ekipmanlar da tanıtılırken; karakteristik deneylerin içeriği de verilmiştir.

Bölüm 6'da deneyler sonucunda elde edilen veriler ve oluşturulan grafikler detaylıca irdelenmiştir. Ayrınca bu bölümde, Bölüm 7'ye hazırlık niteliğinde, veriler ve grafikler temel alınarak yapılan çıkarımlardan da söz edilmiştir.

Bölüm 7'de; yapılan deneylerden ulaşılan çıkarımlar ve sonuçlar, bir özet meydana getirecek şekilde çizelgeler bağlamında derlenerek sunulmuştur.

Ekler bölümünde depolama maddelerinin karakteristik deneylerinin ölçüm sonuçlarına dair örnekler sunulmuştur (EK A, EK B, EK C ve EK D).

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada genel anlamda su, bitkisel gliserin, ısıtma ve soğutma endüstrisinde ısı transferini iyileştirme amaçlı olarak sıklıkla kullanılmakta olan sentetik ısı transfer yağı ve belirli bir boyutta ve saflıkta nanoparçacık içeren ve yine belirli bir hacimsel konsantrasyonda (derişimde) bulunan Al_2O_3-su nanoakışkanı olmak üzere dört farklı ısı depolama maddesi ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde belirli bir elektrik enerjisi girdisiyle beraber gerek kullanım suyu gerekse de ısıtma suyu için çeşitli değerlerdeki debiler temel olarak alınmış olup; bu kapsamda depolama maddelerinin duyulur ısı depolama üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, tez çalışmasındaki karakteristik deneylerde duyulur ısı depolanmasının ana nedeni; duyulur ısı aracılığıyla kısa süreli ancak her an kullanıma hazır kullanım suyu elde etmektir.

Yukarıdaki paragrafta sözü edilen etkilerin yanı sıra, günümüzde ısıl enerji depolanmasında yaygın kullanım alanına sahip olan faz değiştiren maddelerden yararlanılmadan, ısı depolama ünitesindeki depolama maddelerinin duyulur ısı depolamaya etkileri de (ısı depolama maddelerinin depolama verimi, depolama ünitesi içindeki doğal taşınım ile ısı transferine etkileri, şarj-deşarj durumunda depolama ünitesi içinde sıcaklık değişimi vb.) deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca bu bağlamda, faz değiştiren hiçbir madde kullanılmadan, sadece nanoakışkan aracılığıyla duyulur ısı

depolanması literatür kapsamı açısından bir yenilik arz etmektedir. Böylece nanoakışkanların da çevreye zararsız bir şekilde enerji depolayabildiği iddiası deneysel açıdan tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

ENERJİ DEPOLAMA

Enerji depolama işlemiyle hem enerjinin kullanıldığı alanlarda oluşan atık enerjiyi depolamak, hem de enerji temin zamanı ile talebi arasındaki doğabilecek farkı telafi etmek amaçlanmaktadır. Bu sayede enerji sistemlerinin verimi arttırılmakta ve enerji tasarrufu sağlanabilmektedir (Kozak & Kozak, 2012). Enerji depolama işlemi aşağıda sıralandığı gibi birtakım avantajlara da sahiptir (Dinçer ve Rosen, 2011):

- Düşük enerji maliyetleri
- Düşük enerji tüketimi
- İyileştirilmiş iç mekân hava kalitesi
- Düşük ilk yatırım ve bakım maliyetleri
- Düşük ekipman boyutu
- Ekipmanların daha verimli ve etkin kullanımı
- Fosil yakıtlarda tasarruf
- Düşük kirletici emisyonlar (örneğin, CO_2 ve kloroflorokarbonlar CFC)

Enerji depolama; mekanik enerjinin depolanması, kimyasal enerjinin depolanması, biyolojik enerjinin depolanması, manyetik enerjinin depolanması ve ısıl enerjinin depolanması gibi çeşitli yöntemler aracılığıyla gerçekleştirilebilir (Dinçer ve Rosen, 2011). Bu yöntemlerden her biri doğal olarak birtakım karakteristik özelliklere sahiptir. Öyle ki, belirli şartlar altında hangi yöntem veya yöntemlerden faydalanılacağı onların karakteristik özellikleriyle ilgilidir.

2.1. Mekanik Enerjinin Depolanması

Bir cismin sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerjilerin toplamını ifade eden terime "mekanik enerji" denir. Bu enerjinin depolanmasına ait sürecin başlangıcı tekerleğin keşfinden 300 yıl sonrasına gitmektedir (Burheim, 2017).

Mekanik enerji, yüksekteki bir nesnenin potansiyel enerjisi olarak, elastik bir malzemenin sıkıştırma ya da gerilme enerjisi olarak ya da bir gazın sıkıştırma enerjisi olarak veya bunlardan başka doğrusal ya da dönme kinetik enerjisi olarak depolanabilir. Günümüzdeyse temel olarak üç uygulama ön plana çıkmaktadır: Bunlardan ilki volanın dönme enerjisinin mekanik enerji olarak depolanmasını kapsar. İkinci uygulamaysa depolama maddesi olarak suyun seçildiği hidrodepolama (hidroelektrik enerjisi) uygulamasıdır (Burheim, 2017). Üçüncü ve son uygulama da sıkıştırılmış (basınçlı) hava depolamadır.

2.2. Kimyasal Enerjinin Depolanması

En bilinen kimyasal enerji depolama sistemleri batarya ve akülerdir. Her ikisinde de depolanan enerjiye "elektrokimyasal enerji" adı verilir. Enerji, kimyasal bileşiklerin oluşturduğu bağlarda depolanabilir ve ekzotermik reaksiyonlarla tekrar kazanılabilir. Bunun için bazen bir katalizör (ısı, enzim vs.) kullanmak gerekebilir. En çok kullanılan yöntemler ise hidrojen ve amonyakla enerji depolamaktır (Kozak & Kozak, 2012).

Günümüzde hidrojenin büyük kısmı fosil yakıtlardan elde edilmektedir (Kozak & Kozak, 2012). Bununla birlikte yaygınlaşmakta olan uygulamaysa yakıt pilleri aracılığıyla hidrojen enerjisi depolamak ve kullanmaktır. Ancak yakıt pillerinin dışında elektroliz yoluyla da hidrojen eldesi mümkündür ki elektroliz basitçe suyun, doğru akım kullanılarak elementlerine ayrılması işlemidir.

2.3. Biyolojik Enerjinin Depolanması

Basitçe, enerjinin biyolojik prosesler aracılığıyla depo edilmesidir. Bu işleme temelde "biyokonversiyon" adı da verilmektedir. Uzun süreli depolamalar için ideal bir depolama şeklidir (Dinçer ve Rosen, 2011).

2.4. Manyetik Enerjinin Depolanması

Enerji geri çevrilebilir bir şekilde elektrik alan içerisinde kapasitör adı verilen cihazlarda depolanabilir (Turan ve Yönetken, 2016). Günümüz teknolojisindeyse büyük bünyelerinde büyük miktarda enerji depolayabilen süperkapasitörler gün geçtikçe daha çok göze çarpar hâle gelmektedir. Bunlar çift katmanlı kapasitörlerdir (Turan ve Yönetken, 2016).

Manyetik enerji depolamada sıklıkla kullanılan bir diğer yöntemse süperiletken manyetik enerji depolamadır. Bu yöntemde mutlak sıfıra yakın sıcaklıklarda belirli metallerin hemen hemen sıfır dirence sahip olma özelliğinden yararlanılır. Böylece, bu metaller yapılarından büyük miktarlarda akımları kayıp olmaksızın geçirebilir (Dinçer ve Rosen, 2011).

2.5. Isıl Enerji Depolama

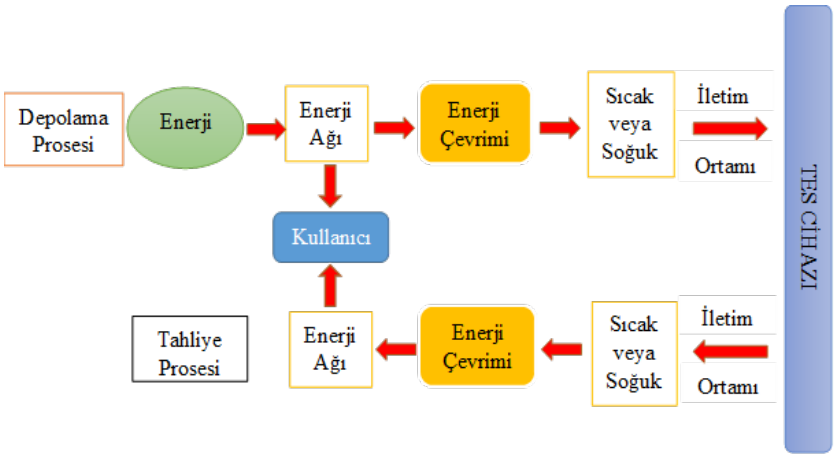
Isıl enerji depolamadaki ısıl enerji terimi, bir maddedeki atom veya moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamına verilen isimdir (Yılmaz, 2005). Isıl enerjinin bir cisimden veya bir sistemden diğerine aktarımı sıcaklık farkı kaynaklı ısı akışıyla gerçekleşir.

Isıl enerji miktarı, sıcaklık farkına bağlıdır. Bir maddenin sıcaklığı arttıkça, enerji içeriği de artmaktadır. Isıl enerji, V hacminde bir maddenin sıcaklığını T_1'den T_2' ye çıkartmak için verilmesi gereken enerjidir.

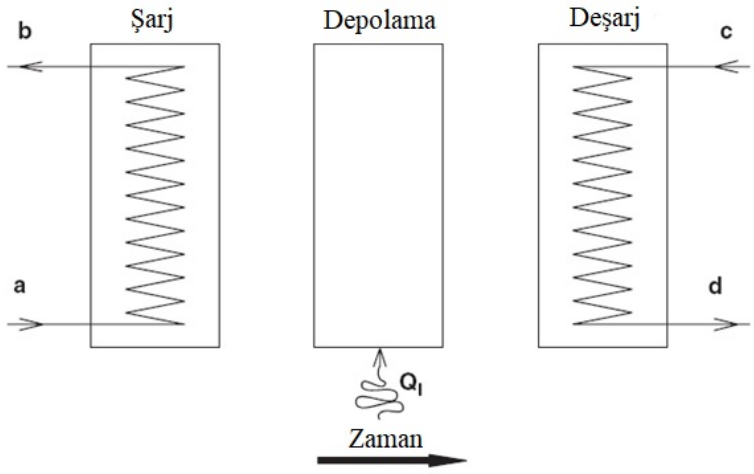
$$E = m\,C_p\left(T_2 - T_1\right) = \rho\,V\,C_p\left(T_2 - T_1\right) \tag{2.1}$$

Eşitlikte m maddenin kütlesini, C_p terimi de maddenin sabit basınçtaki özgül ısısını tanımlamaktadır.

Isıl enerji depolama prosesini oluşturan bileşenler Şekil 2.1'de, genel ısıl enerji depolama sisteminde işlem aşamaları Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Isıl enerji depolama prosesi



Şekil 2.2. Genel ısıl enerji depolama sisteminde işlem aşamaları

Yüzyıllardır süregelen ısıl enerji depolamanın ilk uygulamaları besinleri ve içecekleri muhafaza etmek ile belirli hacimleri iklimlendirmek olmuştur. Bu uygulama, soğuk ısıl enerji depolamanın en basit örneğidir.

Günümüzde birden fazla ısıl enerji depolama yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemler aşağıda olduğu gibi sıralanabilir:

- Duyulur ısı depolama
- Gizli ısı depolama
- Termokimyasal ısı depolama

BÖLÜM 3

ISIL ENERJİ DEPOLAMA

3.1. Isıl Enerji Depolama Yöntemleri

Isıl enerji depolama; duyulur ısı depolama, gizli ısı depolama ve termokimyasal ısı depolama olmak üzere üç şekilde gerçekleşir.

3.1.1. Duyulur Isı Depolama

Duyulur ısı depolamasında, maddeye enerji verildiği sürece maddede herhangi bir faz değişikliği olmaz. Buna karşılık maddenin sıcaklığı verilen enerjiyle orantılı olacak şekilde devamlı olarak değişim gösterir (Gürtürk, 2011). Maddeye geçen enerji kütle, sıcaklık farkı ve özgül ısı ile doğru orantılıdır (Gemici, 2008).

3.1.2. Gizli Isı Depolama

Gizli ısı depolamada duyulur ısı depolamanın aksine, ısı verildikçe maddenin sıcaklığı değişmezken; madde faz değiştirir. Madde faz değiştirirken yapısında büyük miktarda ısı depolar, bu ısıya faz "değişim ısısı" adı verilir (Cardenas ve Leon, 2013). Gizli ısı değişimi, belirli bir ortam için genellikle duyulur ısı değişiminden çok daha büyüktür (Dinçer ve Rosen, 2011). Bu tarz ısı depolama daha çok yüksek enerji yoğunluğuna gereksinim duyulan uygulamalarda tercih edilir ve katı-sıvı, sıvı-gaz, katı gaz gibi formlarda gözlemlenebilmektedir (Amer ve Lebedev, 2018).

Bir gizli ısı depolama sistemi aşağıda belirtilen en az üç özelliğe sahip olmalıdır (Amer ve Lebedev, 2018):

- Arzu edilen sıcaklık aralığında erime noktasına sahip uygun bir faz değiştiren madde

- Uygun bir ısı değişim yüzeyi
- Faz değiştiren maddeyi uygun koşullarda muhafaza edebilen bir muhafaza ortamı.

Gizli ısı depolama uygulamalarında organik faz değiştirme maddeleri (parafinler, parafin dışı maddeler) ve inorganik faz değiştirme maddeleri (tuz hidratları, metalikler, ötektikler) olmak üzere iki farklı grup kullanılmaktadır (Amer ve Lebedev, 2018).

Yukarıda sözü edilen inorganik grupta yer alan tuz hidratları erime sırasında ortamdan yüksek miktarda ısı absorbe edebilir. Bu bakımdan bu hidratlar kendilerine yaygın bir kullanım alanı bulur. Bununla birlikte, ötektik tuzlar da sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle Glauber tuzu adı verilen bir tuz çeşidi yüksek ısı absorbe etme kapasitesiyle son yıllarda ön plana çıkan bir tuzdur (Dinçer ve Rosen, 2011).

3.1.3. Termokimyasal Isı Depolama

Bu depolama yöntemi; orijinal bir madde kaynaklı ve döngü şeklindeki kimyasal dönüşümleri içerir. Kimyasal dönüşüm sürecinde bir orijinal (kaynak) madde ve ara kademe elemanları yer alır. Doğal olarak enerji depolanması, bu maddeler arasındaki döngüsel kimyasal işlemlerin meydana gelmesiyle gerçekleşir. Duyulur ve gizli ısı depolamada olduğu gibi, termokimyasal ısı depolamada da belirli bir süre içerisinde geniş ölçekli enerji depolamak mümkündür. Ayrıca, bu tarz enerji depolamada, ısı depolama maddesinin dış ortamdan mükemmel şekilde yalıtılmasına gereksinim duyulmadığından, termokimyasal ısı depolama son yıllarda uzun süreçli ısı depolama kapsamında, araştırmacılar için bir ilgi odağı hâline gelmiştir (Li ve Chan, 2017).

Termokimyasal ısı depolama temelde endotermik/egzotermik bir reaksiyona dayanır ve aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Li ve Chan, 2017):

Madde A + ısı → Madde B + Madde C

İstenildiği anda, reaksiyon yönü ters çevrilerek (böylece egzotermik bir reaksiyon elde edilir) ısı salınımı yoluyla enerji gereksinimi karşılanabilir (Li ve Chan, 2017).

3.2. Duyulur Isı Depolama Maddeleri

Duyulur ısı depolamada kullanılan maddeler genellikle doğada bolca bulunan su, hava, termal yağ, beton, kaya, tuğla, kum ve toprak gibi maddelerdir (Gemici, 2008).

Bununla birlikte bu maddelerin üretim ve işletme maliyetleri de görece düşüktür. Sıvı veya katı fazda bulunabilirler (Gürtürk, 2011).

Sunulan tezde ısı depolama maddesi olarak su, bitkisel ve farma kalitede (ABD Sağlık Bakanlığı'na bağlı sorumlu büro tarafından onaylanmış, kimyasal saflık standartlarına uygun olarak iyi üretim koşullarında üretilmiş gliserin), sentetik ısı transfer yağı (Shell Thermia B muadili olan Rexoil marka ısı transfer yağı) ve Al_2O_3-su (Al_2O_3-H_2O) nanoakışkanı kullanılmıştır.

3.2.1. Depolama Maddesi: Su

Depolama maddeleri arasında suyun yeri ayrı olarak değerlendirilebilir. Çünkü su, sistemde kolaylıkla dolaştırılabilir ve böylelikle hem ısı transfer akışkanı hem de IED maddesi olarak kullanılabilir. İlave olarak suyun yüksek özgül ısısının olması, zehirli olmaması, alevlenebilir özelliğe sahip olmaması, ucuz maliyeti ve kolaylıkla bulunabilmesi genellikle düşük sıcaklığa (25ºC-90ºC) ihtiyacın olduğu konut ısıtma sistemlerinde, sıcak su temini gerektiren uygulamalarda ve de soğutma uygulamalarında onu en uygun IED maddesi yapar. Ancak suyun, yüksek buhar basıncına ve düşük korozyon direncine sahip olması gibi bazı sakıncaları da vardır (Alva, Lin, Fang, 2018). Yine su buhar fazında, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi santrallerinde yüksek sıcaklıklı IED uygulamalarında kullanılır. Bu uygulamalarda doğrudan buhar üretme tekniği kullanılarak buhar biriktiricilerinin bir IED sistemi gibi davranması sağlanır (Alva vd., 2018).

Duyulur ısı depolama maddelerinin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Maddeler genellikle yüksek sıcaklıklarda kararlı hâlde bulunur.
- Sıvı metaller ve termal yağlar dışında maddeler genellikle ucuzdur.
- Maddeler genellikle zehirsizdir.

3.2.2. Depolama Maddesi: Termal yağlar

Termal yağlar özellikle duyulur ısı depolama maddesi olarak fosil yakıtlı enerji santrallarında ve güneş kollektörlerinde yaygın olarak kullanılır (Dinçer ve Rosen, 2011). Örneğin sentetik yağlar dışındaki mineral yağlar ortam basıncında denk bir basınçta 300°C'ye kadar, uygun bir ısı depolama maddesi görevi üstlenebilir. Sentetik yağlardaysa

sıcaklık değeri 400°C'ye kadar yükseltilebilir. (Bauer, Steinmann, Laing, Tamme, 2012). Bu bakımdan sentetik yağlar, suyun ulaşamadığı yüksek sıcaklıklarda, suya göre daha pahalı olmalarına karşın vazgeçilmez bir duyulur ısı depolama maddesidir. Ayrıca, karmaşık bir ısı değiştiricisine gereksinim duyulmayan evsel uygulamalarda, her ne kadar özgül ısıları sudan daha düşük olsa da 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda su yerine termal yağlar zorunlu olarak kullanılmaktadır. Organik ve sentetik yağlar, gerek yenilenebilir enerji kaynaklarıyla (örneğin güneş veya biyogaz) gerekse de geleneksel enerji kaynaklarıyla (örneğin LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı) gibi) uyum içinde çalışabilir (Mawire, Phori, Taole, 2014).

3.2.3. Depolama Maddesi: Nanoakışkanlar

Nanoakışkanlardan önce 10^{-6} m boyutundaki mikroparçacıkların saf akışkanlara eklenmesi yoluyla mikroakışkanlar elde edilmiş ve bu akışkanların aracılığıyla da ısı transferinde iyileştirme yoluna gidilmiştir. Burada tercih edilen yöntem; ısı transferinde rol oynayan temel akışkanın (örneğin su, organik sıvılar, yağlar ve yağlayıcılar, bio-sıvılar, polimerik çözeltiler) içerisine mikro boyuttaki katı parçacıkların (genellikle altın, alüminyum, alüminyum oksit, bakır, bakır oksit, çinko, çinko oksit, gümüş, silisyum karbür, silisyum oksit) süspansiyon şeklinde katılması yoluyla akışkanın ısıl iletkenliğinin arttırılmasıdır. Ne var ki, bu boyuttaki parçacıkların çökelme, tortulaşma, tıkanma gibi sorunlara yol açması üzerine malzeme teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak 10^{-9} m boyutundaki parçacıklar yani nano boyuttaki parçacıklar kullanılmaya başlamıştır. Nanoakışkan diye tanımlanan akışkan, bir temel akışkan (baz akışkan) içerisinde, genellikle en çok 100 nm boyutunda olmak üzere, nanoparçacık içeren süspansiyondur (Adlı, 2013). İşte bu nano parçacıkların da, aynı mikro parçacıklarda olduğu gibi ısı transferi akışkanına katılması yoluyla yüksek ısı transfer kabiliyetine sahip nanoakşıkanlar ortaya çıkmıştır (Şahin vd., 2006). Bu bağlamda nanoakışkanlarla ilgili ilk çalışma 1995 yılında Stephen U. S. Choi tarafından yapılmıştır (Şahin vd., 2006). Yine nanoakışkan terimini ilk kez kullanan da Choi'dir. (Elçioğlu, Güvenç Yazıcıoğlu, Kakaç, 2013).

Son yıllarda, yukarıdaki paragrafta belirtilen nanoparçacıklar dışında grafit, karbon nanotüpler, fulleren (1 nm çapında olup 60 karbon atomunun bir araya gelmesiyle oluşan molekül) gibi nanoparçacıklarla, iki veya daha fazla sayıda nanoparçacığın ortak

bir temel akışkan içerisinde kompozit bir yapı oluşturacak şekilde barınmasıyla meydana gelen hibrit nanoakışkanlar da ilgi çekici bir duruma gelmiştir (Sarkar, Ghosh, Adil, 2015). Hibrit nanoakışkanlar, nanoakışkanlara göre daha yüksek düzeyde ısı transferine imkân sağlamaları nedeniyle araştırma konularının merkezinde durmaktadır.

Nanoakışkanların ısı transfer performansını artırmasını sağlayan olaylar şöyle sıralanabilir (Hussein, Walunj, Kolsi, 2016, Şahin vd., 2006):

- Nanoparçacıklar geniş bir yüzey alanına sahip olduğundan akışkan içerisine süspanse edildiklerinde akışkan ile nanoparçacıklar arasındaki temas alanı artmış olur. Bu durum, genellikle ısı transfer kabiliyetinin artmasına yol açar.
- Nanoparçacıklar nanoakışkan yaratarak genellikle akışkanın ısıl iletkenliğinin artmasına yol açar.
- Nanoparçacıklar enerji transferinin artmasına neden olan çalkantıları ve türbülansları arttırır.
- Viskozite, özgül ısı, ısıl iletkenlik ve yoğunluk gibi özellikler nanoakşıkan içindeki nanoparçacık konsantrasyonunun değiştirilmesiyle kolaylıkla ayarlanabilir. Böylece ısı transfer performansı basit yollarla arttırılabilir.
- Nanoakışkanlarda eş ısı transferi meydana getirmek için gereken pompa gücü saf sıvılara göre genellikle daha düşüktür.
- Nanoakışkanlar geleneksel çalışma sıvılarına göre güneş ışınlarına karşı çok daha hassastır.
- Bünyelerinde geleneksel çalışma sıvılarına göre genellikle daha yüksek miktarda ısıyı depo edebildiklerinden enerji kayıplarının azalmasına yol açarak sistemin verimini arttırırlar.

BÖLÜM 4

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Deneyler sırasında kullanılan ısı depolama maddeleri açısından (duyulur ısı depolama maddeleri) son yıllarda literatürde yer bulmuş çalışmalar aşağıda sunulmuştur:

Gao vd. (2020), su ve parafin (RT55) aracılığıyla, iki sıcak su tankının deşarj ve şarj döngüleri durumunda gizli ve duyulur ısı depolayabilme kapasitesini araştırmıştır. Deneylerde kullanılan ısı depolama maddelerinin sıcaklığı 20°C-80°C arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; parafin yalnızca gizli ısı depolama evresinde (faz değiştirme aşaması) suya göre daha çok ısı depolama kapasitesine sahip olmuştur. Ne var ki, özellikle şarj ve deşarj durumunda parafinin yaklaşık %20'si tam olarak katılaşamadığından veya sıvılaşamadığından, parafin gizli ısı depolama aşamasında istenilen sonuçları vermekten uzak olmuştur. Deneyi gerçekleştirenler, özellikle belirtilen geniş sıcaklık aralığında (20°C-80°C), suyun duyulur ısı depolama kapasitesinin parafine göre gözle görülür ölçüde daha iyi olduğunu saptamıştır.

Meister ve Morrison (2021), Kanada'daki bir konutun ısınma ve de sıcak su gereksinimini karşılamak için, çatıya monte edilmiş solar kollektörler aracılığıyla mevsimsel olarak sıcak su depolayan ve toprağa gömülü hâlde bulunan 36 m³'lük bir tankla bir deney gerçekleştirmiştir. Deney sonuçları; solar kollektörler ve tankla oluşturulmuş sistemin, konutun ısınma ve sıcak su gereksiniminin %68'ini karşılayabildiğini ortaya koymuştur. Özellikle deneyler sırasında, tanka ait ısı kaybı kabiliyetinin öngörülenden %64 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark, çoğunlukla sistemin bütünsel olarak mükemmel bir şekilde yalıtılamamasından kaynaklanmıştır. Deneyi gerçekleştirenler, sadece solar kollektörler aracılığıyla, mükemmel boyuttaki bir

yalıtım ve sistemdeki birkaç basit iyileştirmeyle söz konusu konutun yıllık ısıtma ihtiyacının tamamının, sıcak su ihtiyacının da %83'ünün karşılanabileceğini belirtmiştir.

Ndukwu, Onyenwigwe Abam, Eke ve Dirioha (2020), hem rüzgâr gücü ve güneş enerjisi destekli bir kurutucuda hem de sadece güneş enerjisi destekli bir kurutucuda patates dilimlerini kurutmaya yönelik bir deney gerçekleştirmiştir. Her iki kurutucu da ısıl enerji depolama maddesi olarak gliserinle ve de gliserinsiz olarak ayrı ayrı teste tâbi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre gliserin bir ısıl enerji depolama maddesi olarak, özellikle rüzgâr gücüyle birlikte kullanıldığında kurutma süresini ciddi ölçüde kısaltmıştır. Buna karşın, ekserji açısından gliserinin kurutma aşamasında kurutucu (güneş enerjisi destekli pasif kurutucu) verimine olumlu bir etkisi olmamıştır.

Kalaiarasi, Velraj, Vanjeswaran ve Pandian (2020), yüksek kalitedeki sentetik bir yağ olan Therminol-55'in ısıl depolama etkilerini araştırmak amaçlı bir deney yapmıştır. Bunun için yeni tipte düzlemsel havalı bir güneş kollektörü söz konusu sentetik yağla değişik hava debilerinde ve geleneksel düzlemsel havalı bir güneş kollektörü de sentetik yağ kullanılmadan, yani ısıl enerji depolama maddesi olmadan iki ayrı deneye tâbi tutulmuştur. Böylece araştırmacılar her iki kollektör arasında bir karşılaştırma yapma fırsatı bulmuştur. Karşılaştırma sonuçlarına göre Therminol-55'in kullanıldığı deneylerde, hava debisi 0.017 kg/s'den 0.028 kg/s'ye çıkartıldığında güneş kollektörünün verimi gün içerisinde bir pik noktaya (%70.8) ulaşmıştır. Araştırmacılar bunun nedenini, bu tip kollektörde sentetik yağın, havanın kollektörden çıkış sıcaklığını önemli ölçüde yükseltmesine bağlamıştır.

Deshmukh ve Thombre (2017), Hindistan'ın Chandrapur şehrinde, duyulur ısı depolama maddelerini kullanarak yaz mevsiminde, tek hazneli ve eğimli, güneş enerjisi ile çalışan bir damıtıcının performansını incelemişlerdir. İnceleme için duyulur ısı depolama maddeleri olarak kum ve Servotherm isimli ısı transfer yağı tercih edilmiştir. Deshmukh ve Thombre'nin yaptıkları deneyler sonucunda; özellikle gece saatleri için, damıtıcının performansının kum ve ısı transfer yağı kullanımıyla birlikte artış gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu artış, damıtıcı haznesindeki besleme suyunun, kum ve ısı transfer yağının kütlesel artışıyla orantılı olmuştur ve bundan olumlu şekilde etkilenmiştir. Buna karşılık, damıtıcının gündüz üretkenliği besleme suyu, kum ve ısı transfer yağı artışından

genellikle olumsuz etkilenmiştir. Araştırmacılar ayrıca, gündüz üretkenliği hususunda söz konusu maddeler için optimum bir kütle eşik değeri de belirlemiştir.

Lugolole, Mawire, Lentswe, Okello ve Nyeinga (2018) gerçekleştirdikleri deneylerde, bir dolgulu yatağın şarj döngüsünde, çeşitli debilerdeki iki sentetik yağın (Shell Thermia B ve Shell Thermia C) ve bir de organik ayçiçeği yağının ısıl performanslarını karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, yağların debisi arttıkça, ısıl enerji depolama sırasında sıcaklık artışı daha fazla olmuş ve bu da sisteme olumlu yansımıştır. Ne var ki, daha yüksek ısıl depolama sıcaklıkları da daha yüksek ısıl kayıpları beraberinde getirmiştir. Bu nedenle en mantıklı seçenek, şarj döngüsünü en düşük debide gerçekleştirmek üzerine kurulmuştur. Ayrıca, her üç yağın da sistem performansına olan katkısı oldukça benzer bir profil çizmiştir. Özellikle; dolgulu yatak tasarımında ne kadar küçük boyutlu çakıl taşı kullanılmışsa katkı da o ölçüde yüksek olmuştur.

Mawire, Phori ve Taole (2014), yaptıkları bir araştırmada, ısıl enerji depolama yağları kullanarak, bir güneş ocağının şarj döngüsü sırasındaki performansını enerji ve ekserji parametreleri açısından mercek altına almıştır. Araştırmada ısıl enerji yağları olarak ayçiçeği yağı, Shell Thermia B ve Shell Thermia C tercih edilmiştir. Buna göre yüksek güç şarjda ve düşük debide en iyi sonucu özgül ısısının yüksekliği nedeniyle ayçiçeği yağı verirken diğer iki sentetik yağ ise benzer bir performans ortaya koymuştur. Düşük güç şarj ve yüksek debide ise her üç yağın da gösterdikleri performans birbirine çok yakın olmuştur.

Patel ve Kumar (2016) modifiye edilmiş bir pasif solar damıtıcıyı, aynı iklim koşullarında, hazne yüksekliğini değiştirmek yoluyla çeşitli yüksekliklerde deneylere tâbi tutmuştur. Çalışmada ısı depolama maddesi olarak HP-500 sentetik yağı tercih edilmiş ve hem sentetik yağ varlığında hem de sentetik yağ olmaksızın deneyler gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar öncelikle, yağ ve besleme suyu arasındaki sıcaklık farkının 17°C-19°C civarında olduğu zaman, damıtıcının performansının geleneksel damıtıcıya (yağ kullanılmaksızın) göre daha iyi olduğu sonucuna varmıştır. Yine yağ varlığında, damıtıcı performansı 2 cm'lik hazne yüksekliği ile olumlu ölçüde artmıştır. Bununla birlikte; 3 cm'lik ve 4 cm'lik hazne yüksekliklerinde yağ ilavesi sistem performansına olumsuz etki yapmıştır.

Lotfi, Heyd, Bakak, Hadaoui ve Koumina (2021) yaptıkları deneysel bir çalışmada gliserini çeşitli nanoparçacıklarla (CuO-Cu_2O, SiO_2, grafen) süspansiyon oluşturacak şekilde çeşitli derişimlerde karıştırmıştır. Deneysel çalışma sonucunda gliserin-CuO-Cu_2O ve gliserin-grafen süspansiyonları ısıl iletkenlik bakımından gözle görülür bir iyileşme sergilerken; gliserin-SiO_2 süspansiyonu ısıl iletkenlik açısından ciddi bir etki sağlayamamıştır. Bu bağlamda, en iyi etkiyi gliserin-CuO-Cu_2O süspansiyonu gerçekleştirmiştir. Çalışmacılar, söz konusu iki süspansiyonun ısıl iletkenliğindeki bu iyileşmeyi, süspansiyon oluşumuyla artış gösteren Brown hareketlerine bağlamıştır ve bu artış da süspansiyon kaynaklı ısı transferine olumlu bir katkı sağlamıştır.

Schuller, Shao ve Lalk (2015), yürüttükleri deneysel çalışmada, solar kaynaklı bir ısıl enerji depolama sisteminde nitrat-alümina (nitrat-Al_2O_3) nanoakışkanının özgül ısı değişimlerini incelemişlerdir. Bunun için öncelikle nanoakışkan yapısı elde etmek amacıyla, alümina nanoparçacıkları ötektik sodyum nitrat ve potasyum nitrat çözeltileri içinde (mol derişimi olarak %60-%40) süspansiyon oluşturacak şekilde saçılıma uğratılmıştır. Oluşturulan nanoakışkanla gerçekleştirilen deneyler sonucunda, alümina nanoparçacıklarının kütlesel derişimi ile nanoakışkanın özgül ısı artışı arasında parabolik bir ilişki olduğu gözler önüne serilmiştir ki maksimum artış %0.78'lik alümina ilavesinde %30.6 olarak kendini göstermiştir. Ancak deneylerin üzerinden iki ay kadar bir süre geçtiğinde, yürütücüler ayrıca, en yüksek özgül ısı değerinin bu defa kütlesel derişim olarak %0.78 değil de; %0.3'e yakın değerlerde meydana geldiği sonucuna ulaşmıştır.

Ünverdi (2016), gerçekleştirdiği tez çalışmasında nanoakışkanlı levhalı ısı değiştirici kanallarında ısı geçişini hem sayısal hem de deneysel yönden incelemiştir. Bunun için çalışmada değişik hacimsel derişimlerdeki Al_2O_3-su nanoakışkanı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneyin sonuçları şöyle olmuştur: Suya çok küçük hacimsel derişimde (%0.25) Al_2O_3 ilave edilmesi durumunda Nu sayısında %7.72 iyileşme meydana gelmiştir. %1'lik ilavede bu oran %40'a yaklaşmıştır. Kaldı ki; nanoparçacık ilavesi Nu sayısının yanı sıra ısı iletim kabiliyetini (k) de arttırmıştır. Bu artışın nedeni, tezin yazarı tarafından, Al_2O_3'ün ısı iletim kabiliyetinin baz sıvı olan sudan hem daha büyük olması hem de Al_2O_3'ün suda süspansiyon oluşturacak şekilde askıda kalması olarak yorumlanmıştır. Nanoakışkanın hacimsel derişimi arttıkça, birim hacimde depolanan enerji azalmakta olduğundan nanoakışkanın ısıl enerji depolama yeteneği bu durumdan olumsuz bir şekilde etkilenmiştir.

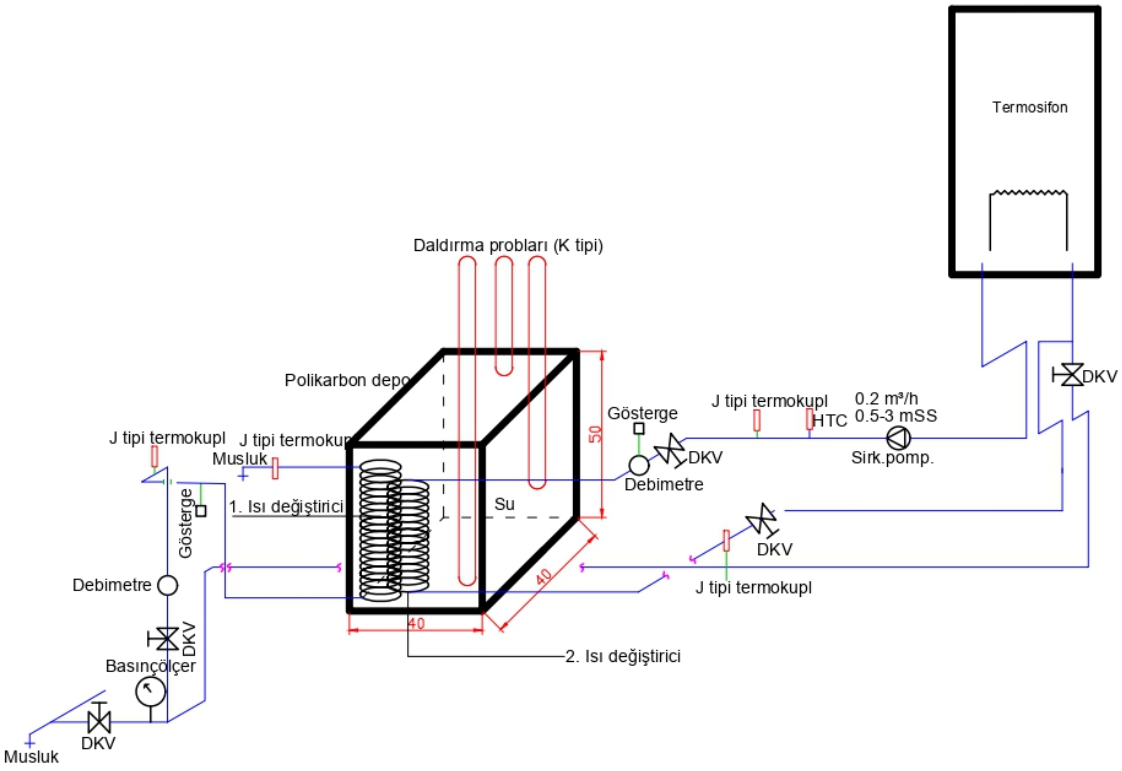
Khair ve Duwairi (2021), yaptıkları bir araştırmada, doymuş bir gözenekli ortama gömülü hâlde bulunan Al_2O_3'ün grafitle oluşturduğu yapıyı (nanoakışkan) vakum tüplü güneş kollektöründe ısıl depolama açısından teorik olarak mercek altına almıştır. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre; aynı koşullar altında bulunan saf suya oranla nanoakışkan kullanımı kollektörün ısıl performansını ciddi derecede arttırmıştır. Özellikle Ağustos ayında, %6'lık hacimsel derişimde kollektör çıkışındaki sıcaklık 73°C'ye ulaşmış ancak aynı derişimde Ocak ayındaysa kollektör çıkış sıcaklığı 43°C'ye varmıştır. Diğer taraftan, %1.5'lik hacimsel derişimde kg başına depolanan enerji 30 kJ ve %6'lık derişimde de kg başına depolanan enerji 45 kJ olarak belirlenmiştir.

BÖLÜM 5

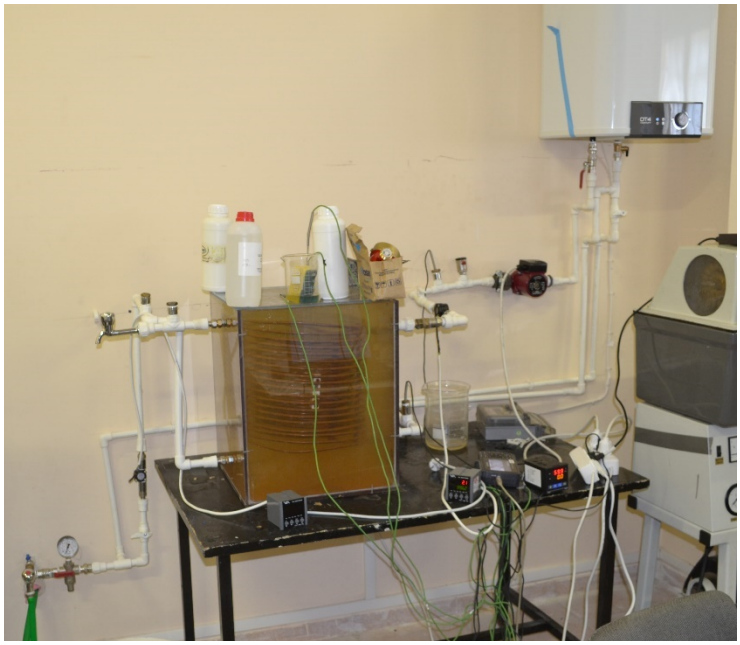
MATERYAL VE METOT

5.1. Deney Tesisatının Tanıtımı

Çeşitli depolama maddelerinin (su, gliserin, ısı transfer yağı ve nanoakışkan) ısıl depolama niteliklerini karşılaştırmanın yanı sıra kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacı da temin etmek için termosifon kaynaklı ısıtma sistemi ile çeşitli deneyler yürütülmüştür. Bu bağlamda oluşturulan deney tesisatının şematik görünümü Şekil 5.1'de verilmiştir. Söz konusu deney tesisatının genel görünümüyse Şekil 5.2'de fotoğraf hâlinde sunulmuştur. Deney tesisatında; ısı değiştiricilerden geçen su debisini ayarlamak için dört DKV (debi kısma vanası), bir termosifon, depolama ünitesi olarak içinde ısı değiştiricileri muhafaza eden bir solid polikarbon depo, biri termosifondan depoya ısı aktarımı için diğeri de depolama ünitesinden kullanım suyuna ısı aktarımı için iki ısı değiştiricisi, bir basınçölçer, bir HTC (hava tahliye cihazı), kullanım suyu elde etmek için bir musluk, ısı değiştiricilerdeki debileri tespit edebilmek için iki debiölçer ve bunlara ait göstergeler ile yedi termokupl ile bir de sirkülasyon pompası bulunmaktadır.



Şekil 5.1. Deney tesisatının şematik gösterimi

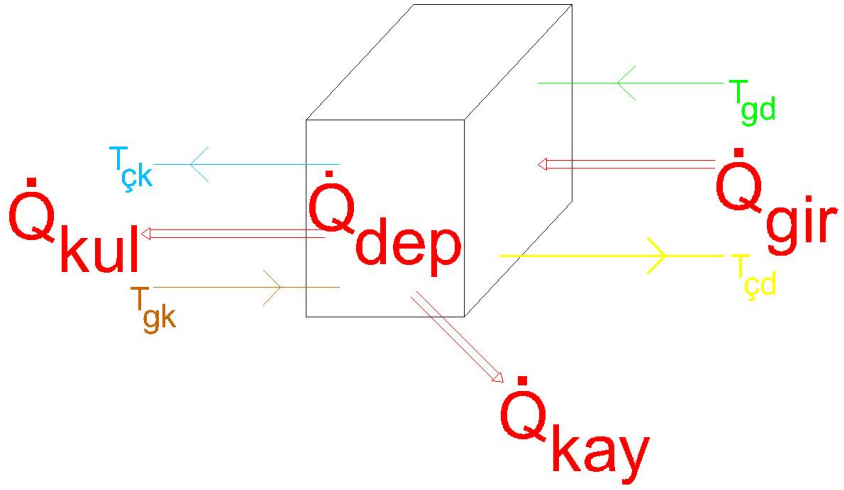


Şekil 5.2. Deney tesisatının genel görünümü

5.2. Deney Tesisatının Tasarımı

5.2.1. Depolama Ünitesinin Enerji Dengesi

Depolama ünitesinin genel enerji dengesi (5.1) Eşitliğinde tanımlanmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Depolama ünitesi genel enerji dengesi

$$\dot{Q}_{gir}(t) = \dot{Q}_{kul}(t) + \dot{Q}_{kay}(t) + \dot{Q}_{dep}(t) \quad (5.1)$$

Eşitlikte; $\dot{Q}_{gir}(t)$ depolama ünitesine ısı taşıyıcı ile aktarılan ısıl gücü, $\dot{Q}_{kul}(t)$ depolama ünitesinden sıcak su kullanımı ile çekilen ısıl gücü, $\dot{Q}_{kay}(t)$ depolama ünitesinden çevresine olan kayıp ısıl gücü ve $\dot{Q}_{dep}(t)$ depolama ünitesinde depo edilen ısıl gücü ifade etmektedir.

Depolama ünitesine ısı taşıyıcı akışkan ile aktarılan ısıl güç; $\dot{m}_{ısı}$ ısı taşıyıcı akışkanın kütlesel debisini, $C_{p_{ısı}}$ ısı taşıyıcı akışkanın özgül ısı değerini, $T_{gd}(t)$ ısı taşıyıcı akışkanın depolama ünitesine giriş sıcaklığını ve $T_{çd}(t)$ de ısı taşıyıcı akışkanın depolama ünitesinden çıkış sıcaklığını simgelemek üzere (5.2) Eşitliği ile verilmiştir.

$$\dot{Q}_{gir}(t) = \dot{m}_{ısı} C_{p_{ısı}} [T_{gd}(t) - T_{çd}(t)] \quad (5.2)$$

Depolama ünitesinden sıcak su kullanımı ile çekilen ısıl güç; $\dot{m}_{kul}$ kullanım suyunun kütlesel debisini, $C_{p_{kul}}$ kullanım suyunun özgül ısı değerini, kullanım suyunun

depolama ünitesinden çıkış sıcaklığını ve $T_{gk}(t)$ de kullanım suyunun depolama ünitesine giriş sıcaklığını (şebeke suyu sıcaklığı) simgelemek üzere (5.3) Eşitliği ile verilmiştir.

$$\dot{Q}_{kul}(t) = \dot{m}_{kul} C_{p_{kul}} [T_{çk}(t) - T_{gk}(t)] \tag{5.3}$$

Depolama ünitesinden çevresine olan kayıp ısıl güç; U_{depo} depo içerisindeki toplam ısı transfer kabiliyeti, A_{depo} depo yüzey alanı, $T_{d_{ort}}(t)$ depo içerisindeki depolama maddesinin ortalama sıcaklığı, $T_{çev}(t)$ çevre (ortam) sıcaklığı olmak üzere (5.4) Eşitliği ile verilmiştir.

$$\dot{Q}_{kay}(t) = U_{depo} A_{depo} [T_{d_{ort}}(t) - T_{çev}(t)] \tag{5.4}$$

Belirli bir zaman aralığında depolanan toplam ısı miktarı ise aşağıdaki eşitlikten belirlenebilir.

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} Q_{dep} = \sum_{t=t_0}^{t=t} [\dot{Q}_{gir}(t) - \dot{Q}_{kul}(t) - \dot{Q}_{kay}(t)] = \int_{t_0}^{t} [\dot{Q}_{gir}(t) - \dot{Q}_{kul}(t) - \dot{Q}_{kay}(t)]\, dt \tag{5.5}$$

Depolama ünitesine verilen toplam ısı için;

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} Q_{gir} = \int_{t_0}^{t} \dot{m}_{ısı} C_{p_{ısı}} [T_{gd}(t) - T_{çd}(t)]\, dt \tag{5.6}$$

eşitliği geçerlidir.

Depolama ünitesinden sıcak su kullanımı ile çekilen toplam ısı (5.7) Eşitliği ile verilebilir.

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} Q_{kul} = \int_{t_0}^{t} \dot{m}_{kul} C_{p_{kul}} [T_{çk}(t) - T_{gk}(t)]\, dt \tag{5.7}$$

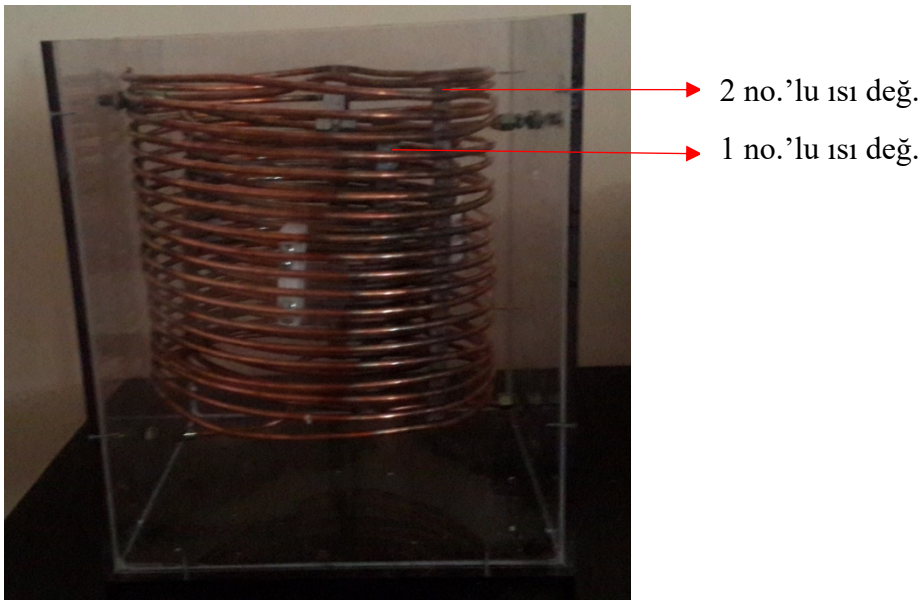
Depolama ünitesinden çevresine olan kayıp ısı aşağıdaki eşitlik ile verilmiştir:

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} Q_{kay} = \int_{t_0}^{t} [U_{depo} A_{depo} (T_{d_{ort}}(t) - T_{çev}(t)]\, dt \tag{5.8}$$

5.2.2. Isı Değiştiricilerinin Tasarlanması

Kare prizma şeklindeki depolama ünitesinin içinde iki ısı değiştiricisi yer almaktadır ve her ikisi de depolama ünitesiyle birlikte Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Her iki

ısı değiştiricisindeki ısı taşıyıcı akışkan sudur. Dıştaki ısı değiştiricisi (2 numaralı ısı değiştiricisi), su şebekesiyle bağlantılıdır ve ısı taşıyıcı akışkan olan su sayesinde kullanım suyunun ısınmasında rol almaktadır. İçteki ısı değiştiricisi (1 numaralı ısı değiştiricisi), termosifonla bağlantılı olup esas olarak depolama ünitesi içindeki depolama maddesine ısı aktarmaktadır. Bu bağlamda her iki ısı değiştiricinin tasarımında kullanılan değerler Çizelge 5.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.4. Isı değiştiricilerin depolama ünitesi içerisindeki görünümü

Çizelge 5.1. Isı değiştiricisi tasarım parametreleri

	1 numaralı ısı değiştiricisi	2 numaralı ısı değiştiricisi
Taşıyıcı akışkan	Su	Su
Depo giriş sıcaklığı (°C)	70	25
Depo çıkış sıcaklığı (°C)	55	45
Özgül ısı (kJ/kgK)	4.188	4.181
Dinamik viskozite (Pa.s)	$427x10^{-6}$	$599x10^{-6}$
Prandtl sayısı (Pr)	2.70	3.93
Isı iletim kabiliyeti (W/mK)	0.659	0.643
Boru iç çapı (m)	0.0654	0.0654
Boru dış çapı (m)	0.0794	0.0794
Sarım çapı (m)	0.270	0.350

Isı değiştiricilerinin boyutlarının hesaplanmasında öncelikle akışın türünü saptamak üzere Reynolds sayısı hesaplanmıştır.

Isıtma tarafındaki Reynolds sayısı $Re_{ısı}$ (5.9) eşitliğinde verilmiştir (Incropera, DeWitt, Bergman, Lavine, 2006). Burada $Re_{ısı}$, ısıtma tarafındaki ısı değiştiricisine (1 numaralı ısı değiştiricisi) ait Re sayısının değerini göstermektedir.

$$Re_{ısı} = \frac{4\,\dot{m}_{ısı}}{\pi\,(d_{iç})(\mu)} \tag{5.9}$$

Benzer şekilde, kullanım suyu tarafındaki ısı değiştiriciye (2 numaralı ısı değiştiricisi) ait Re sayısının değeri de (5.10) bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$Re_{kul} = \frac{4\,\dot{m}_{kul}}{\pi\,(d_{iç})(\mu)} \tag{5.10}$$

Her iki ısı değiştirici içerisindeki suyun laminer akıştan türbülanslı akıma geçiş anına denk düşen Re sayısı, yani kritik Reynolds sayısı (5.11) bağıntısıyla belirlenmiştir (Ito, 1959).

$$Re_{cr} = 20000\left(\frac{d_{iç}}{D}\right) \tag{5.11}$$

Eşitlikte $d_{iç}$, boru iç çapı anlamındadır.

$Re_{ısı} > Re_{cr}$ ve $Re_{kul} > Re_{cr}$ olduğundan, akışın her iki ısı değiştiricisi için de türbülanslı olduğu belirlendikten sonra, (5.12) ve (5.13) bağıntılarıyla, 1 ve 2 numaralı ısı değiştiricilerine ait $Nu_{iç}$ belirlenmiştir (Rogers ve Mayhew, 1964). Eşitliklerdeki $Nu_{iç}$, ısı değiştiricilerin içerisindeki suya ait Nu değeridir.

$$Nu_{iç} = 0.0456\,Re_{ısı}^{\,0.8}\,Pr^{0.4}\left(\frac{d_{iç}}{D}\right)^{0.21} \tag{5.12}$$

$$Nu_{iç} = 0.0456\,Re_{kul}^{\,0.8}\,Pr^{0.4}\left(\frac{d_{iç}}{D}\right)^{0.21} \tag{5.13}$$

(5.12) ve (5.13) bağıntılarıyla elde edilen $Nu_{iç}$, (5.14) bağıntısıyla 1 ve 2 numaralı ısı değiştiricileri için, $h_{iç}$ belirlenmesinde kullanılmıştır (Incropera vd., 2006).

Eşitlikteki $h_{iç}$, ısı değiştiricilerin iç ısı taşınım kabiliyetini simgelemektedir.

$$h_{iç} = \left(\frac{Nu_{iç} k}{d_{iç}} \right) \tag{5.14}$$

Isı depolama ünitesinin içinde doğal taşınım meydana geleceğinden, her iki ısı değiştiricisi için de ısı taşınım kabiliyetleri, film sıcaklığına bağlıdır. Bunun için, ısı değiştiricilere ait film sıcaklığındaki suyun madde fiziki değerlerine göre Grashof sayısı, Gr, (5.15) bağıntısıyla hesaplanmıştır (Incropera vd., 2006).

$$Gr = \frac{g\ \beta\ (T_s - T_\infty) d^3_{dış}}{\nu^2} \tag{5.15}$$

Burada g yer çekimi ivmesini, β ısıl genleşme kabiliyetini, T_s boru yüzey sıcaklığını, T_∞ depolama ünitesi içindeki su sıcaklığını, $d_{dış}$ boru dış çapını, ν suyun kinematik viskozitesini göstermektedir.

Belirlenen Gr sayısı, (5.16) bağıntısıyla Rayleigh sayısının belirlenmesinde kullanılmıştır.

$$Ra = GrPr \tag{5.16}$$

Belirlenen Ra sayısı, (5.17) Eşitliğinde yerine koyularak, ısı değiştiricilerinin borularındaki dış yüzeye ait Nu sayısı elde edilmiştir (Kakaç, 1987).

$$Nu_{dış} = (0.47)\ Ra^{0.25} \tag{5.17}$$

$$h_{dış} = \left(\frac{Nu_{dış} k}{d_{dış}} \right) \tag{5.18}$$

Belirlenen iç yüzeydeki ısı taşınım kabiliyeti $h_{iç}$ ve dış yüzeydeki ısı taşınım kabiliyetini $h_{dış}$, (5.19) ve (5.20) Eşitliklerinde yerine koyularak, her iki ısı değiştiricisi için toplam ısı transfer kabiliyeti U_{gir} ve U_{kul} elde edilmiştir (Incropera vd., 2006).

$$U_{gir} = \frac{1}{\frac{r_{dış}}{r_{iç} h_{iç,ısı}} + \frac{r_{dış} \ln(r_{dış} / r_{iç})}{k_{bakır,70°C}} + \frac{1}{h_{dış,ısı}}} \tag{5.19}$$

$$U_{kul} = \frac{1}{\frac{r_{dış}}{r_{iç} h_{iç,kul}} + \frac{r_{dış} \ln(r_{dış} / r_{iç})}{k_{bakır,45°C}} + \frac{1}{h_{dış,kul}}} \tag{5.20}$$

(5.19) Eşitliğinde; $r_{dış}$ ısı değiştiricilerini oluşturan boruların dış yarıçapını, $r_{iç}$ boruların iç yarıçapını, $k_{bakır,70°C}$ ise bakır borunun 70°C sıcaklıktaki ısı iletim kabiliyetini ifade etmektedir. Eşitlikteki $h_{iç,ısı}$ 2 numaralı ısı değiştiricisinin iç ısı taşınım kabiliyetini, $h_{dış,ısı}$ da 2 numaralı ısı değiştiricisinin dış ısı taşınım kabiliyetini göstermektedir.

(5.20) Eşitliğinde; $k_{bakır,45°C}$, bakır borunun 45°C sıcaklıktaki ısı iletim kabiliyetini, $h_{iç,kul}$ 1 numaralı ısı değiştiricisinin iç ısı taşınım kabiliyetini, $h_{dış,kul}$ da 1 numaralı ısı değiştiricisinin dış ısı taşınım kabiliyetini göstermektedir.

Her iki ısı değiştiricisi de ters akışlı olarak düzenlenmiş olup, ortalama logaritmik sıcaklık farkı, ΔT_{lm}, (5.21) bağıntısıyla elde edilmiştir.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \tag{5.21}$$

Burada; 1 ve 2 numaralı ısı değiştiricileri için (5.22) ve (5.23) Eşitlikleri geçerlidir.

$$\Delta T_1 = T_{ç,depo,1} - T_{g,depo,2} \tag{5.22}$$

$$\Delta T_2 = T_{g,depo,1} - T_{ç,depo,2} \tag{5.23}$$

Eşitliklerde; $T_{ç,d,1}$ suyun 1 numaralı ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığını, $T_{g,d,1}$ suyun 1 numaralı ısı değiştiricisine giriş sıcaklığını, $T_{g,d,2}$ suyun 2 numaralı ısı değiştiricisine giriş sıcaklığını ve $T_{ç,d,2}$ de suyun 2 numaralı ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığını göstermektedir.

Isı değiştiricilerine aktarılan toplam ısıl güç ısı değiştiricilerine ait toplam ısı transfer kabiliyeti, ısı değiştiricisi yüzey alanı ve ortalama logaritmik sıcaklık farkına bağlı olarak (5.24) ve (5.25) Eşitlikleri ile verilmiştir (Incropera vd., 2006).

$$\dot{Q}_{kul} = \dot{m}_{kul}\ C_p \Delta T_{lm} = U_{kul}\ A_{kul}\ \Delta T_{lm} \tag{5.24}$$

$$\dot{Q}_{gir} = \dot{m}_{gir}\ C_p \Delta T_{lm} = U_{gir}\ A_{gir}\ \Delta T_{lm} \tag{5.25}$$

Eşitliklerde; $\dot{Q}_{kul}$, 2 numaralı ısı değiştiricisine aktarılan toplam ısıl gücü, $\dot{m}_{kul}$, aynı ısı değiştiricisinin içinde akan suyun kütlesel debisini, A_{kul} ise 2 numaralı ısı değiştiricisinin yüzey alanını simgelemektedir. $\dot{Q}_{gir}$ 1 numaralı ısı değiştiricisine aktarılan

toplam ısıl gücü, $\dot{m}_{ısı}$ aynı ısı değiştiricisinin içinde akan suyun kütlesel debisini, $A_{ısı}$ ise 1 numaralı ısı değiştiricisinin yüzey alanını simgelemektedir.

(5.27) bağıntısında da, $\dot{Q}_{gir}$, 1 numaralı ısı değiştiricisine aktarılan toplam ısıl gücü, $\dot{m}_{ısı}$, aynı ısı değiştiricisinin içinde akan suyun kütlesel debisini, $A_{ısı}$ ise 1 numaralı ısı değiştiricisinin yüzey alanını simgelemektedir.

Isı değiştiricilerine ait yüzey alanları (5.26) ve (5.27) bağıntılarıyla elde edilmiştir:

$$A_{kul} = \frac{\dot{Q}_{kul}}{U_{kul}\Delta T_{lm}} \tag{5.26}$$

$$A_{gir} = \frac{\dot{Q}_{gir}}{U_{gir}\Delta T_{lm}} \tag{5.27}$$

Isı değiştiricilerin sarılacağı bakır boruların uzunluğuysa (5.28) ve (5.29) bağıntılarıyla elde edilmiştir:

$$L_{kul} = \frac{A_{kul}}{\Pi d_{iç}} \tag{5.28}$$

$$L_{gir} = \frac{A_{gir}}{\Pi d_{iç}} \tag{5.29}$$

Sarım sayısı S, (5.28) ve (5.29) Eşitlikleri ile elde edilen L uzunluklarının ayrı ayrı sarım çapına bölünmesi suretiyle (5.30) ile (5.31) Eşitlikleri ile ifade edilmiştir:

$$S_{kul} = \frac{L_{kul}}{D_{kul}} \tag{5.30}$$

$$S_{gir} = \frac{L_{gir}}{D_{gir}} \tag{5.31}$$

Film sıcaklığına bağlı olarak 1 ve 2 numaralı ısı değiştiricileri için depo tarafındaki hesaplama sonuçları Çizelge 5.2'de, ısı değiştiricileri hesaplama sonuçları da Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.2. Film sıcaklığına bağlı olarak 1 ve 2 numaralı ısı değiştiricileri için depo tarafındaki hesaplama sonuçları

Hesaplanan değer	1 Numaralı Isı Değiştiricisi	2 Numaralı Isı Değiştiricisi
Film sıcaklığı (°C)	52.5	40
Grashof sayısı (Gr)	312170.40	53762.28
Nusselt sayısı (Nu)	15.05	10.32
Isı taşınım kabiliyeti (W/m^2K)	1224.47	821.44

Çizelge 5.3. Isı değiştiricileri hesaplama sonuçları

Hesaplanan değer	1 Numaralı Isı Değiştiricisi	2 Numaralı Isı Değiştiricisi
Kütlesel debi (kg/s)	0.035	0.040
Reynolds sayısı (Re)	15957.78	13000.66
Nusselt sayısı (Nu)	72.70	103.52
Isı taşınım kabiliyeti (W/m^2K)	7326.55	10177.96
Sarım sayısı	16	20

5.3. Nanoakışkana Ait Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Bağıntılar

Nanoakışkana ait özkütle, dinamik ve kinematik viskozite, Pr sayısı, ısıl iletim kabiliyetini ve ısıl yayınım kabiliyeti gibi özelliklere ait değerlerin bulunmasında aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır:

Nanoakışkanın özkütlesinin hesaplanabilmesi için Eşitlik (5.32) kullanılmıştır (Ganesh vd., 2019):

$$\rho_{na} = (1- \varphi)\rho_{su} + \varphi\rho_{np} \quad (5.32)$$

Burada ρ_{na} ilgili sıcaklıkta nanoakışkanın özkütlesini, φ nanoakışkanın hacimsel derişimini, ρ_{su} ilgili sıcaklıkta suyun özkütlesini, ρ_{np} ise ilgili sıcaklıkta nanoparçacığın (Al_2O_3) özkütlesini göstermektedir.

Nanoakışkanın dinamik viskozitesi Eşitlik (5.33) yardımıyla hesaplanmıştır (Ganesh vd., 2019):

$$\frac{\mu_{na}}{\mu_{su}} = 123\varphi^2 + 7.3\varphi + 1 \quad (5.33)$$

Eşitlik (5.33)'te μ_{na} ilgili sıcaklıkta nanoakışkanın dinamik viskozitesini, μ_{su} ilgili sıcaklıkta suyun dinamik viskozitesini, φ nanoakışkanın hacimsel derişimini simgelemektedir.

Nanoakışkanın kinematik viskozitesi için Eşitlik (5.34)'ten yararlanılmıştır (Incropera vd., 2006):

$$\nu_{na} = \frac{\mu_{na}}{\rho_{na}} \quad (5.34)$$

Eşitlik (5.34)'te ν_{na} nanoakışkanın ilgili sıcaklıktaki kinematik viskozitesini simgelemektedir.

$$Pr_{na} = \frac{\nu_{na}}{\alpha_{na}} \quad (5.35)$$

Eşitlik (5.35) ile nanoakışkanın ilgili sıcaklıktaki α_{na} ısıl yayınım kabiliyeti hesaplanmıştır (Ganesh vd., 2019). Eşitlik (5.35)'te; nanoakışkanın ilgili sıcaklıktaki Pr_{na} sayısını hesaplamak için Eşitlik (5.36) kullanılmıştır (Ganesh vd., 2019).

$$\frac{Pr_{na}}{Pr_{su}} = 82.1\varphi^2 + 3.9\varphi + 1 \quad (5.36)$$

Eşitlik (5.36)'da Pr_{su} suyun ilgili sıcaklıktaki Prandtl sayısını göstermektedir.

Nanoakışkanın ısı iletim kabiliyetini hesaplamak için Eşitlik (5.37) kullanılmıştır:

$$\frac{k_{na}}{k_{su}} = 4.97\varphi^2 + 2.72\varphi + 1 \quad (5.37)$$

Eşitlik (5.37)'de k_{na} ilgili sıcaklıkta nanoakışkanın ısıl iletim kabiliyetini, k_{su} ilgili sıcaklıkta suyun ısıl iletim kabiliyetini göstermektedir.

Eşitlik (5.32), Eşitlik (5.33), Eşitlik (5.36) ve Eşitlik (5.37)'deki suya ait değerler suyla ilgili tablolar aracılığıyla belirlenmiştir (Çengel, Y. A. & Boles, M. A., 2014).

5.4. Deney Tesisatını Oluşturan Elemanlar

5.4.1.Solid Polikarbon Depo (Depolama Ünitesi)

400 mm x 400 mm x 500 mm ölçülerinde ve kare prizma formunda, 8 mm kalınlığında solid polikarbondan üretilmiş ve ısı iletim kabiliyeti, 0.18 W/mK'dir Solid polikarbon depo Şekil 5.5'te fotoğraf olarak sunulmuştur. Depo içerisindeki olası bir topaklaşmayı gözlemleyebilmek için depo yalıtılmamıştır.



Şekil 5.5. Solid polikarbon depo

5.4.2. Termosifon

Tesisatta kullanılan termosifon, 65 l su kapasitesine sahip olup Demirdöküm markasının DT 3 modelidir ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Termosifon

5.4.3. Termokupllar

Tesisatta çeşitli boyutlarda ve K tipi ve J tipi olmak üzere ORDEL marka termokupllar kullanılmıştır. Termokuplların elemanları NiCr-Ni'den meydana gelmiş

olup, termokupllar mineral izolelidir. Termokuplların dış koruyucu çapı 3 mm'dir ve kablo boyu da 3 m'lik silikondan oluşmaktadır. Deneylerde kullanılan termokupllar Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. J tipi termokupl



Şekil 5.8. K tipi termokupl

5.4.4. Isı Değiştiricileri

Deney tesisatında kullanılan ısı değiştiricileri, biri termosifondan depolama ünitesine ısı aktarımında (1 numaralı ısı değiştiricisi) diğeri de depolama ünitesinden kullanım suyuna ısı aktarımında görevli olmak üzere (2 numaralı ısı değiştiricisi), bakırdan üretilmiştir.

Depolama ünitesi kullanım suyuna ısı aktarımı için kullanılan ısı değiştiricisinde; ısı değiştiricisinin iç çapı 6.54 mm, dış çapı 7.94 mm'dir. Isı değiştiricisi, sarım çapı 350 mm olmak üzere 20 sarımdan oluşmaktadır ve ısı değiştiricisinin yüksekliği 400 mm'dir. Söz konusu ısı değiştiricisi Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

Termosifondan depolama ünitesine ısı aktarımı için kullanılan ısı değiştiricisinin iç çapı ve dış çapı kullanım suyu tarafındaki ısı değiştiricisinin iç ve dış çapına eşittir. Söz konusu ısı değiştiricisi sarım çapı 250 mm olmak üzere, 16 sarımdan oluşmaktadır ve ısı değiştiricisinin yüksekliği 300 mm'dir. Bu ısı değiştiricisi Şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5.9. Depodan kullanım suyuna ısı aktarımı için kullanılan ısı değiştiricisi



Şekil 5.10. Termosifondan depoya ısı aktarımı için kullanılan ısı değiştiricisi

5.4.5. Datalogger (Veri Kayıt Cihazı)

Deney tesisatında Graphtec markasının GL240 modeli olmak üzere, 10 kanallı veri toplama sistemine sahip, 4.3 inç genişliğinde TFT ekranlı ve dahili olarak 4 GB hafızaya sahip, gerçek zamanlı veri kaydı yapabilen, deneyde kullanılacak termokupllarla uyumlu bir kayıt cihazının kullanılması uygun görülmüştür ve bu dataloggera ait bir fotoğraf Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Datalogger

5.4.6. Debiölçer ve Dijital Debi Göstergesi

Deneylerde 0.3-6 L/d ve -12°C-120°C ölçüm aralığında, plastikten (Polyamid) mamûl türbin tipi ve "pulse" girişli (2200 pulse/L) debiölçer kullanılmıştır.

Dijital debi göstergesiyse 72x72 mm boyutlarında olup, 6+6 dijital LED ekrana (gösterge) sahiptir. Ekranın genişliği 8 mm'dir. Göstergede ayrıca 2 adet çıkış rölesi bulunmaktadır. Debi göstergesi ve debiölçer Şekil 5.12'de görülmektedir.



Şekil 5.12 Dijital debi göstergesi ve debiölçer

5.4.7. Otomatik Kontrol Ünitesi

Deneyde ORDEL markasının SC771 model otomatik kontrol ünitesi kullanılmıştır. Otomatik kontrol ünitesi, 2 adet LED göstergeye, 1 adet transmitter besleme çıkışına, 1 adet üniversal sensör girişine, 1 adet analog çıkışa ve 1adet de RS485 iletişim modülüne sahiptir. Ünitenin beslemesi şehir şebekesi aracılığıyla olmaktadır. Ayrıca ünite bilgisayar üzerinden konfigüre edilebilmektedir ve Şekil 5.13'te görüldüğü biçimdedir.



Şekil 5.13. Otomatik kontrol ünitesi

5.4.8. Elektrik Sayacı

Deney tesisatında, tüketilen elektriği ölçmek için, MAKEL marka trifaze (üç fazlı) bir elektrik sayacı kullanılmıştır. Kullanılan elektrik sayacı Şekil 5.14'te görülmektedir.



Şekil 5.14. Elektrik sayacı

5.4.9. Sirkülasyon Pompası

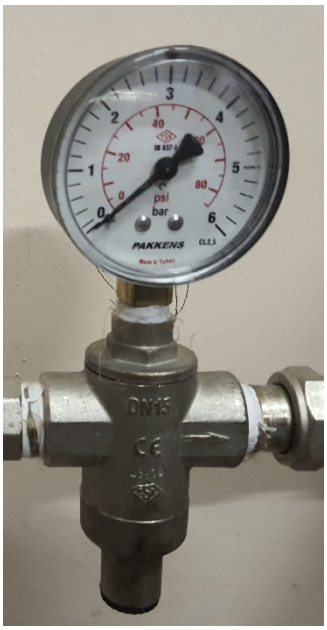
Deney tesisatında üç tane güç kademesi içeren, maksimum 110°C'ye kadar akışkan pompalayabilen, 50 Hz frekansında çalışan bir sirkülasyon pompası kullanılmıştır ve bu sirkülasyon pompası Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Sirkülasyon pompası

5.4.10. Deney Tesisatında Kullanılan Diğer Ekipmanlar ve Deney Akışkanları

Tesisatta yukarıdaki ekipmanlardan ayrı olarak bir basınçölçer (0-6 bar arası ölçüm yapabilen) ve bir de emniyet ventili (membranlı ve ½'' boru bağlantılı) kullanılmıştır. Bunlara ait şekiller Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de verilmiştir. Ayrıca tesisattaki bağlantı için 25 mm çapında PPRC tipi borular kullanılmıştır.



Şekil 5.16. Basınçölçer



Şekil 5.17. Emniyet ventili

Isı depolama ünitesinde; su, gliserin, ısı transfer yağı ve nanoakışkan olmak üzere dört farklı depolama maddesi ile deneyler yapılmıştır. Gliserin olarak bitkisel farma tip gliserin, ısı transfer yağı olarak Rexoil marka ısı transfer yağı ve nanoakışkan olarak da 40 nm boyutunda, %99.9 saflıkta, hacimsel olarak %1'lik konsantrasyonda Al_2O_3 nanoparçacıkları içeren Al_2O_3-su nanoakışkanı kullanılmıştır. Nanoakışkan olarak Al_2O_3-su nanoakışkanının tercih edilmesinin nedeni; söz konusu nanoakışkanın diğer pek çok nanoakışkana göre kararlılığının bazı şartlar altında sürfaktan gerektirmeyecek kadar uzun süreli ve iyi ölçüde olmasıdır.

5.5. Deneyler

Deneylerde su, gliserin, sentetik ısı transfer yağı ve nanoakışkan olmak üzere dört farklı depolama maddesi kullanılmıştır. Tüm depolama maddelerinin ısı depolama karakteristiklerini ölçmek için toplam 92 farklı deney yapılmıştır. Her bir depolama maddesine ait deney sayısı 23'tür. Bu deneyler, üç kademeden oluşmaktadır ve ilk önce ilk kademe deneyler gerçekleştirilmiştir. Bundan sonra ikinci kademe deneyler ve en son bölümde de üçüncü kademe deneyler göz önüne alınmıştır.

5.5.1. İlk Kademe Deneyler

İlk kademe deneylerde, depolama ünitesi içinde su bulunurken, depolama ünitesinin merkez sıcaklığı 60°C'ye kadar ısıtılmıştır (kullanım suyu ile depolama ünitesinden ısı çekilmesi bu kademeye dâhil edilmemiştir) ve bu süreç sırasında, her on dakikada bir depolama ünitesi içerisindeki sıcaklıklar kayıt altına alınmıştır. Depolama ünitesi merkezi sıcaklığı 60°C'ye ulaştığı anda otomatik kontrol ünitesi devreye girmiş

ve termosifondan depolama ünitesine olan ısı girişi kesilmiştir. Ayrıca, depolama ünitesi merkezi sıcaklığı 60°C'ye ulaşıncaya dek, termosifon tarafından harcanan elektrik enerjisi diğer ısı depolama maddeleriyle (gliserin, ısı transfer yağı, nanoakışkan) gerçekleştirilen deneyler için temel ölçüt olarak ele alınmıştır. Su dışındaki söz konusu akışkanlarla yapılan deneylerde de, aynı miktar elektrik tüketimi altında depolama ünitesi merkezi sıcaklığının ne kadar sürede kaç derece sıcaklığa eriştiği belirlenmiştir. Bu kademede son işlem olarak depolama ünitesine olan ısı girişi, depolama maddesi aracılığıyla depolanan ısı ve çevreye verilen kayıp ısı hesaplanmıştır**.**

On dakikalık süreçte depolama ünitesine verilen toplam ısı, (5.38) Eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$\sum_{t=0}^{t=10\ \text{dakika}} Q_{gir} = \int_{0}^{10\ \text{dakika}} \dot{m}_{ısı} C_{p_{ISI}} [T_{gd}(t) - T_{çd}(t)]\, dt \tag{5.38}$$

On dakikalık süreçte depolama ünitesinden çevresine olan kayıp ısı, Eşitlik (5.39)'da verilmiştir.

$$\sum_{t=0}^{t=10\ \text{dakika}} Q_{kay} = \int_{0}^{10\ \text{dakika}} [U_{depo} A_{depo} (T_{d_{ort}}(t) - T_{çev}(t)]\, dt \tag{5.39}$$

On dakikalık zaman diliminde depolama ünitesinde depolanan toplam ısı miktarı ise aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir.

$$\sum_{t=0}^{t=10\ \text{dakika}} Q_{dep} = \sum_{t=0}^{t=10\ \text{dakika}} [\dot{Q}_{gir}(t) - \dot{Q}_{kul}(t) - \dot{Q}_{kay}(t)] = \int_{0}^{10\ \text{dakika}} [\dot{Q}_{gir}(t) - \dot{Q}_{kul}(t) - \dot{Q}_{kay}(t)]\, dt \tag{5.40}$$

5.5.2. İkinci Kademe Deneyler

5 (beş) alt deneyden oluşan ikinci kademe deneylerde, depolama ünitesine termosifon kaynaklı ısı girişi yoktur. Bu kademede, başlangıçta termosifon aracılığıyla depolama ünitesi merkezi sıcaklığı 60°C'ye çıkarılmıştır. Bundan sonra, kullanım suyu musluğu açılmış ve her bir depolama maddesi için 2.4 L/s, 2.1 L/s, 1.8 L/s, 1.5 L/s, 1.2 L/s'lik kullanım suyu musluk debisi değerleri altında, 29 dakikalık süreçte depolama ünitesi içerisindeki sıcaklıklarla beraber kullanım suyu sıcaklığının bu süreçte değişimi birer dakikalık zaman aralıklarıyla kayıt altına alınmıştır. Son adımdaysa; Eşitlik (5.41), Eşitlik (5.42) ve Eşitlik (5.43) göz önüne alınarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Birer dakikalık süreçte depolama ünitesinden çevresine olan kayıp ısı, Eşitlik (5.41)'de verilmiştir.

$$\sum_{t=0}^{t=1\ \text{dakika}} Q_{kay} = \int_{0}^{1\ \text{dakika}} [U_{depo} A_{depo} (T_{d_{ort}}(t) - T_{çev}(t)] \, dt \tag{5.41}$$

Birer dakikalık süreçte depolama ünitesinden sıcak su kullanımı ile çekilen toplam ısı (5.43) eşitliği ile bulunmuştur.

$$\sum_{t=0}^{t=1\ \text{dakika}} Q_{kul} = \int_{0}^{1\ \text{dakika}} \dot{m}_{kul} C_{p_{kul}} [T_{çk}(t) - T_{gk}(t)] \, dt \tag{5.42}$$

Birer dakikalık zaman aralığında depolama ünitesinde depolanan toplam ısı miktarı ise aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir:

$$\sum_{t=0}^{t=1\ \text{dakika}} Q_{dep} = \sum_{t=0}^{t=1\ \text{dakika}} [\dot{Q}_{gir}(t) - \dot{Q}_{kul}(t) - \dot{Q}_{kay}(t)] = \int_{0}^{1\ \text{dakika}} [\dot{Q}_{gir}(t) - \dot{Q}_{kul}(t) - \dot{Q}_{kay}(t)] \, dt \tag{5.43}$$

5.5.3. Üçüncü Kademe Deneyler

Üçüncü kademe deneyleri içeren 15 (on beş) alt deney şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Öncelikle depolama ünitesi içerisinde su bulunurken, depolama ünitesi merkezi sıcaklığı 60°C'ye çıkarılmıştır. Bu noktadan sonra kullanım suyu musluğu açılarak üç farklı pompa debisi değeri (2.1 L/s, 1.8 L/s, 1.5 L/s) ve beş farklı kullanım suyu musluk debisi değeri (2.4 L/s, 2.1 L/s, 1.8 L/s, 1.5 L/s, 1.2 L/s) altında çeşitli sıcaklık değişimleri göz önüne alınmıştır. Sıcaklık değişimleri birer dakikalık zaman aralığı kapsamında kayıt altına alınmıştır ve yine her bir akışkan için termosifon tarafından tüketilen elektrik miktarı temel ölçüt olmuştur. Örneğin su için, kullanım suyunun açılmasıyla beraber, 29 dakikalık süreçte depolama ünitesi içerisindeki sıcaklıkların belirli bir dereceye kadar düşüşü izlenmiş ve aynı zamanda da bu süreçte termosifon tarafından tüketilen elektrik miktarı not edilmiştir. 30. dakikaya girildiği anda, su için deney sonlandırılmış ve suya ait karakteristik deneyde tüketilen elektrik miktarı, diğer üç depolama maddesi için gerçekleştirilen karakteristik deneyler için eş değer elektrik tüketimi olarak kabul edilmiştir. Bu kademenin son adımında da, eş değer elektrik tüketimine denk düşen süreçte, depolama ünitesi içindeki sıcaklıklarla beraber kullanım suyu sıcaklıkları da birer dakikalık zaman aralıkları kapsamında kayıt altına alınmıştır.

Üçüncü kademe deneylerin hesaplama aşamasında; Eşitlik (5.44), Eşitlik (5.41), Eşitlik (5.42) ve Eşitlik (5.43) birlikte ele alınarak değerlendirilmiştir.

Öncelikle Eşitlik (5.44) aracılığıyla, depolama ünitesine birer dakikalık süreçlerle giren ısı miktarı hesaplanmıştır.

$$\sum_{t=0}^{t=1\ \text{dakika}} Q_{gir} = \int_{0}^{1\ \text{dakika}} \dot{m}_{ısı} C_{p_{ISI}} [T_{gd}(t) - T_{çd}(t)]\, dt \qquad (5.44)$$

Daha sonra, Eşitlik (5.41), Eşitlik (5.42) ve Eşitlik (5.44); Eşitlik (5.43)'te yerine yazılarak depolama ünitesinde birer dakikalık aralıklarla depo edilen ısı hesaplanmıştır.

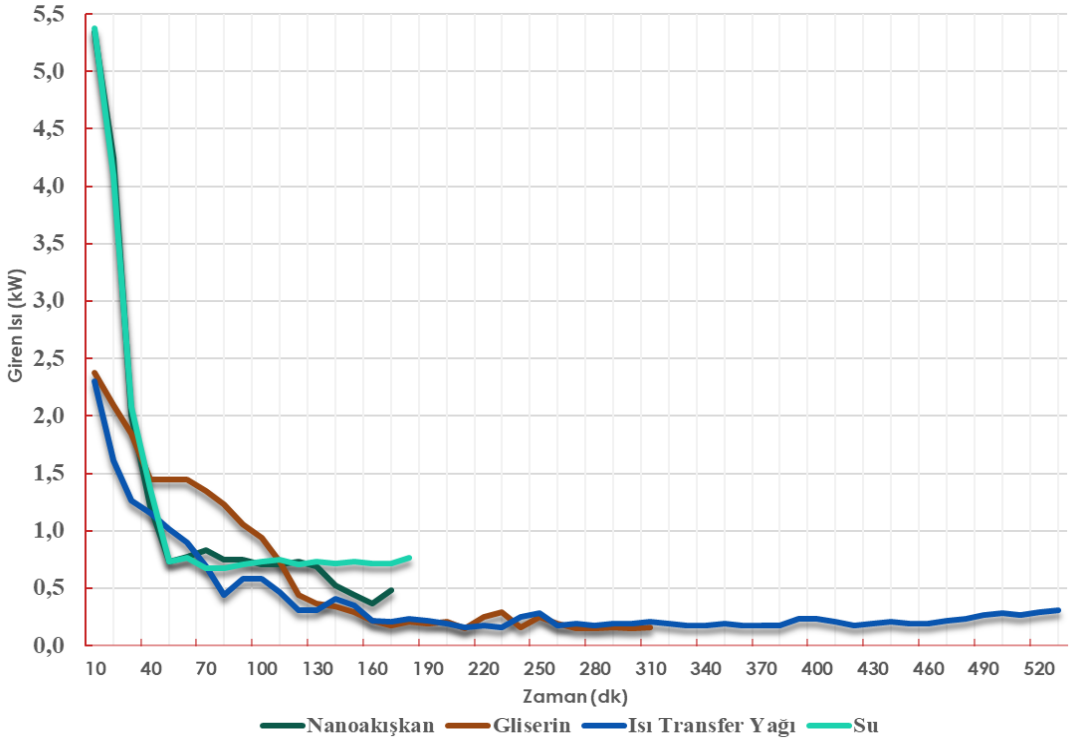
BÖLÜM 6

6.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

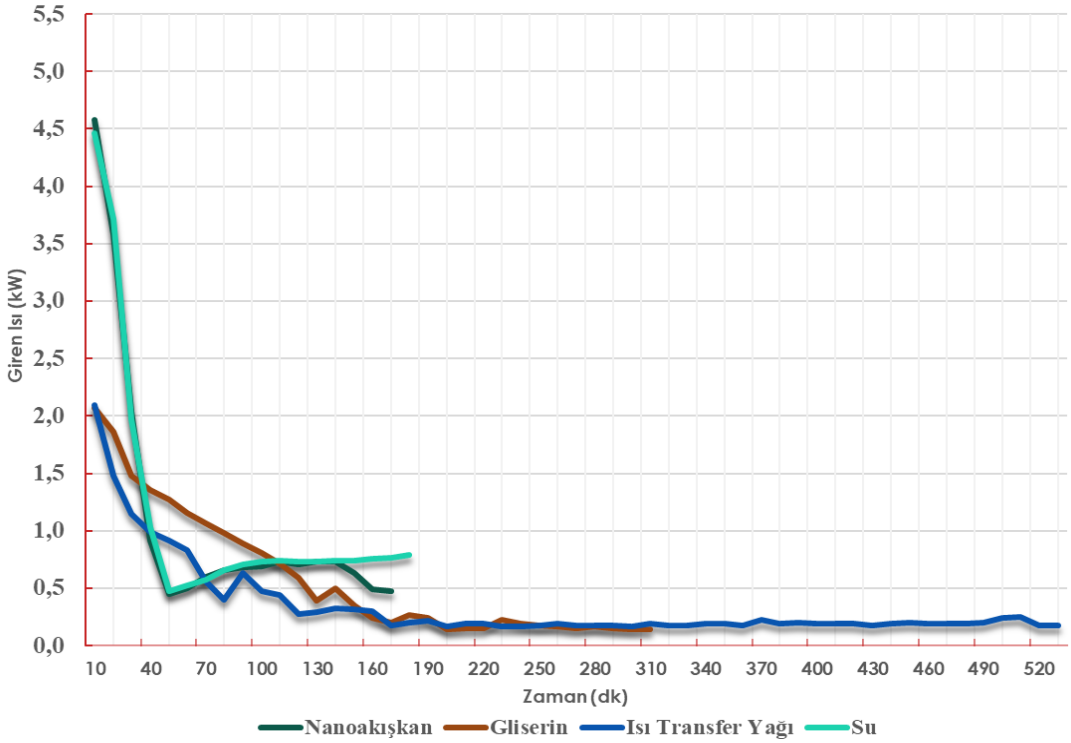
Dört depolama maddesiyle (su, gliserin, ısı transfer yağı ve nanoakışkan) üç farklı aşamada 92 deney yapılmış olup, bu bölüm esas olarak söz konusu deneylerde ölçümlenen sıcaklıkları ve bunlar aracılığıyla hesaplanan ısıları içermektedir. Bunun yanı sıra; bu bölümde depolama maddelerinin ısıl yayınım kabiliyetleriyle ısıl iletim kabiliyetleri, ısı depolayabilme yetenekleri ve ısı depolama kapasiteleri de hesaplanarak sunulmuştur.

6.1.1. Isı Depolama Ünitesine Sadece Isı Girişi Olduğu Duruma Ait Sonuçlar

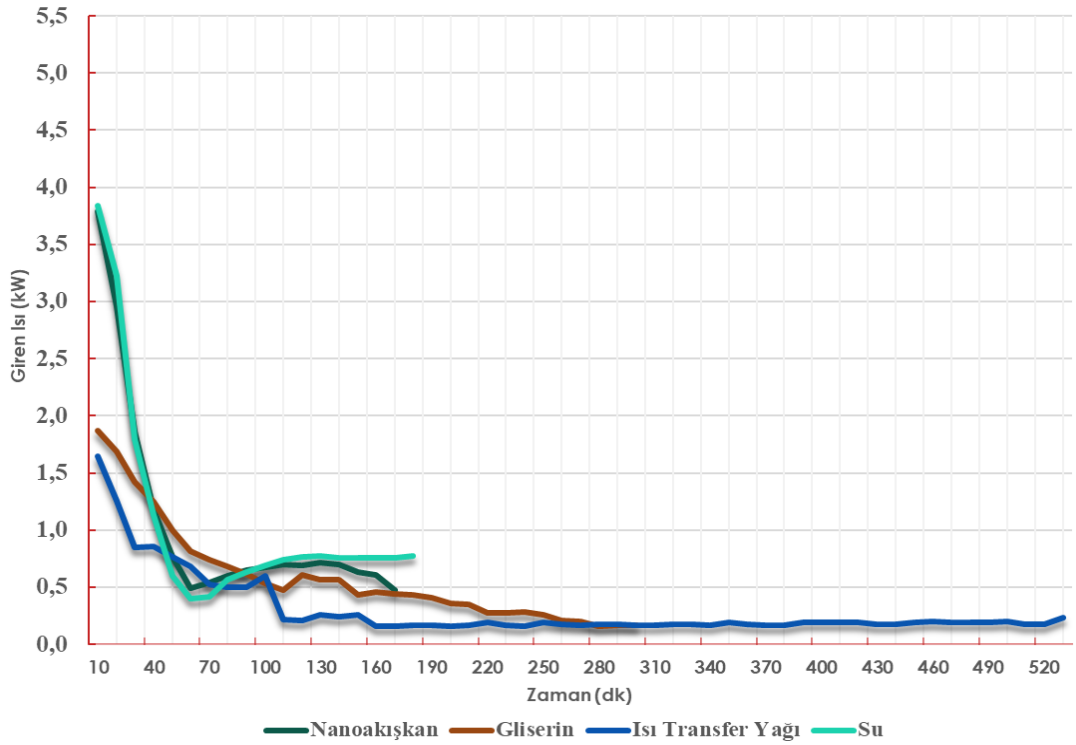
Depolama ünitesine sadece ısı girişinin olduğu deneylerde; pompa debisi üç ayrı değere ayarlanmıştır (2.1 l/dk, 1.8 l/dk, 1.5 l/dk). İlgili pompa debilerinde depolama ünitesine giren ısı enerjisi sırası ile Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te verilmiştir. Şekil 6.1'deki grafiğe göre, depoya giren ısı, su ve nanoakışkanda 70. dakikaya kadar hemen hemen aynı değerde olmuştur.



Şekil 6.1. 2.1 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesine giren ısı enerjisinin ısı depolama maddelerine göre dağılımı



Şekil 6.2. 1.8 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesine giren ısı enerjisinin ısı depolama maddelerine göre dağılımı

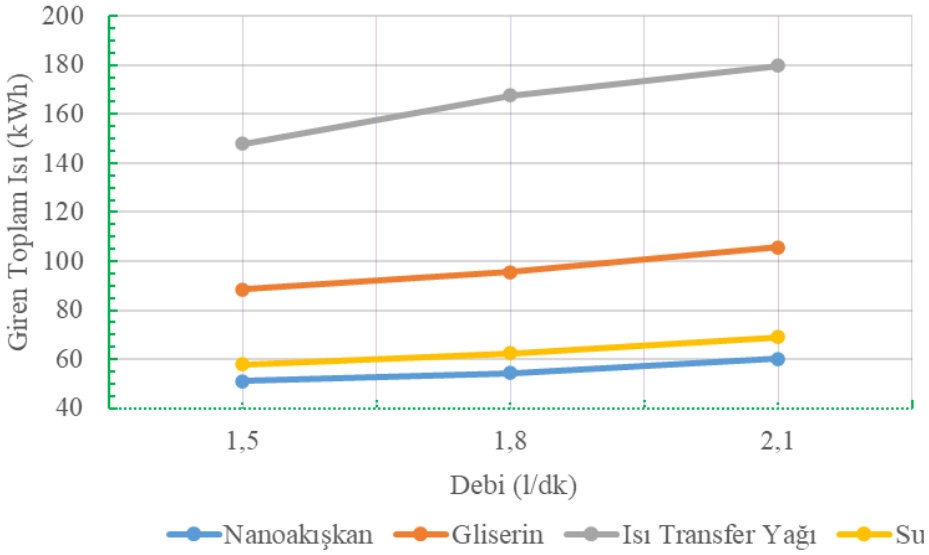


Şekil 6.3. 1.5 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesine giren ısı enerjisinin ısı depolama maddelerine göre dağılımı

Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te görüldüğü üzere; depolama ünitesine giren ısı su ve nanoakışkan için hemen hemen aynı değerdedir. Bunun dışında, her üç grafikte de gözlemlenmiş olan bir diğer durum; pompa debisi düştükçe giren ısı değerinin azalmış olduğudur. Ayrıca, su ve nanoakışkanda depolama ünitesi içerisindeki merkezi sıcaklığın 60°C'ye ulaşma süresi de her üç debi değeri için birbirine oldukça benzerdir. Su ve nanoakışkanın ısınma sürecindeki tek fark depolama ünitesi merkezi sıcaklığının suda, nanoakışkana göre sadece 10 dakikalık bir gecikmeyle 60°C'ye ulaşmasıdır. Buna karşılık, yine şekillerden görülebileceği üzere gliserin ve ısı transfer yağında söz konusu sıcaklığa ulaşma süresi çok daha uzun olmuştur. Bu durumun oluşmasına sebep; gliserin ve ısı transfer yağının ısı depolama kapasitelerinin, su ve nanoakışkanla karşılaştırıldığında görece çok daha düşük olmasıdır.

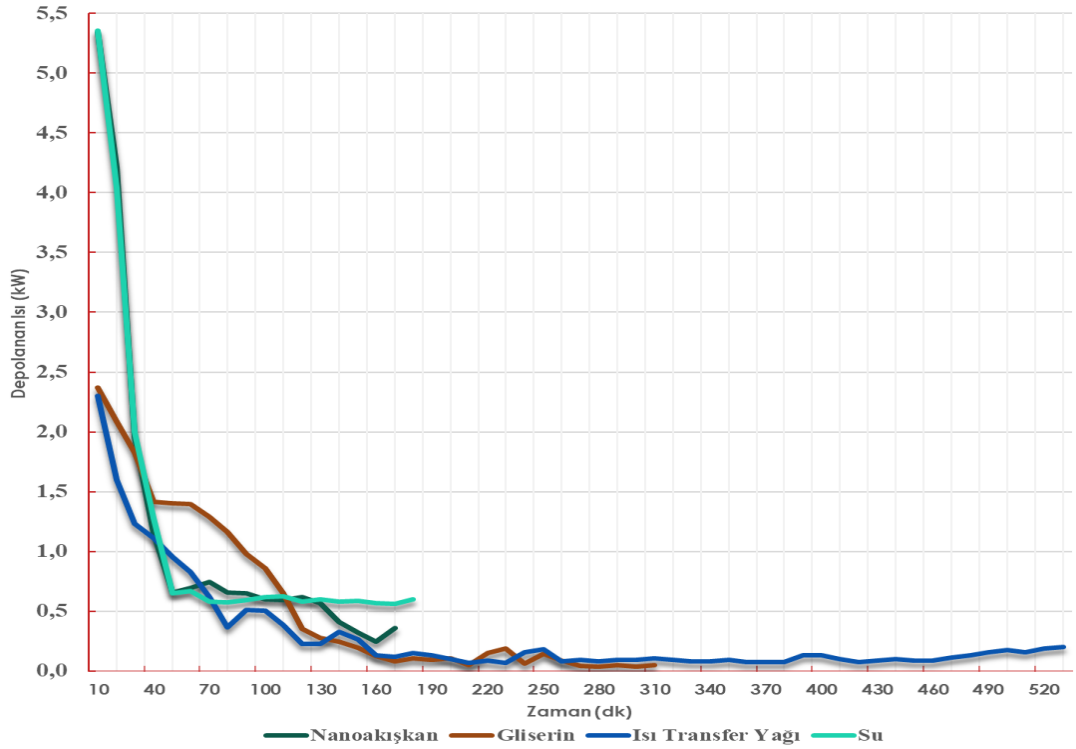
Depolama ünitesine giren toplam ısılar grafik şeklinde Şekil 6.4'te gösterilmiştir. İlgili şekilden görüleceği üzere; ısı transfer yağı ve gliserinde, depolama ünitesine giren ısı bu iki depolama maddesinin karakteristik deneylerinin su ve nanoakışkana göre çok daha uzun sürmesi nedeniyle daha yüksek olmuştur. Bunun dışında; su ve nanoakışkan kullanımı sırasında her üç pompa debisi değerinde de, depolama ünitesine birbirine yakın

miktarlarda enerji girmektedir. Çünkü su ve nanoakışkanın ilgili deneylerdeki süreçleri birbirine oldukça benzerdir. Bir başka deyişle gerek su gerekse de nanoakışkanda deneyler hemen hemen aynı süre içerisinde sonlanmıştır.

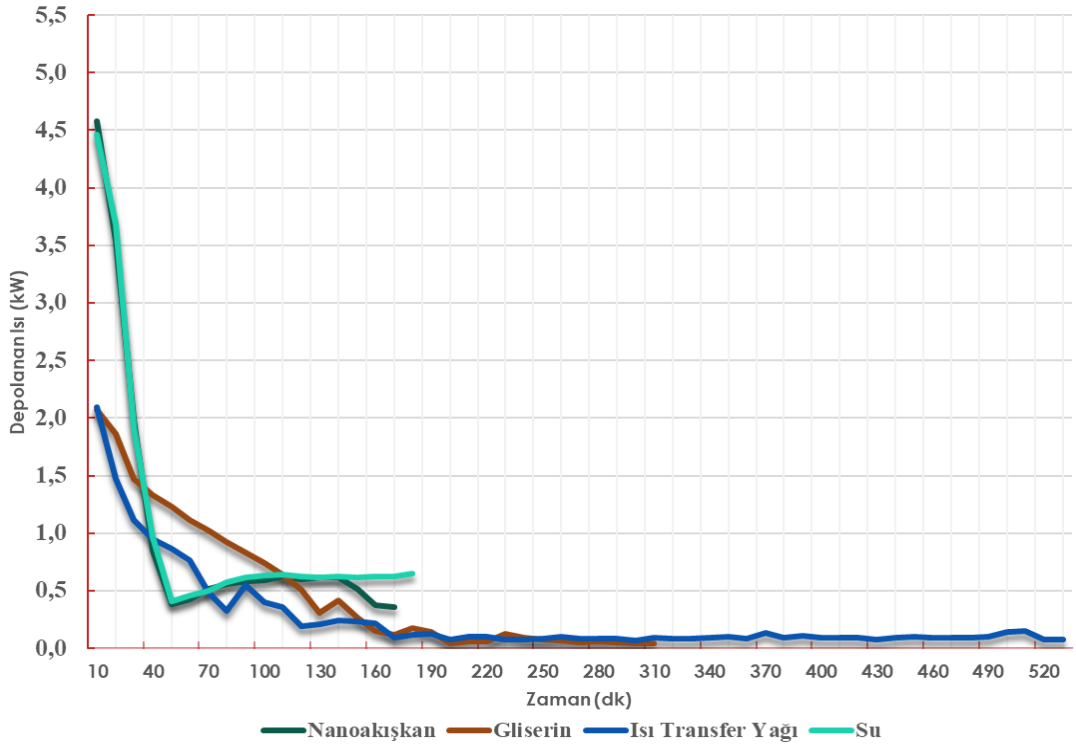


Şekil 6.4. Deneyler süresince depolama ünitesine giren toplam ısılar

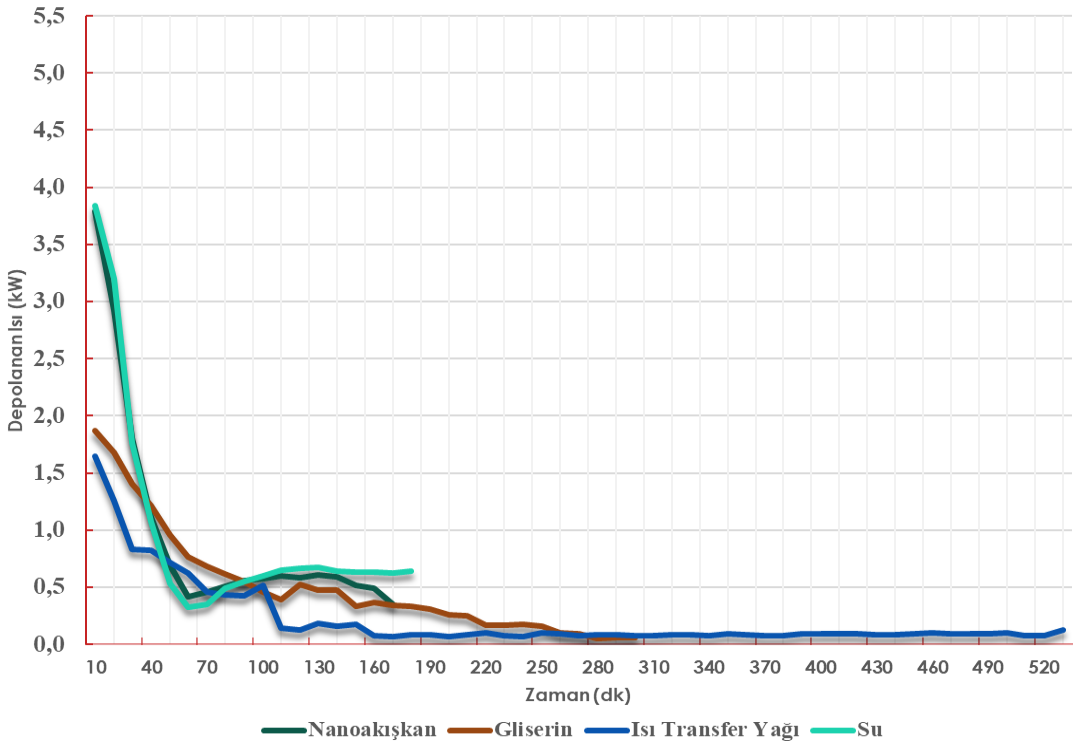
Deneyler sırasında kullanılan depolama maddeleri aracılığıyla depo edilen ısılar Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. 2.1 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisinin depolama maddelerine göre depolanış dağılımı



Şekil 6.6. 1.8 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisinin depolama maddelerine göre depolanış dağılımı



Şekil 6.7. 1.5 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisinin depolama maddelerine göre depolanış dağılımı

İlgili şekillerden görüleceği üzere, pompa debisinin 2.1 l/dk ve 1.5 l/dk olduğu durumlarda su ve nanoakışkan tarafından depo edilen ısılar 50. dakikaya kadar birbirine oldukça yakın değerlerde olmuştur.

Depolama maddelerinin ısıl yayınım kabiliyetleri ilgili sıcaklıkta Çizelge 6.1'de verilmiştir. Aynı sıcaklıktaki ısıl iletim kabiliyetleri ise Çizelge 6.2'de sunulmuştur.

Çizelge 6.1. Isı depolama maddelerinin ısıl yayınım kabiliyetleri (T=25°C)

Isı Depolama Maddesi	**Isıl Yayınım Kabiliyetleri (m^2/s)**
Nanoakışkan	$1.668x10^{-7}$
Su	$1,456x10^{-7}$
Gliserin	$9,388.10^{-8}$
Isı transfer yağı	$7,944.10^{-8}$

Çizelge 6.2. Isı depolama maddelerinin ısı iletim kabiliyetleri (T=25°C)

Isı Depolama Maddesi	Isıl İletim Kabiliyetleri (W/mK)
Nanoakışkan	0.6886
Su	0.6070
Gliserin	0.2860
Isı transfer yağı	0.1330

Çizelge 6.1'de ve Çizelge 6.2'de değeri belirtilmiş olan, ısı transfer yağının ısıl yayınım ve ısıl iletim kabiliyeti ilgili yağ kataloğundan Lagrange interpolasyon formülünü kullanan bir yazılım aracılığıyla hesaplanmıştır.

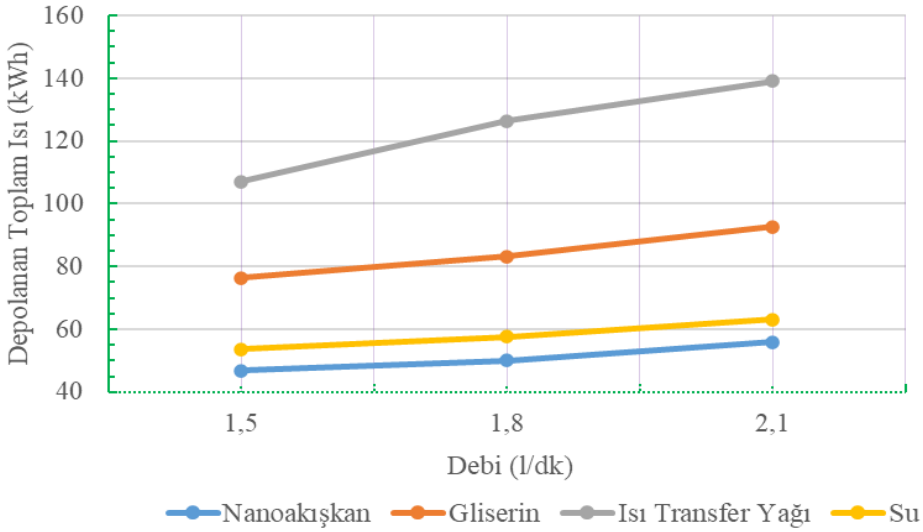
Lagrange interpolasyon formülü açık hâliyle aşağıdaki Eşitlikte verilmiştir:

$$P(x) = \frac{(x-x_2)(x-x_3)...(x-x_n)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)...(x_1-x_n)} y_1 + \frac{(x-x_1)(x-x_3)...(x-x_n)}{(x_2-x_1)(x_2-x_3)...(x-x_n)} y_2 + ... \frac{(x-x_1)(x-x_2)...(x-x_{n-1})}{(x_n-x_1)(x_n-x_2)...(x_n-x_{n-1})} y_n \qquad (6.1)$$

Eşitlik (6.1)'de pay kısmındaki x, x eksenine denk düşen ve y eksenindeki karşılığı bulunması istenen değeri simgelemektedir. Benzer şekilde pay kısmındaki x_1, x_2, x_3 ve x_n, polinomal fonksiyonun x eksenindeki değerlerini simgelerken; payda kısmındaki ifadeler de paydaki x değerlerine bağlı olarak bunların y eksenindeki karşılıklarını simgelemektedir.

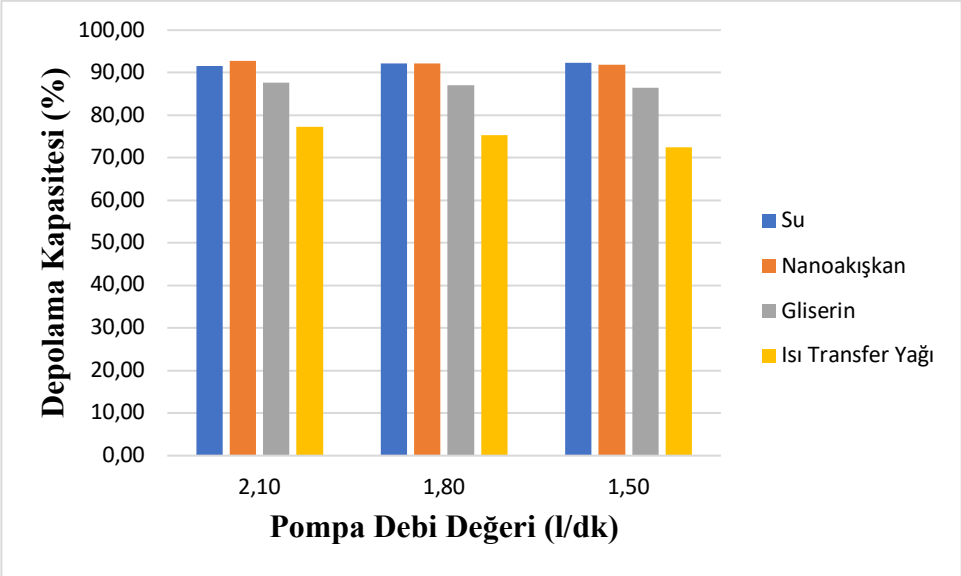
Yine Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de değeri verilmiş olan, gliserinin gerek ısıl iletim kabiliyeti gerekse de ısıl yayınım kabiliyeti, ilgili tablolar aracılığıyla hesaplanmıştır (Çengel, A. Y. & Cimbala, J. M., 2006).

Depolama maddelerinin depoladığı toplam ısı enerjisinin pompa debisine bağlı değişimi Şekil 6.8'de verilmiştir. Depolama ünitesine giren ısılarda olduğu gibi depolama maddeleri tarafından depolanan ısılarda da, depolama maddelerinin karakteristik deney süreçleri, Şekil 6.8'in ana belirleyicisi olmuştur. Isı transfer yağı ve gliserinin deney süreçleri, su ve nanoakışkana göre daha uzun olmuştur. Ayrıca su, nanoakışkan ve gliserin pompa debisi değişimine ısı transfer yağı kadar duyarlı olmamıştır. Çünkü bu depolama maddelerinin gerek ısı iletim kabiliyetleri gerekse de ısı depolama yetenekleri ısı transfer yağından oldukça farklıdır.



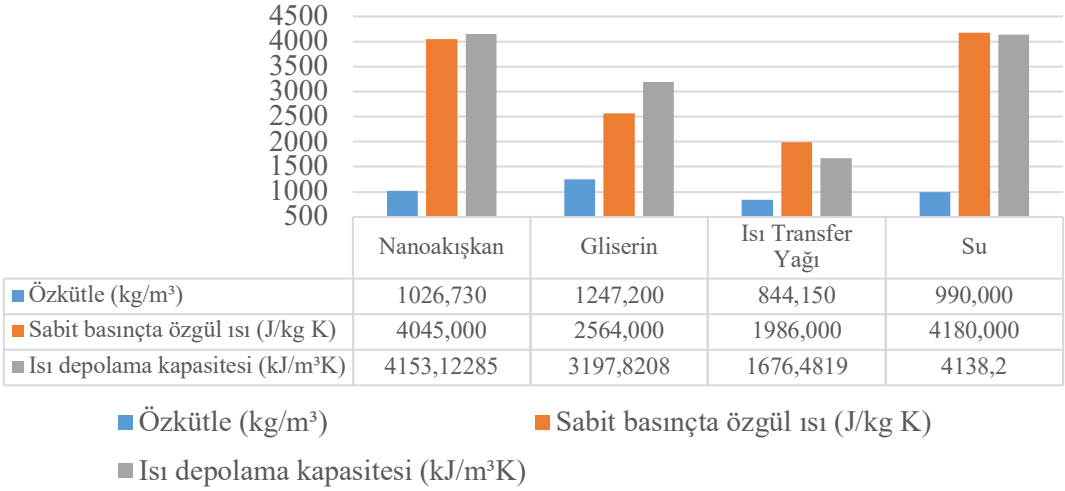
Şekil 6.8. Depolama ünitesinde bulunan depolama maddelerinin depoladığı toplam ısı enerjisinin pompa debisine bağlı değişimi

Belirlenen pompa debilerinde depolama maddelerinin ısı depolama kapasiteleri Şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.9. Çeşitli pompa debilerinde depolama maddelerinin ısı depolama kapasiteleri

Depolama maddelerinin özkütleleri, sabit basınçta özgül ısıları ve ısı depolama kapasiteleri Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Şekil 6.10'daki değerler, T=25°C sıcaklıkta ve 2.1 l/dk'lık pompa debisi için verilmiştir.



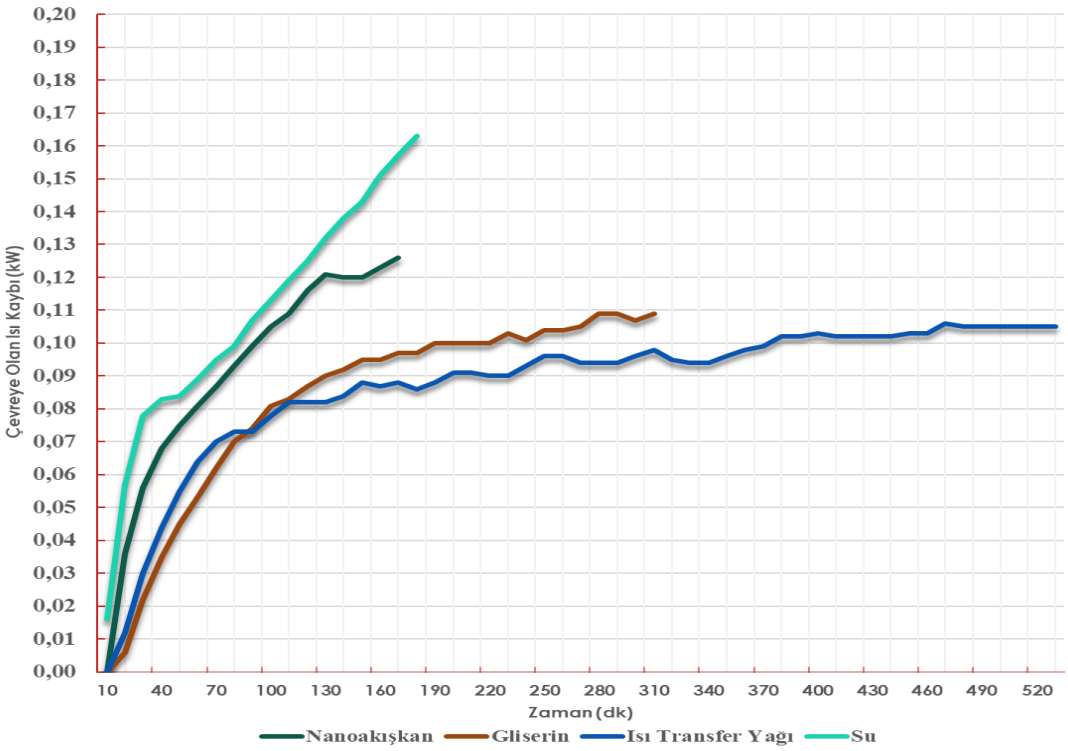
	Nanoakışkan	Gliserin	Isı Transfer Yağı	Su
Özkütle (kg/m³)	1026,730	1247,200	844,150	990,000
Sabit basınçta özgül ısı (J/kg K)	4045,000	2564,000	1986,000	4180,000
Isı depolama kapasitesi (kJ/m³K)	4153,12285	3197,8208	1676,4819	4138,2

Şekil 6.10. Isı depolama maddelerinin özkütleleri, sabit basınçta özgül ısıları ve ısı depolama kapasiteleri

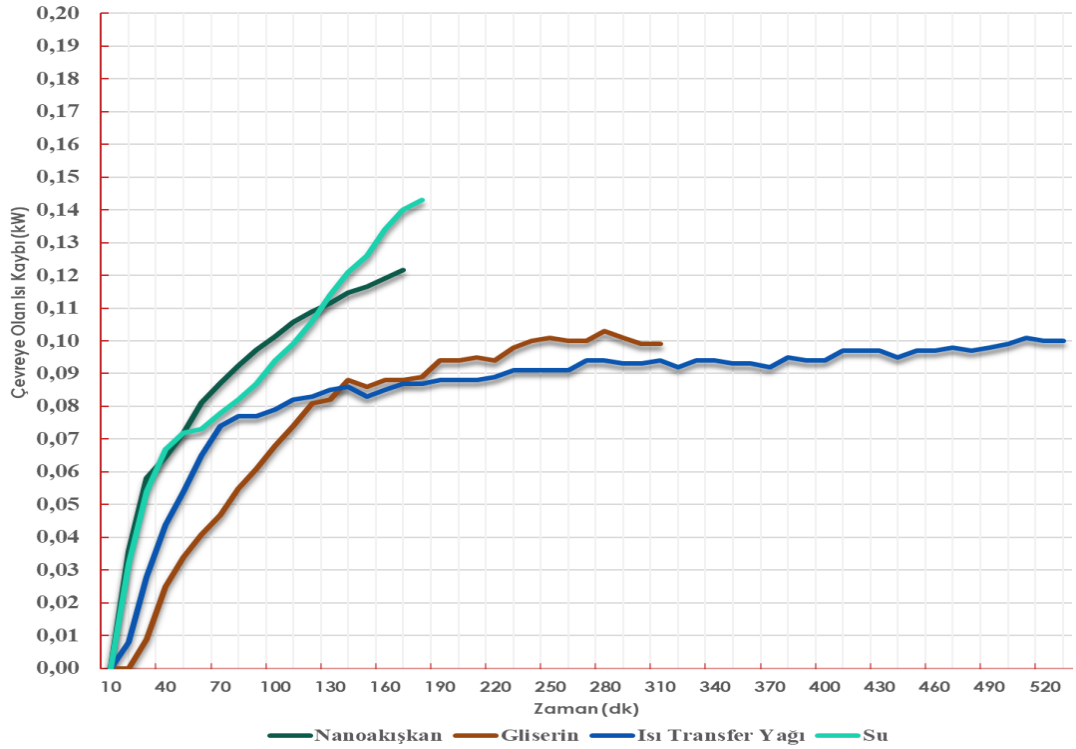
Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da görüldüğü üzere; depolama maddelerinin sisteme giren ısıları hangi ölçüde bünyelerinde ısıl enerji olarak depolayabildikleri gösterilmiştir (Şekil 6.10'da teorik açıdan). Nanoakışkan kullanımı, sadece ısınma süreci söz konusu olduğunda, suya oranla ısıl enerjinin depolanabilirliğinde sadece 2.1 l/dk'lık pompa debisinde olumlu bir katkı ortaya çıkarmıştır. Diğer pompa debilerinde (1.8 l/dk ve 1.5 l/dk) nanoakışkan, suyla hemen hemen eşit derecede depolanabilirlik seviyesini yakalamıştır. Bu debiler açısından, sadece ısınma süreci söz konusu olduğunda nanoakışkanın, suya karşı bir üstünlüğü gözlemlenememiştir. Bu gerçeğin arkasında yatan nedenlerin nanoakışkanda zamanla meydana gelen çökelmeler, topaklaşmanın uzun süreli bir hâl alması nedeniyle sıvı-katı arayüzeyine olumsuz etkisi, nanoakışkanın kısmen de olsa stabilitesini kaybetmesi ve sonuç olarak bütün bunların ısı transferine olumsuz etki etmesi olduğu düşünülmüştür. Zira, literatür incelemesi sırasında da bu gibi durumların meydana gelmesinin olası olduğu bir çalışmada ortaya konmuştur (Zheng, Han, Asif & Si, 2020).

Üç farklı pompa debisinde, her bir depolama maddesi için depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybı sırası ile Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te gösterilmiştir. Su ve nanoakışkanın ısı iletim kabiliyeti gliserin ve ısı transfer yağına göre daha yüksektir. Bu nedenle, su ve gliserin için depolama ünitesi içindeki depolama maddesi sıcaklıkları depolama ünitesi yüzey sıcaklıklarına ısı transfer yağına ve nanoakışkana göre daha farklı oranda etki etmiştir. Buna göre, depolama ünitesi içerisindeki depolama maddesi sıcaklıkları ısı iletim kabiliyeti büyük olan depolama maddeleri için depolama ünitesi

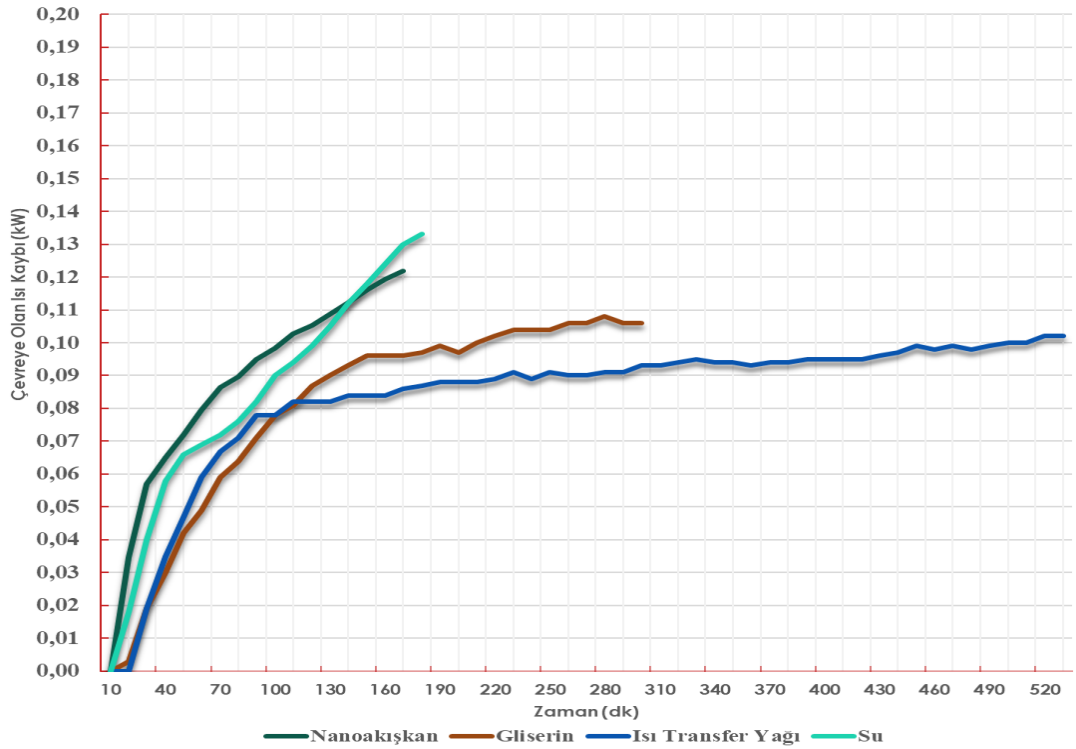
yüzey sıcaklıklarının da daha yüksek olması anlamına gelmektedir. Çünkü depolama ünitesi içerisindeki ısı, yüksek ısı iletim kabiliyeti altında depolama ünitesi yüzeylerine daha etkin ve daha hızlı iletilecektir. Bu durum da doğal olarak depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybının artması anlamını taşımaktadır.



Şekil 6.11. 2.1 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kayıplarının depolama maddelerine göre dağılımı

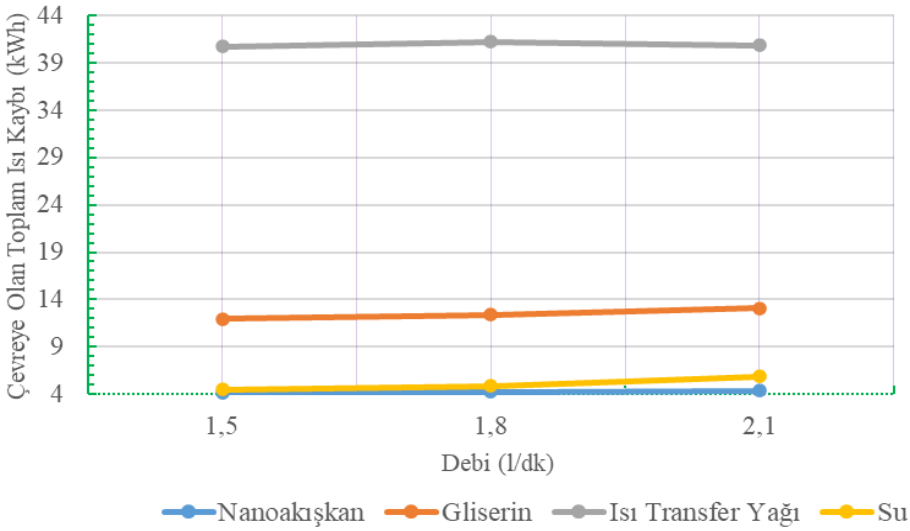


Şekil 6.12. 1.8 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kayıplarının depolama maddelerine göre dağılımı



Şekil 6.13. 1.5 l/dk'lık pompa debisinde depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kayıplarının depolama maddelerine göre dağılımı

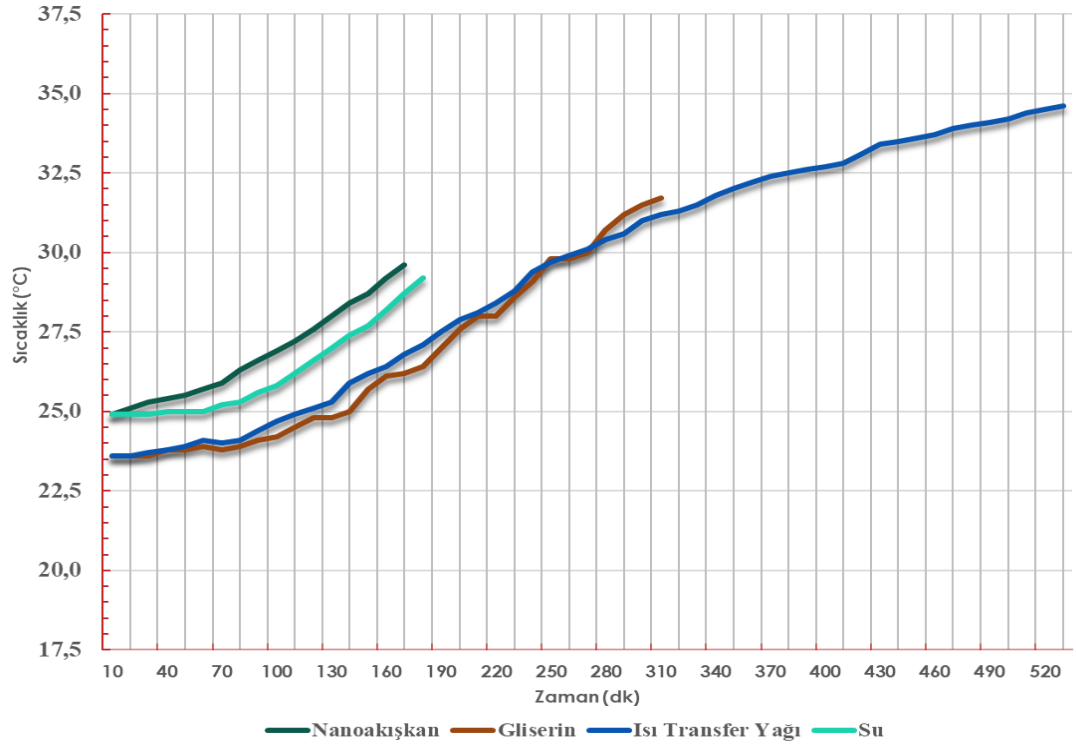
Şekil 6.14'te ısı kaybının dört depolama maddesi için toplamda ne kadarlık bir etkisinin olduğu gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği üzere, kayıp ısılar söz konusu olduğunda ısı transfer yağı ve gliserin diğer iki depolama maddesinden keskin bir çizgiyle ayrılmaktadır. Kaldı ki, bu durum zaten karakteristik her bir deneyin kendi içerisinde de gözlemlenmiştir. Oysa su ve nanoakışkanın gerek deney süreçlerinin daha kısa sürmesi gerekse de ısı iletim kabiliyetlerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle, çevreye olan toplam kayıp ısılar söz konusu olduğunda, bu iki depolama maddesi için de toplam ısı kaybı birbirine çok yakın değerler almaktadır.



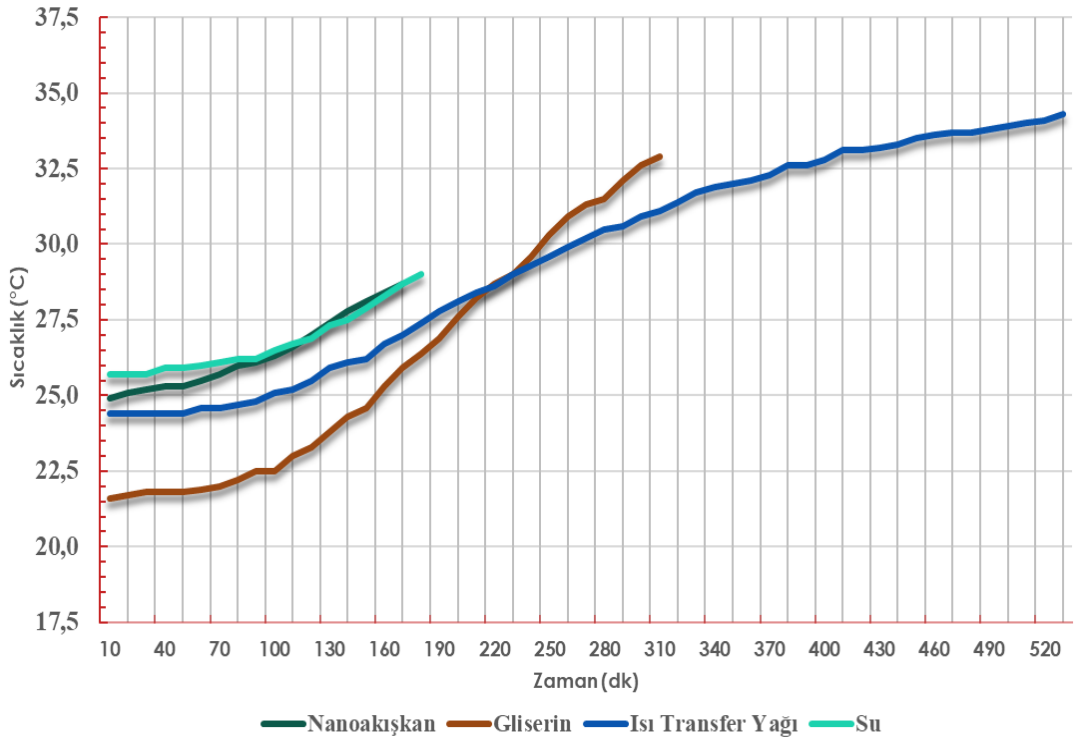
Şekil 6.14. Pompa debisine bağlı olarak depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan toplam ısı kayıpları

Deneylerde, depolama ünitesi içerisindeki sıcaklık ölçümleri üç farklı noktadan yapılmıştır: Bu noktalar depolama ünitesinin en üst noktası, depolama ünitesinin merkez noktası ve depolama ünitesinin en alt noktasıdır.

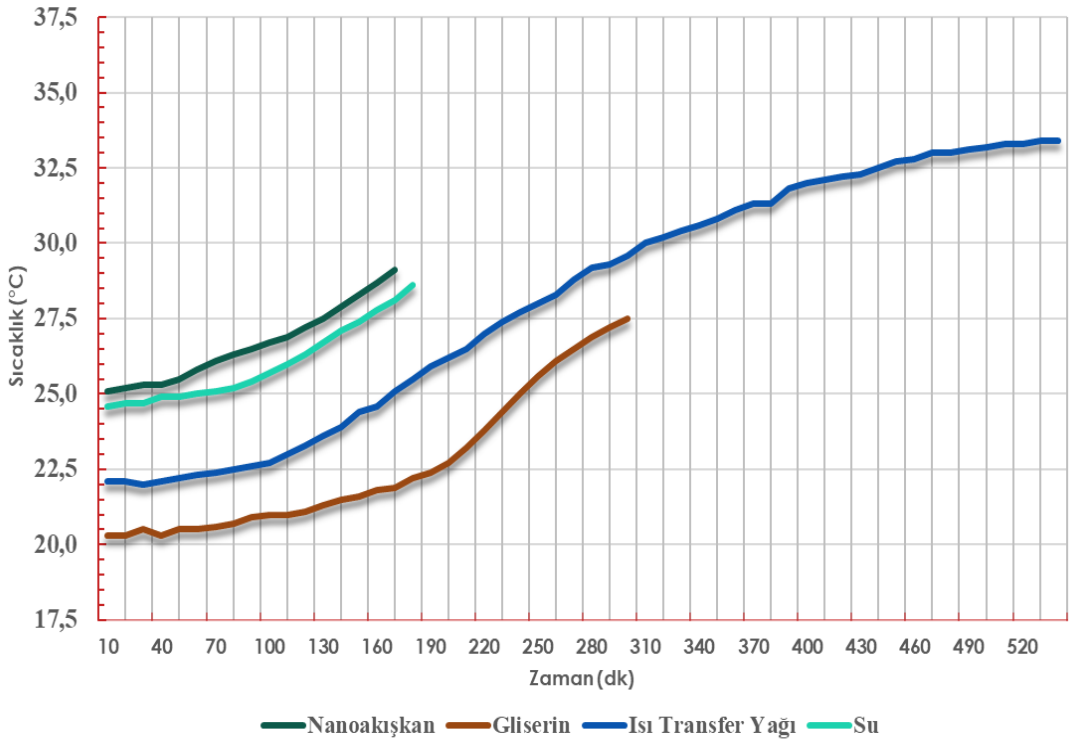
Belirlenen pompa debileri için depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları sırası ile Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de verilmiştir.



Şekil 6.15. Pompa debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları



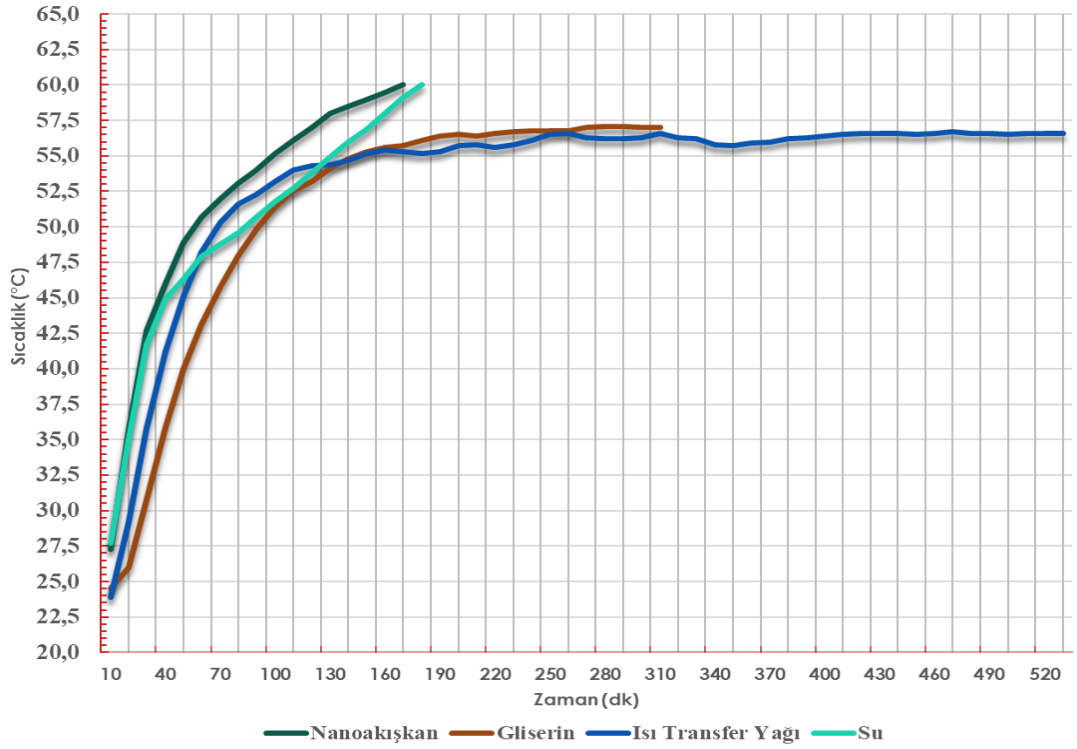
Şekil 6.16. Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları



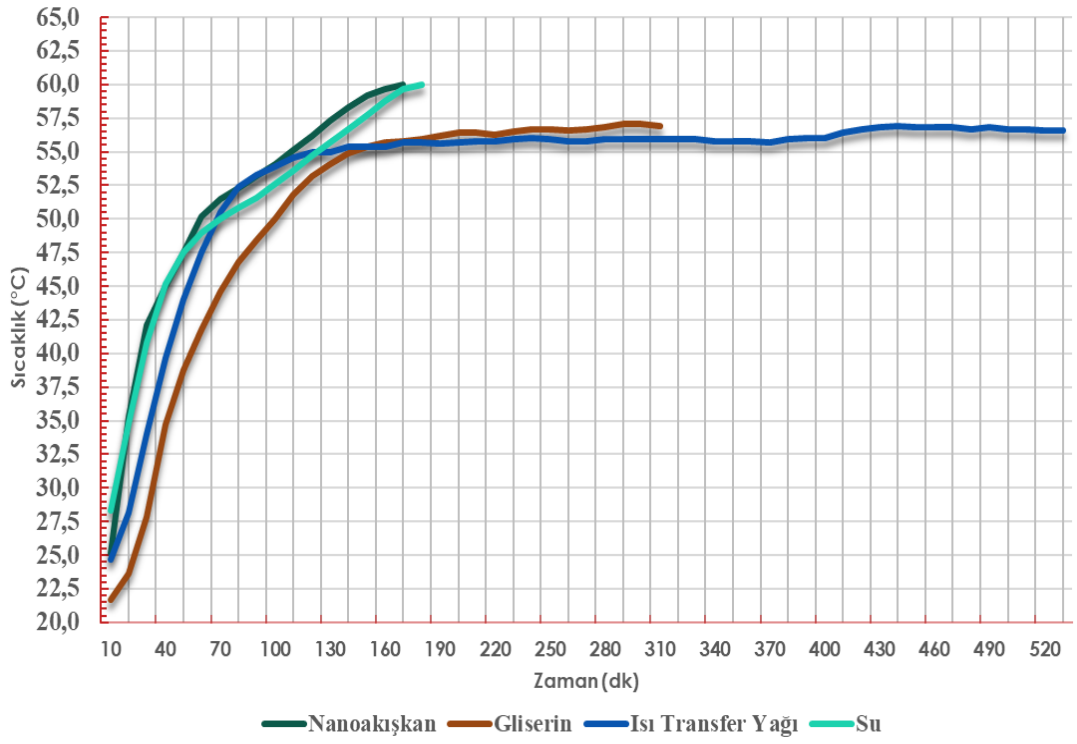
Şekil 6.17. Pompa debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'den görüldüğü üzere gliserin ve ısı transfer yağının ısınma süreçleri daha uzundur. Ayrıca, her iki depolama maddesinin de ısıl yayınım kabiliyetleri su ve nanoakışkana göre daha düşük olduğu için, bu iki depolama maddesinin ısıl tabakalaşmadan daha fazla etkilendiği anlaşılmaktadır; zira her iki depolama maddesinin de depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklıklar suya ve nanoakışkana göre çok daha fazla artmıştır.

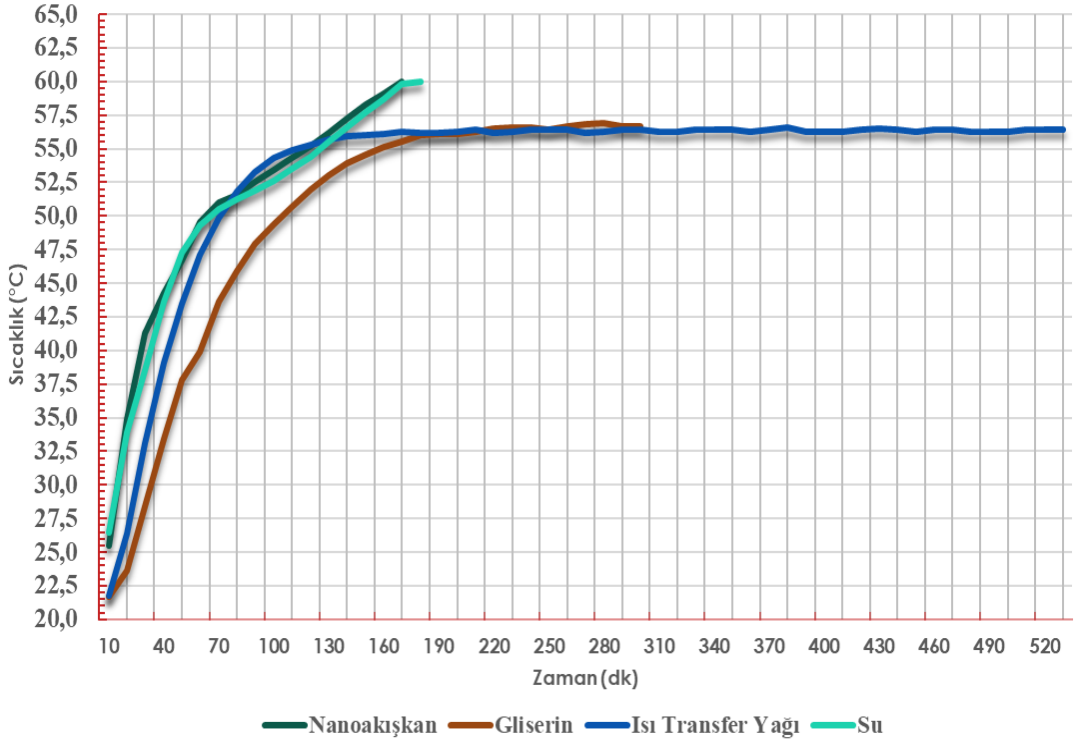
Depolama maddelerinin ısınma sürecinde, depolama ünitesinin merkezindeki sıcaklıklar Şekil 6.18, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de gösterilmiştir.



Şekil 6.18. Pompa debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



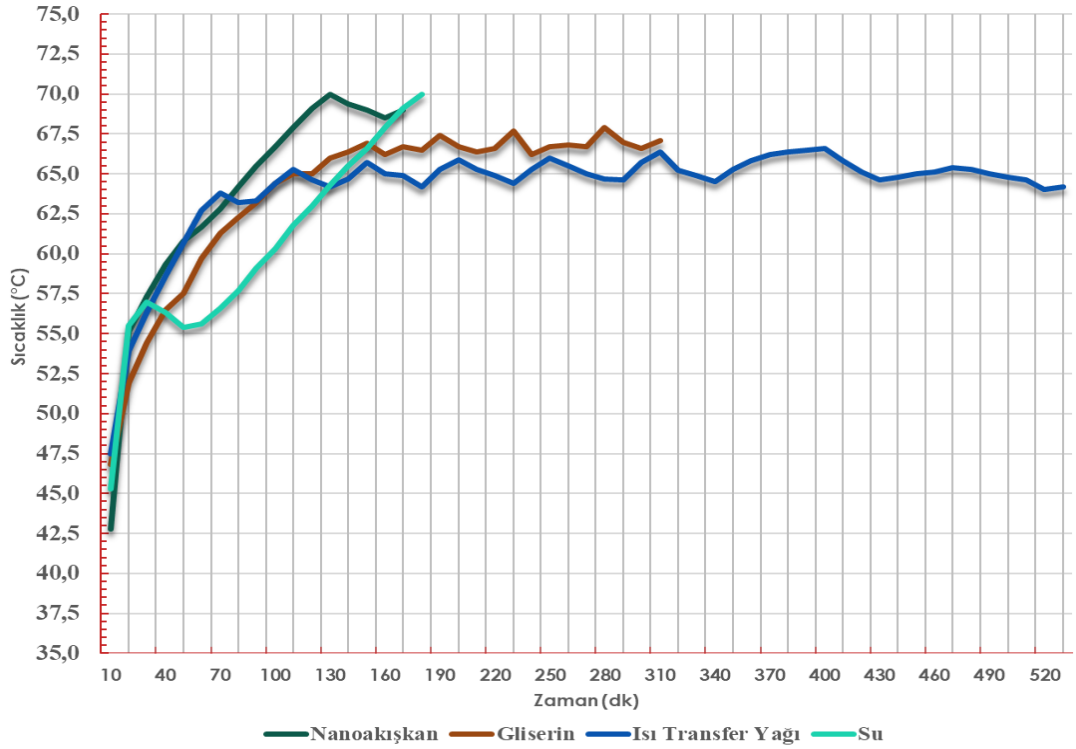
Şekil 6.19. Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



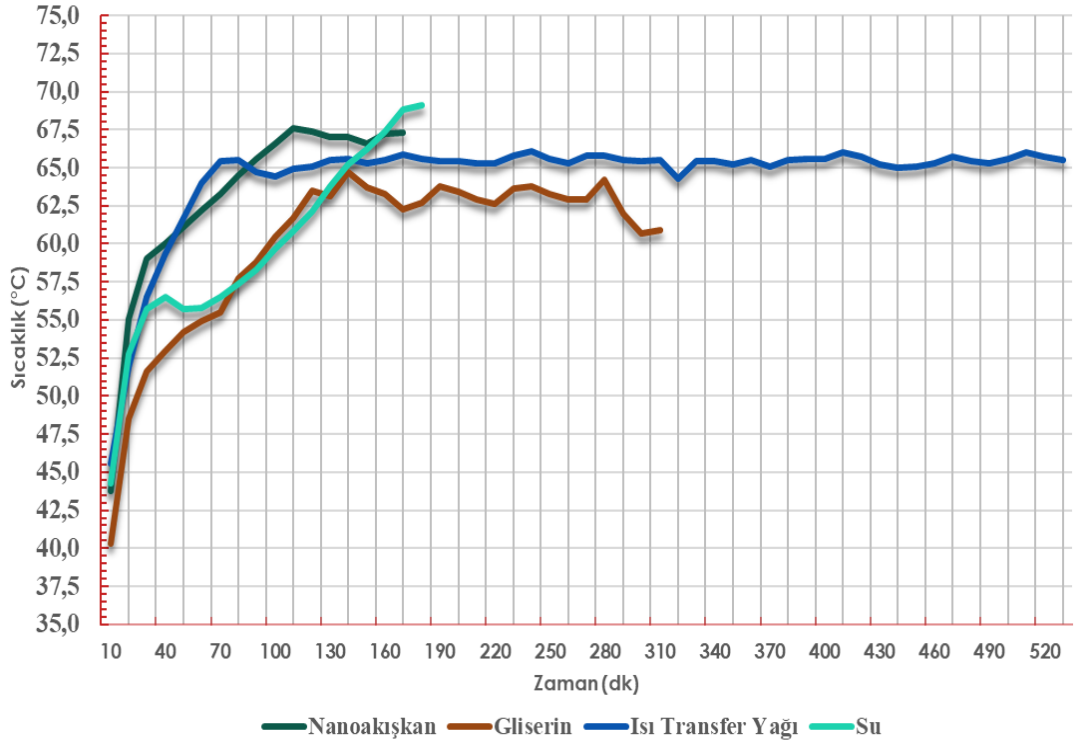
Şekil 6.20. Pompa debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

Şekil 6.18, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'ye göre; nanoakışkanın ve suyun depolama ünitesi merkezi sıcaklıkları 60°C'ye ulaşabilmiş ve bu süreç de diğer iki depolama maddesine göre daha kısa sürmüştür. Bunun nedeni, her ikisinin de ısı depolama kapasitelerinin ısı transfer yağı ve gliserine göre daha yüksek olmasıdır. Hatta ısı transfer yağı ve gliserinin depolama ünitesi merkezi sıcaklıkları, sözü geçen diğer iki depolama maddesine göre çok daha uzun bir süreçte bile 60°C'ye ulaşamamıştır. Söz konusu iki depolama maddesinin sıcaklıkları, ancak ısıl tabakalaşma belirli bir düzeye geldiğinde, 60°C'ye (bu düzeyi simgeleyen an günlük karakteristik deney süreci dışında kaldığı için grafikte belirtilmemiştir) ulaşabilmiştir. Ayrıca sadece ısınma süreci dikkate alındığında, depolama ünitesinin merkezi sıcaklığı, nanoakışkanın kullanıldığı deneylerde suya göre 10 dakikalık daha kısa bir sürede 60°C'ye ulaşmıştır.

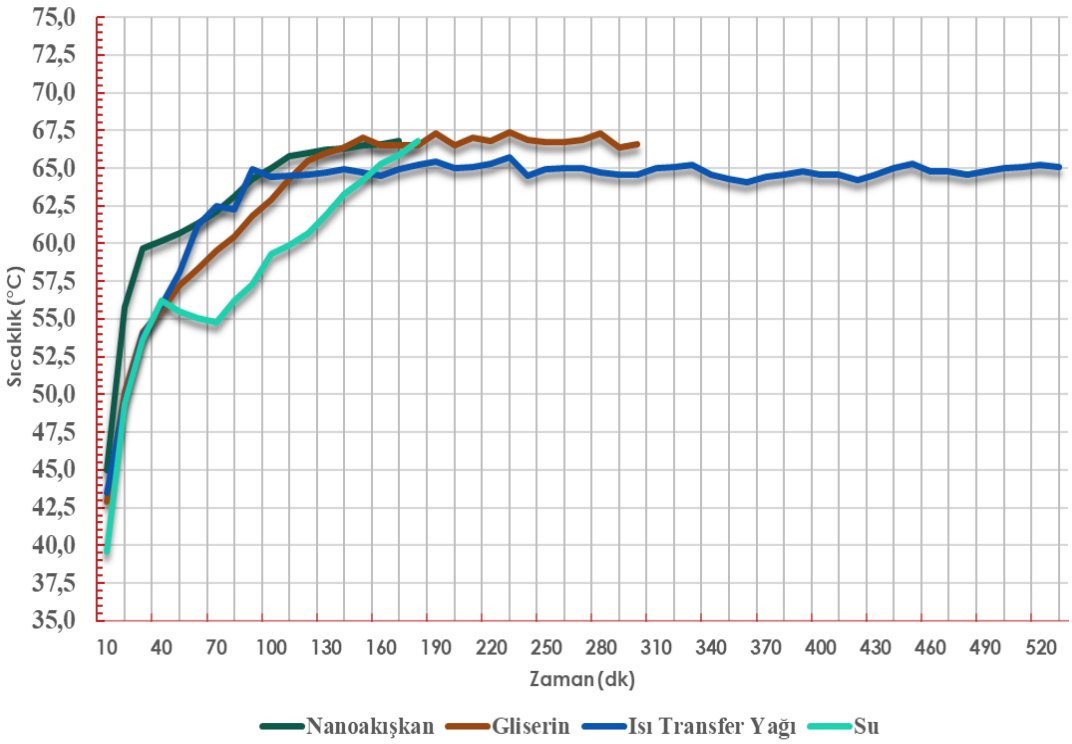
Depolama ünitesi içerisinde bulunan depolama maddelerinin, depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklıkları sırası ile Şekil 6.21, Şekil 6.22 ve Şekil 6.23'te sunulmuştur.



Şekil 6.21. Pompa debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları



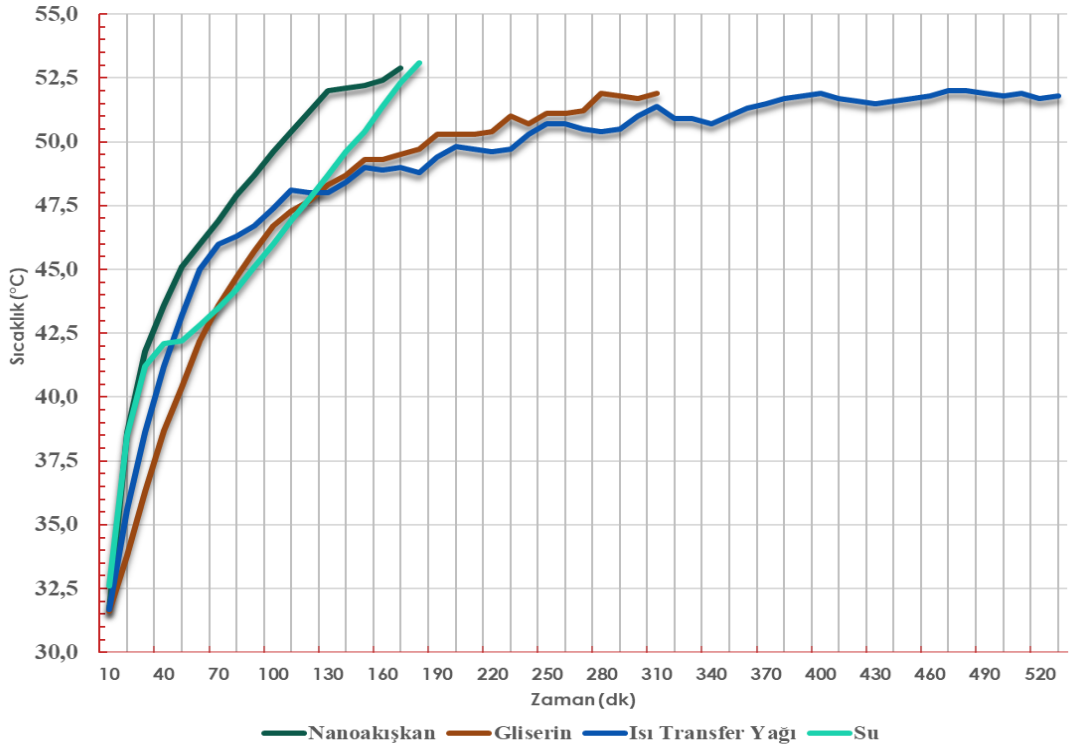
Şekil 6.22. Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları



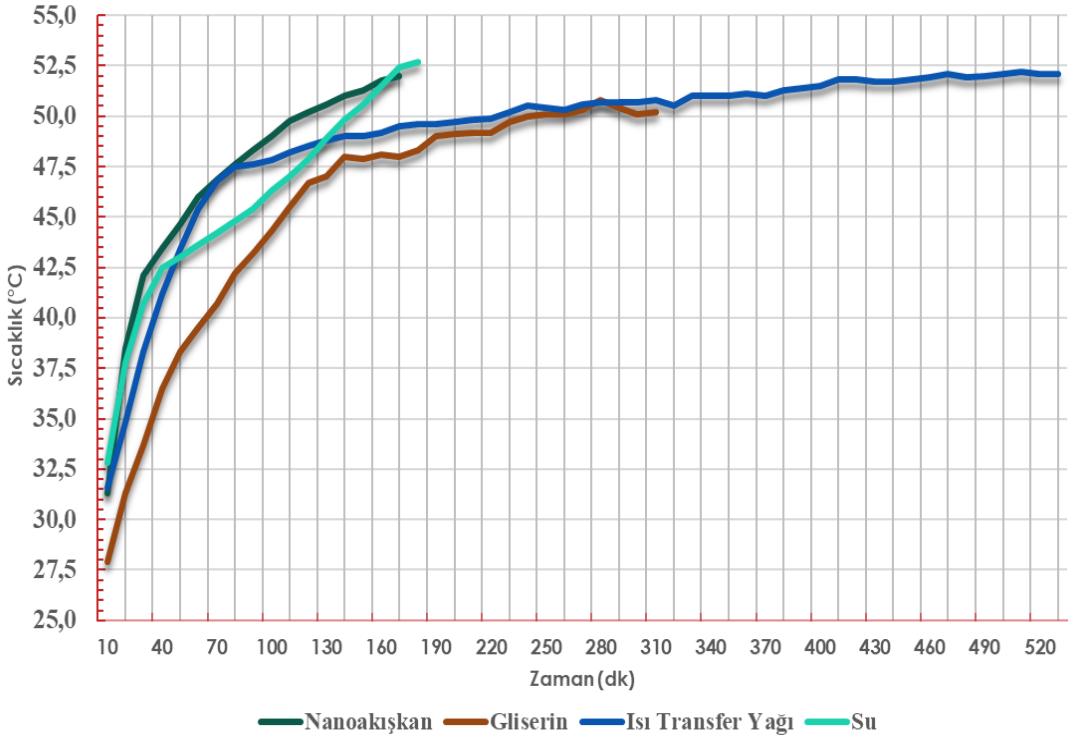
Şekil 6.23. Pompa debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

Şekil 6.21, Şekil 6.22 ve Şekil 6.23 dikkate alındığında, özellikle gliserin ve ısı transfer yağı sıcaklıklarındaki dalgalanmaların (artış ve azalış) sebebi; ısı girişi tarafındaki pompanın belirli zaman dilimlerinde aktif hâle gelmesidir.

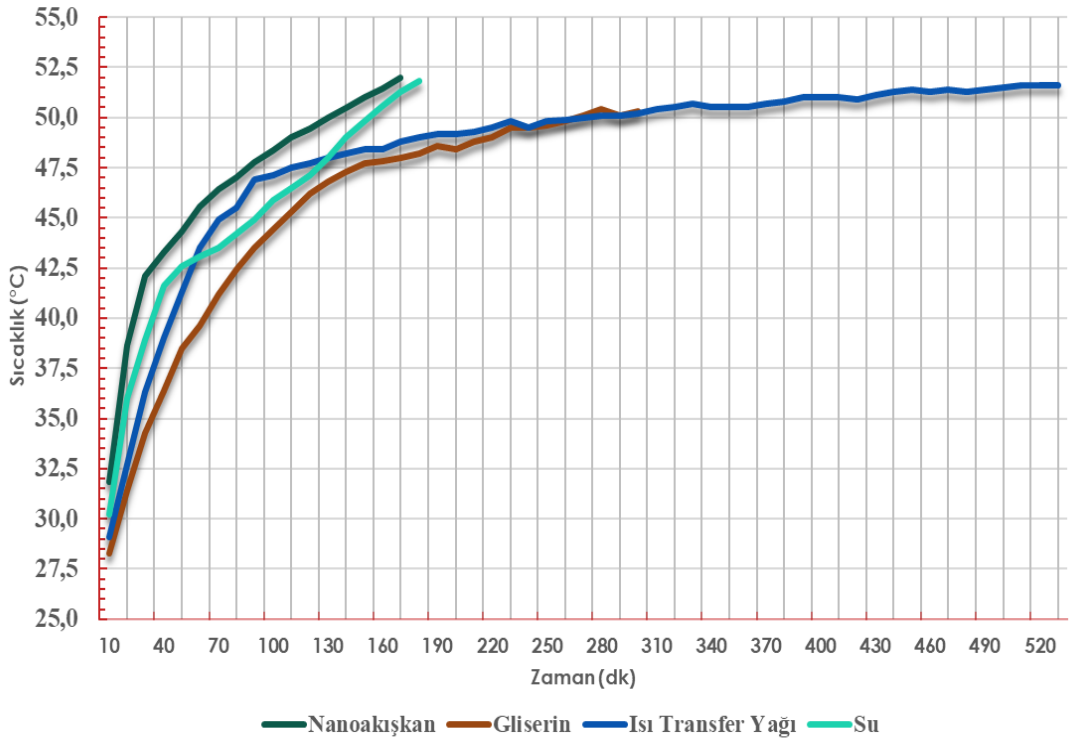
Depolama maddelerinin depo içerisindeki ortalama sıcaklık dağılımları da hesaplanmış olup, bu dağılımlar Şekil 6.24, Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da verilmiştir.



Şekil 6.24. Pompa debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



Şekil 6.25. Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



Şekil 6.26. Pompa debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama maddelerinin depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları

İlgili şekillere dikkatle bakıldığında; en yüksek ortalama sıcaklıkların nanoakışkanın kullanıldığı deneylerde, buna karşılık en düşük ortalama sıcaklıkların da özellikle 1.8 l/dk ve 1.5 l/dk'lık deneylerde gliserinde meydana geldiği anlaşılmaktadır. Ayrıca pompa debisinin 2.1 l/dk ve 1.8 l/dk olduğu durumlarda, su ve nanoakışkan için ortalama sıcaklık dağılımları birbirine oldukça benzerdir. Bununla birlikte; gliserin dışındaki ısı depolama maddeleri için en yüksek ortalama sıcaklıklar, 1.8 l/dk'lık pompa debisinde elde edilmiştir. En düşük ortalama sıcaklıklarsa 1.5 l/dk'lık pompa debisinde ortaya çıkmıştır.

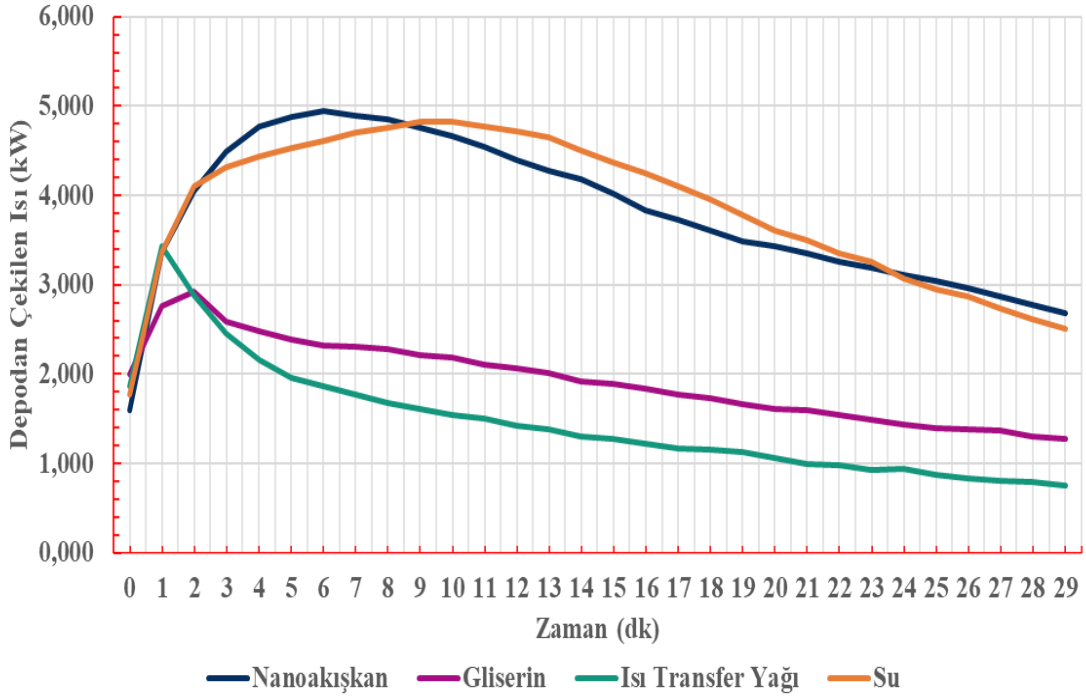
Depolama maddelerinin ısınma süreci boyunca depolama ünitesinin en üst, merkez ve en alt noktaları boyunca meydana gelen sıcaklık dağılımlarına göre depolama ünitesinde belirgin bir ısıl tabakalaşmanın ortaya çıktığı önemle belirtilmelidir.

6.1.2. Depolama Ünitesinden Sadece Kullanım Suyu İle Isı Çekilmesi Durumuna Ait Sonuçlar

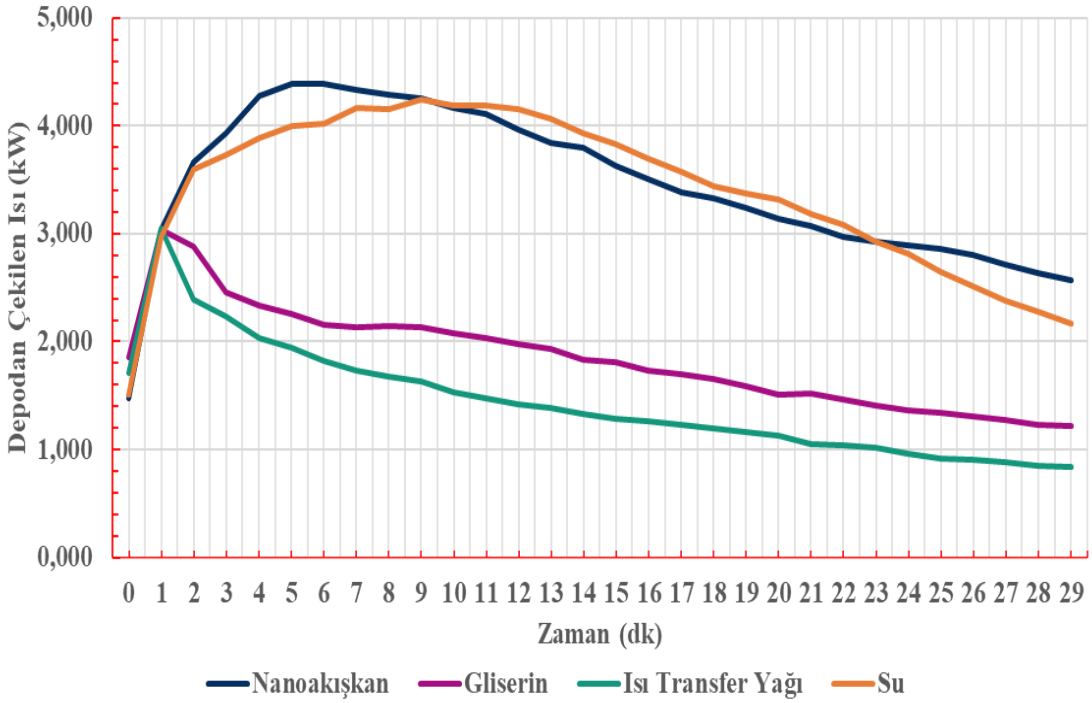
Bu grup deneylerde; depoya termosifon kaynaklı ısı girişi yoktur. Depo merkezi sıcaklığının 60°C'ye çıkarılmasından sonra kullanım suyu musluk debisinin beş ayrı

değeri (2.4 l/dk, 2.1 l/dk, 1.8 l/dk, 1.5 l/dk ve 1.2 l/dk) için depolama ünitesinden ısı çekilmiştir. Ölçüm sonuçları ile oluşturulan grafikler Şekil 6.27, Şekil 6.28, Şekil 6.29, Şekil 6.30 ve Şekil 6.31'de gösterilmiştir. İlgili şekillerde görüleceği üzere:

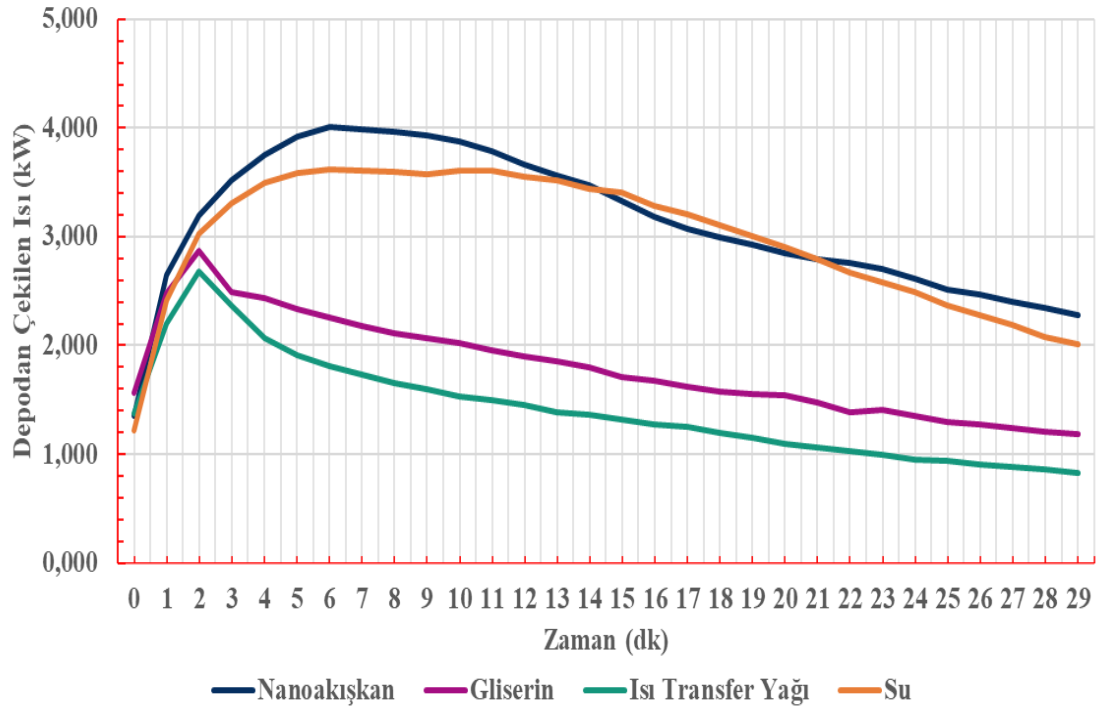
- Kullanım suyu musluk debisi artışı-kullanım suyuna aktarılan ısı ilişkisi, su ve nanoakışkanda daha etkilidir. Bir başka deyişle, bu iki depolama maddesi kullanım suyu musluk debisi artışına, diğer iki depolama maddesine göre daha duyarlı olmuştur. Debi yükseldikçe kullanım suyuyla depolama ünitesinden çekilen ısı önemli ölçüde artmıştır. Bu sonucu, depolama ünitesinden çekilen toplam ısı grafiği de desteklemektedir. Gliserinle ısı transfer yağı karşılaştırıldığında da benzer bir durum söz konusudur.
- Depolama maddesi su ve nanoakışkan olduğunda; bütün kullanım suyu musluk debilerinde, depolama ünitesinden çekilen ısı, diğer iki depolama maddesine göre her bir karakteristik deneyin neredeyse bütün süreci boyunca, daha yüksek değerdedir.
- Kullanım suyu musluk debisi düştükçe, depolama ünitesinden ısı çekilmesi konusunda nanoakışkan suya göre daha avantajlı hâle gelmiştir. Öyle ki 1.2 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde, nanoakışkan depolama ünitesinden daha çok ısı çekilebilmesi konusunda suya göre bariz bir üstünlük sağlamıştır.



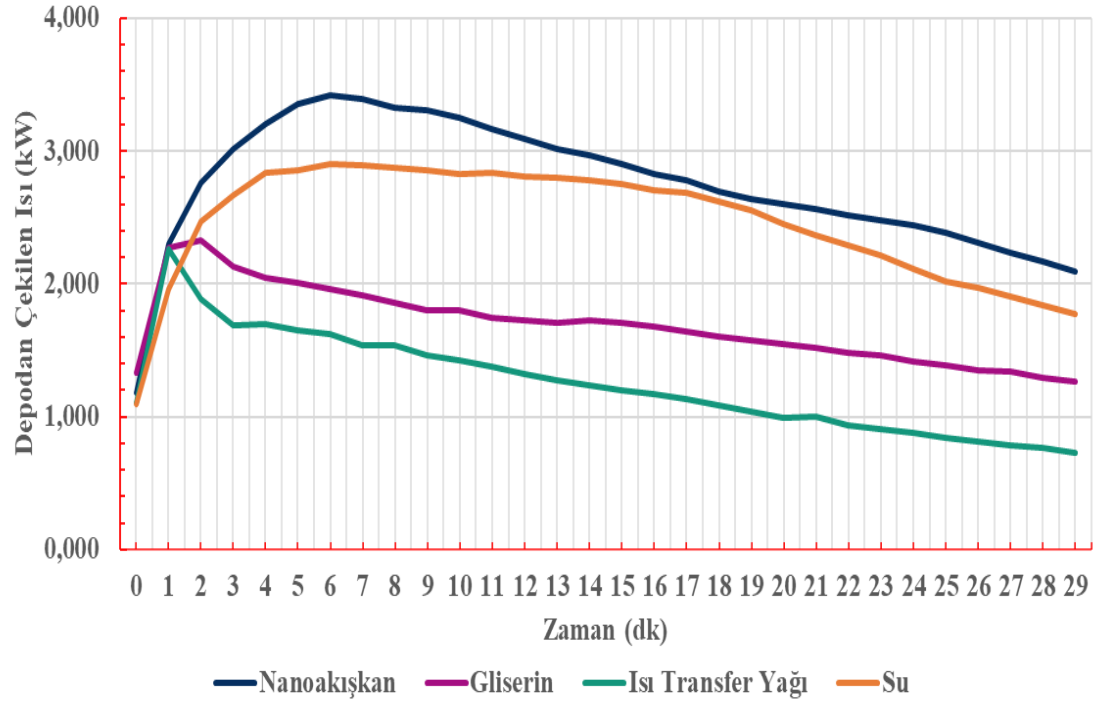
Şekil 6.27. 2.4 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen ısı



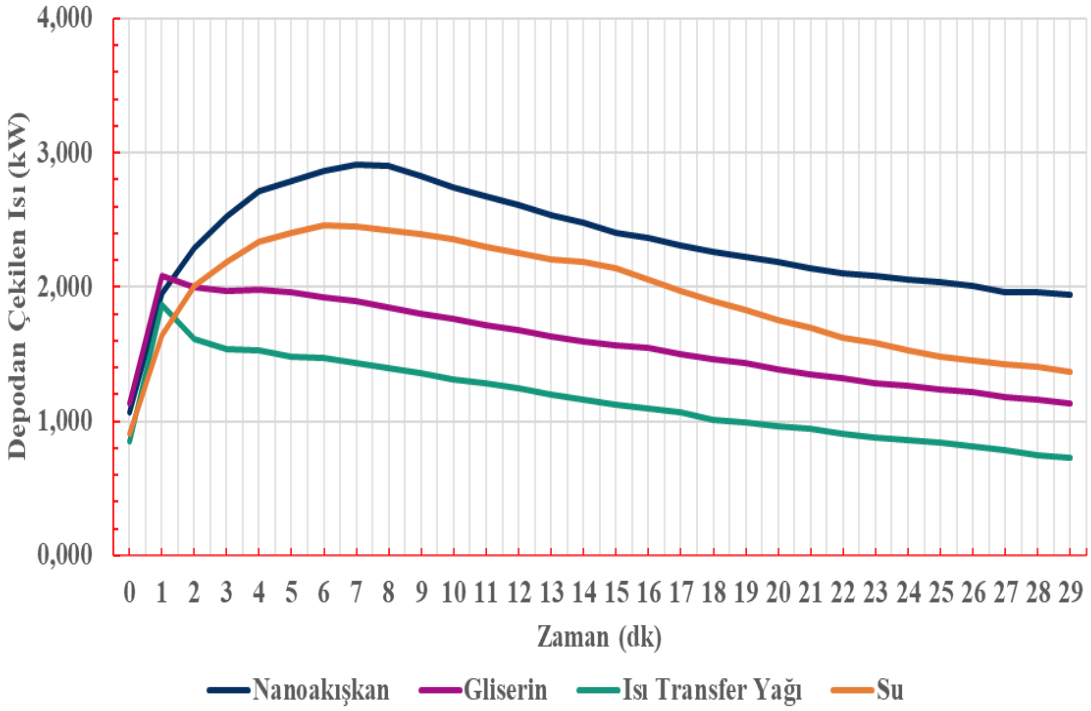
Şekil 6.28. 2.1 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen ısı



Şekil 6.29. 1.8 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen ısı

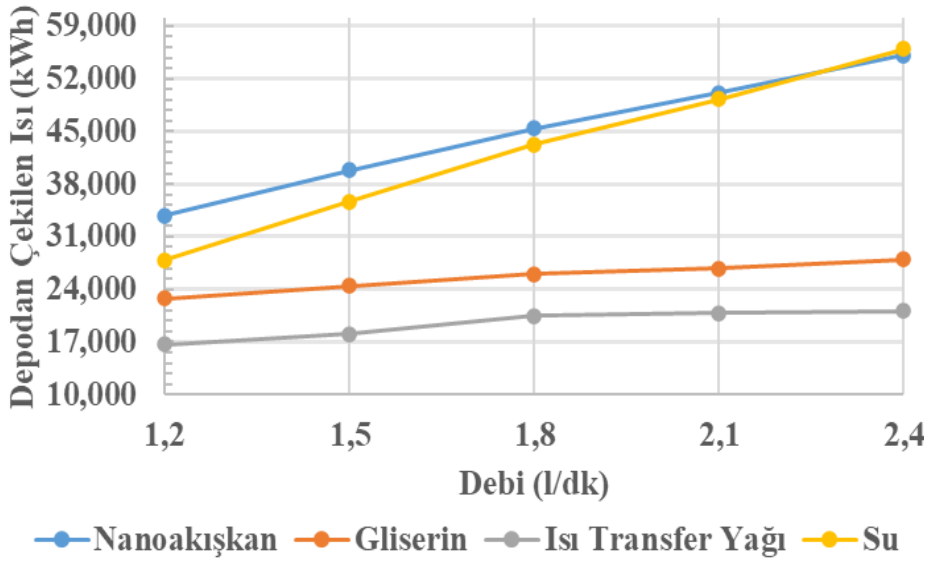


Şekil 6.30. 1.5 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen ısı



Şekil 6.31. 1.2 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen ısı

Depolama ünitesinden çekilen toplam ısının, kullanım suyu musluk debisine bağlı değişimi Şekil 6.32'de verilmiştir.

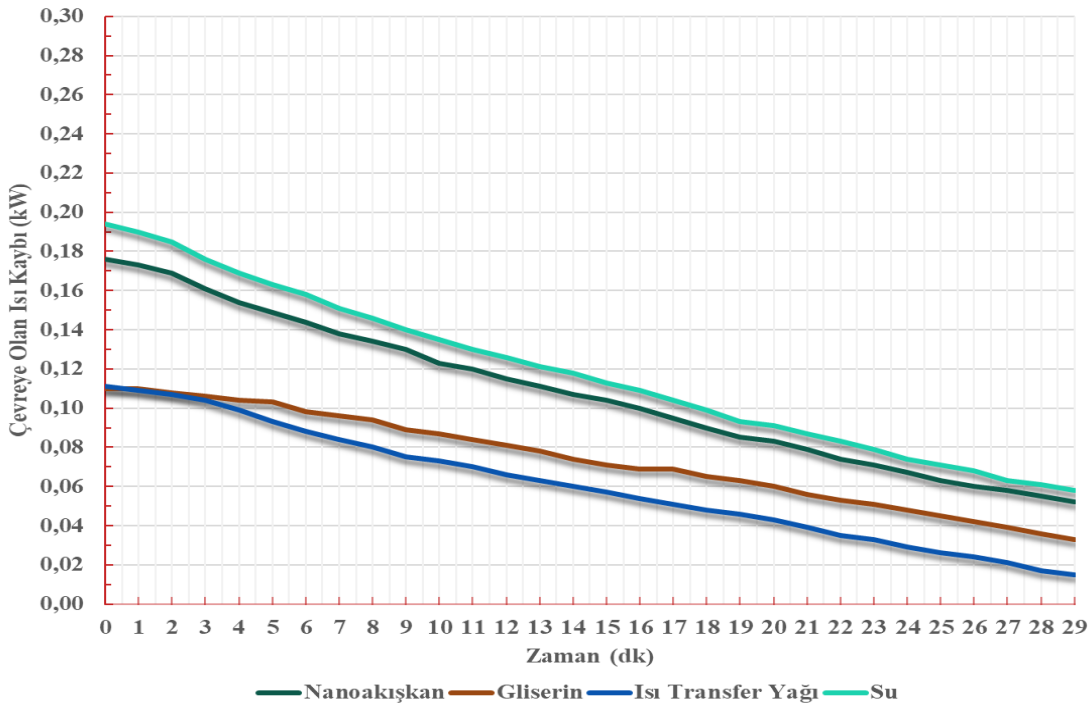


Şekil 6.32. Depolama ünitesinden çekilen toplam ısının kullanım suyu musluk debisine bağlı değişimi

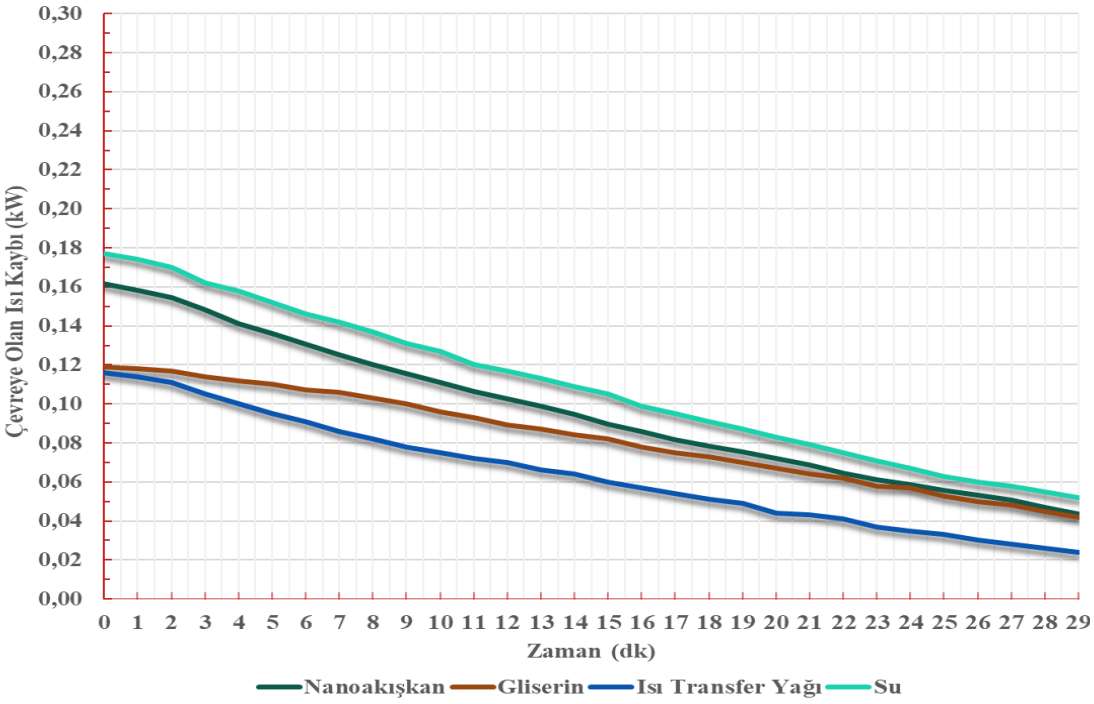
Şekilden görüldüğü üzere; her bir depolama maddesi, debi artışına aynı oranda duyarlı değildir. Depolama ünitesinden çekilen ısı kapsamında, debi artışından en çok etkilenen su olmuştur. Kaldı ki; 1.2 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde

nanoakışkana kıyasla, depolama ünitesinden belirgin ölçüde daha az ısı çekilmesinde rol oynayan su, debi değeri 2.4 l/dk'ya yükseltildiğinde, çok az bir farkla da olsa, kullanım suyu aracılığıyla sudan daha fazla ısı çekilebilmesine yol açmıştır. Yani kullanım suyu debi değeri yükseldikçe, nanoakışkan kullanımı ısı depolaması açısından üstünlüğünü yitirmektedir.

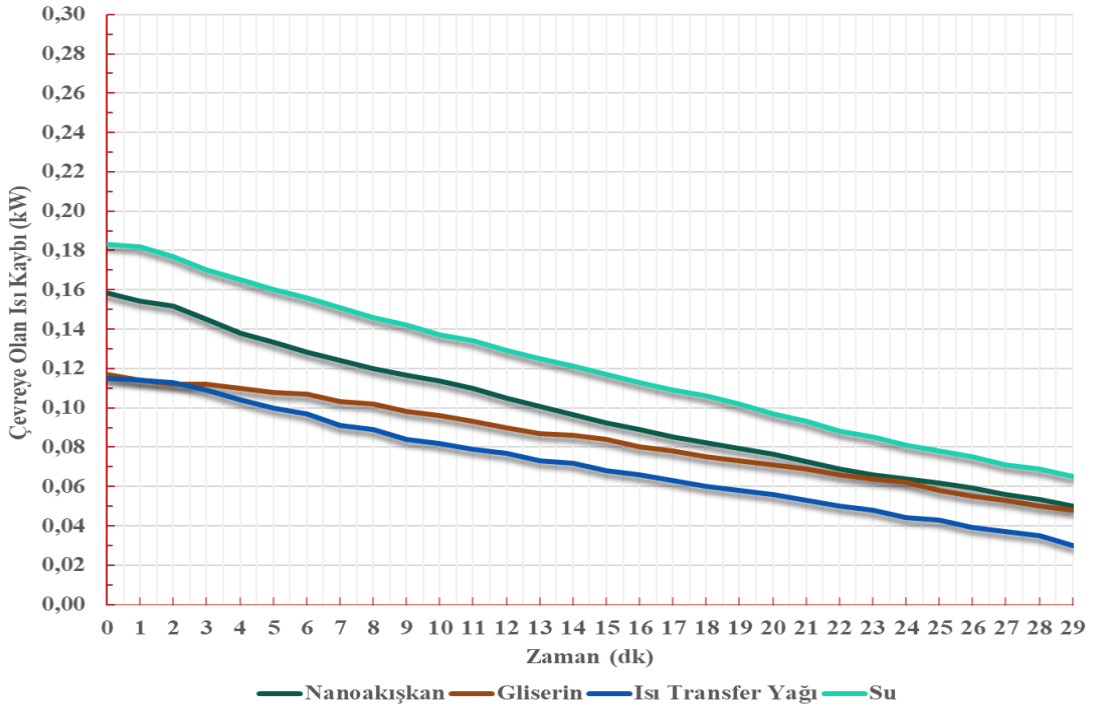
Beş farklı kulanım suyu musluk debisinde, her bir depolama maddesine özgü deney boyunca, depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybı Şekil 6.33, Şekil 6.34, Şekil 6.35, Şekil 6.36 ve Şekil 6.37'de gösterilmiştir. İlgili şekillere göre; suyun ve nanoakışkanın kullanıldığı bütün deneylerde, hangi kullanım suyu musluk debisi olursa olsun depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybı diğer iki depolama maddesine göre daha yüksektir. Bu beklenen bir sonuç olmuştur zira su ve nanoakışkanın ısı iletim ve ısıl yayınım kabiliyetleri ısı transfer yağı ve gliserine göre daha yüksektir. Böylece, depolama ünitesi içindeki ısı, su ve nanoakışkanda daha etkin ve hızlı bir yayılım göstermiş olup depolama ünitesi yüzeylerinde de daha yüksek sıcaklıklar oluşmasına sebep olmuştur. Doğal olarak yüzeylerden çevreye olan ısı kayıpları da bu iki depolama maddesinin kullanıldığı deneylerde daha yüksek değerlere sahip olmuştur.



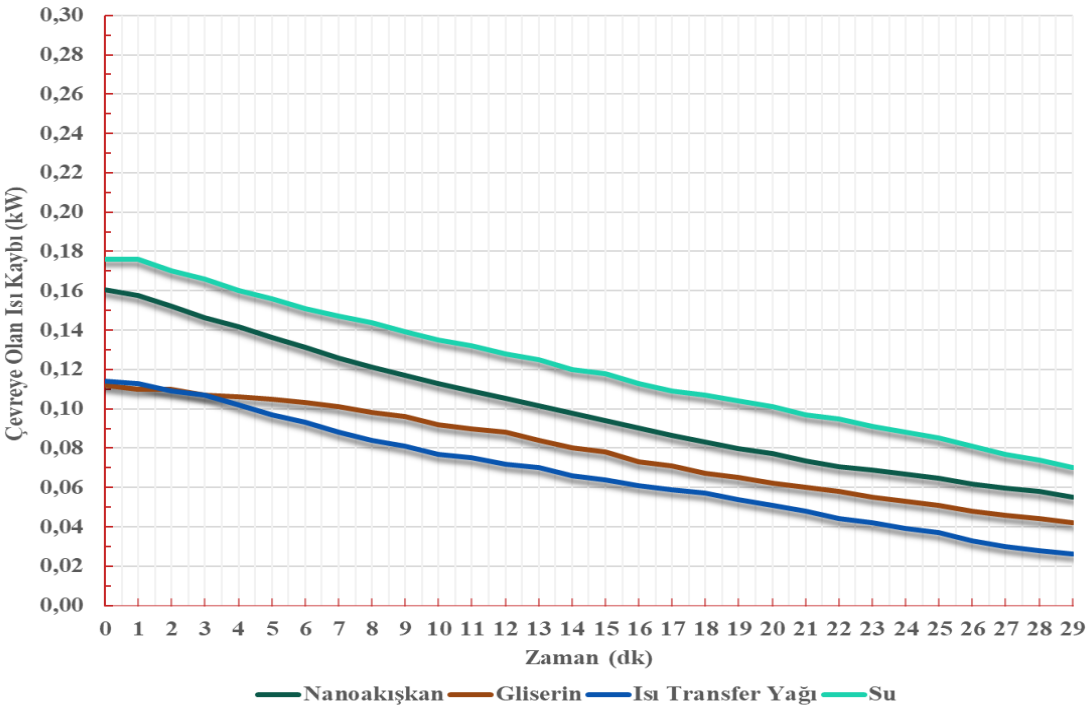
Şekil 6.33. 2.4 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı



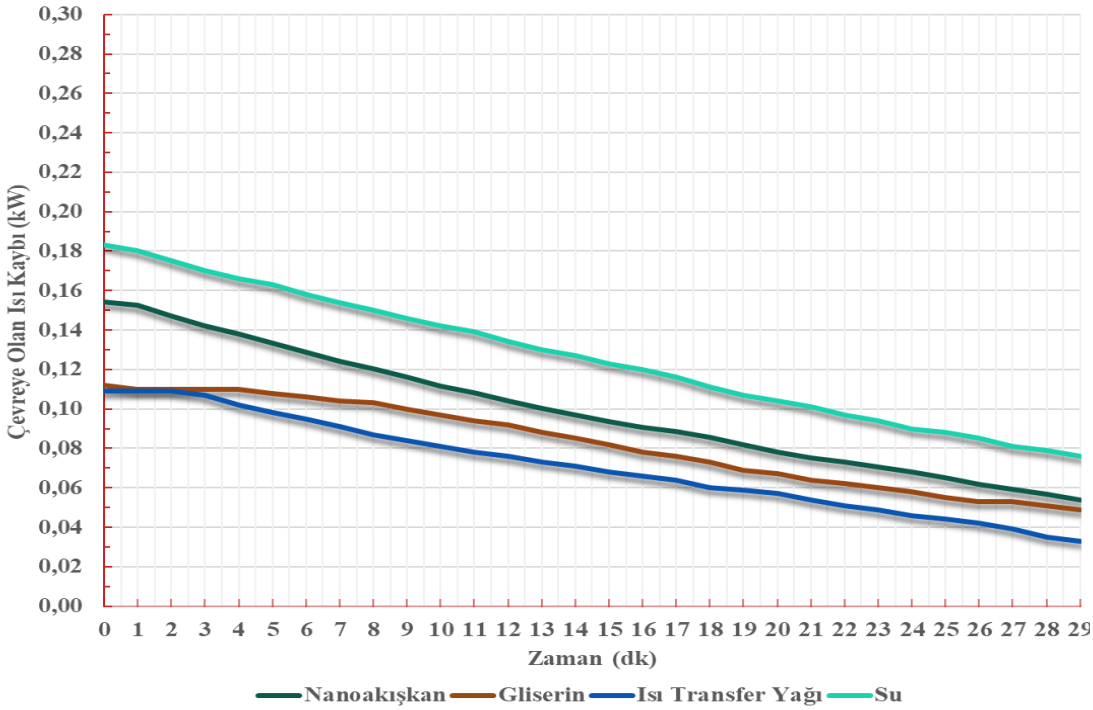
Şekil 6.34. 2.1 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı



Şekil 6.35. 1.8 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı

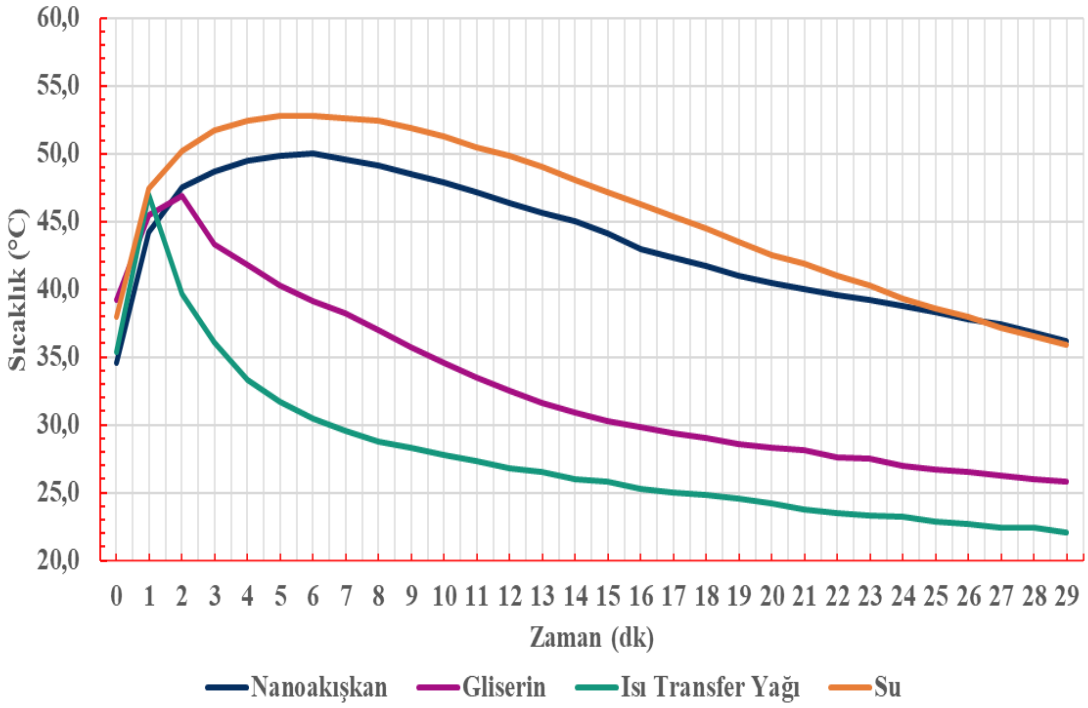


Şekil 6.36. 1.5 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı

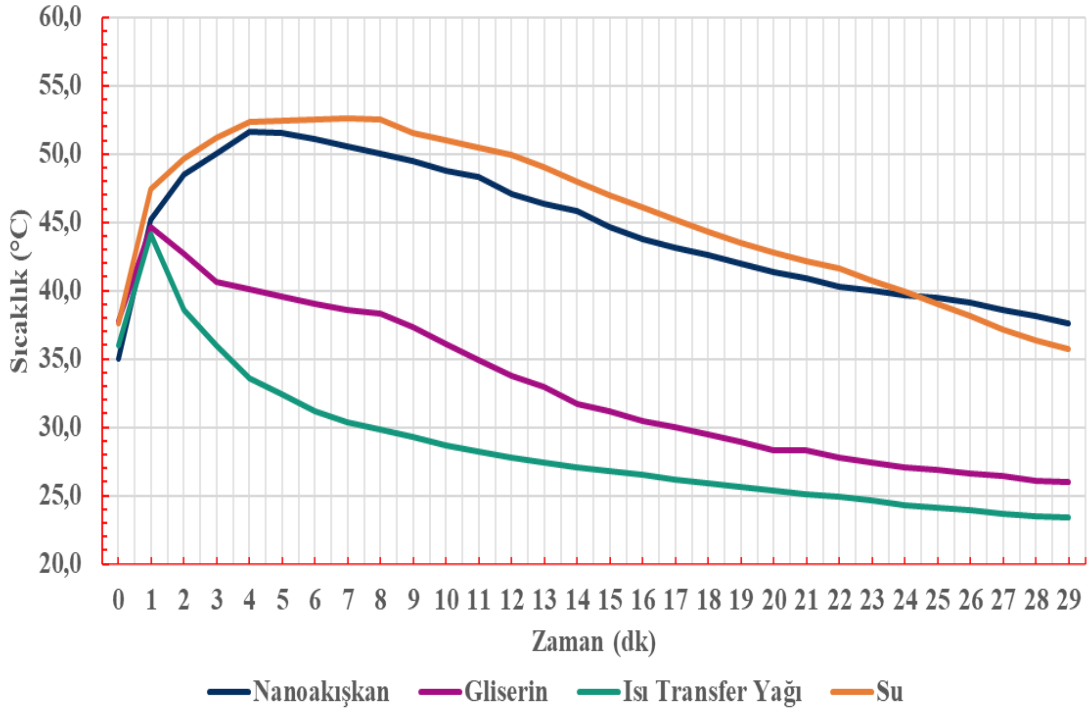


Şekil 6.37. 1.2 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı

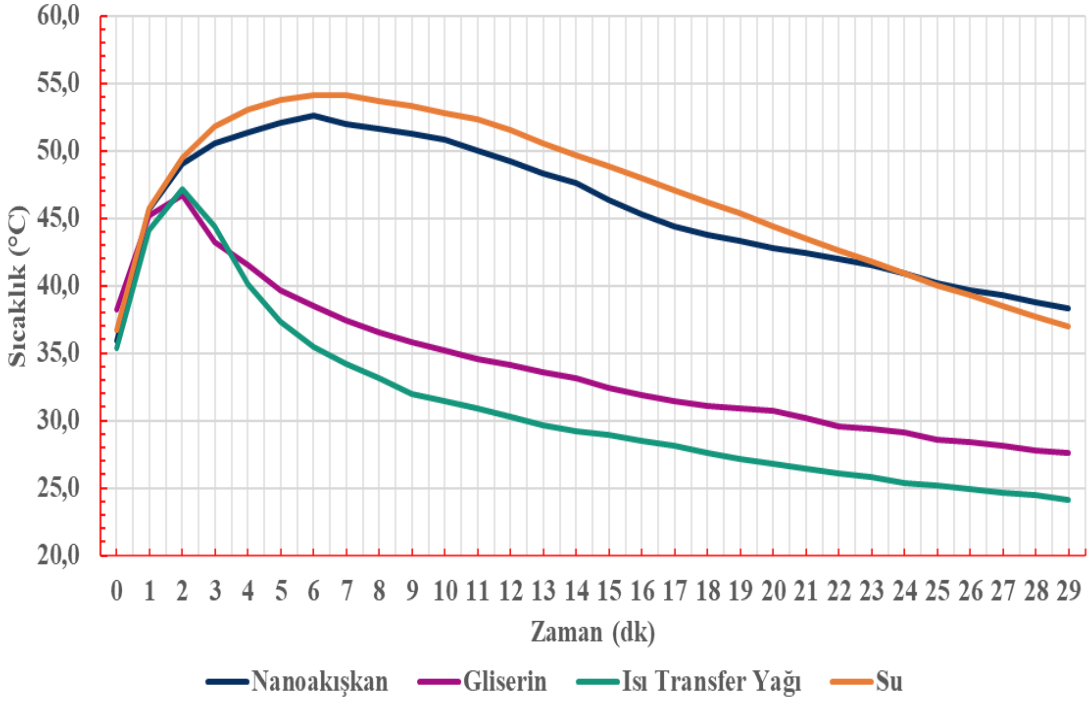
Kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi Şekil 6.38, Şekil 6.39, Şekil 6.40, Şekil 6.41 ve Şekil 6.42'de verilmiştir. Şekillerden anlaşılmaktadır ki; debi değişiminden en çok etkilenen depolama maddesi sudur. Ayrıca kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda; ilgili deney boyunca, kullanım suyu çıkış sıcaklığı açısından nanoakışkandan yararlanmak, diğer depolama maddelerine göre daha avantajlıdır.



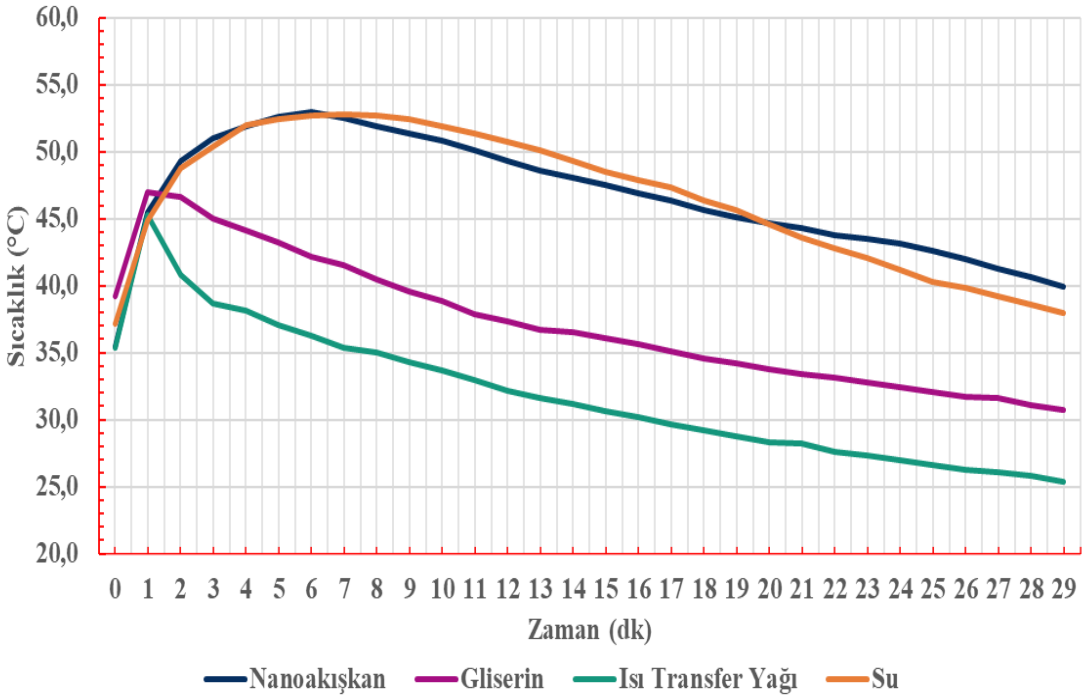
Şekil 6.38. Kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi



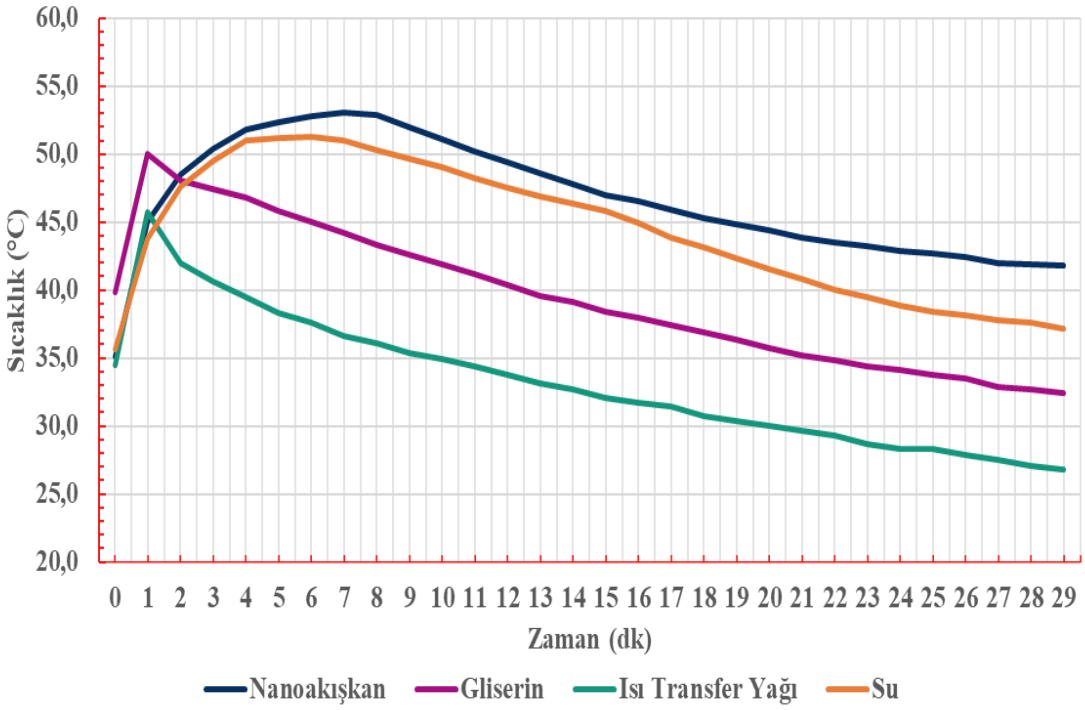
Şekil 6.39. Kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi



Şekil 6.40. Kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi

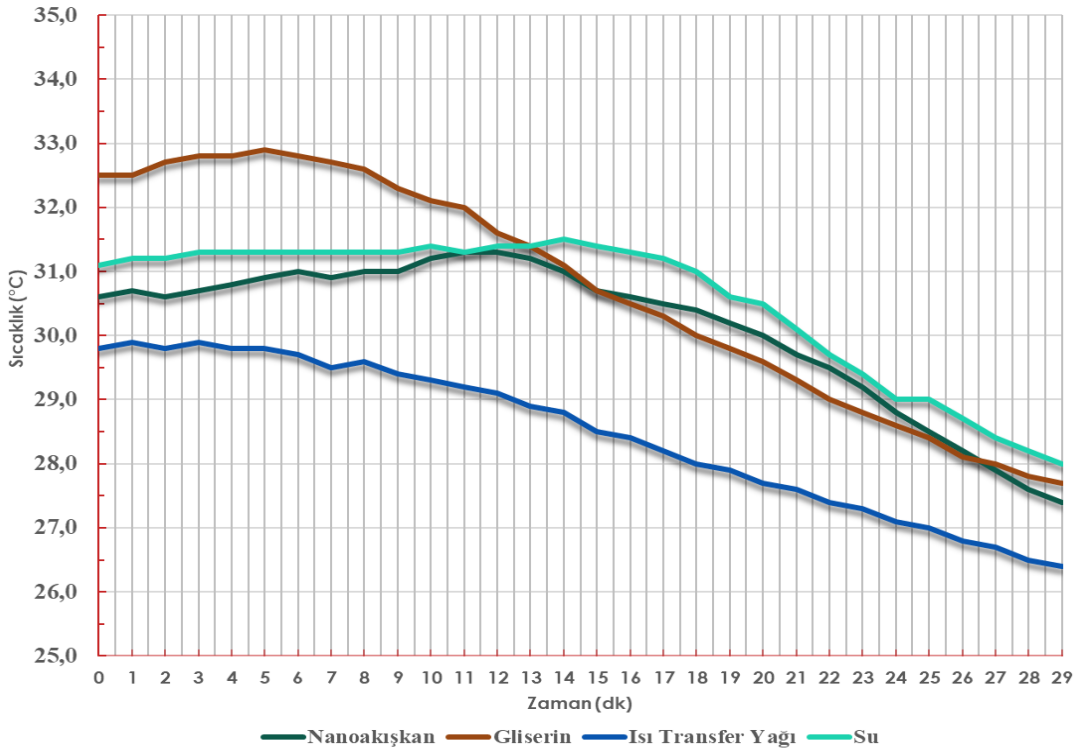


Şekil 6.41. Kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi

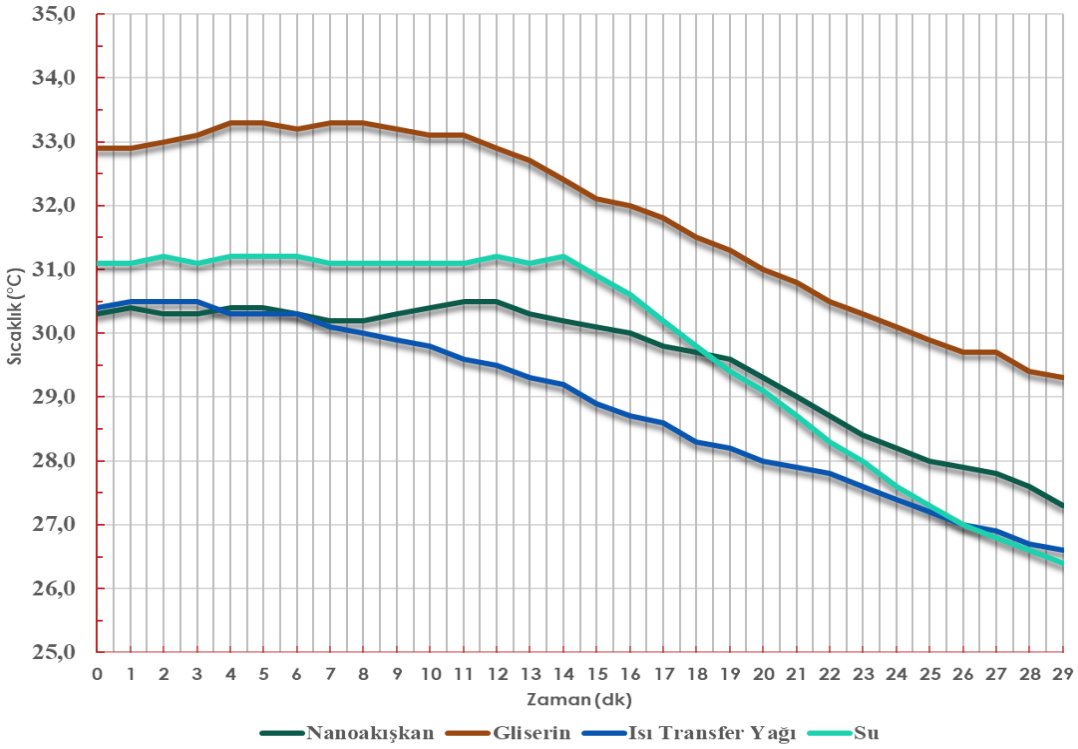


Şekil 6.42. Kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi

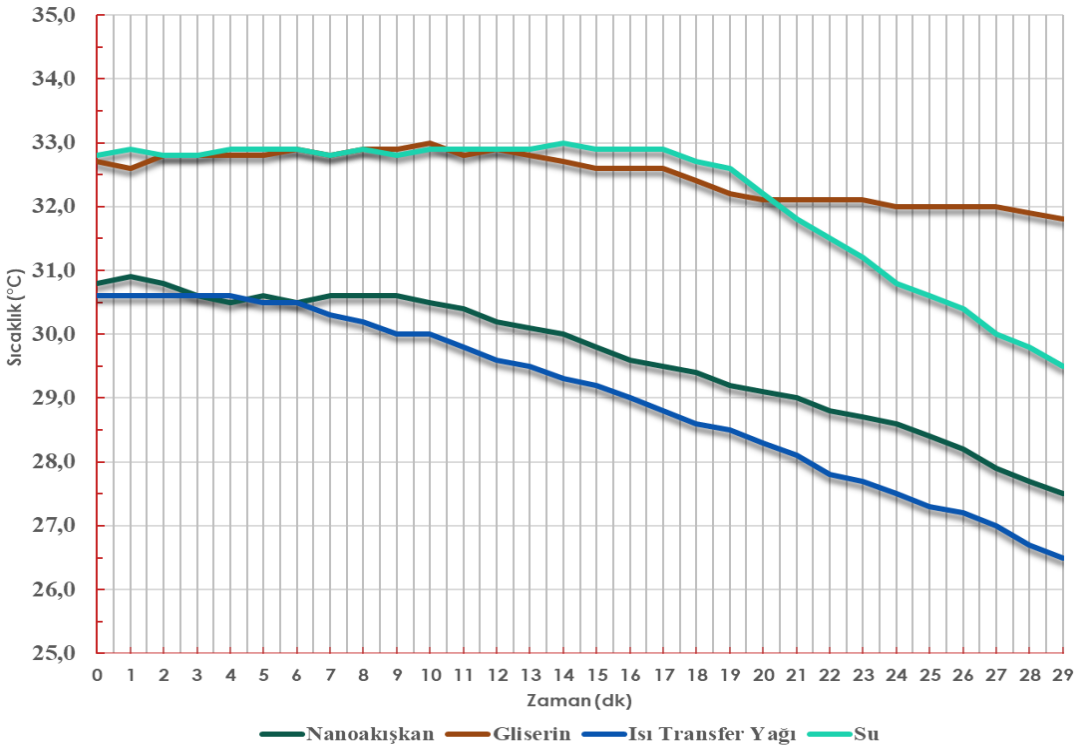
Depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklıkların, kullanım suyu musluk debilerine bağlı olarak karakteristik deneyler süresince dağılımı Şekil 6.43, Şekil 6.44, Şekil 6.45, Şekil 6.46 ve Şekil 6.47'de gösterilmiştir. İlgili şekillere göre; kullanım suyu musluk debisi düştükçe, depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklıklardaki en düşük değerler ısı transfer yağı yerine nanoakışkan kullanımı sırasında meydana gelmiştir ki 1.5 l/dk ve 1.2 l/dk'lık debilerde bu durum gözlemlenmiştir. Çünkü termosifon çalıştırılmadığı için depolama ünitesine bir ısı girişi olmamaktadır ve bu durumda da nanoakışkanın yüksek ısıl iletim ve ısıl yayınım kabiliyeti, kendisinin, depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklığında en çok düşüme yol açmaktadır.



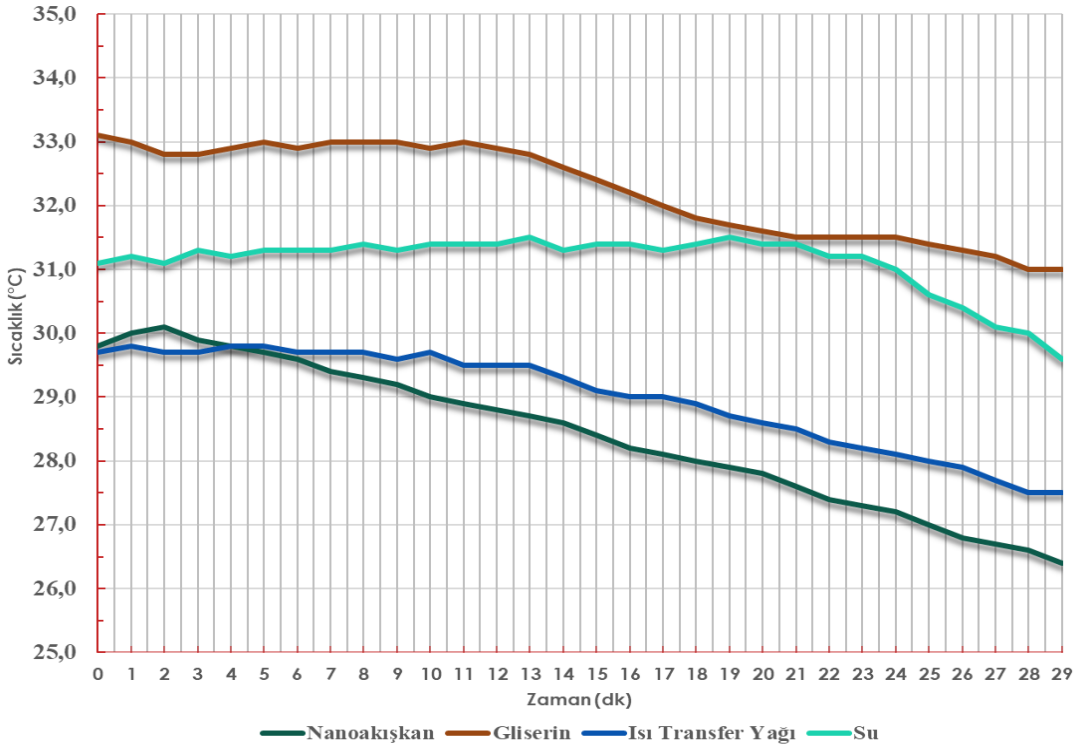
Şekil 6.43. Kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları



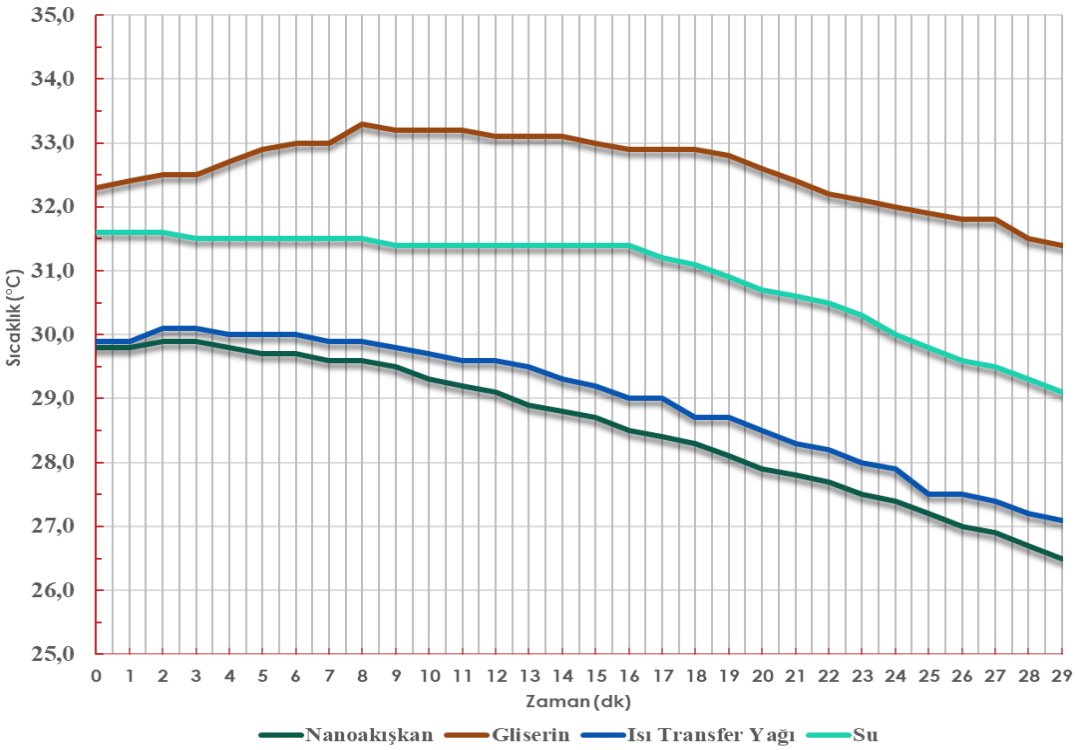
Şekil 6.44. Kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.45. Kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

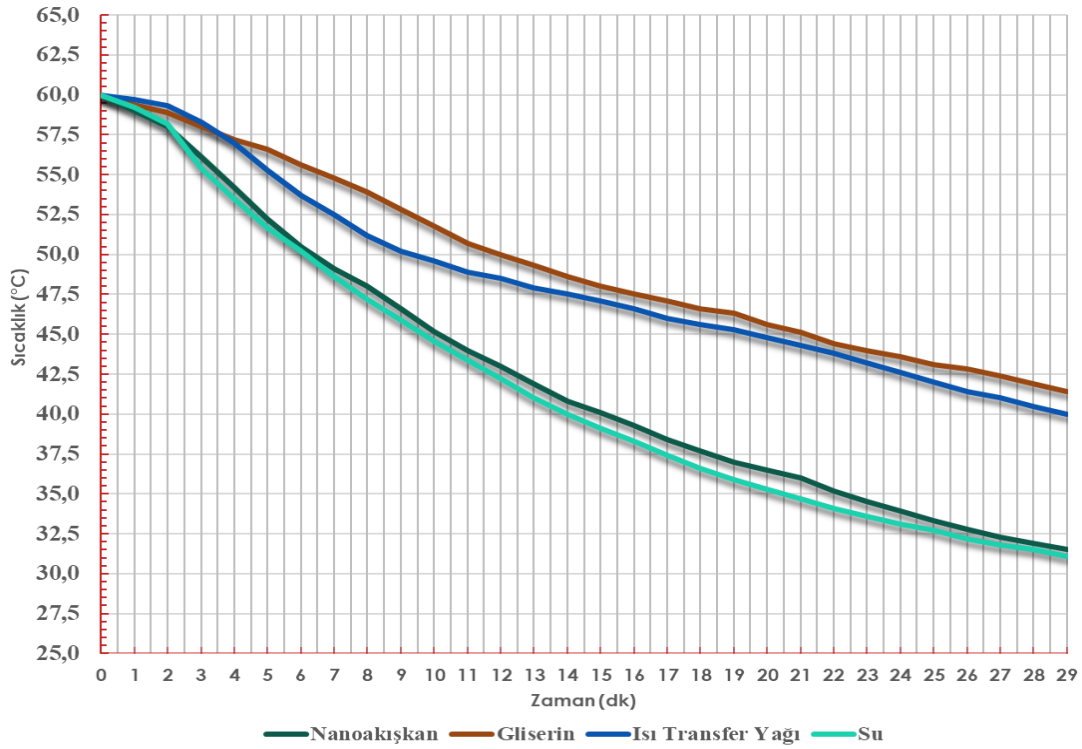


Şekil 6.46. Kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

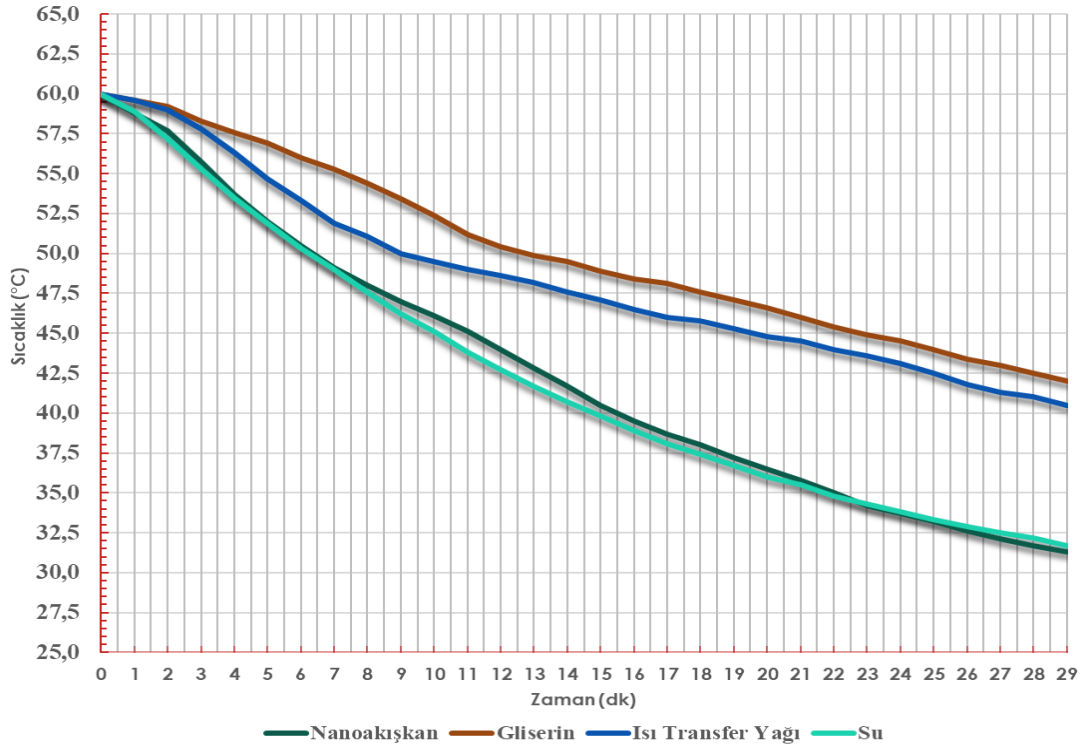


Şekil 6.47. Kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

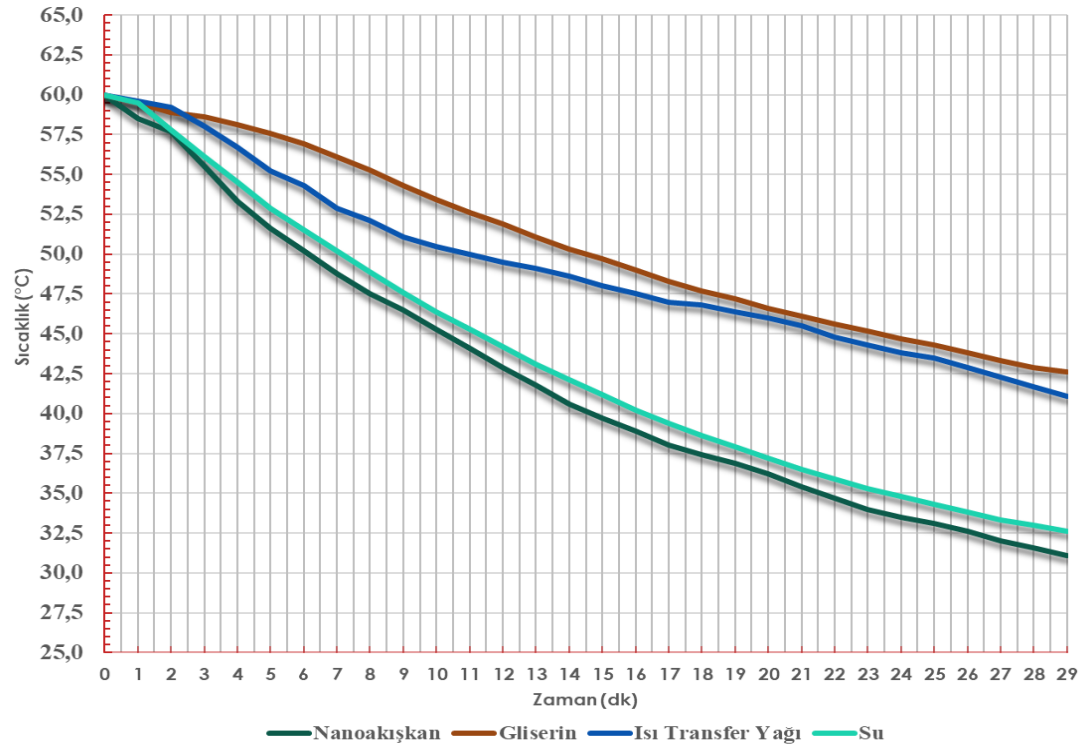
Depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları Şekil 6.48, Şekil 6.49, Şekil 6.50, Şekil 6.51 ve Şekil 6.52'de sunulmuştur. İlgili şekiller birlikte göz önünde bulundurulduğunda; kullanım suyu musluk debilerine bağlı olarak, su ve nanoakışkan için 29 dakikalık deney süresince depolama ünitesi merkezi sıcaklıklarının, gliserin ve ısı transfer yağına göre çok daha fazla azalışa uğradığı açıktır. Bunun nedeni, suyun ve nanoakışkanın ısıl iletim ve ısıl yayınım kabiliyetlerinin yüksek olmasının yol açtığı ısıl kayıplardaki (yüzeylerden olan ısıl kayıplar) artıştır. Ayrıca suyun ve nanoakışkanın yüksek depolanabilirliği ısıl kayıplardaki azalışa neden olmuştur. Bir başka deyişle, nanoakışkanın ve suyun ısı depolama özelliği her ne kadar yüksek olsa da; benzer şekilde her ikisi aracılığıyla çevreye olan ısıl kayıplar da yüksektir ve bu ısıl kayıpların değeri söz konusu depolama maddelerinin ısıl depolama yeteneklerine üstün gelmektedir.



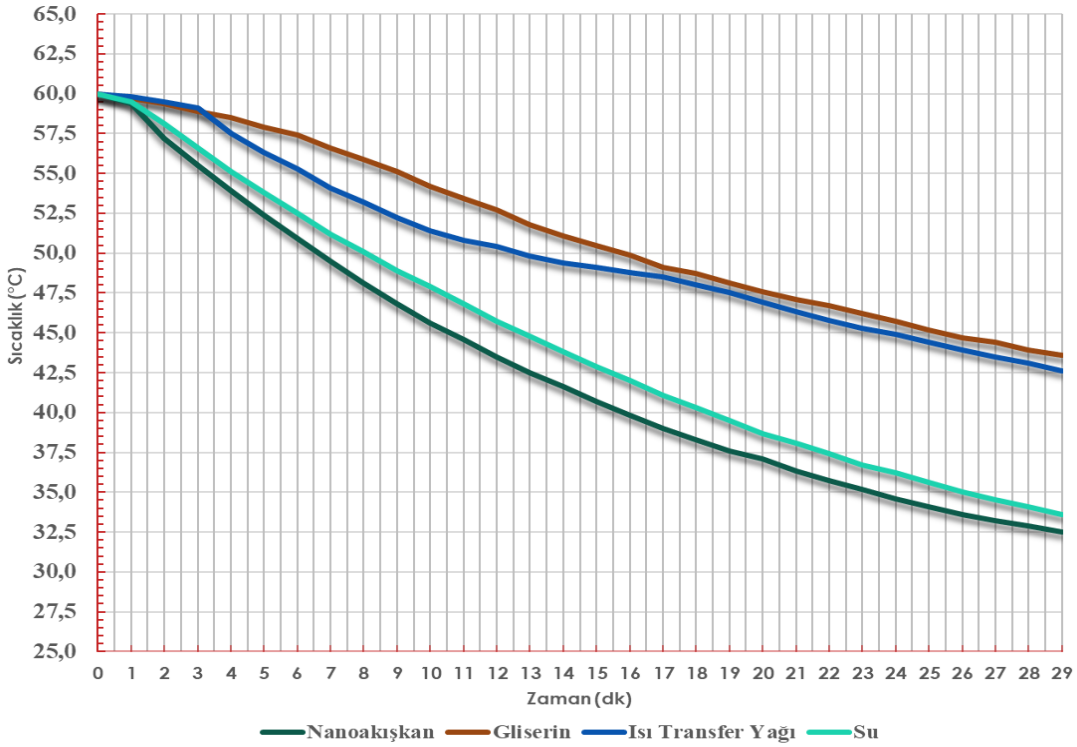
Şekil 6.48. Kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



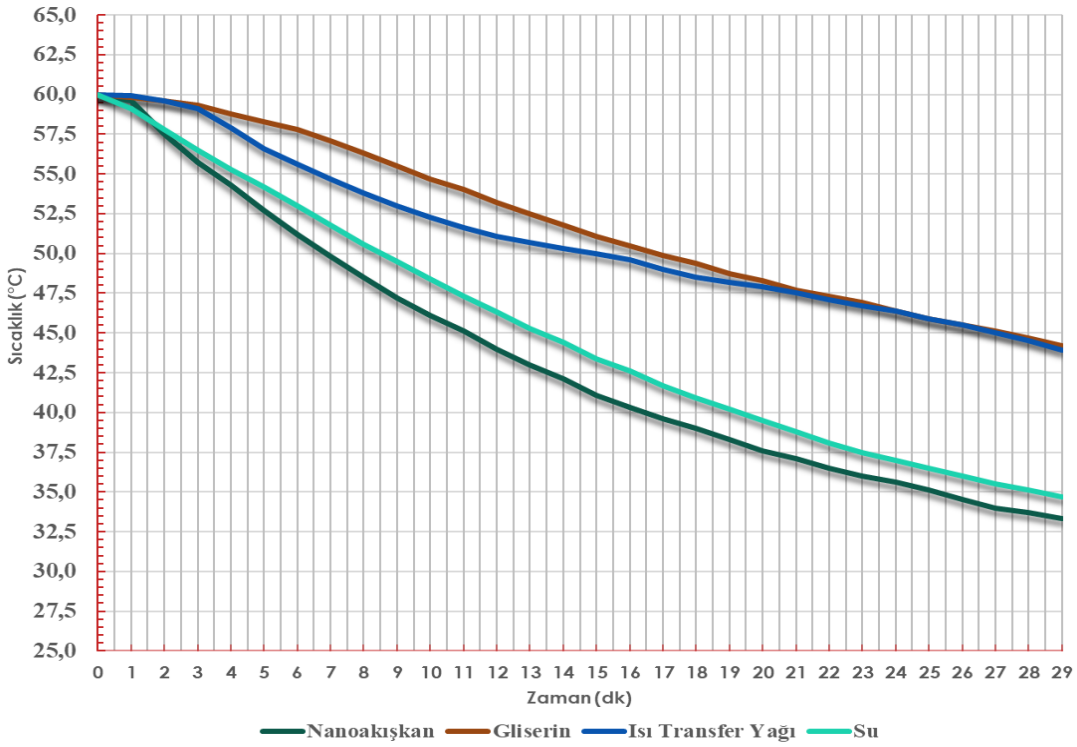
Şekil 6.49. Kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.50. Kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

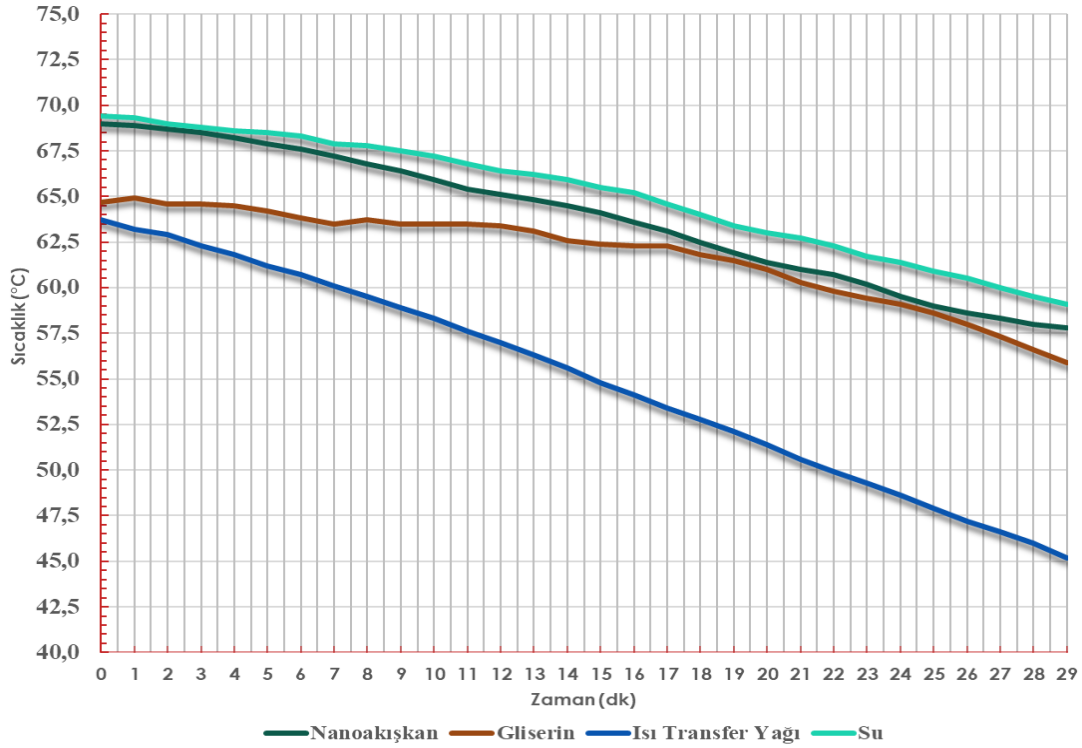


Şekil 6.51. Kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

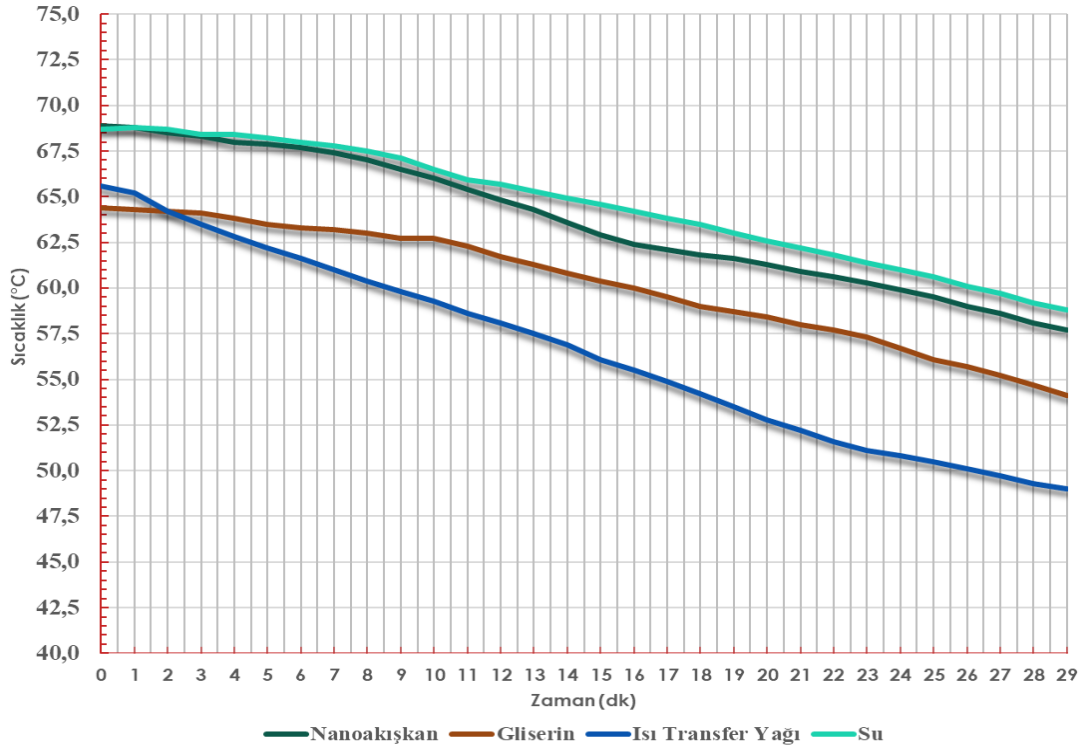


Şekil 6.52. Kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

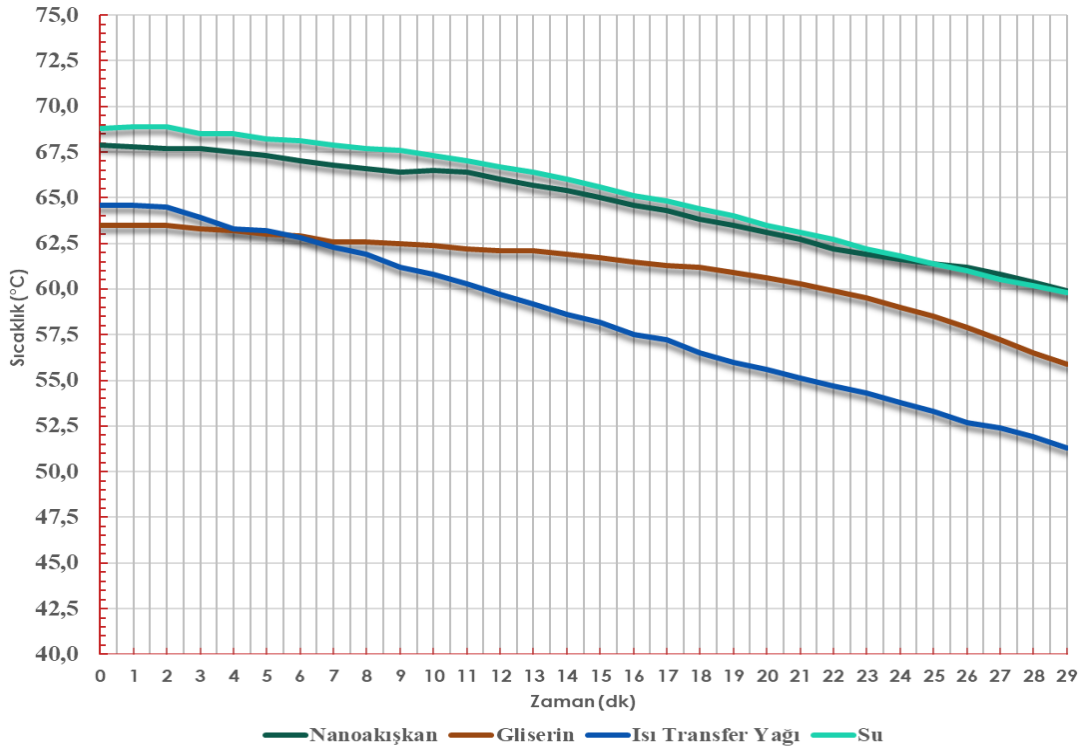
Depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklıkların dağılımı Şekil 6.53, Şekil 6.54, Şekil 6.55, Şekil 6.56 ve Şekil 6.57'de sunulmuştur. İlgili şekiller incelendiğinde depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık azalması, ısı transfer yağının kullanıldığı deneylerde bütün kullanım suyu musluk debileri için en fazla olmuştur. Çünkü bu aşamada depolama ünitesine ısı girişi yoktur ve ısı transfer yağının ısıl iletim ve ısıl yayınım kabiliyetleri de diğer ısı depolama maddelerine göre daha düşük olduğundan, ısı transfer yağındaki soğuma ve soğuma hızı depolama ünitesinin merkezine ve en alt noktasına yeterince etkin ve hızlı olarak, dengeli bir ölçüde aktarılamamıştır.



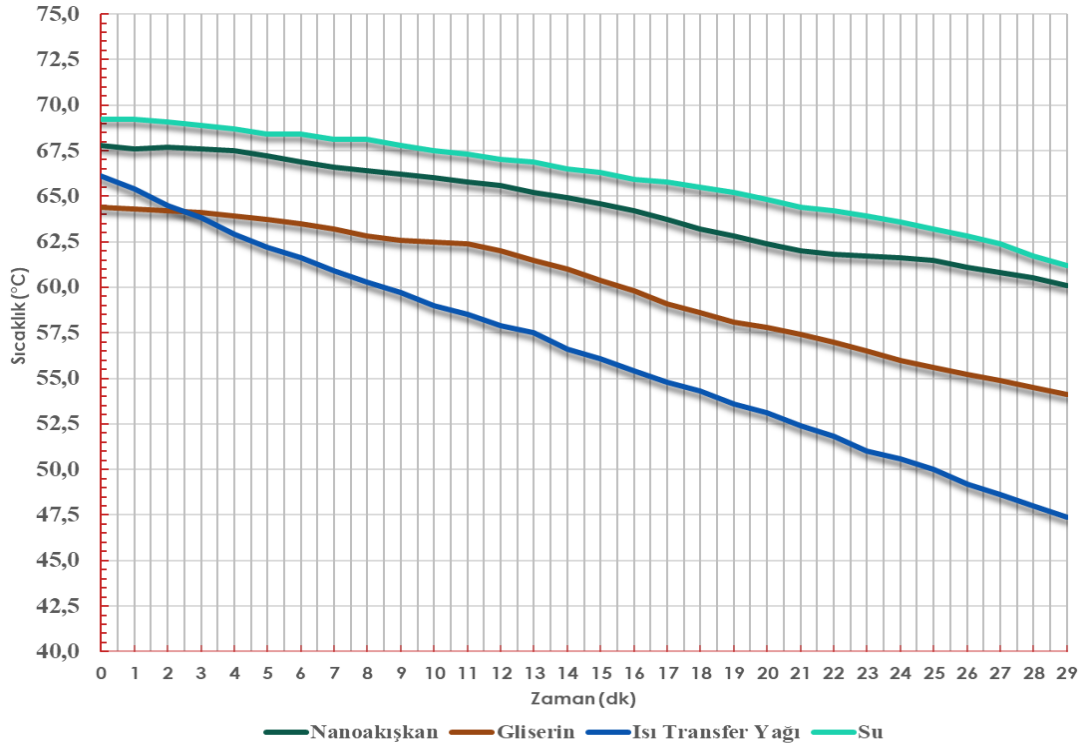
Şekil 6.53. Kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları



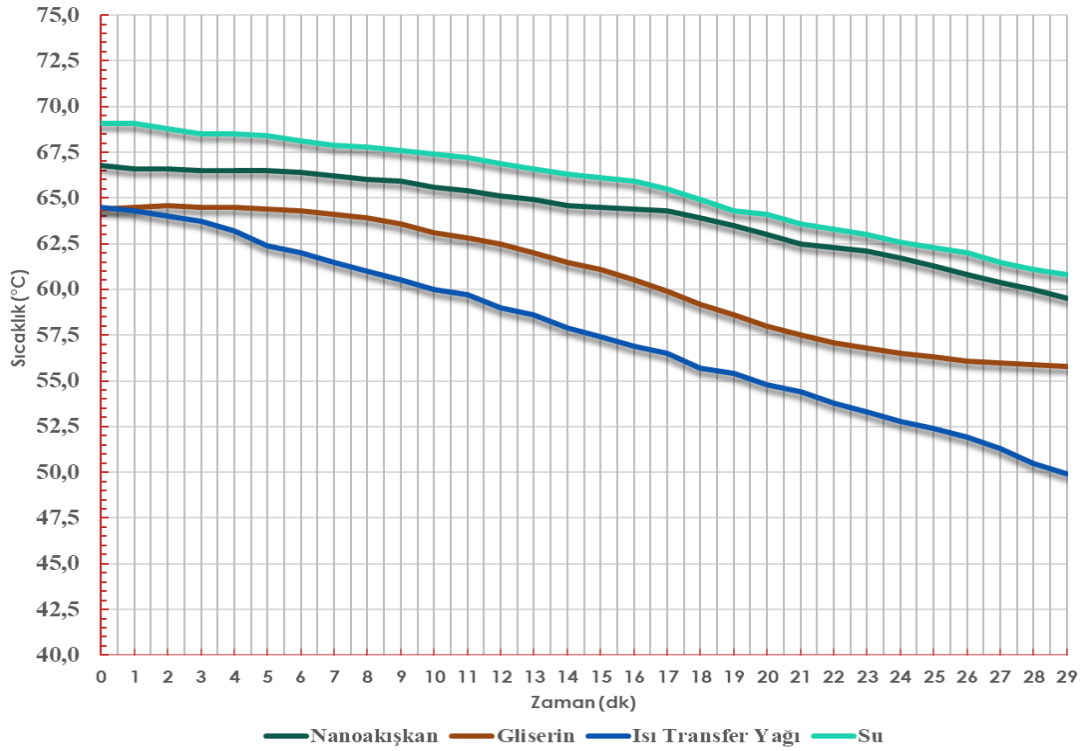
Şekil 6.54. Kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.55. Kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

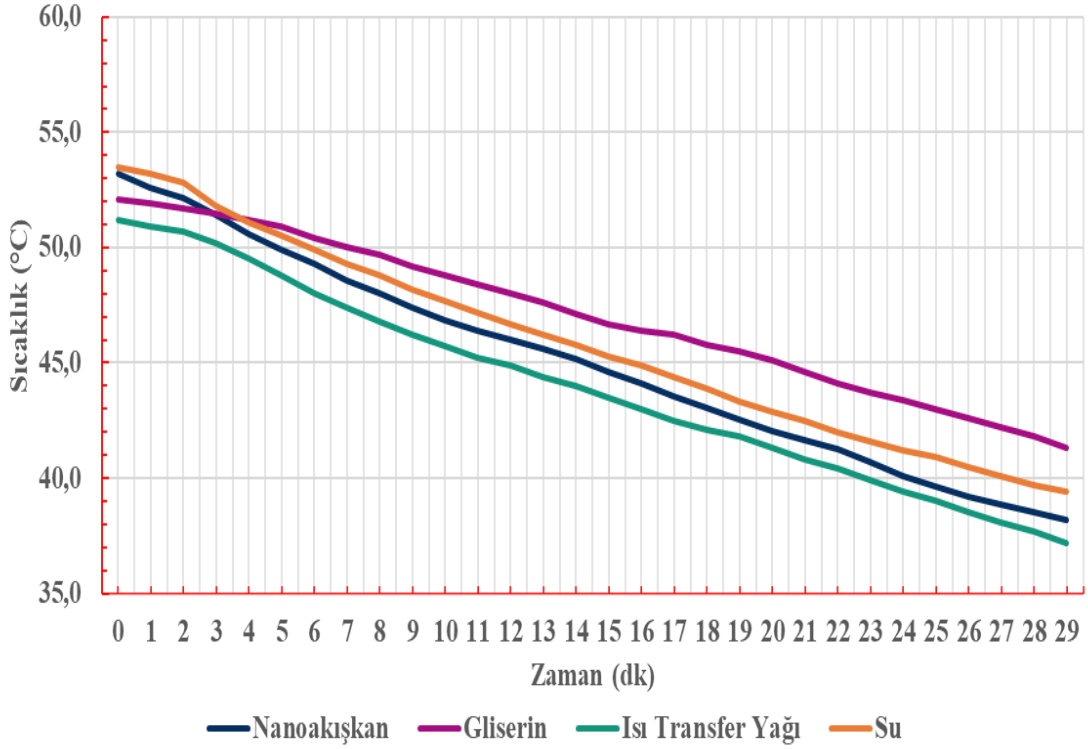


Şekil 6.56. Kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

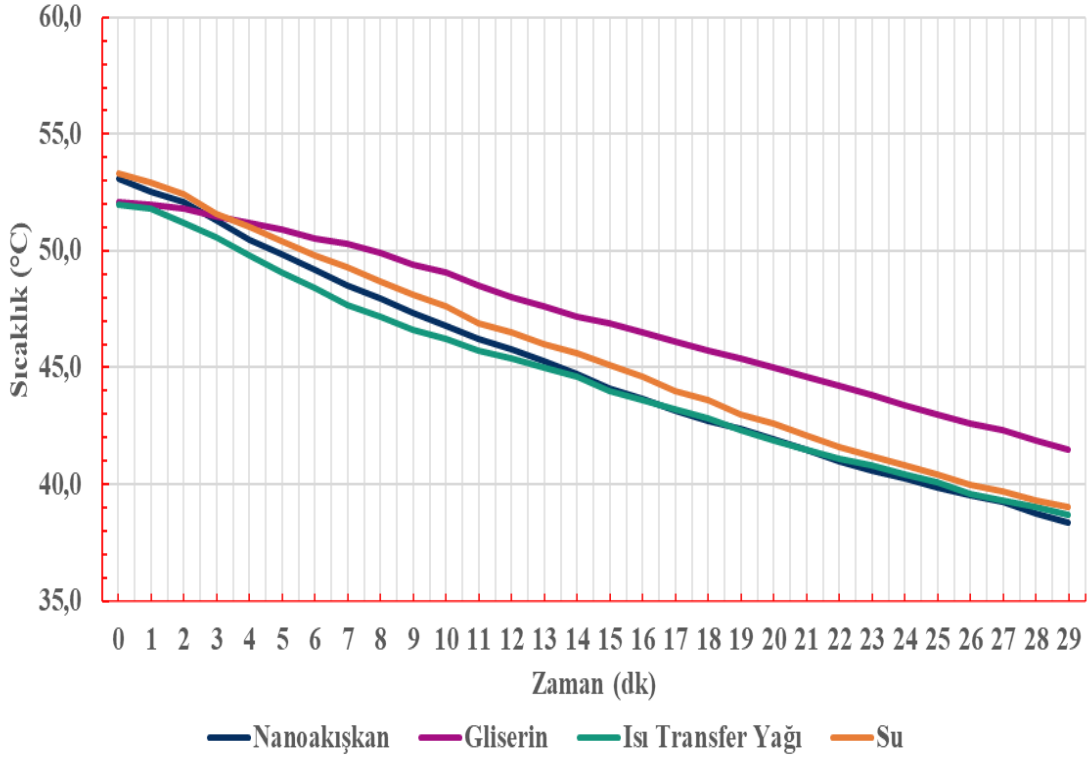


Şekil 6.57. Kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

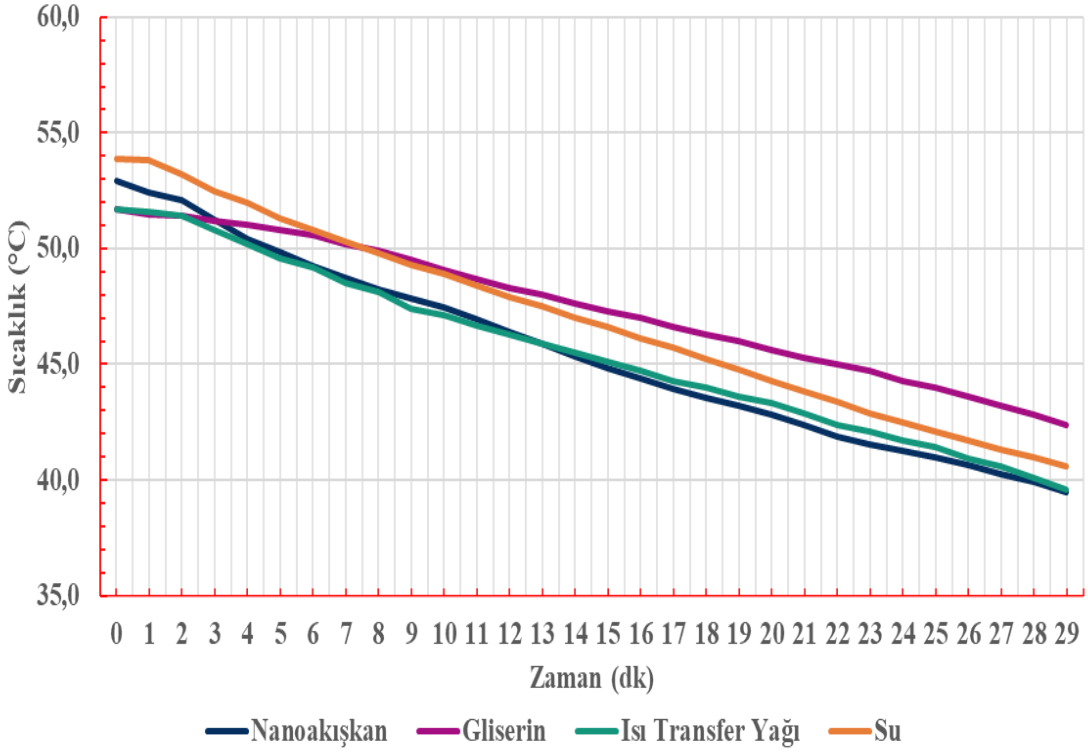
Kullanım suyu musluk debilerine bağlı olarak depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımı Şekil 6.58, Şekil 6.59, Şekil 6.60, Şekil 6.61 ve Şekil 6.62'de verilmiştir. Ortalama sıcaklık dağılımları, doğal olarak, depo ünitesindeki en üst nokta, orta nokta (merkez) ve en alt nokta sıcaklıklarıyla benzeşim göstermektedir ki burada benzeşimin altında yatan etmenler yine depolama maddelerinin ısıl iletim kabiliyetleri, ısıl yayınım kabiliyeti, ısıl enerji depolanabilirlik yeteneği ve depolama ünitesinden çevreye olan ısıl kayıplardır. Şöyle ki: Daha yüksek ısıl enerji depolama yeteneği aynı zamanda daha düşük ısıl kayıplar demektir ancak daha yüksek ısı iletim ve ısıl yayınım kabiliyeti de aynı zamanda çevreye olan ısı kayıplarının daha yüksek olmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla nanoakışkanın ısıl depolama kapasitesi yüksek olmasına rağmen; ısıl iletim ve ısıl yayınım kabiliyeti de yüksektir. İşte nanoakışkan için yüksek düzeyde olan ısıl iletim ve ısıl yayınım kabiliyeti, ısıl depolama kapasitesine üstün geldiği için, bu durumdan kaynaklanan çevreye olan ısı kayıpları da fazla olmaktadır. Bu olgu, nanoakışkanın ortalama sıcaklıklarının göreceli olarak daha düşük olmasına yol açmıştır. Bununla birlikte, durum ısı transfer yağı için tam tersi bir hâldedir. Isı transfer yağında hem ısıl depolama kapasitesi hem de ısıl iletim ve ısıl yayınım kabiliyetleri göreceli olarak düşük durumdadır. Ancak ısı transfer yağında daha baskın bir durumda olan ısı transfer yağının ısı depolama kapasitesinin düşüklüğüdür. Dolayısıyla, nanoakışkanda olduğu gibi ısı transfer yağında da ortalama sıcaklıklar göreceli olarak düşük düzeyde kalmıştır.



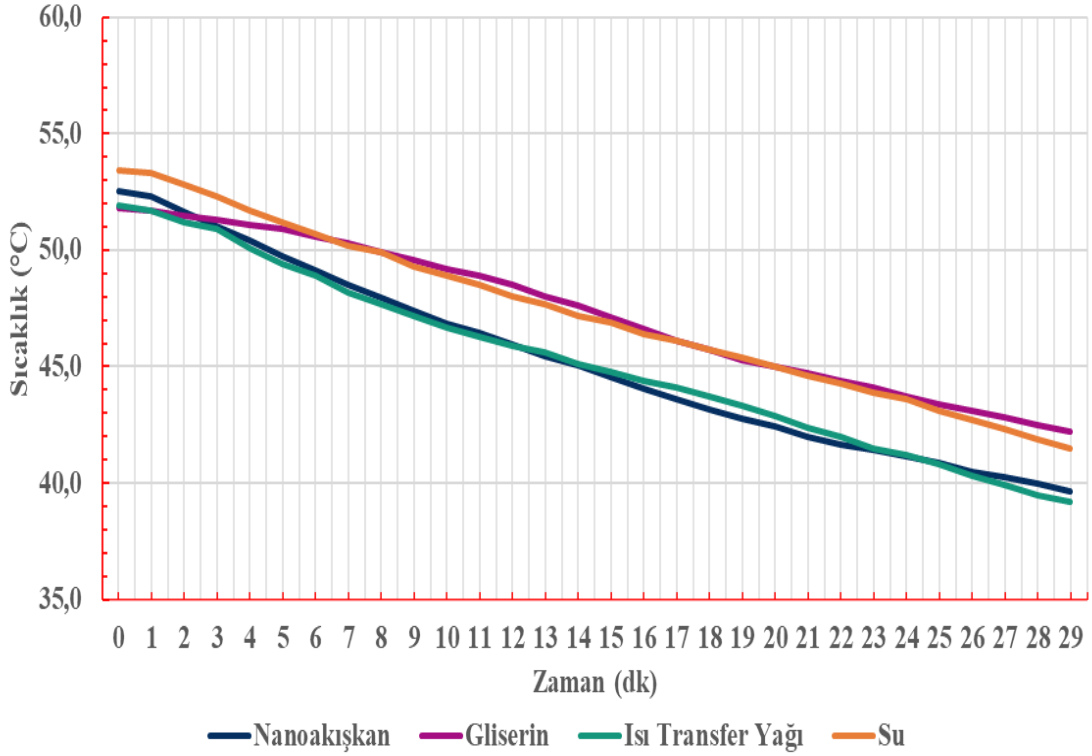
Şekil 6.58. Kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



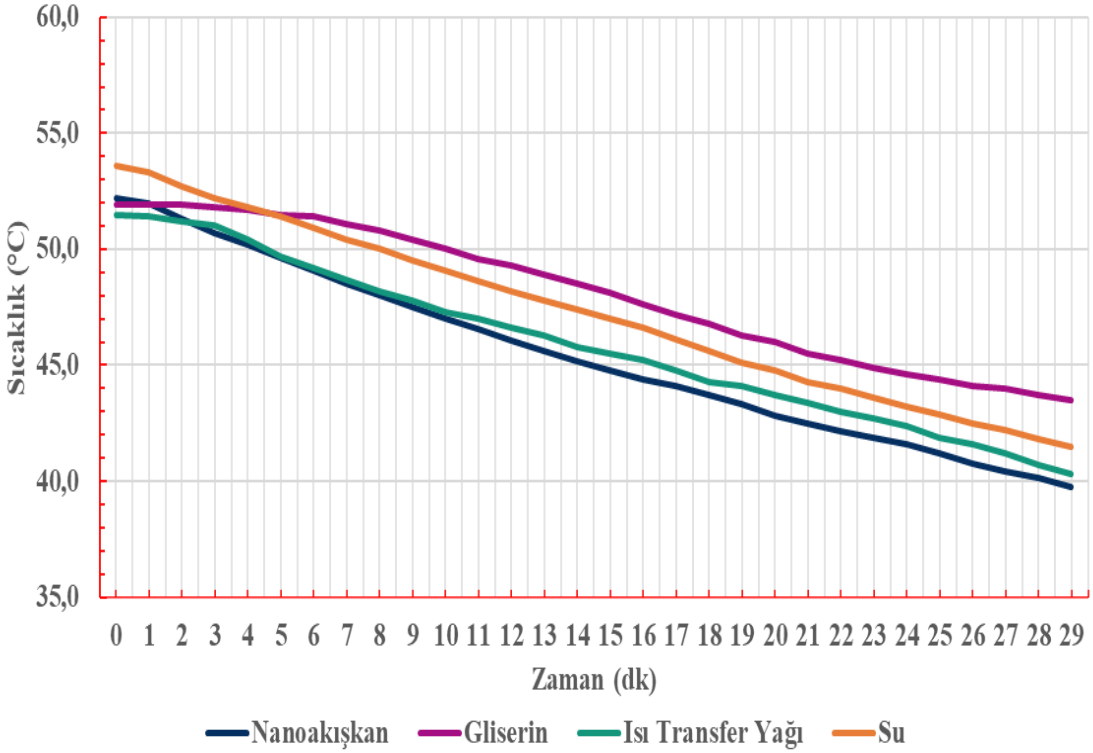
Şekil 6.59. Kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



Şekil 6.60. Kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



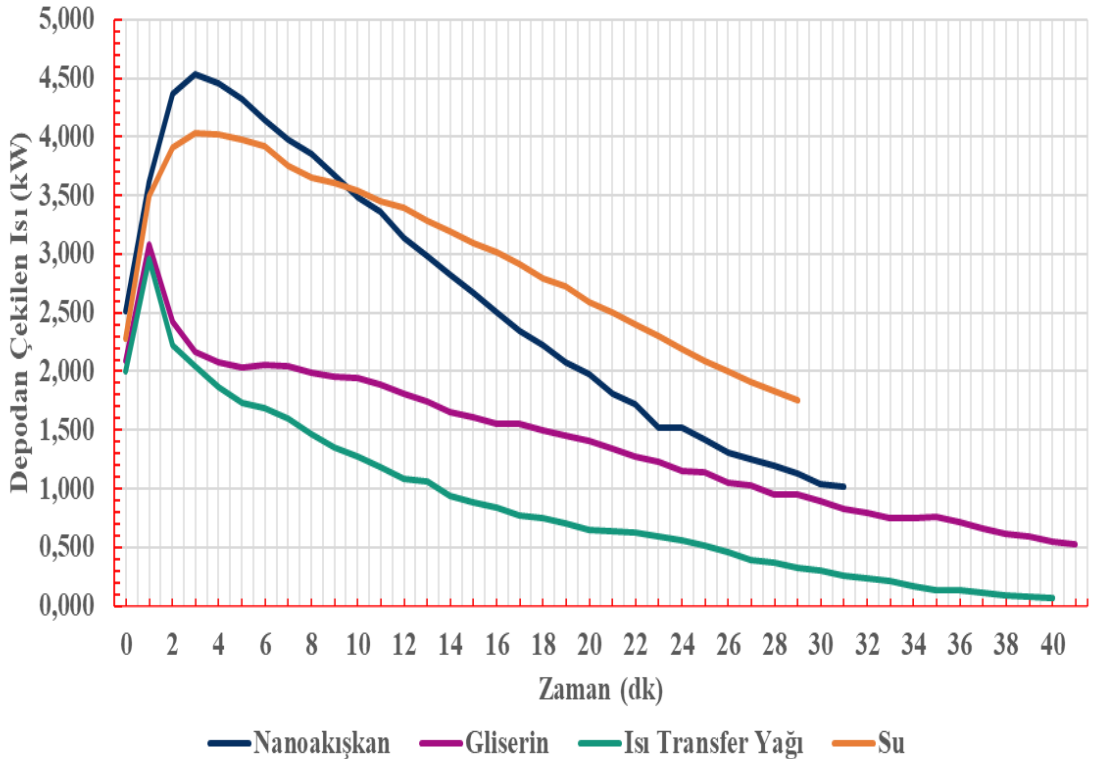
Şekil 6.61. Kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



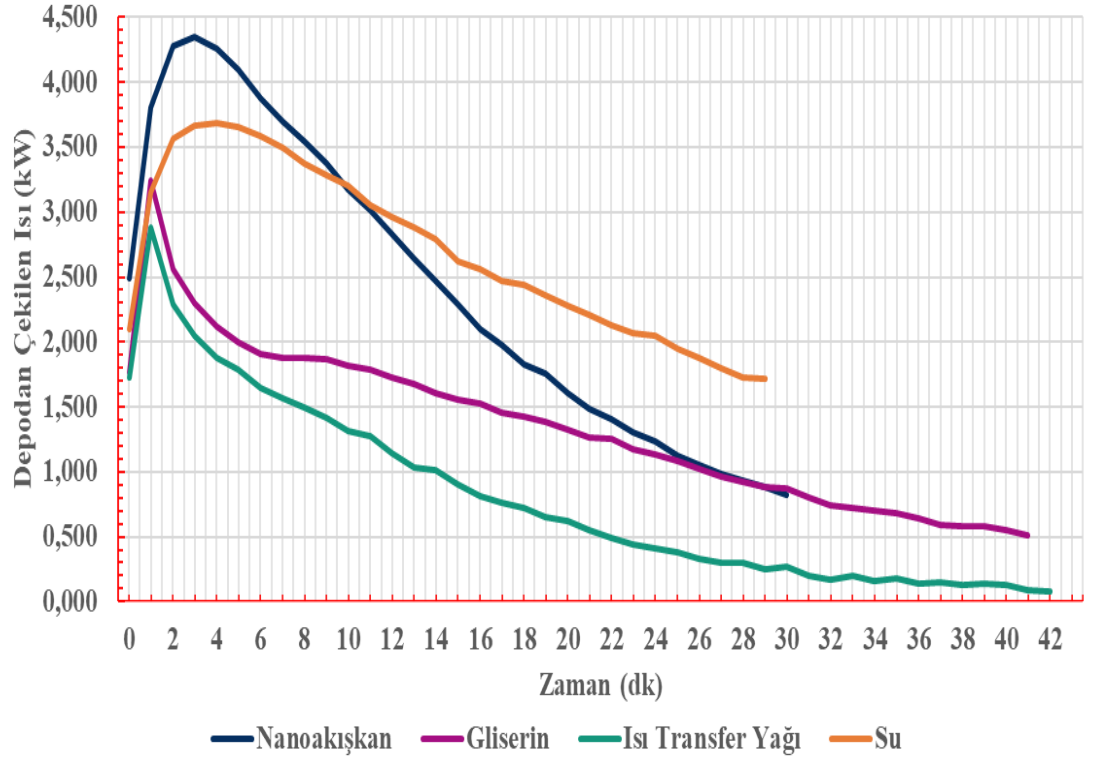
Şekil 6.62. Kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları

6.1.3. Isı Depolama Ünitesine Isı Girişinin Ve Isı Depolama Ünitesinden Isı Çıkışının Olduğu Durum İçin Sonuçlar

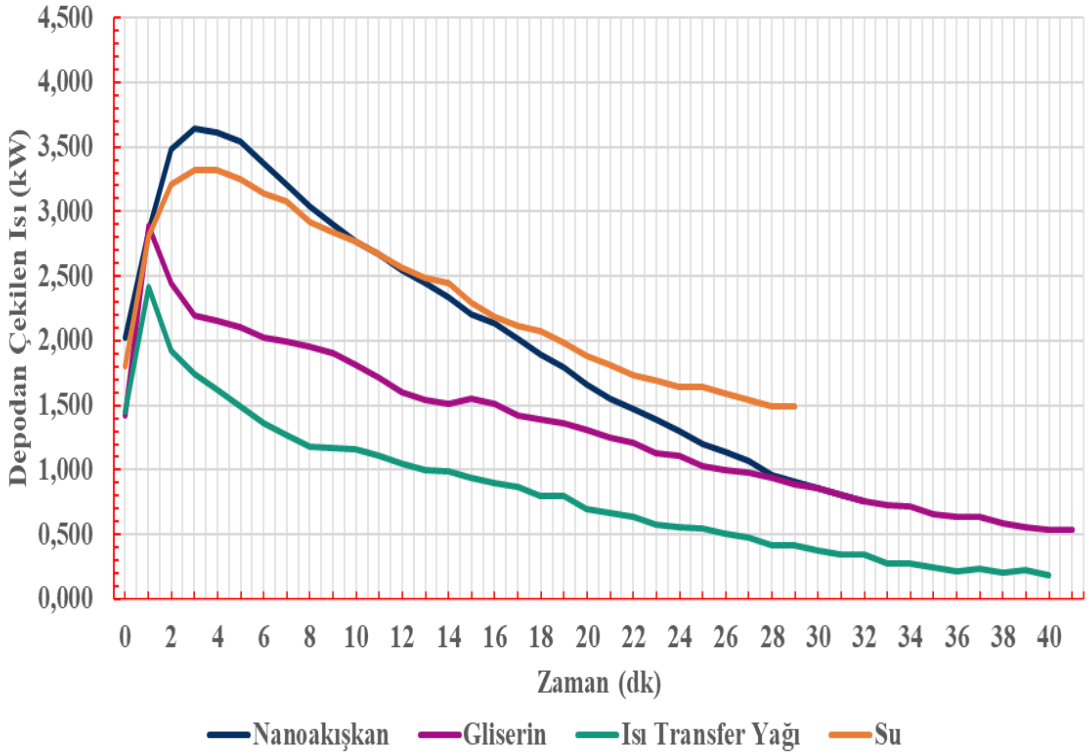
Deney düzeneğinde gerek termosifon gerekse de kullanım suyu musluğunun açık olduğu durumdaki deneyler bu alt başlık altında incelenmiştir. Kullanım suyu musluk debisi beş ayrı debi değerinde çalıştırılırken (2.4 l/dk, 2.1 l/dk, 1.8 l/dk, 1.5 l/dk ve 1.2 l/dk) pompa da üç farkı debi de çalıştırılmıştır (2.1 l/dk, 1.8 l/dk ve 1.5 l/dk). Bu grupta yapılan 60 deneye ait sonuçlar oluşturulan grafikler aracılığıyla sunulmuştur.



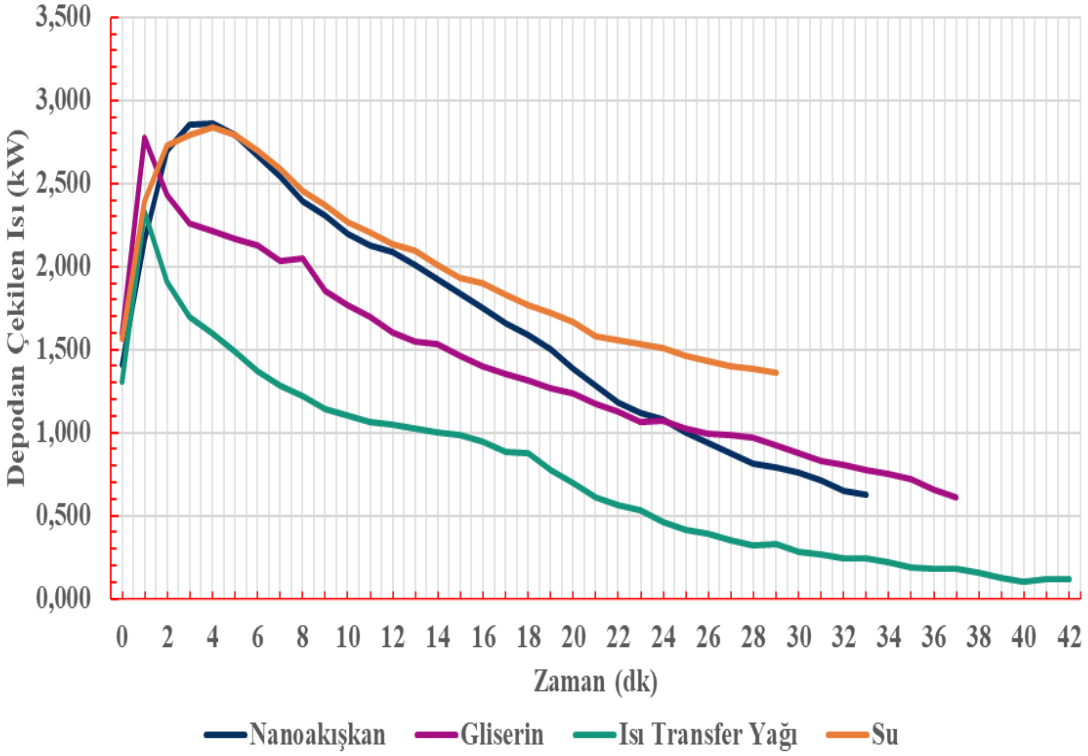
Şekil 6.63. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk için depolama ünitesinden çekilen ısıların dağılımı



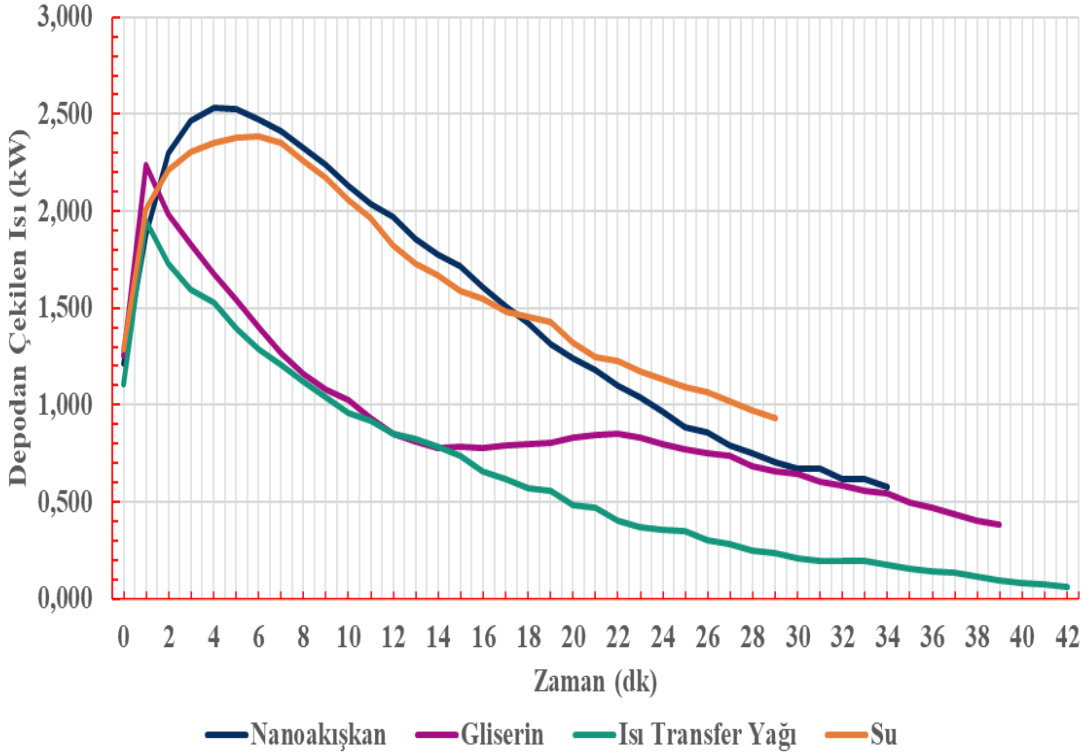
Şekil 6.64. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk için depolama ünitesinden çekilen ısıların dağılımı



Şekil 6.65. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk için depolama ünitesinden çekilen ısıların dağılımı



Şekil 6.66. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk için depolama ünitesinden çekilen ısıların dağılımı



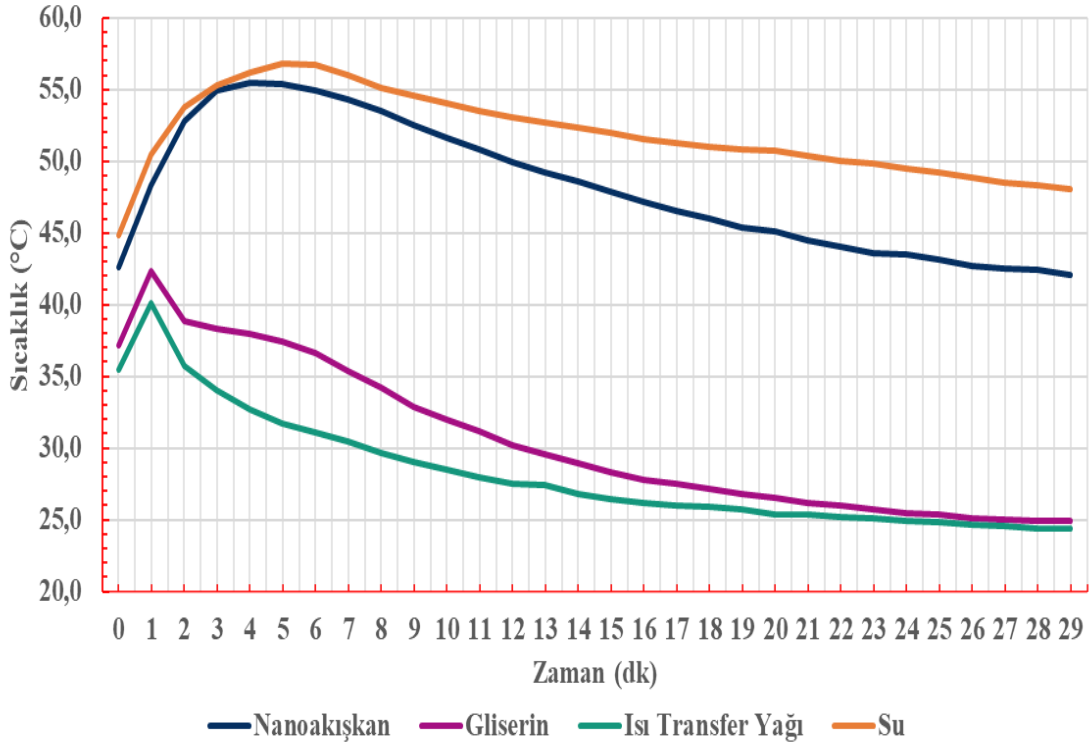
Şekil 6.67. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk için depolama ünitesinden çekilen ısıların dağılımı

Şekil 6.63'te görüldüğü üzere; nanoakışkanın ve suyun ısı depolama kapasitesinin gliserin ve ısı transfer yağına göre daha fazla olması nedeniyle, hemen hemen ilgili bütün deneyler süresince, bu iki depolama maddesinin kullanımı durumunda kullanım suyu aracılığıyla depolama ünitesinden çekilen ısılar diğer iki depolama maddesine göre daha yüksek seviyede olmuştur. Yine Şekil 6.63 göstermektedir ki; nanoakışkan kullanımı depolama ünitesinden ısı çekilmesi açısından, suya göre sadece sınırlı bir ölçüde avantajlı olmaktadır. Aynı durum kullanım suyu musluk debilerinin 2.1 l/dk, 1.8 l/dk, 1.5 l/dk ve 1.2 l/dk olduğu deneylerde de söz konusudur. Hatta kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu deneyde, depolama maddesi olarak nanoakışkan kullanılması durumunda, kullanım suyu aracılığıyla çekilen ısı miktarı neredeyse su depolama maddesi ile aynıdır. Bu açıdan kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda, depolama ünitesinden ısı çekimi açısından, su yerine nanoakışkandan yararlanmak bir üstünlük sağlamamaktadır.

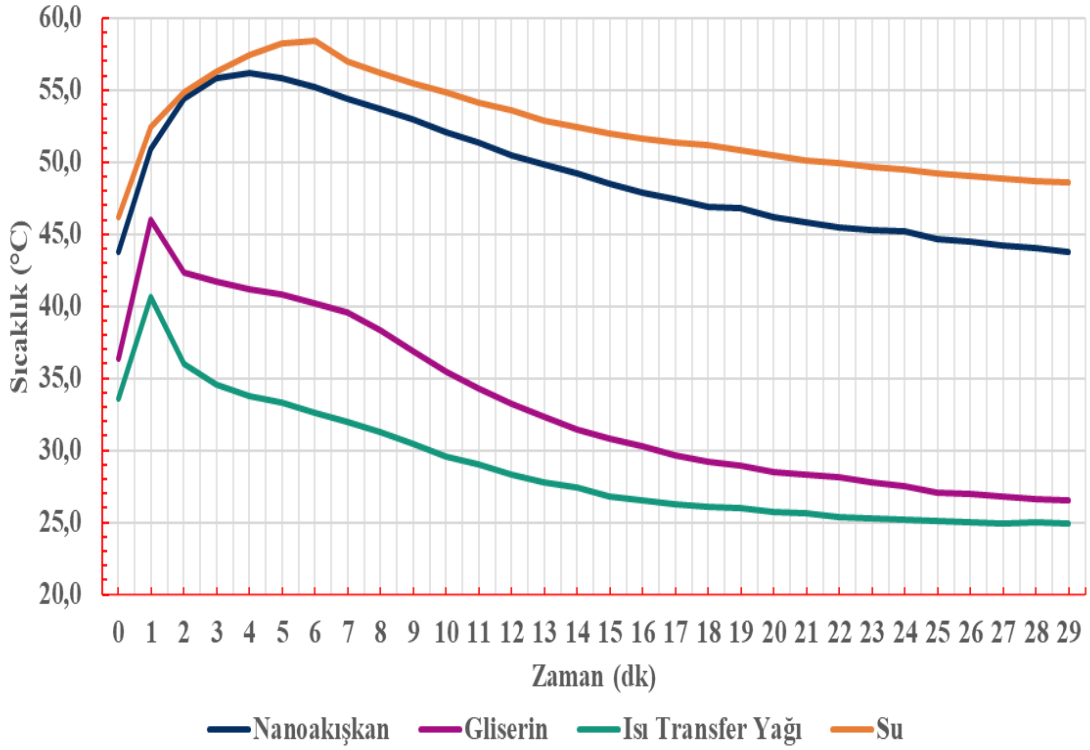
Pompa debisinin 1.5 l/dk olduğu deneylerde, kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durum dışında, nanoakışkan deneylerin başında suya göre depolama ünitesinden daha çok ısı çekilmesi açısından avantajlıdır zira bünyesinde depoladığı

enerjinin büyük bir kısmını da henüz deneylerin başında kullanım suyuna aktarabilmiştir çünkü nanoakışkanın ısı iletim kabiliyeti suya göre, sıcaklığa bağlı olarak daha değişkendir ve suya göre de sıcaklık düşüşüyle daha hızlı bir artış göstermektedir. Ancak özkütle söz konusu olduğunda bu değişkenlik suda daha ön plandadır; bir başka deyişle suyun özkütlesi nanoakışkana göre daha hızlı değişmektedir. Hatta suyla karşılaştırıldığında sıcaklık düşümünde suyun özkütlesi nanoakışkana göre daha hızlı bir artış göstermektedir.

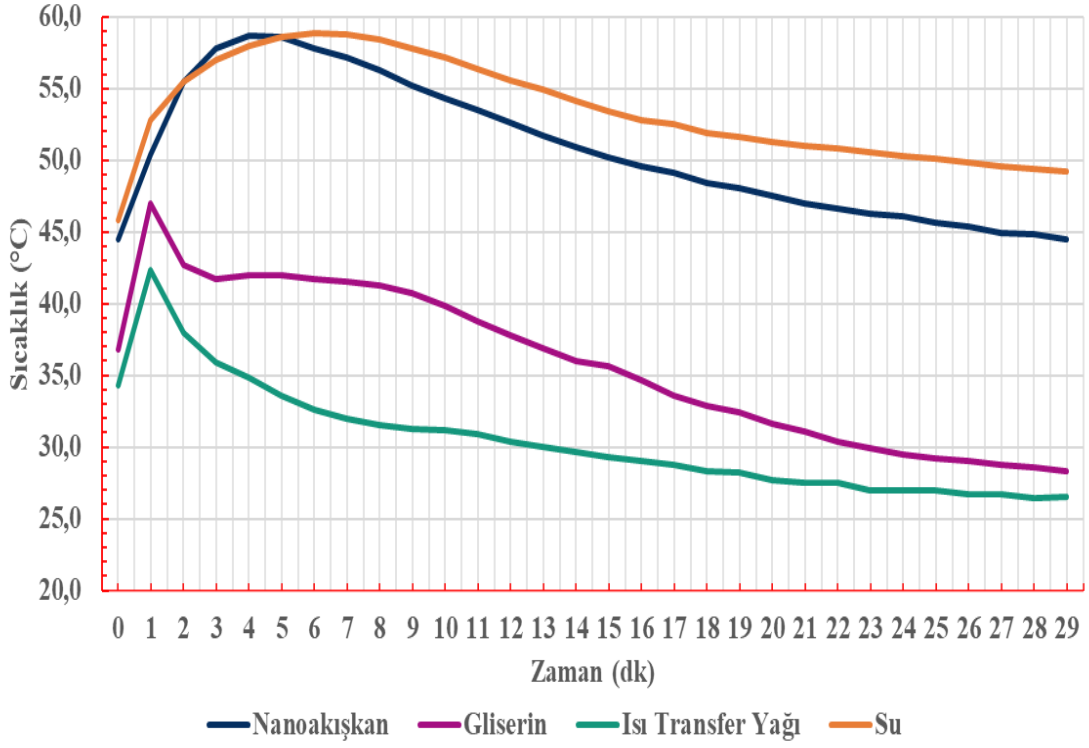
Pompa debisi 1.5 l/dk olduğunda, kullanım suyu çıkış sıcaklıkları açısından yapılan incelemede, nanoakışkanın suya göre bir üstünlüğünün bulunmadığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte gerek nanoakışkan gerekse de su, ısı transfer yağı ve gliserinden kullanım suyu çıkış sıcaklıkları açısından çok daha üstündür çünkü her ikisinin de ısı depolama kapasiteleri ısı transfer yağı ve gliserine göre daha yüksektir. İlgili pompa debisine ait grafikler Şekil 6.68, Şekil 6.69, Şekil 6.70, Şekil 6.71 ve Şekil 6.72'de gösterilmiştir. İlgili şekillerden çıkarılabilecek bir diğer husus da kullanım suyu musluk debisi azalmaya başladığında nanoakışkan ve suyun kullanım suyu çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın da azalmaya başladığıdır.



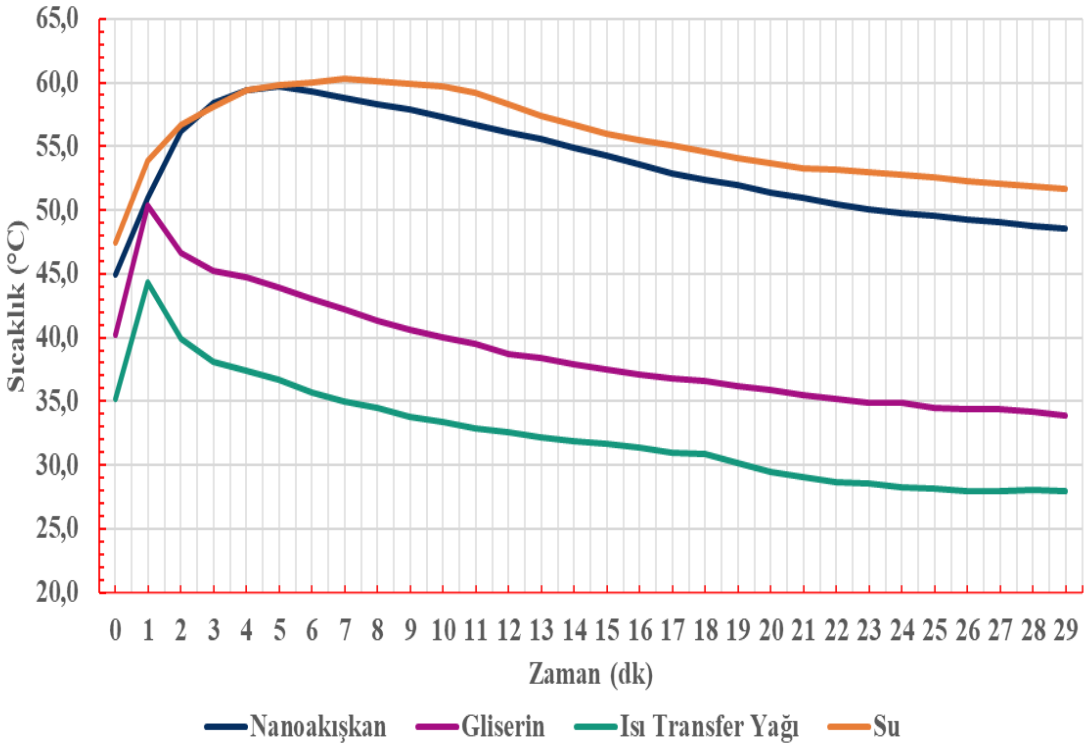
Şekil 6.68. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı



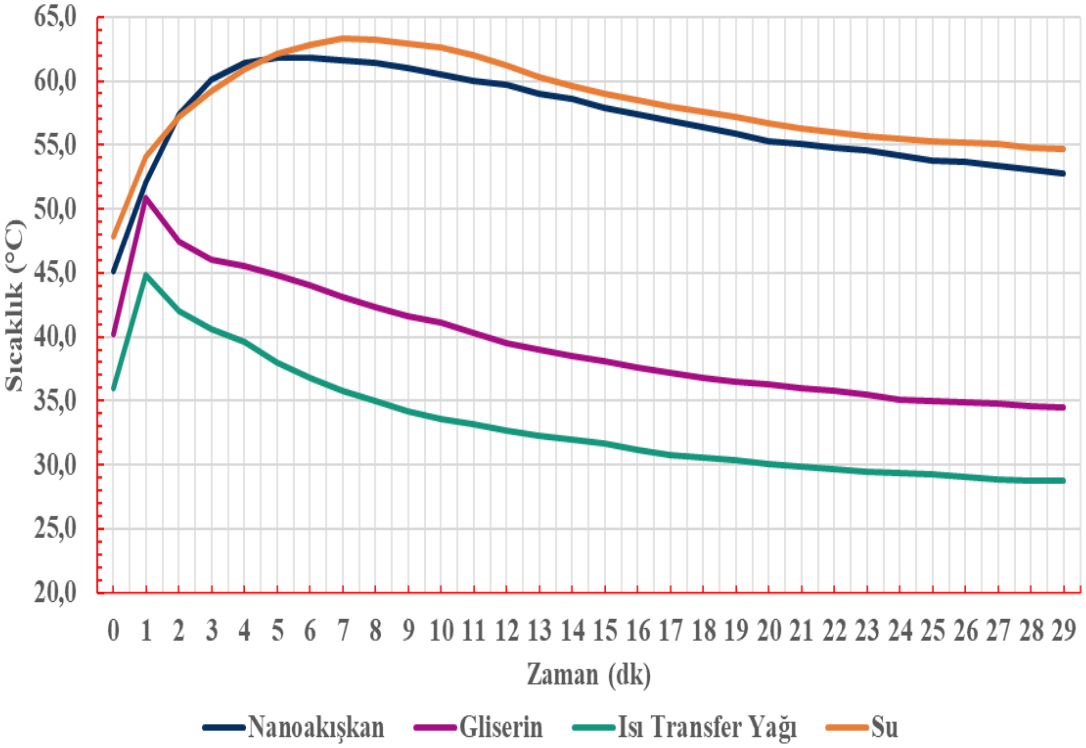
Şekil 6.69. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı



Şekil 6.70. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı



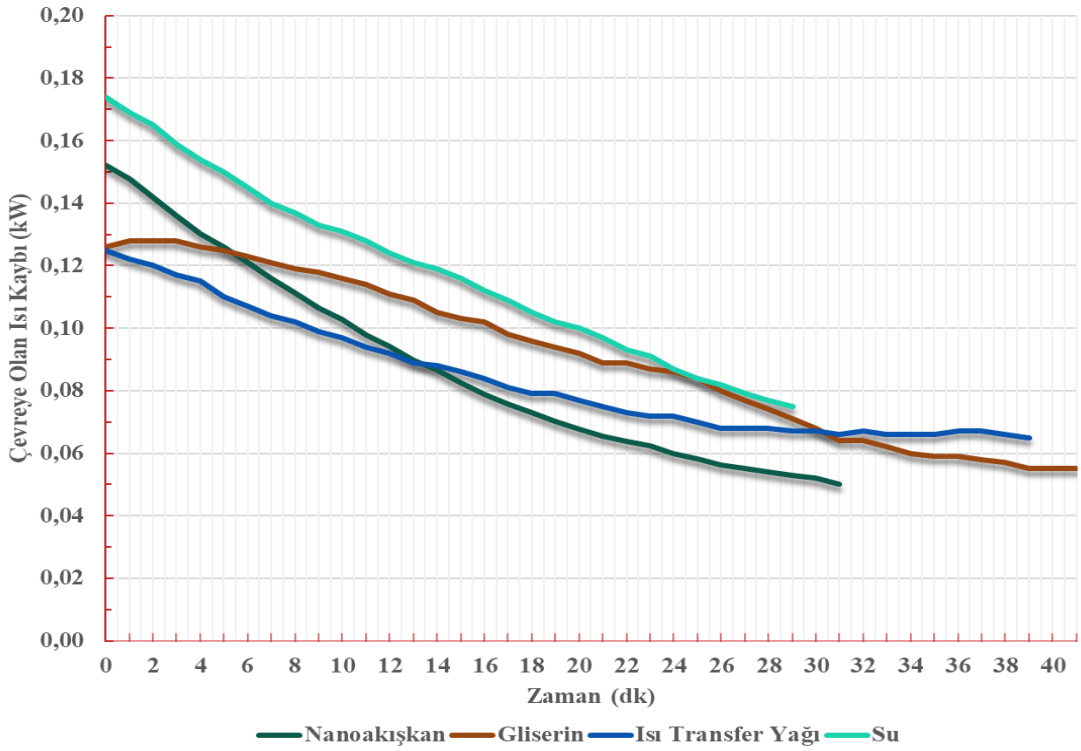
Şekil 6.71. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı



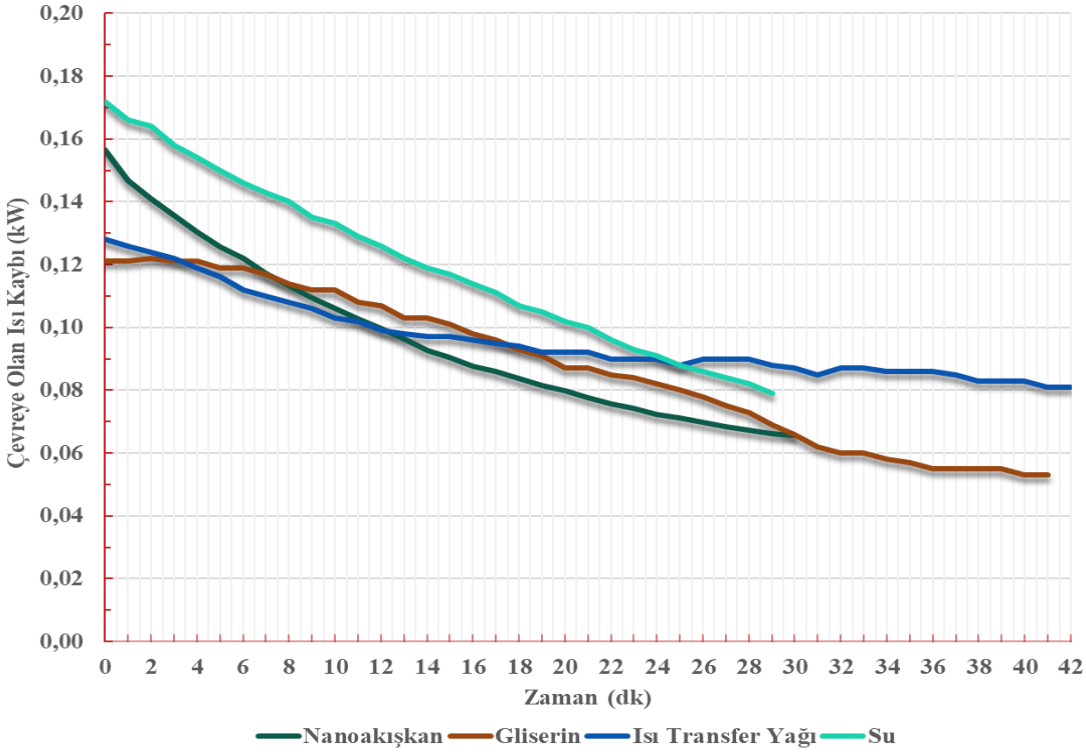
Şekil 6.72. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı

Belirli bir pompa debisi (1.5 l/dk) ve kullanım suyu musluk debilerine bağlı olarak depolama ünitesinin yüzeylerinden çevreye olan ısı kayıpları Şekil 6.73, Şekil 6.74, Şekil 6.75, Şekil 6.76 ve Şekil 6.77'de gösterilmiştir. Söz konusu şekillere göre, özellikle su ve gliserinle yapılan deneylerde çevreye olan ısı kayıpları zamana bağlı olarak daha fazla olmuştur. Isı kayıplarının suda daha yüksek olması, su için ısıl yayınımın oldukça etkin bir rol oynamasıyla ilgilidir ve ısıl yayınımın da etkin, yani yüksek bir değerde olması depolama ünitesinin yüzeylerinde daha yüksek sıcaklıklar elde edilmesine yol açmaktadır. Yüksek yüzey sıcaklıkları, çevreye olan ısı kaybının artması anlamı taşımaktadır.

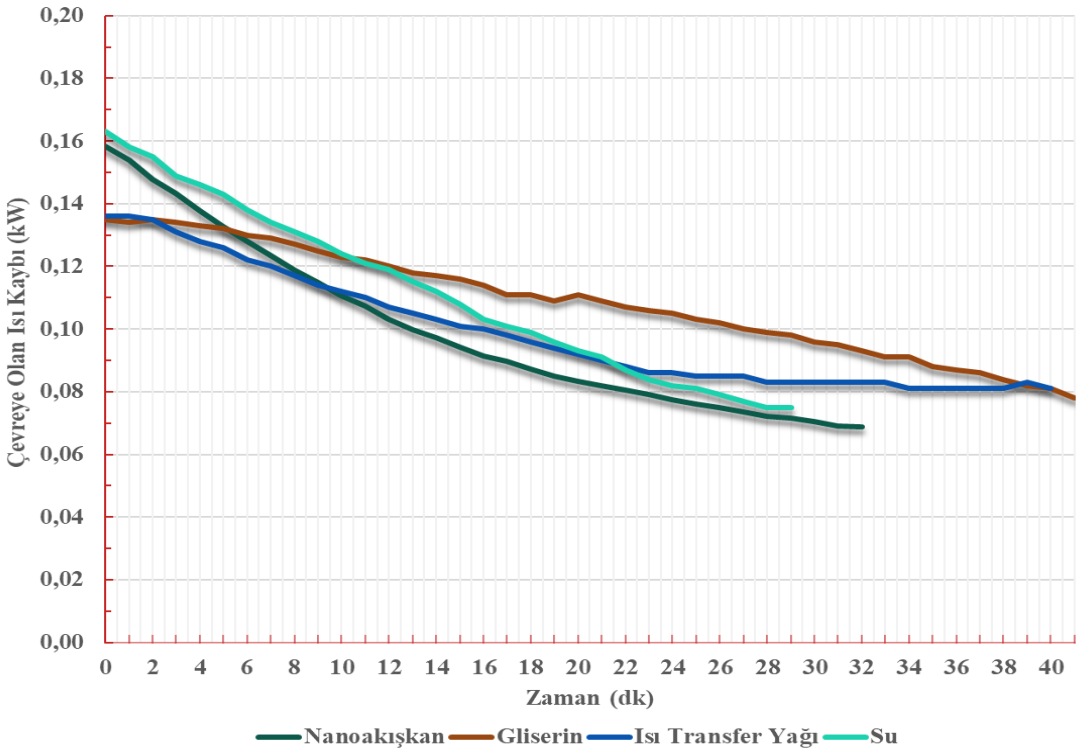
Gliserin açısından değerlendirme yapıldığında; gliserin kullanımı sırasında, çevre (ortam) sıcaklıklarının göreceli olarak daha düşük değerlerde olması ısı kayıplarının da daha fazla olmasına yol açmıştır. Bununla birlikte bu durumun istisnası kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu zamanda ortaya çıkmıştır. İlgili kullanım suyu musluk debisinde dört ısı depolama maddesi aracılığıyla çevreye olan ısı kayıpları da birbirine yakın değerlerdedir.



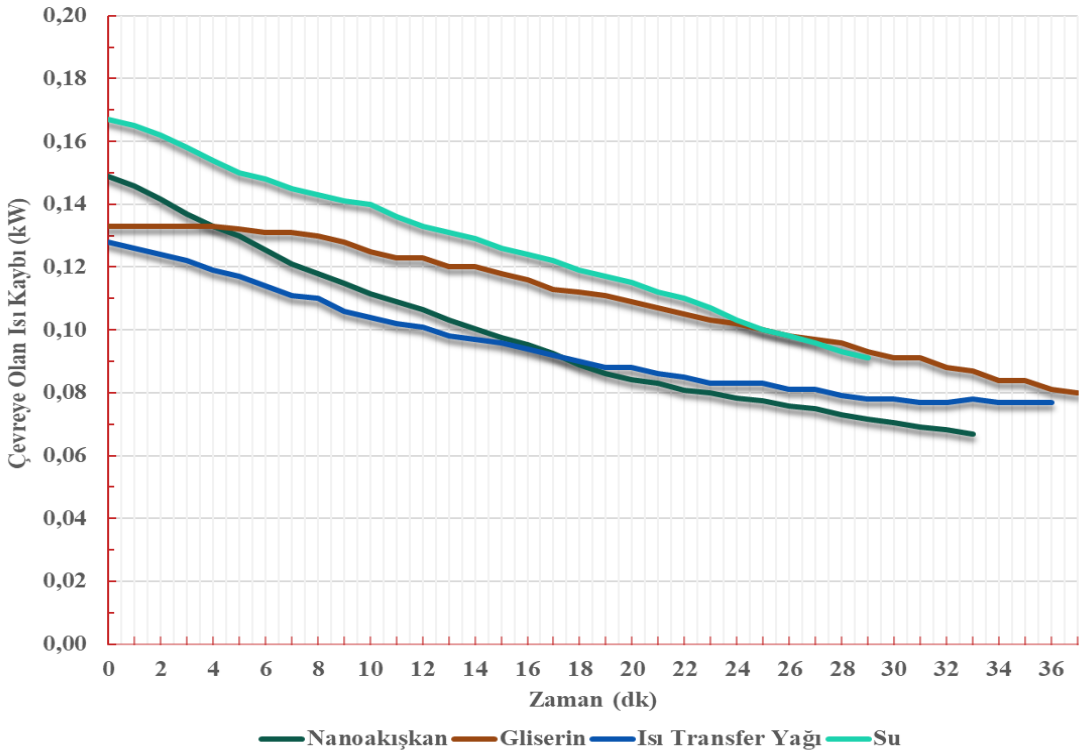
Şekil 6.73. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı



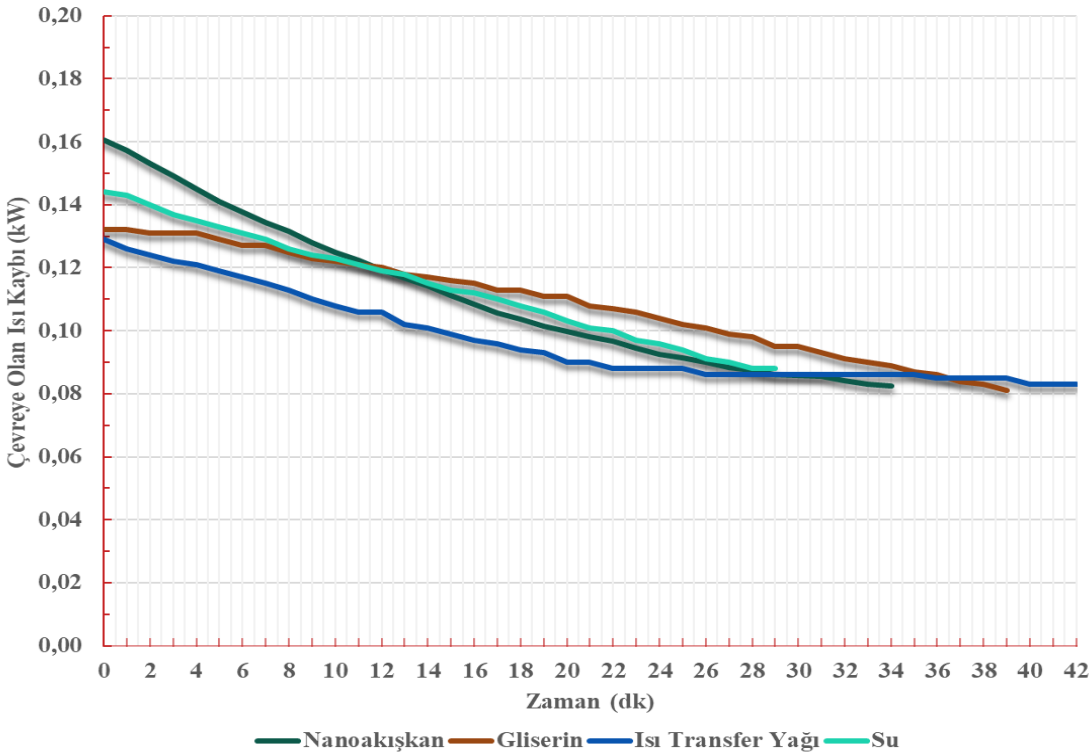
Şekil 6.74. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı



Şekil 6.75. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı

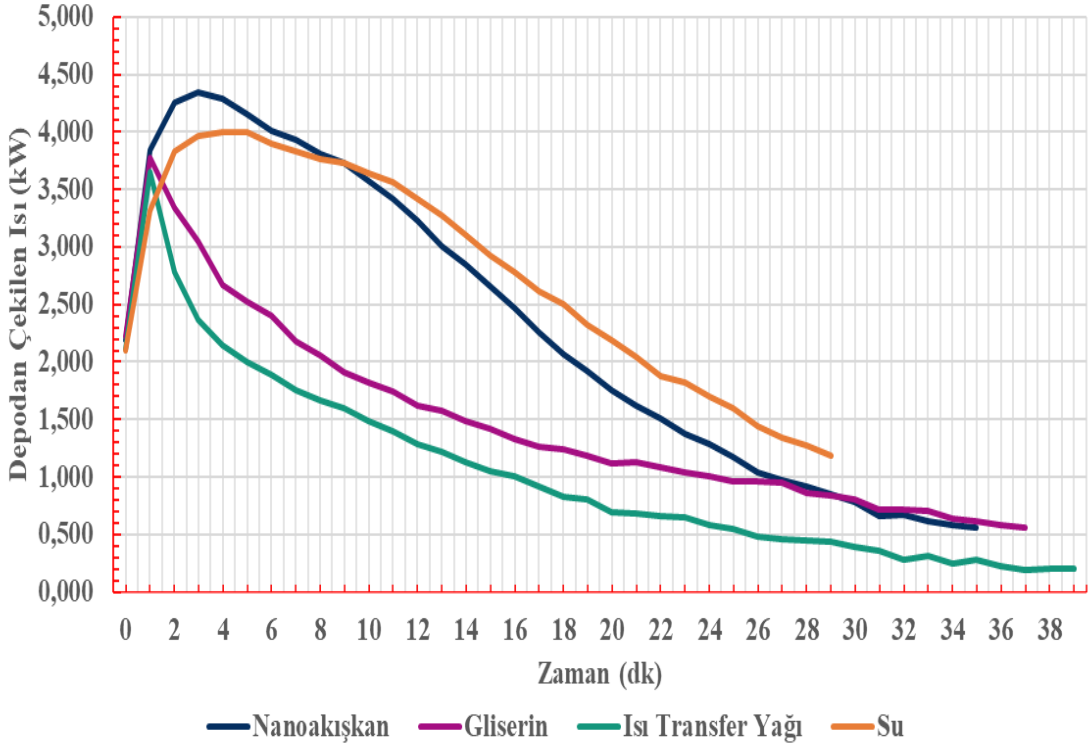


Şekil 6.76. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı

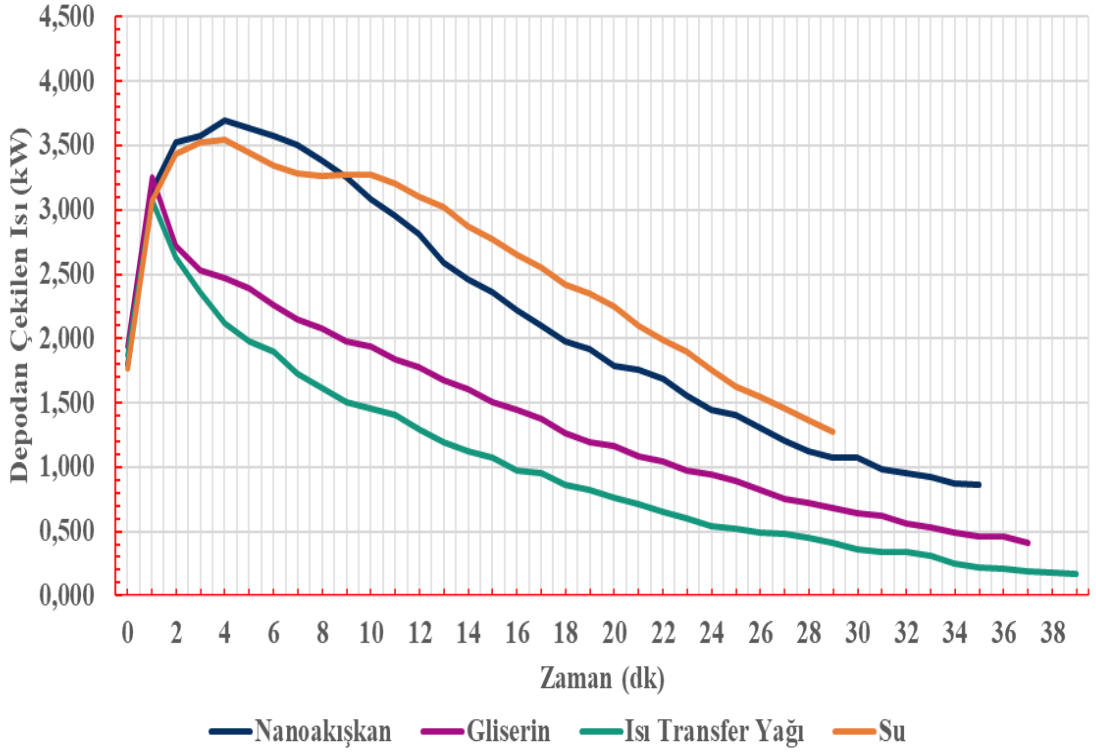


Şekil 6.77. Pompa debisi 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı

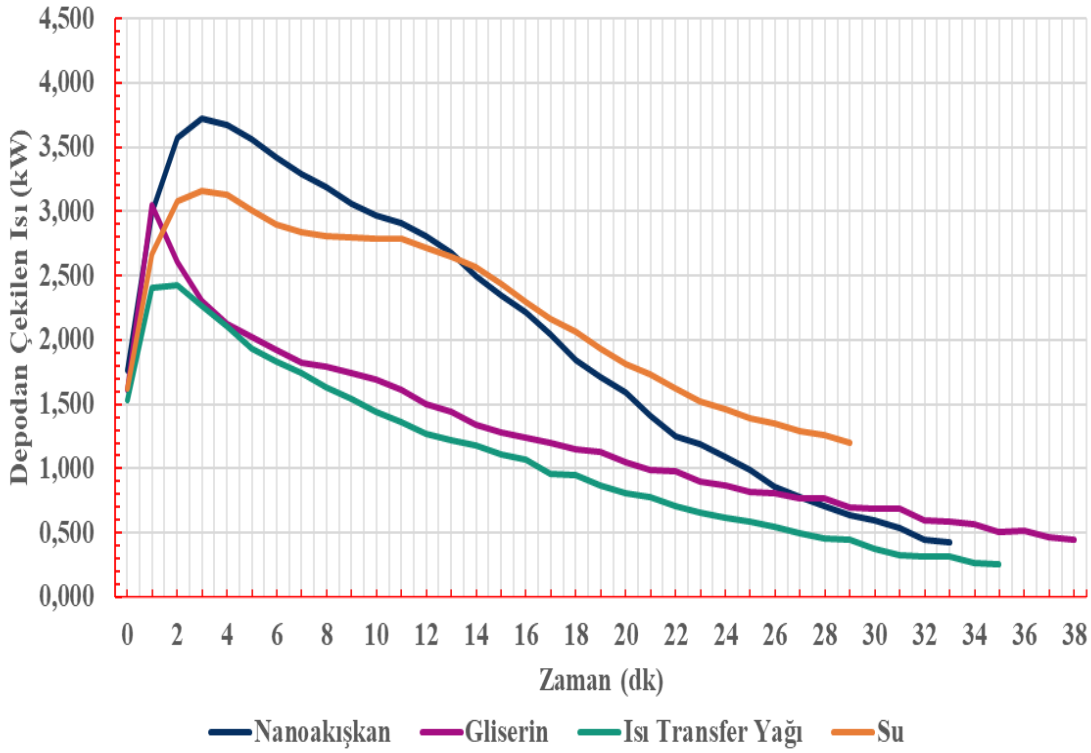
Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda ve belirlenen kullanım suyu debilerinde depolama ünitesinden çekilen ısılar Şekil 6.78, Şekil 6.79, Şekil 6.80, Şekil 6.81 ve Şekil 6.82'de verilmiştir.



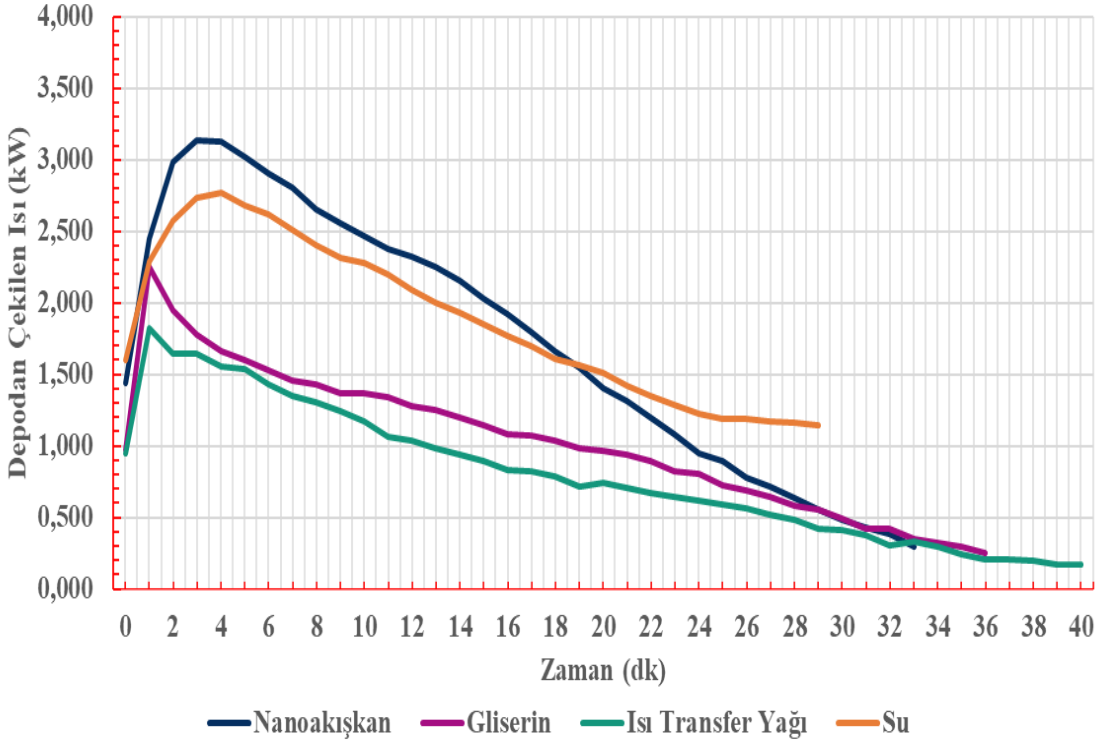
Şekil 6.78. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı



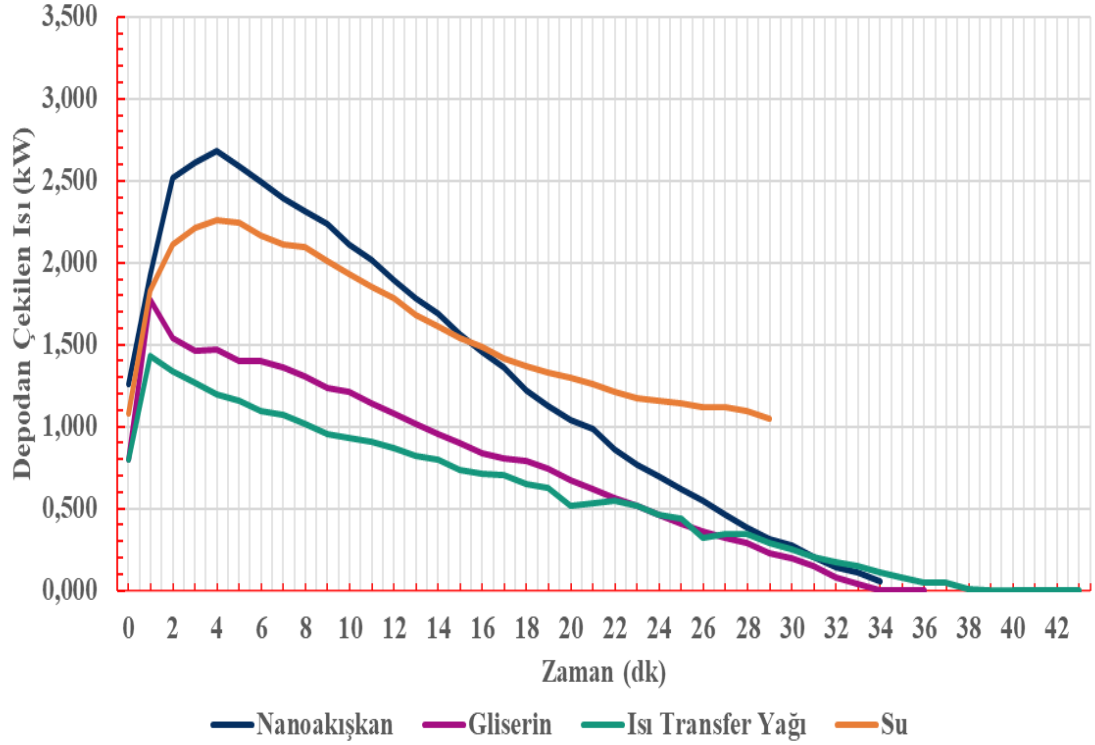
Şekil 6.79. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/ dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı



Şekil 6.80. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı

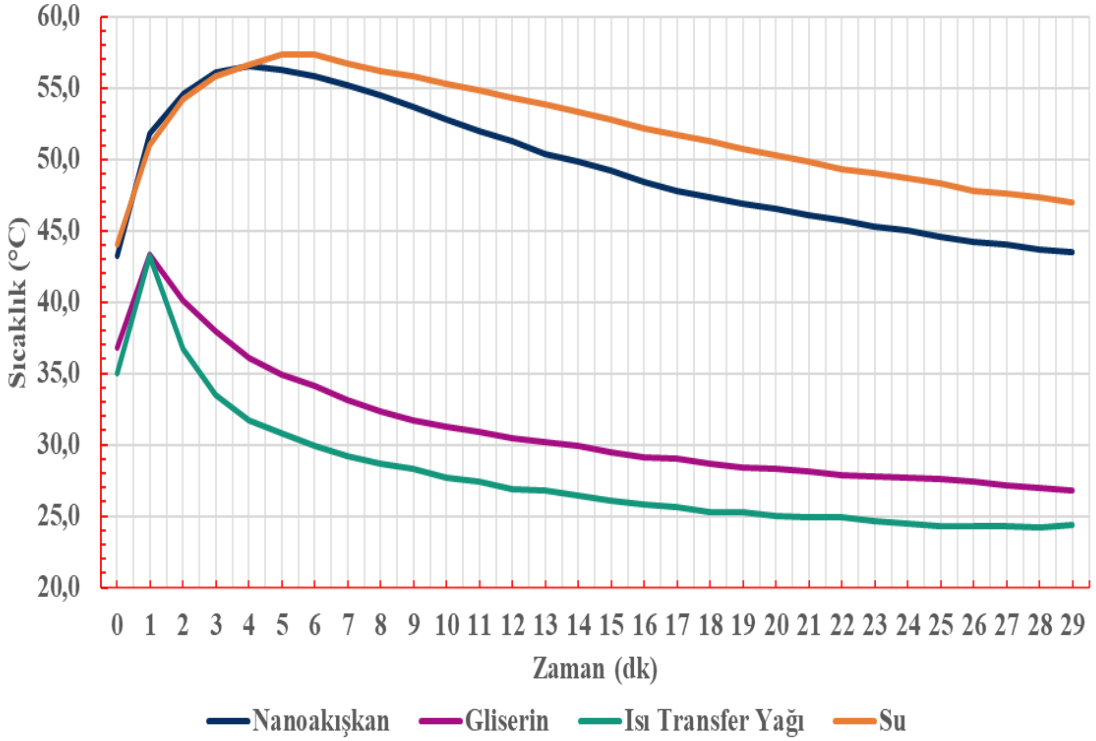


Şekil 6.81. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı

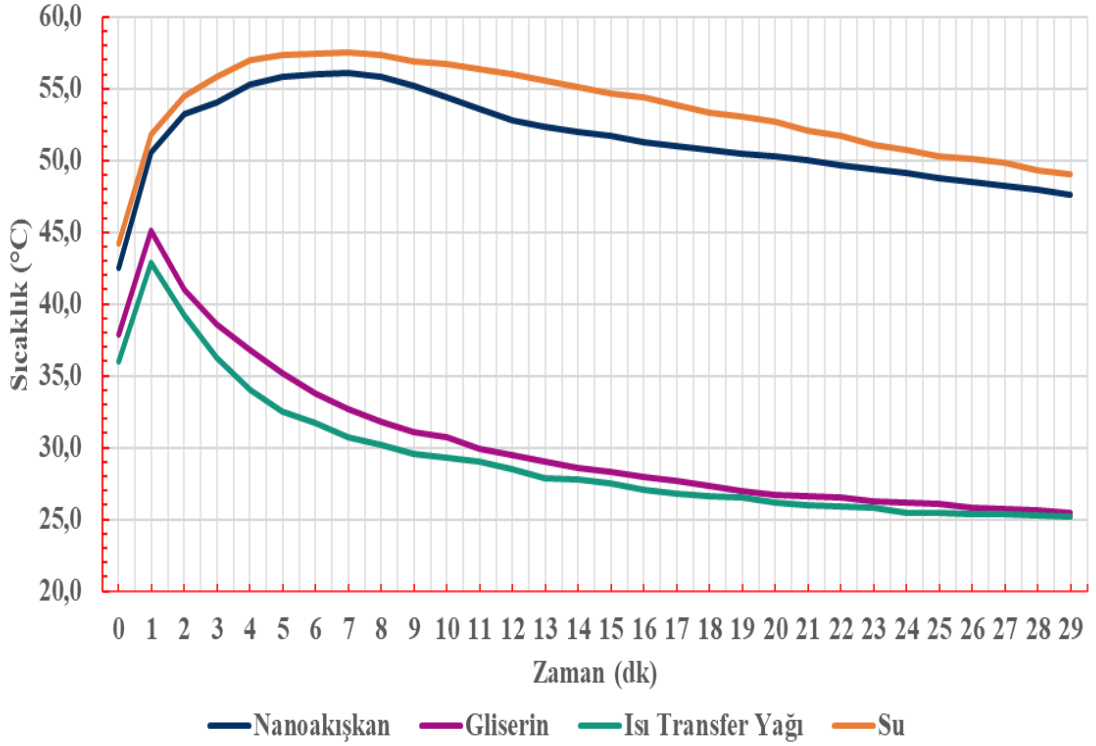


Şekil 6.82. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı

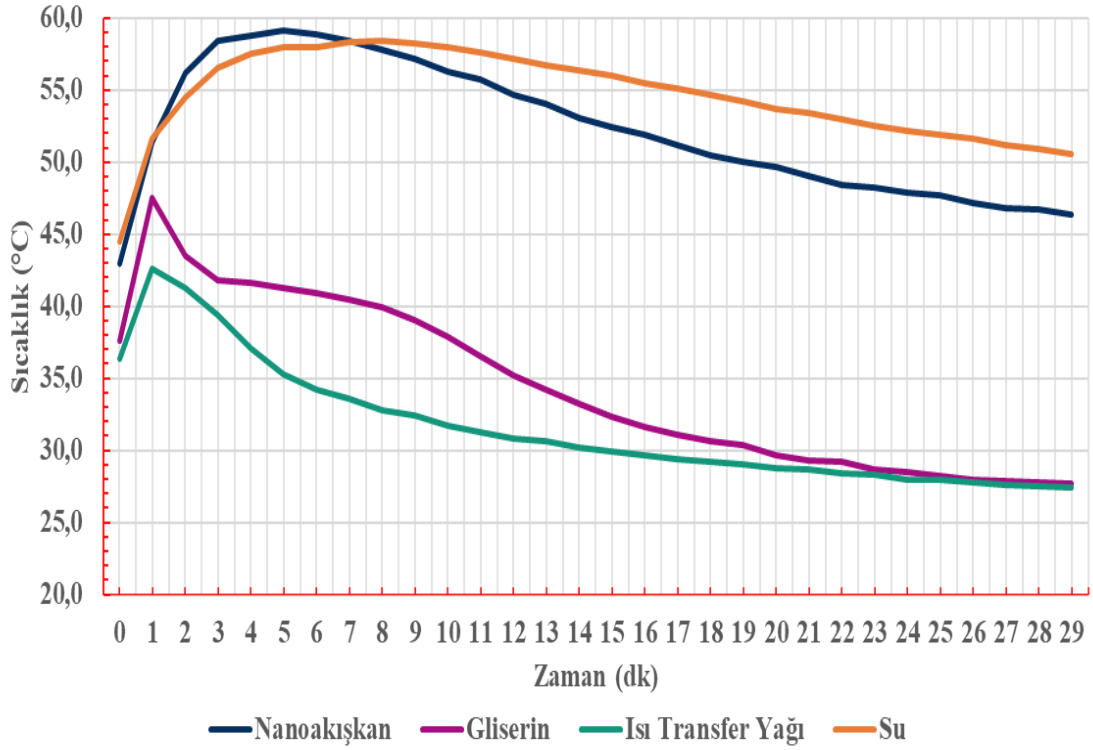
Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda da her bir kullanım suyu musluk debisinde, su ve nanoakışkanın ısı çekimi konusunda gliserin ve ısı transfer yağına göre açık bir üstünlüğü vardır zira her ikisinin de ısı depolama kapasiteleri gliserin ve ısı transfer yağından daha büyüktür. Ancak, nanoakışkanın suya göre depolama ünitesinden ısı çekimi hususunda sadece deneylerin belirli süreçlerinde üstün olduğu da ilgili şekillerden görülmektedir. Benzer bir durum, sözü geçen pompa debisi ve kullanım suyu musluk debileri için kullanım suyu çıkış sıcaklıklarında da geçerli olmaktadır ve ilgili sıcaklıklar Şekil 6.83, Şekil 6.84, Şekil 6.85, Şekil 6.86 ve Şekil 6.87'de verilmiştir. Bu bağlamda kullanım suyu çıkış sıcaklıkları göz önüne alınırsa; suyun ve nanoakışkanın ısı transfer yağı ve gliserine karşı apaçık bir üstünlüğünün olduğu deneyler aracılığıyla gözlemlenmiştir. Ne var ki; nanoakışkan, ilgili karakteristik deneylerinin sadece baş kısımlarında, üstelik sadece kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk, 1.5 l/dk ve 1.2 l/dk olduğu durumlarda suya karşı bir avantaja sahiptir. Ayrıca, kullanım suyu musluk debisi düştükçe, nanoakışkanın kullanım suyu çıkış sıcaklığı açısından suya göre üstünlüğü deneylerin başındaki süreçlerde biraz daha belirgin bir hâle gelmektedir.



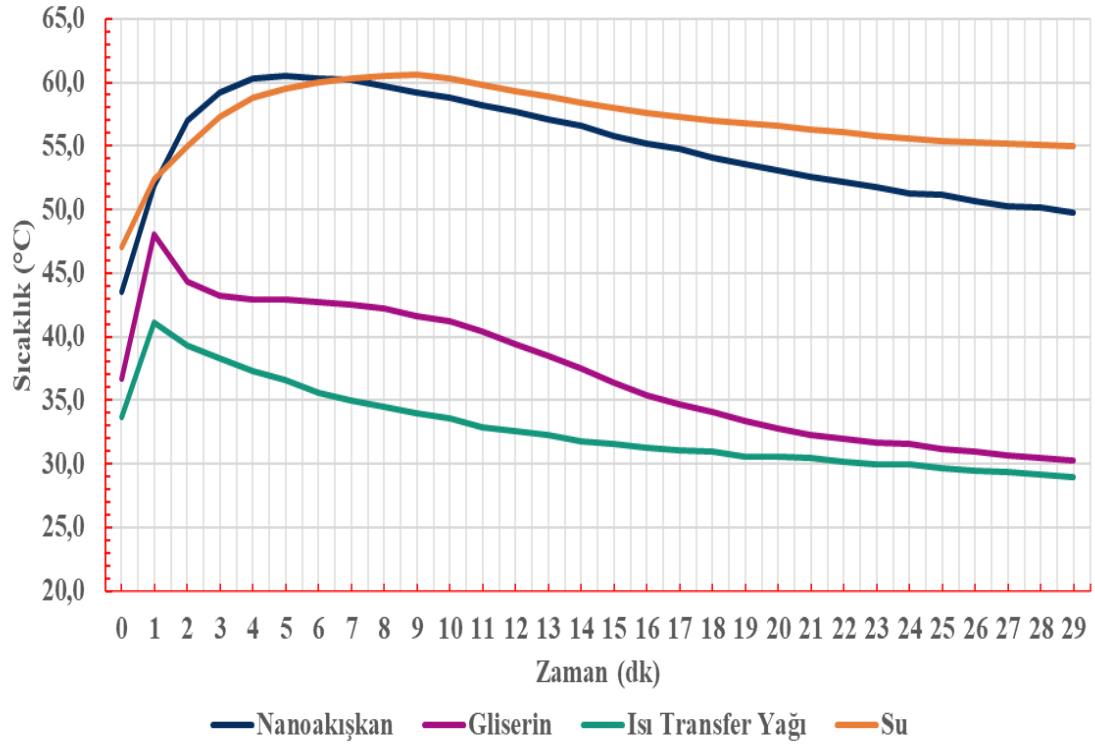
Şekil 6.83. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı



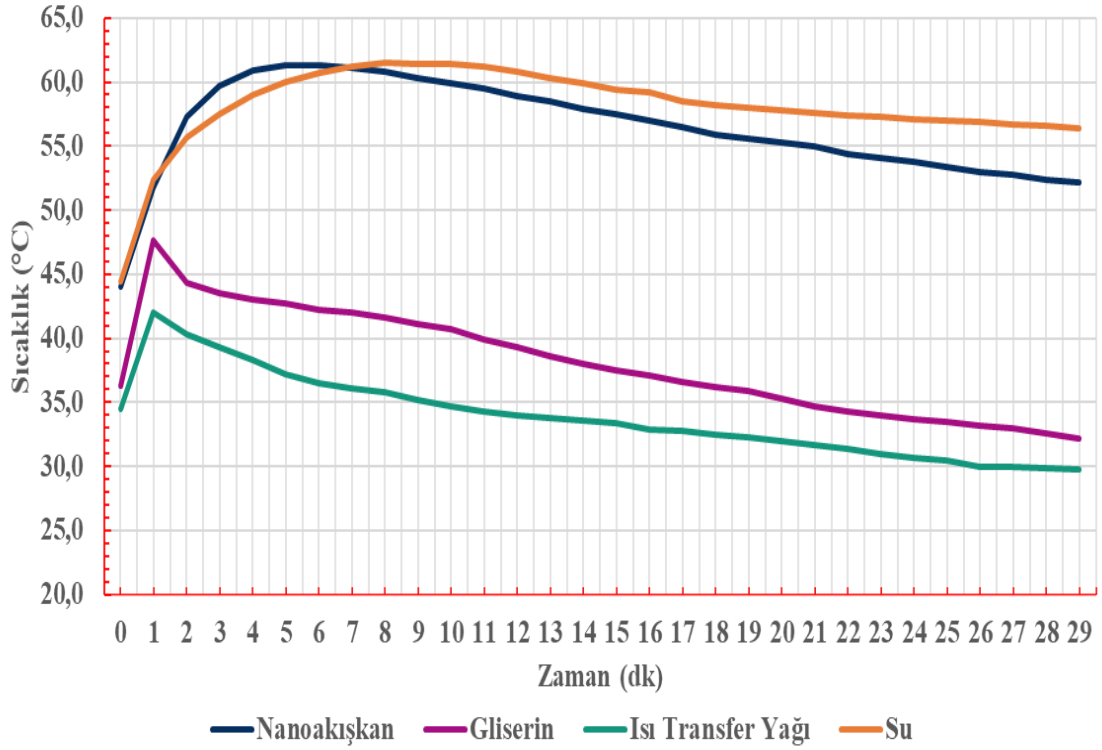
Şekil 6.84. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı



Şekil 6.85. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı

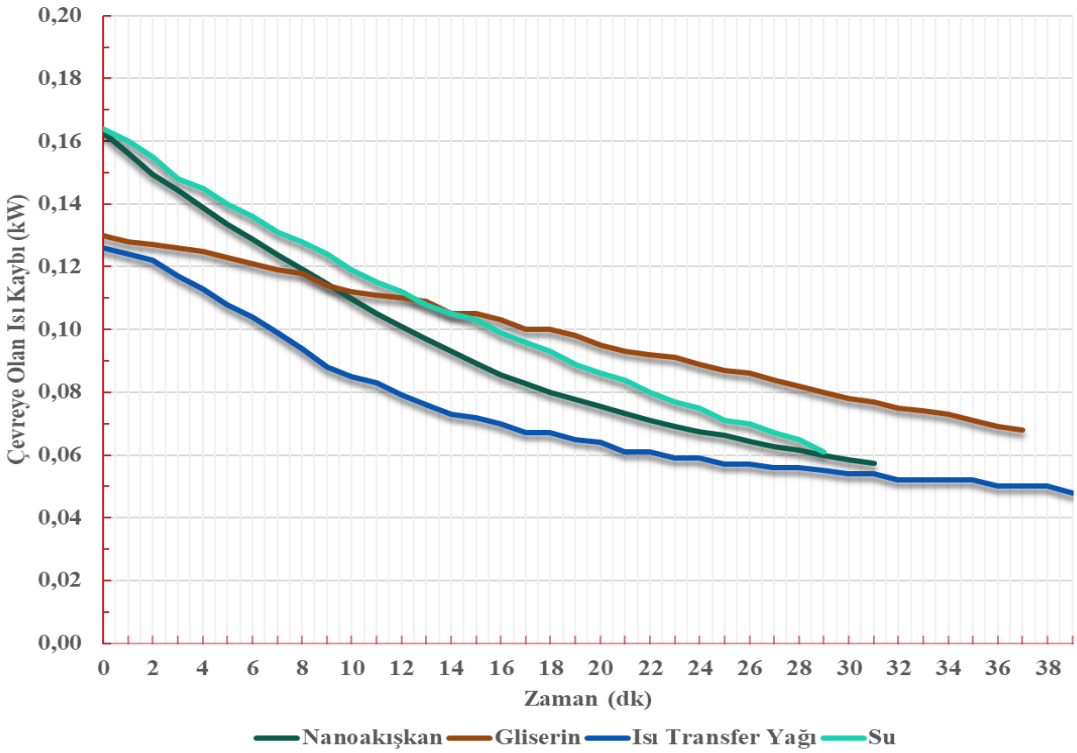


Şekil 6.86. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı

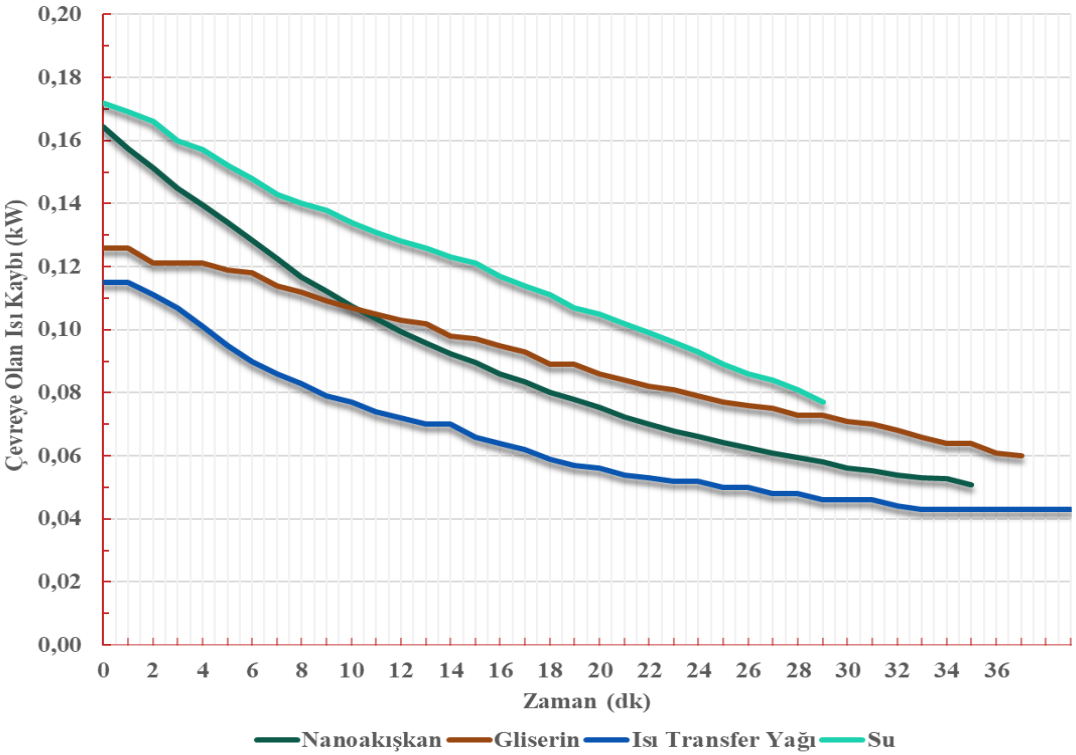


Şekil 6.87. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı

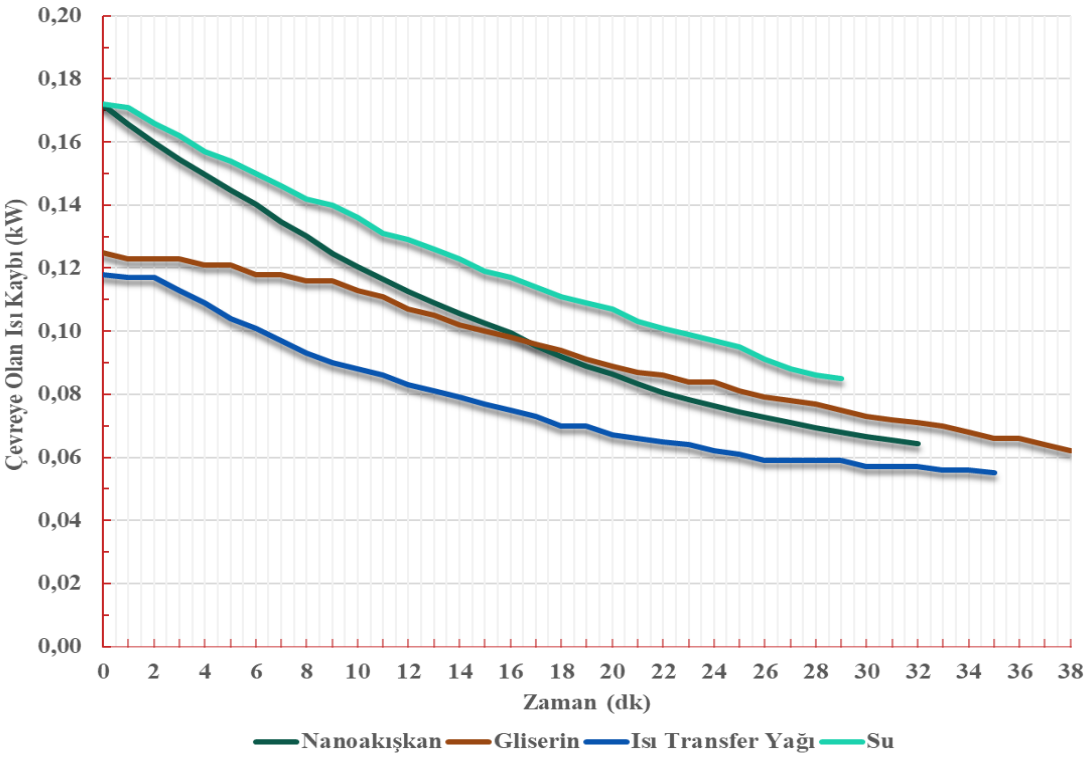
Pompa debisinin 1.5 l/dk olduğu durumdakine benzer olarak 1.8 l/dk'lık pompa debisinde de, su ve gliserinle yapılan deneylerde çevreye olan ısı kayıpları zamana bağlı olarak daha fazla olmuştur (Şekil 6.88, Şekil 6.89, Şekil 6.90, Şekil 6.91 ve Şekil 6.92). Ancak, sadece kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda, gliserinin, kendi karakteristik deneyinin ortasından sonraki süreçte sudan daha fazla ısı kaybına neden olduğu Şekil 6.88'den anlaşılmaktadır.



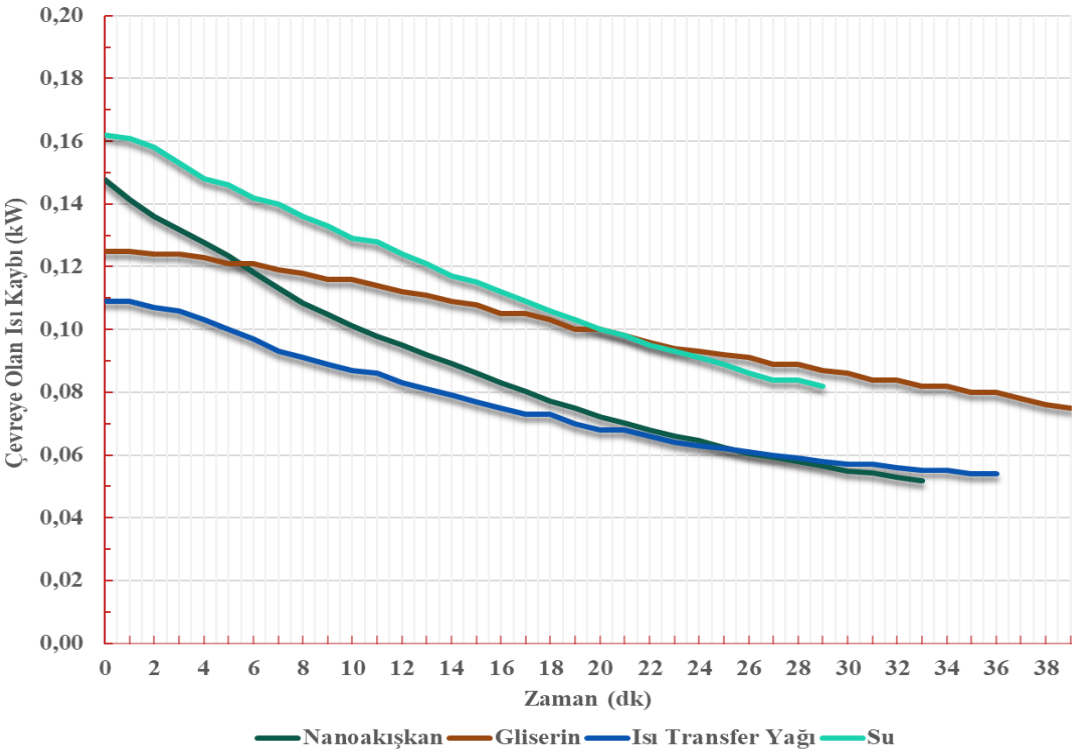
Şekil 6.88. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı



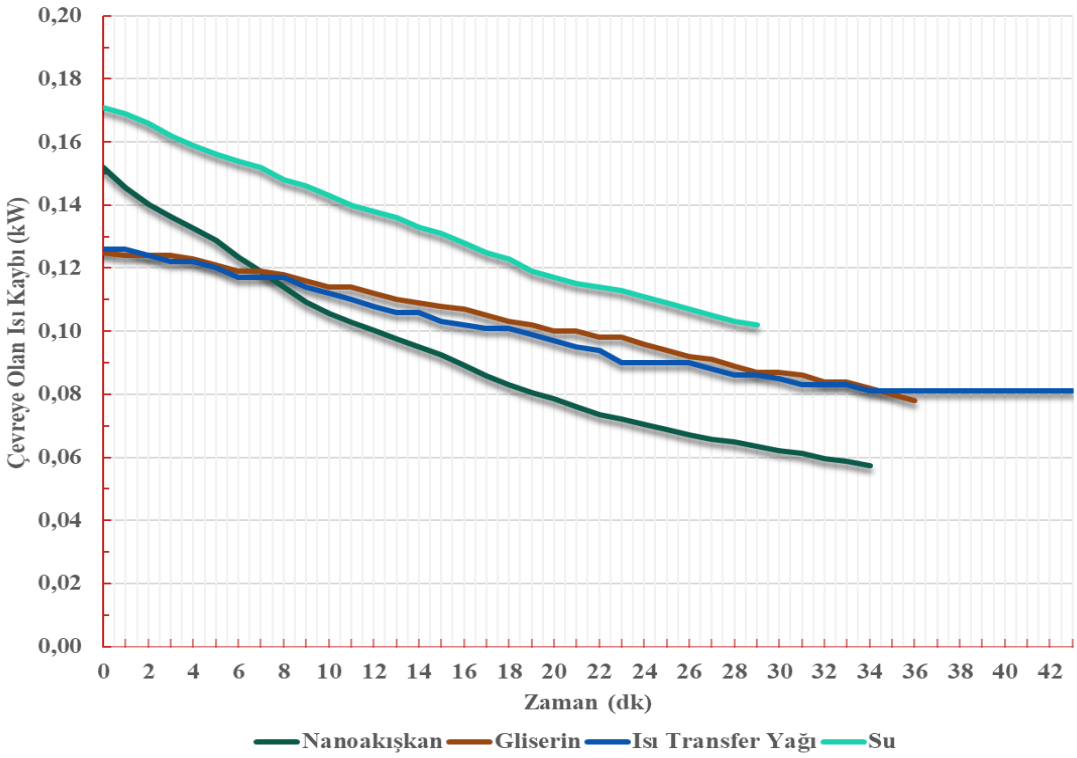
Şekil 6.89. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı



Şekil 6.90. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı



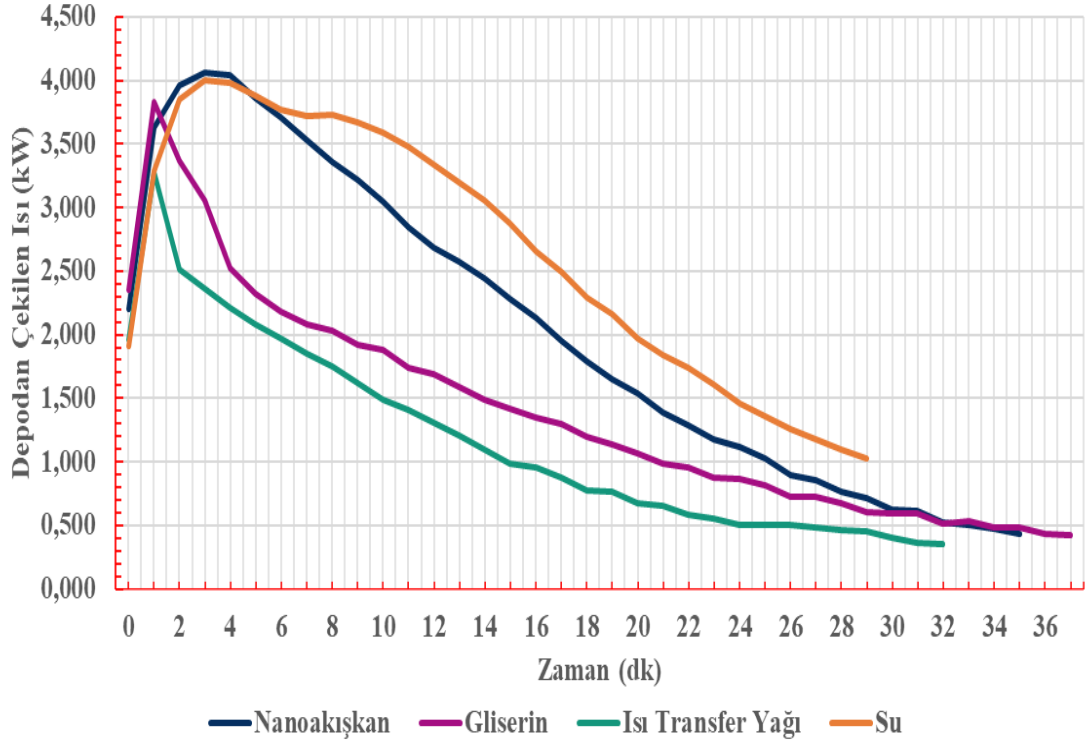
Şekil 6.91. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı



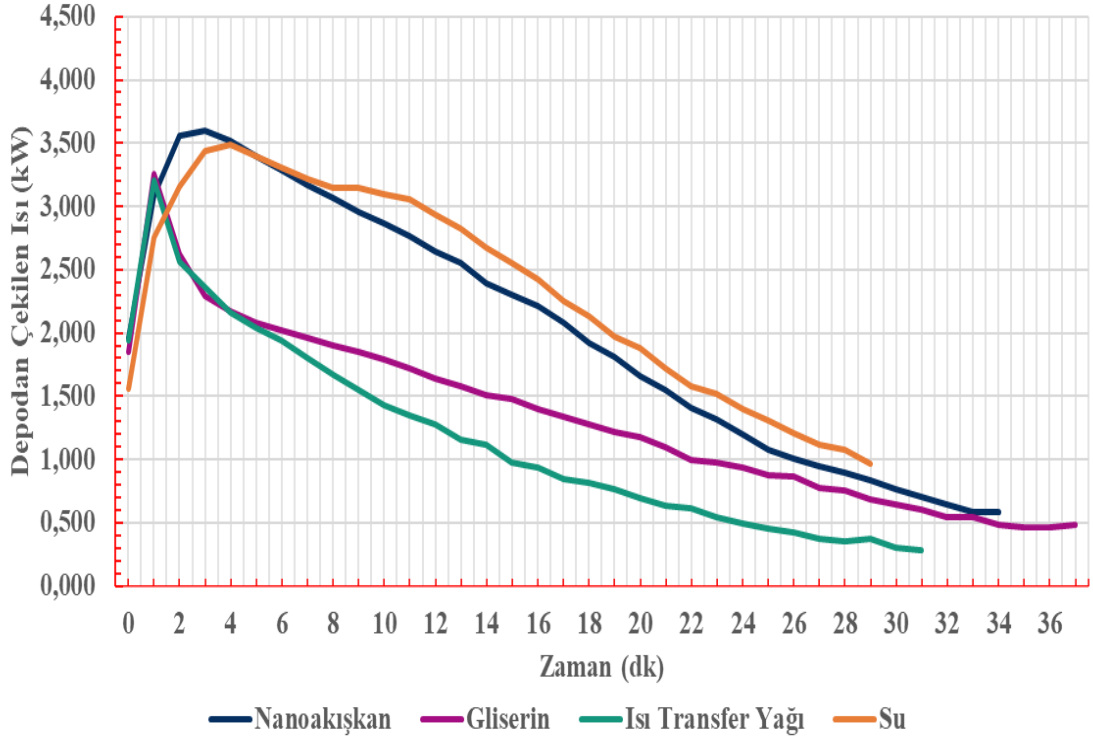
Şekil 6.92. Pompa debisi 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı

Pompa debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda, depolama ünitesinden çekilen ısılar Şekil 6.93, Şekil 6.94, Şekil 6.95, Şekil 6.96 ve Şekil 6.97'de gösterilmiştir. Söz konusu şekillerde, özellikle 1.5 l/dk ve 1.2 l/dk'lık kullanım suyu musluk debileri için karakteristik deneylerin son aşamalarında, depolama maddesinin gliserin olması durumunda nanoakışkana göre daha fazla ısı çekildiği gözlemlenmektedir. Bunun sebebi, gliserinin karakteristik deneyinin son dakikalarında termosifonun aktif hâle gelerek termosifon aracılığıyla sisteme ısı girmesidir. Hatta kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda benzer bir durum ısı transfer yağı için de meydana gelmiş ve böylelikle ısı transfer yağı durumunda nanoakışkana göre depolama ünitesinden daha fazla ısı çekilebilmiştir.

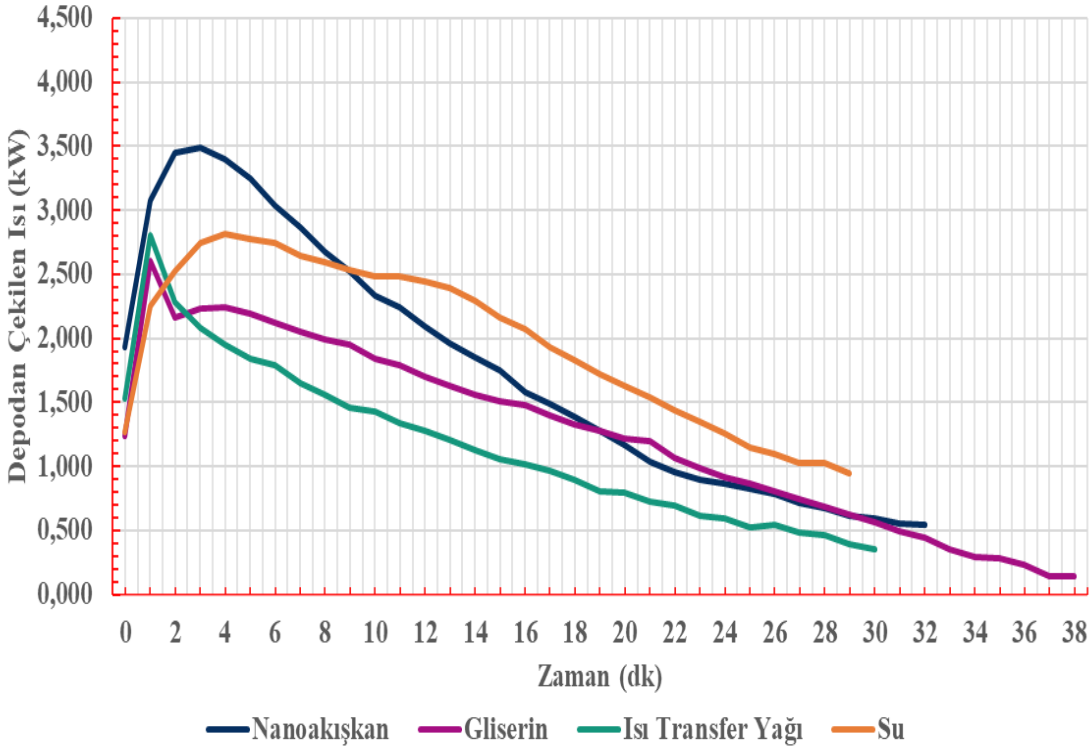
Aynı pompa debisinde (2.1 l/dk), kullanım suyu musluk debisi düşüşe geçtikçe karakteristik deneylerin ilk dakikalarında nanoakışkan aracılığıyla suya göre depolama ünitesinden daha fazla ısı çekmek mümkün olabilmektedir. Bu açıdan, nanoakışkan kullanımı sadece belirli kullanım suyu musluk debilerinde (1.8 l/dk, 1.5 l/dk ve 1.2 l/dk) ve sınırlı bir süreçte suya göre üstünlük sağlamaktadır.



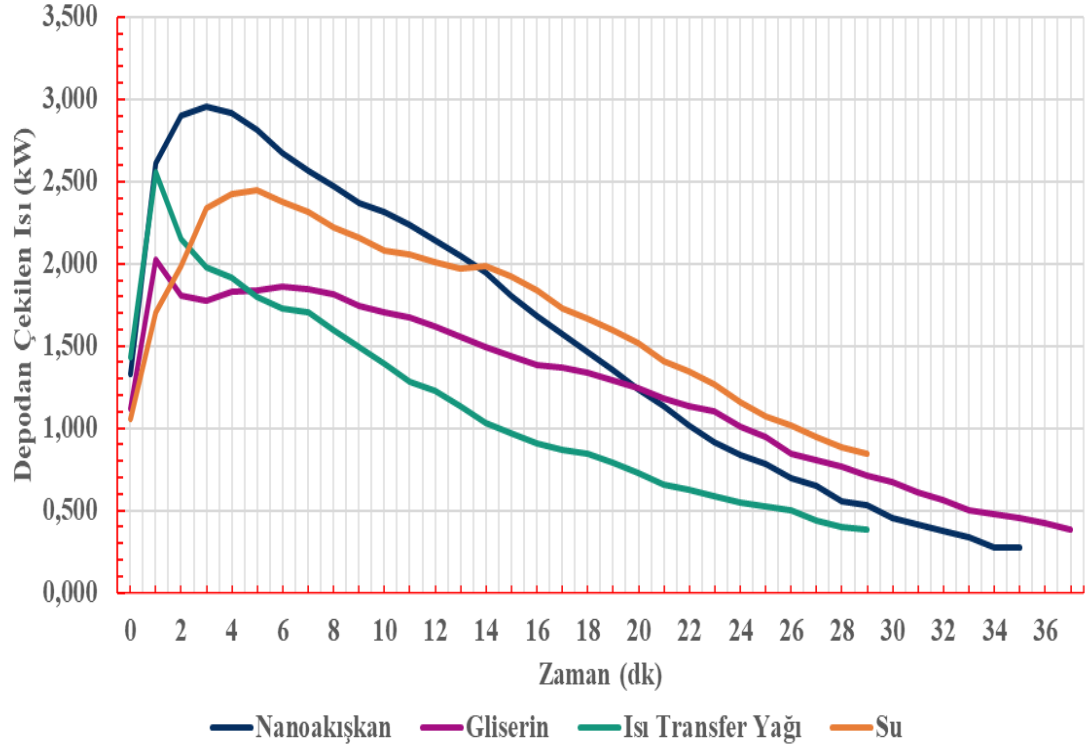
Şekil 6.93. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı



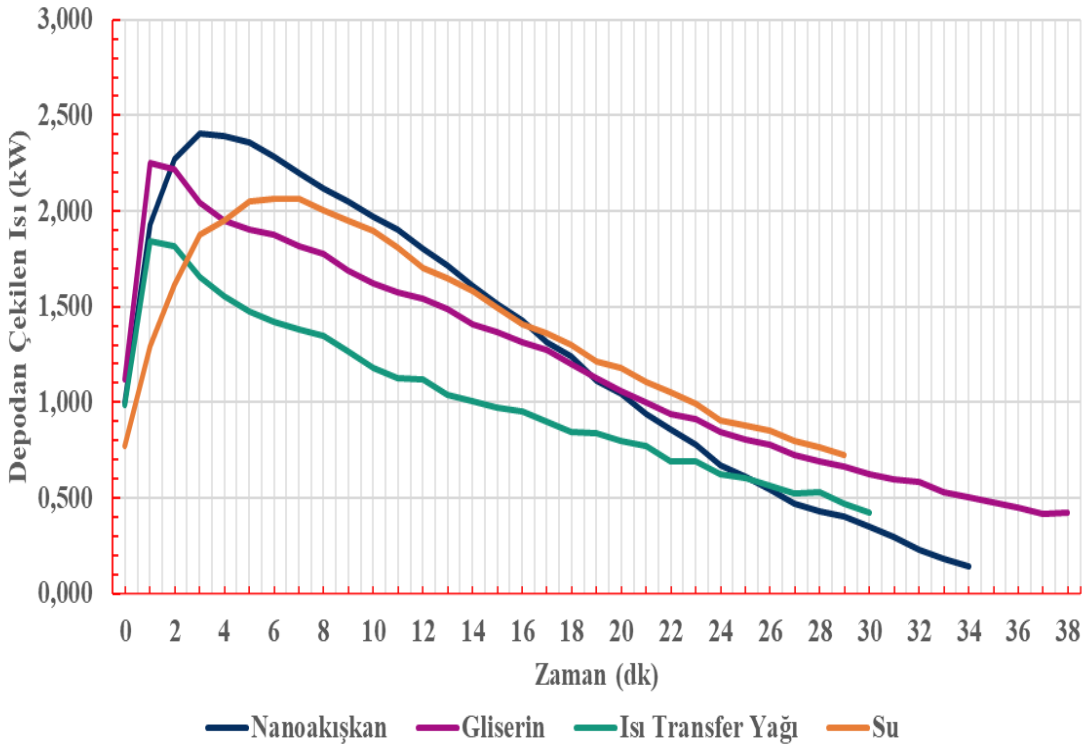
Şekil 6.94. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı



Şekil 6.95. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı

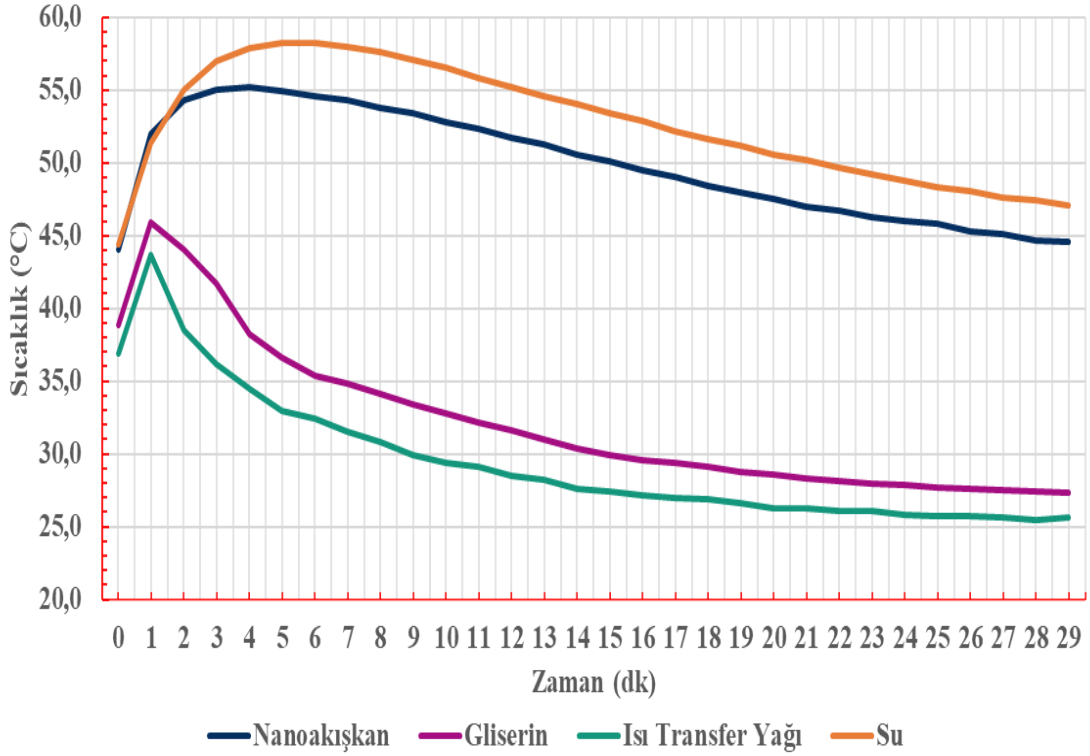


Şekil 6.96. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı

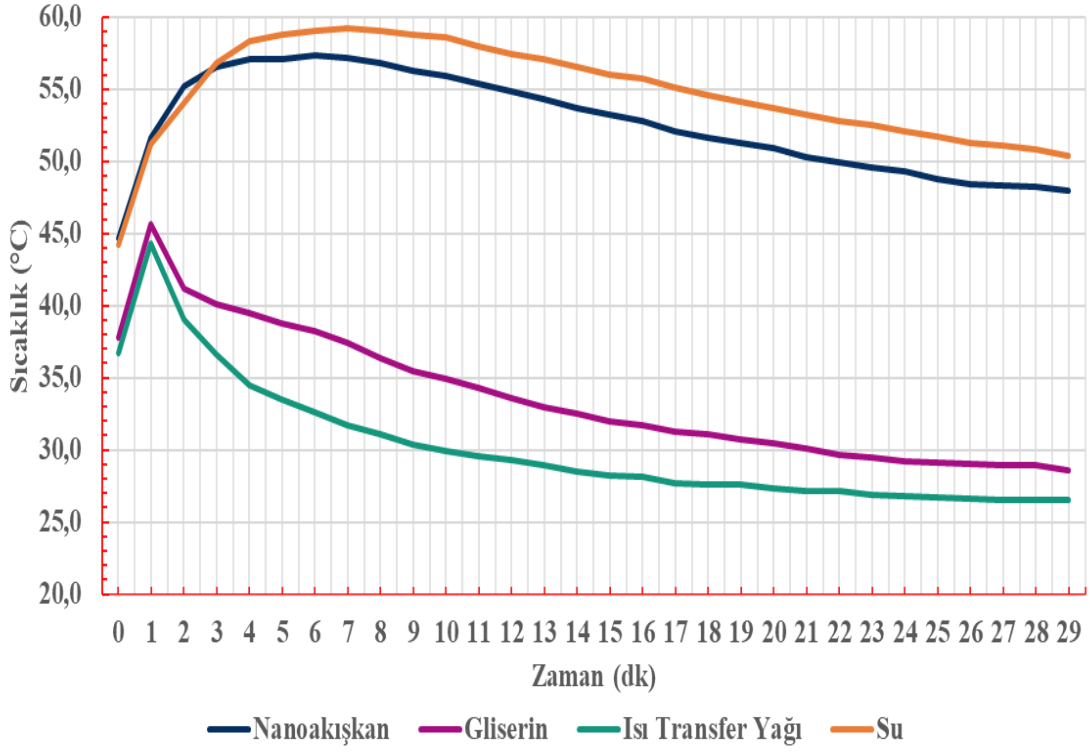


Şekil 6.97. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda depolama ünitesinden çekilen ısı

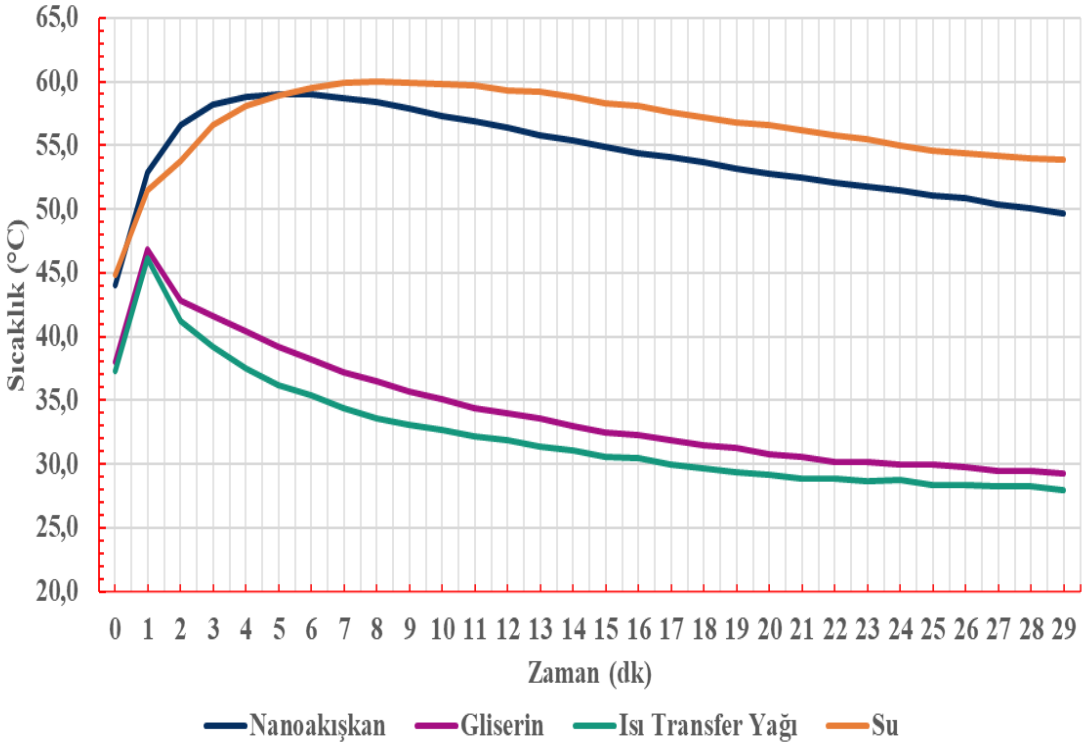
Pompa debisi 2.1 l/dk iken, değişik kullanım suyu musluk debilerinde kullanım suyu çıkış sıcaklığına ait grafikler Şekil 6.98, Şekil 6.99, Şekil 6.100, Şekil 6.101 ve Şekil 6.102'de gösterilmiştir. Buna göre kullanım suyu musluk debisi hangi debide olursa olsun; kullanım suyu çıkış sıcaklığı suda, nanoakışkana göre hemen hemen her zaman daha yüksek olmuştur. Bununla birlikte, şekillerden de anlaşıldığı üzere, kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk, 1.5 l/dk ve 1.2 l/dk olduğu durumlarda ilgili karakteristik deneylerin başlangıç sürecinde kullanım suyu çıkış sıcaklığı, su için nanoakışkana göre biraz daha yüksek değerlerdedir. Ancak karakteristik deneylerin bütünü ele alındığında; bu durum, nanoakışkanın suya karşı tercih edilebilir olduğu anlamına gelmemektedir.



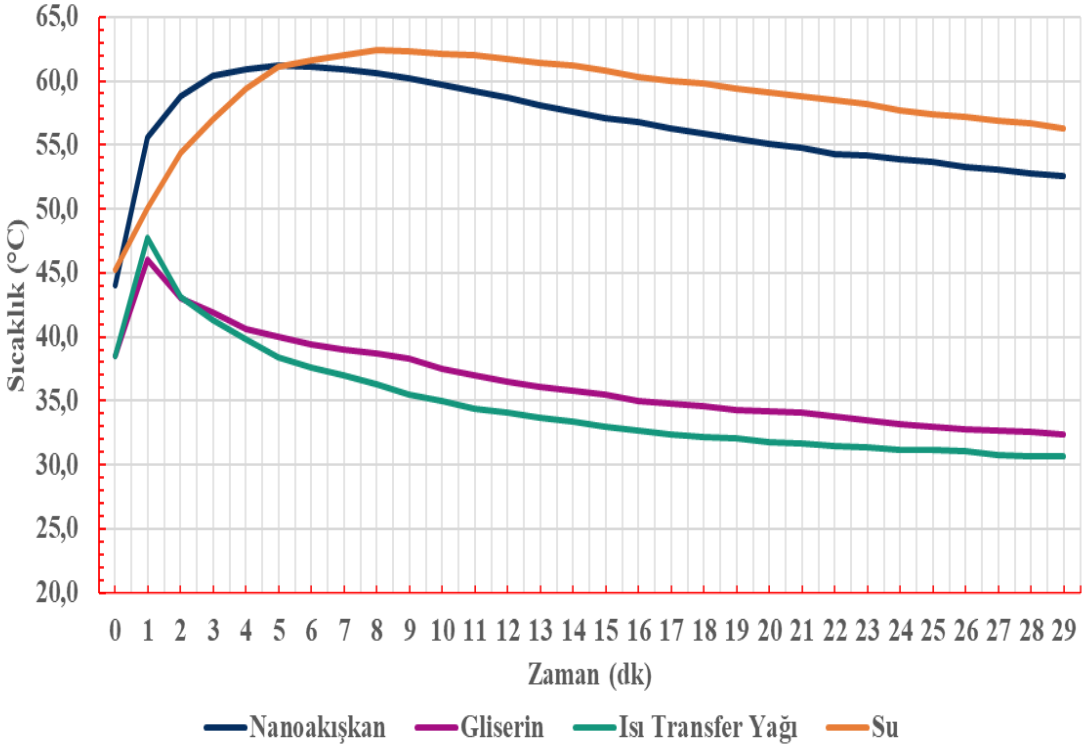
Şekil 6.98. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı



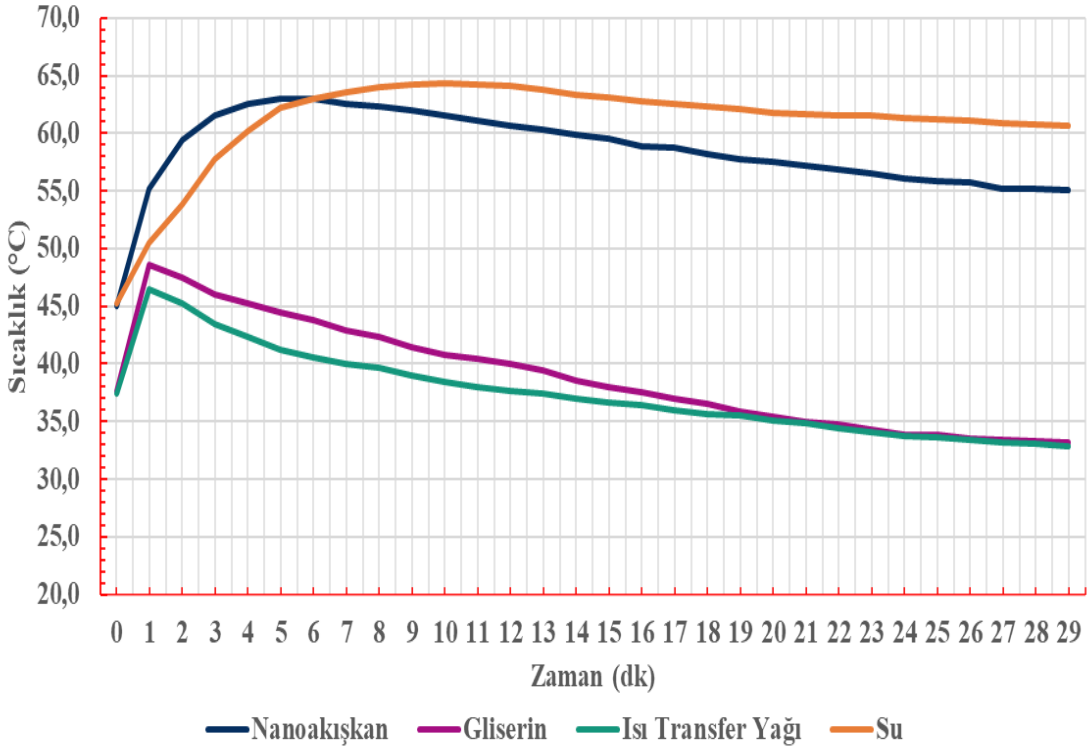
Şekil 6.99. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı



Şekil 6.100. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı

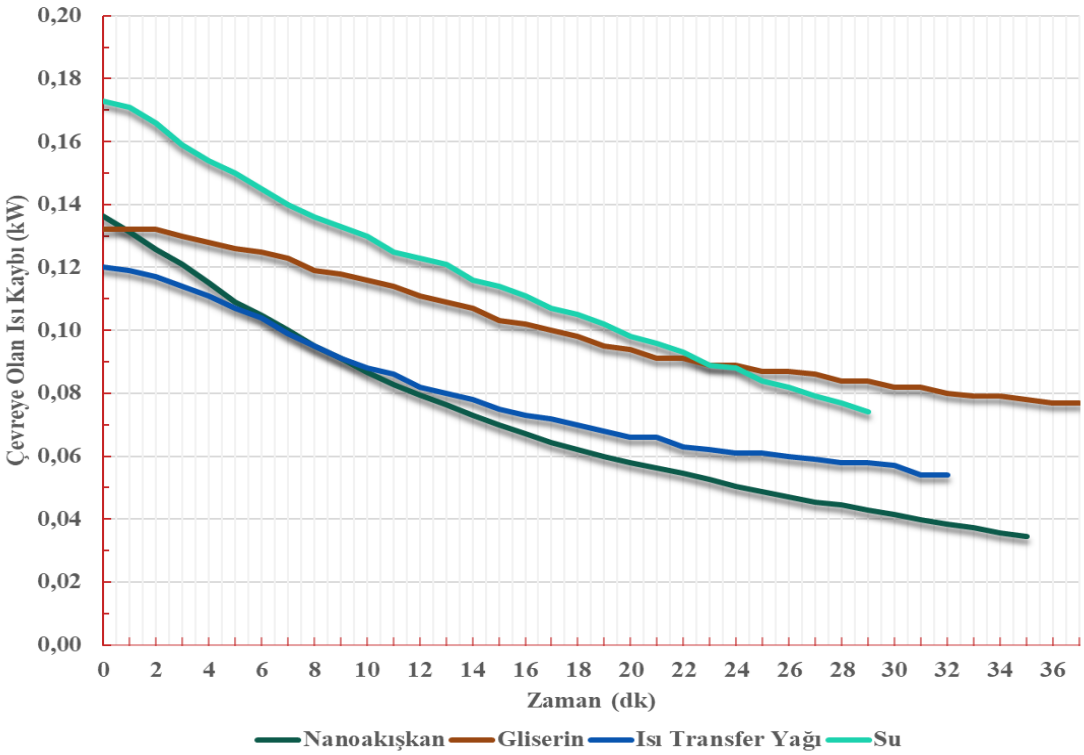


Şekil 6.101. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı

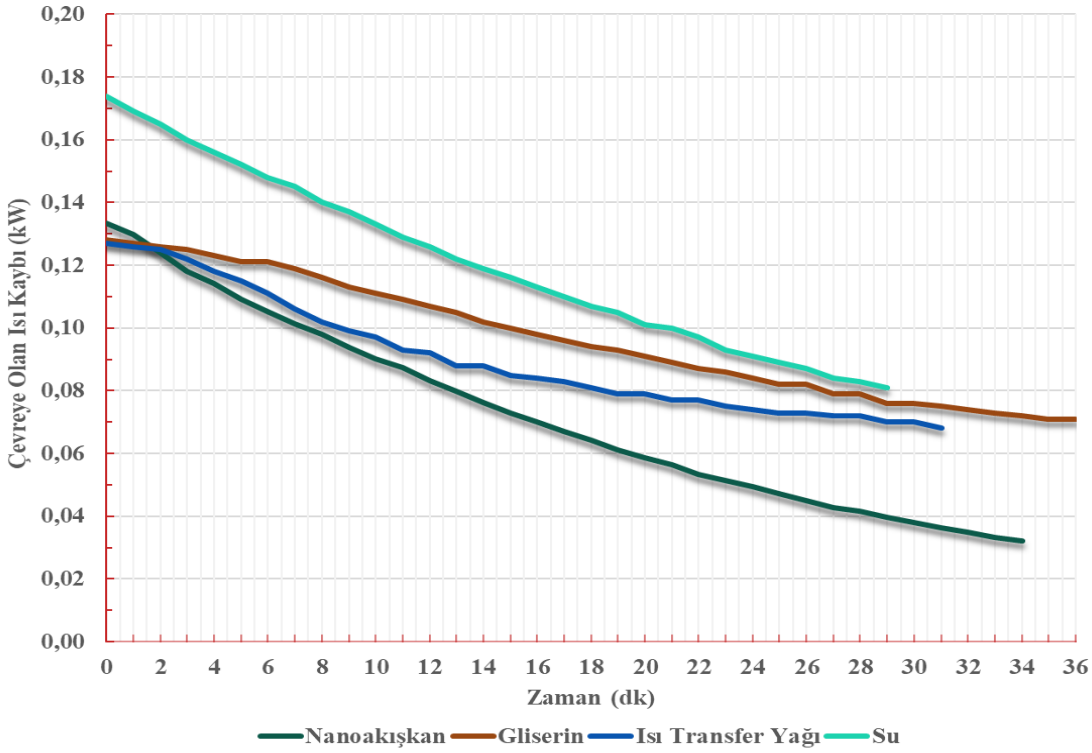


Şekil 6.102. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda kullanım suyu çıkış sıcaklığı

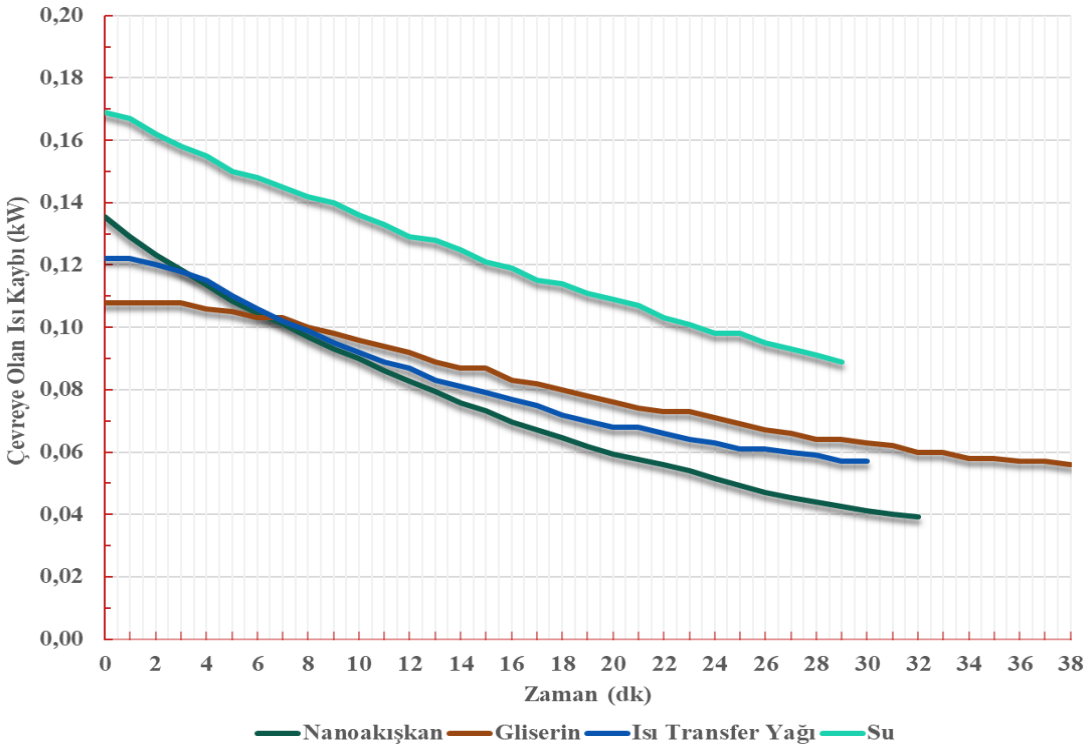
Şekil 6.103, Şekil 6.104, Şekil 6.105, Şekil 6.106 ve Şekil 6.107'de 2.1 l/dk'lık pompa debisi ve belirli kullanım suyu musluk debilerine bağlı olarak depolama ünitesinden çevreye olan ısı kayıplarının deneyler boyunca dağılımı gösterilmiştir. Bu hususta, su kullanıldığı zaman çevreye olan ısı kayıplarının daha fazla olması 2.1 l/dk'lık pompa debisinde göze çarpan bir unsur olmuştur. Çünkü su, karakteristik deneyinin başında yüksek düzeyde ısı depolayabilmiş ve yine karakteristik deneyi süresince depoladığı bu ısıyı, kullanım suyuna yüksek düzeyde transfer edebilmiştir. Gliserindeyse ısı kayıplarının fazla olmasının sebebi; çevre sıcaklığının göreceli olarak daha düşük olmasıyla ilgilidir.



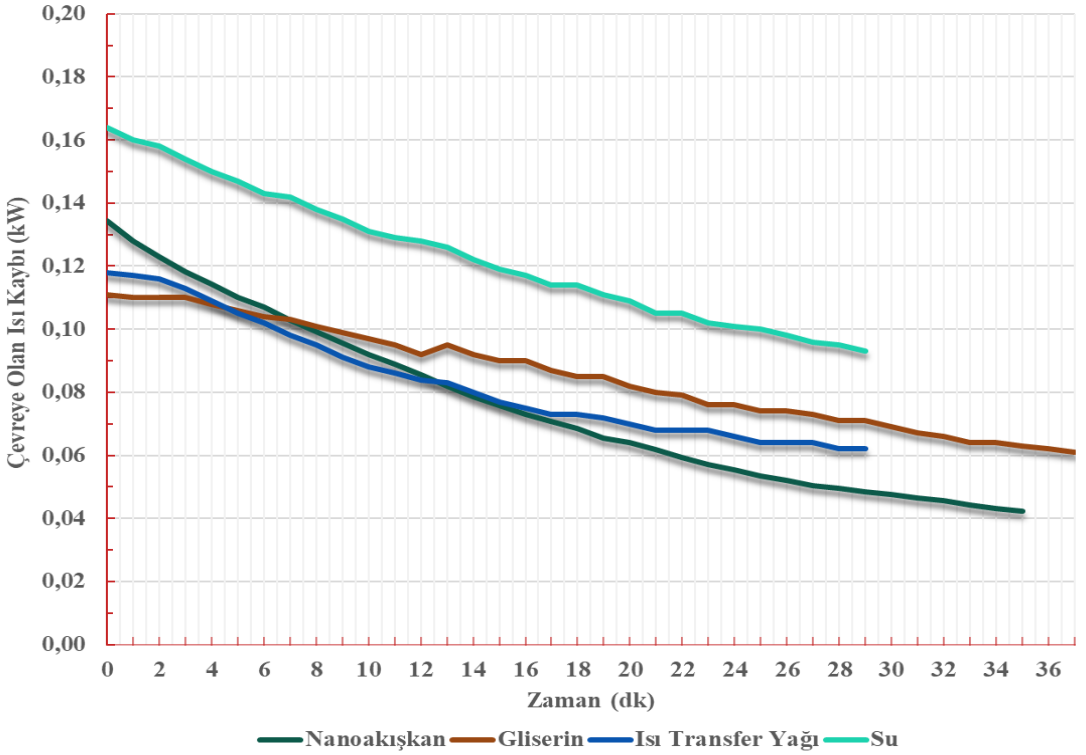
Şekil 6.103. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.4 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı



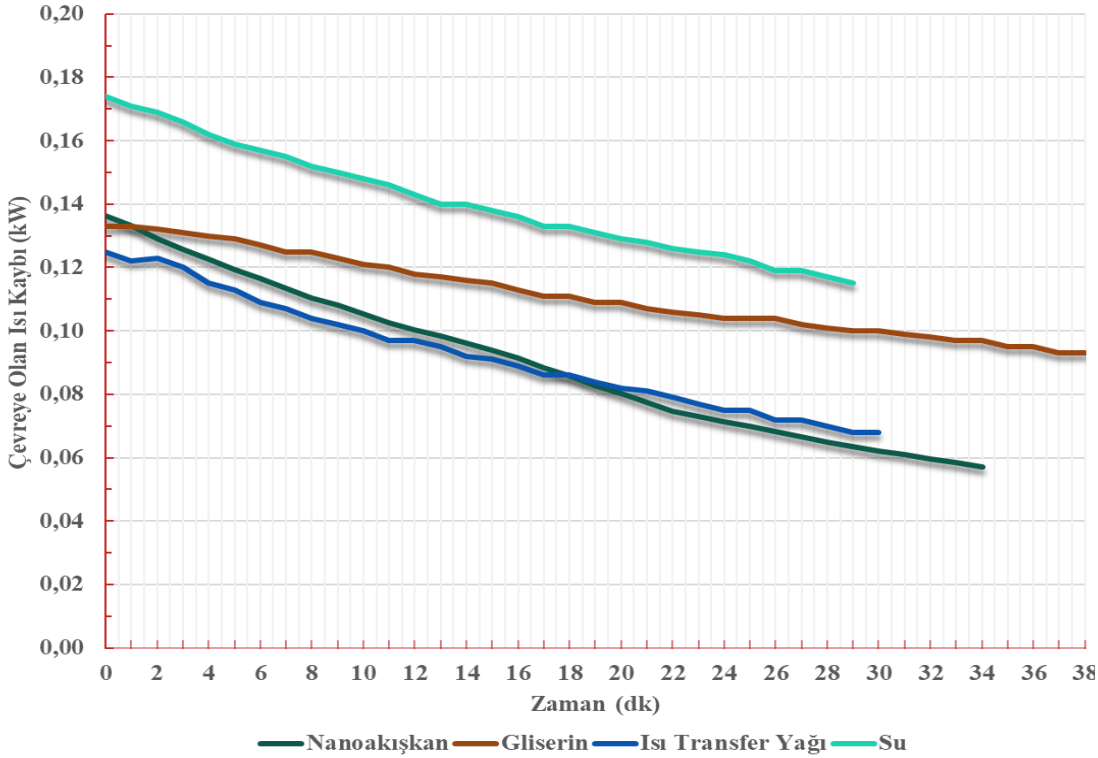
Şekil 6.104. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 2.1 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı



Şekil 6.105. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.8 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı

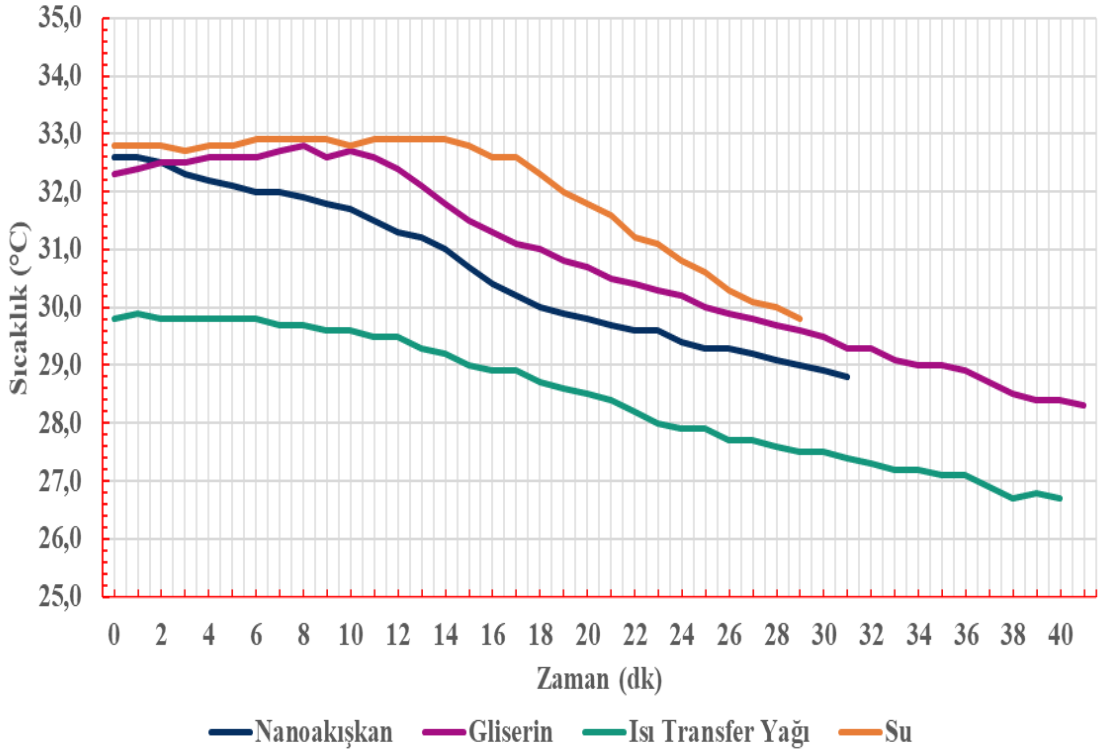


Şekil 6.106. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.5 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı

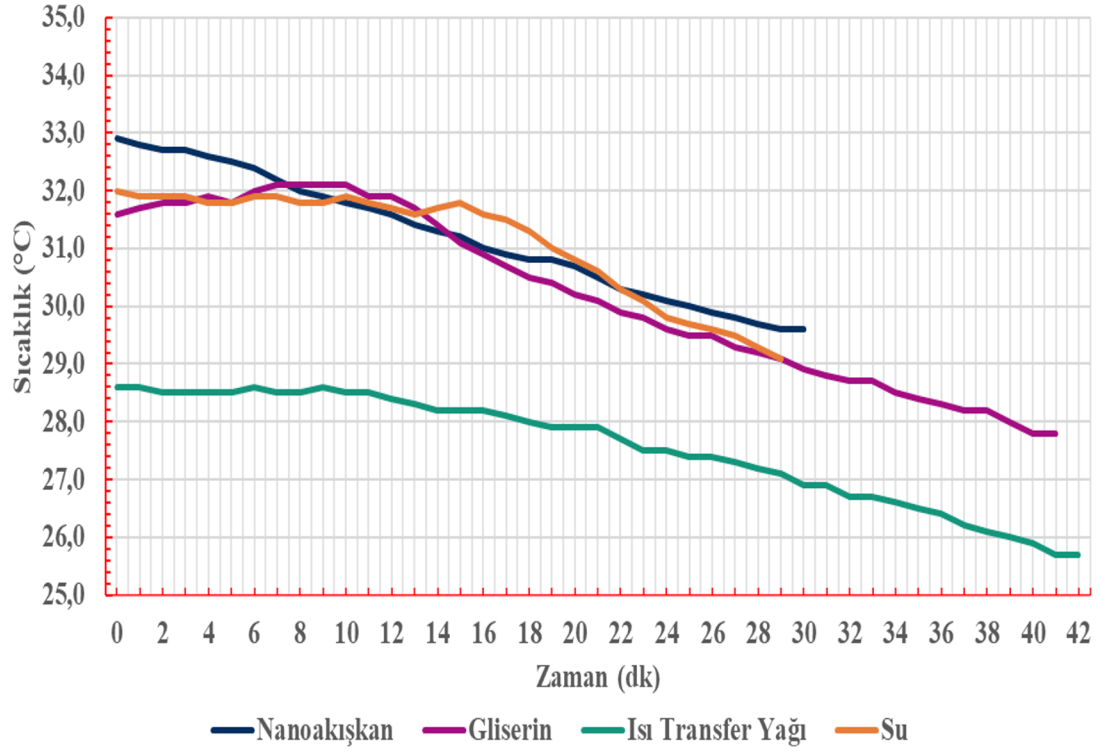


Şekil 6.107. Pompa debisi 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi 1.2 l/dk olduğunda depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kaybı

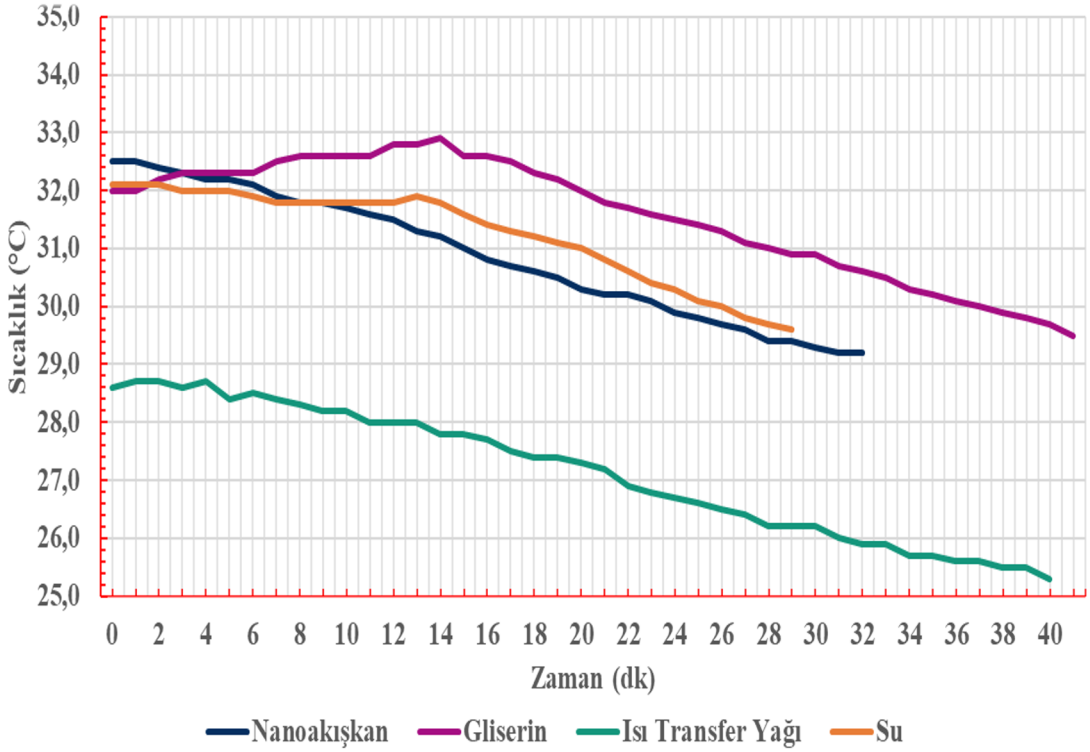
Şekil 6.108, Şekil 6.109, Şekil 6.110, Şekil 6.111 ve Şekil 6.112'de belirli bir pompa debisi için, depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları verilmiştir. Depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklıkların değeri ısı transfer yağında en düşük seviyededir. Çünkü, deneylere başlamadan hemen önce ısı transfer yağı aracılığıyla depolanan ısı, depolama ünitesinin en alt noktasına; ısı transfer yağının düşük ısıl iletim kabiliyeti ve ısıl yayınım kabiliyeti sebebiyle tam olarak aktarılamamıştır. Ancak dört depolama maddesi birlikte göz önüne alındığında bu durum tek başına açıklayıcı olmamaktadır; zira nanoakışkan, kısmen yüksek değerdeki kullanım suyu musluk debilerinde diğer depolama maddelerine kıyasla daha düşük depolama ünitesi en alt nokta sıcaklıklarına sahip olmuştur. Bu durumun oluşmasında altta yatan faktörler; nanoakışkandan çevreye olan görece olarak daha yüksek ısıl kayıplar ve nanoakışkanda meydana gelen, yine görece olarak daha yüksek doğal taşınım etkisidir.



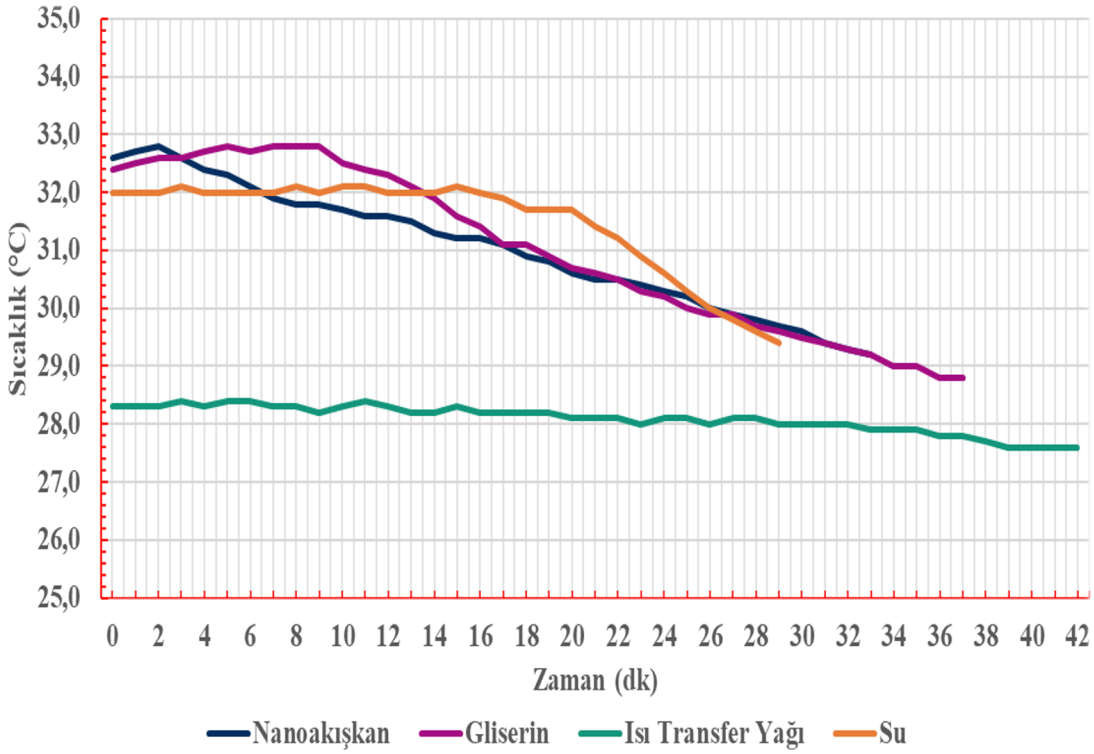
Şekil 6.108. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları



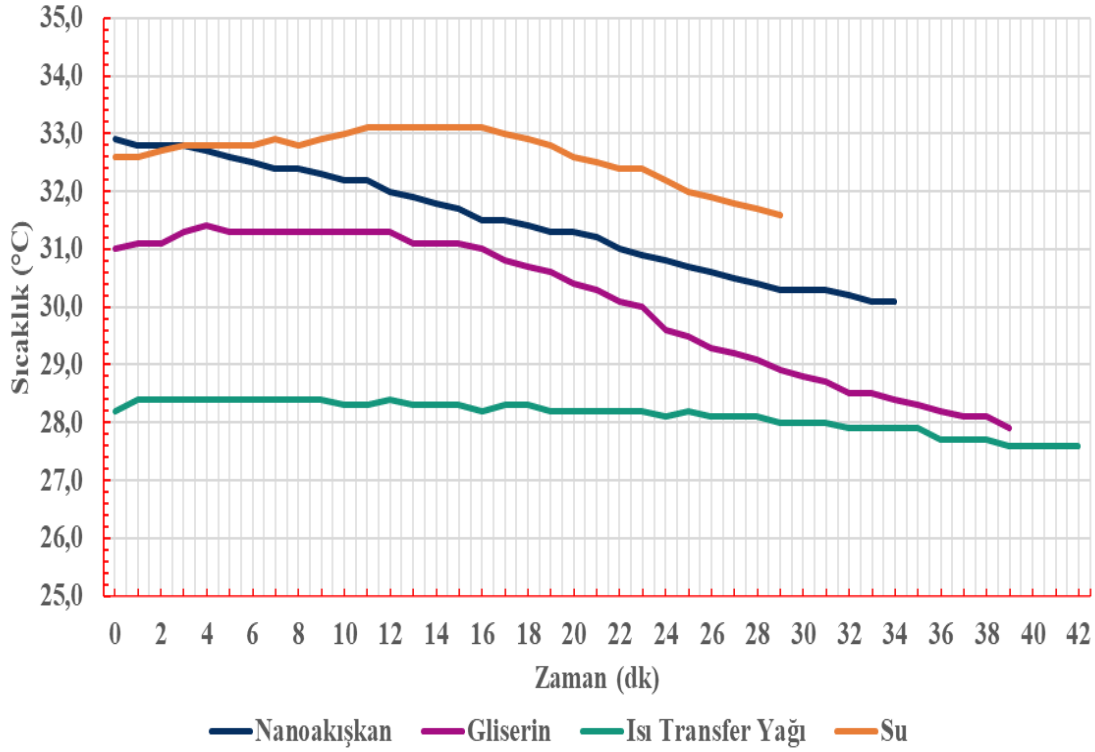
Şekil 6.109. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.110. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

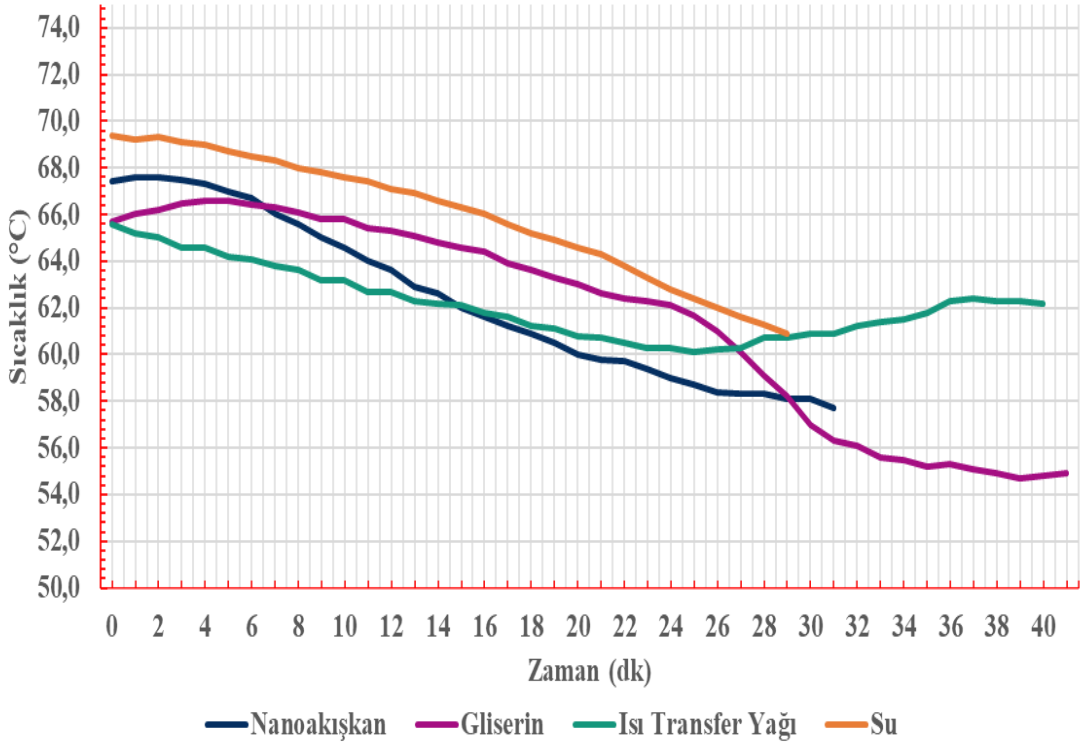


Şekil 6.111. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

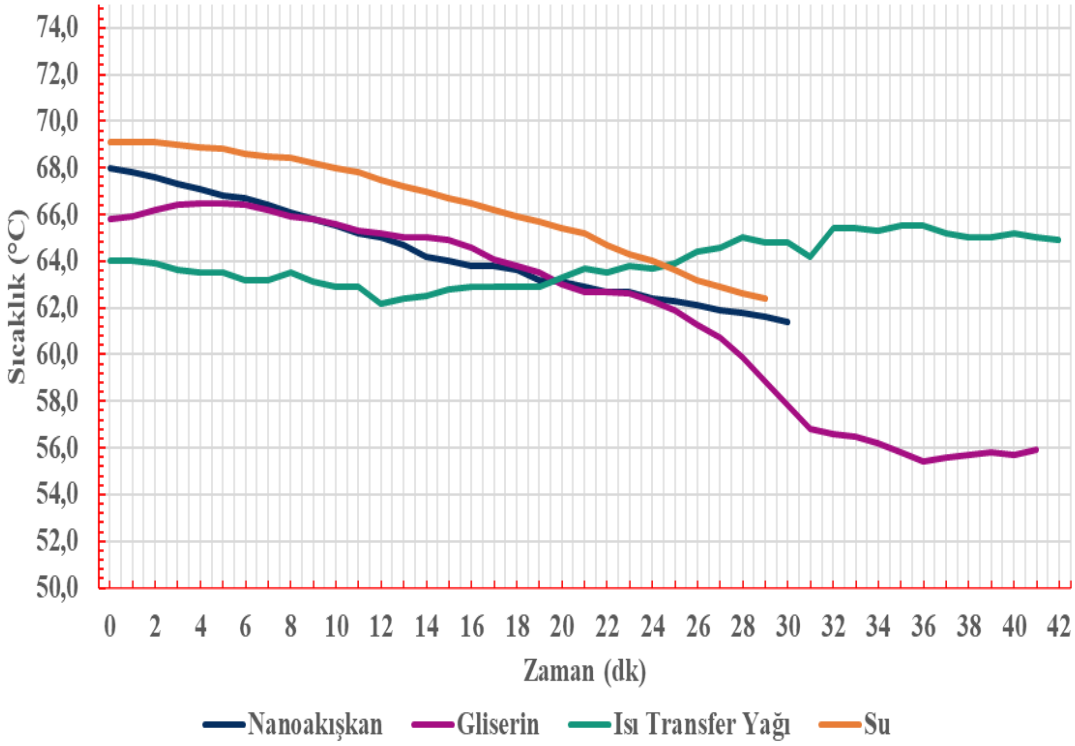


Şekil 6.112. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

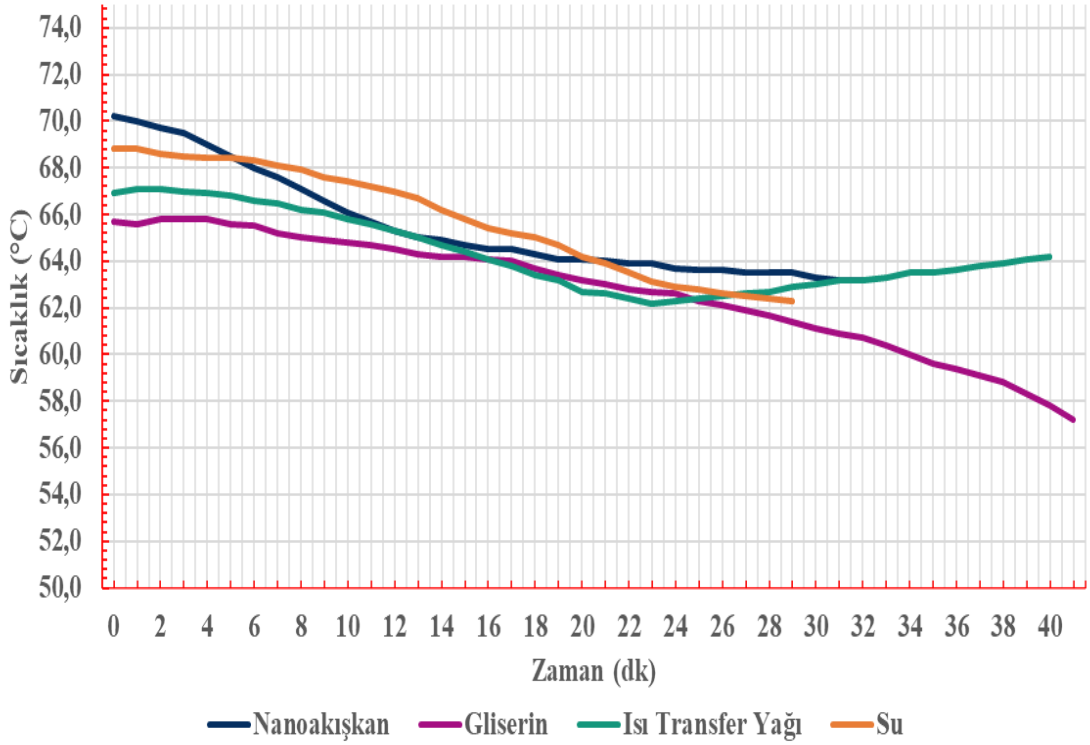
Şekil 6.113, Şekil 6.114, Şekil 6.115, Şekil 6.116 ve Şekil 6.117'de depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Söz konusu şekillerde, ısı transfer yağı dışındaki depolama maddelerinin sıcaklığı devamlı olarak azalıştadır. Ancak ısı transfer yağının sıcaklığı deneylerin başında önce azalmakta sonra da artmaktadır. Bunun nedeni, ısı transfer yağının sıcaklık artışının olduğu zamanlarda termosifon ve dolayısıyla sirkülasyon pompasının aktif hâle gelmesidir.



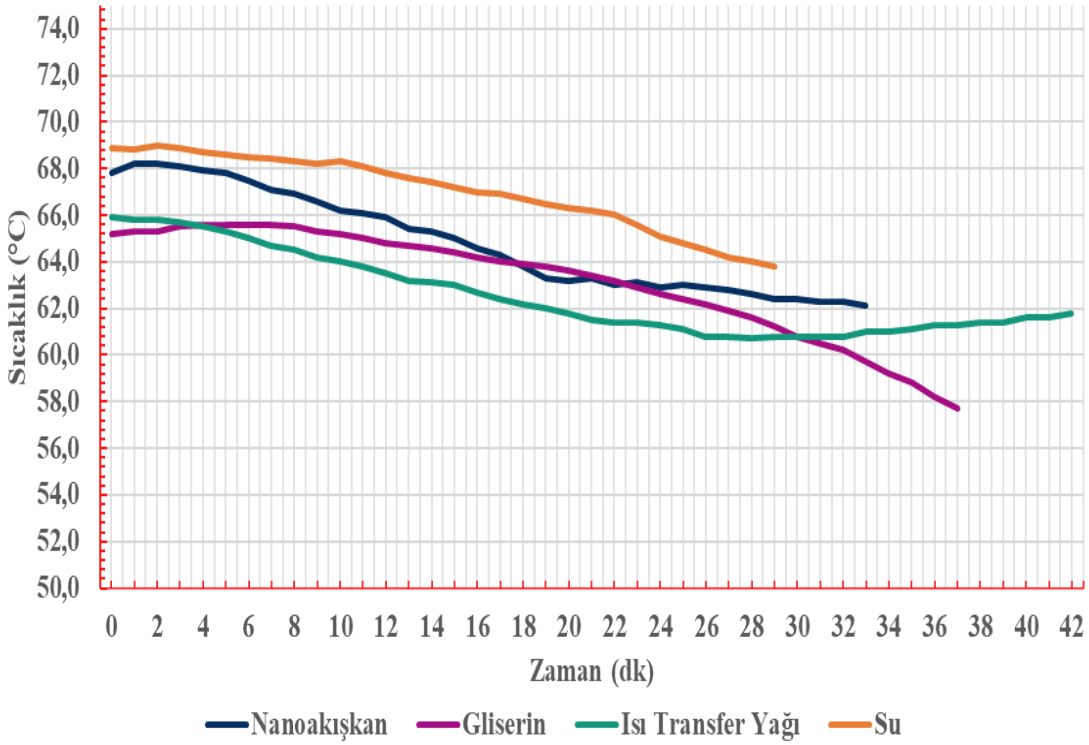
Şekil 6.113. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları



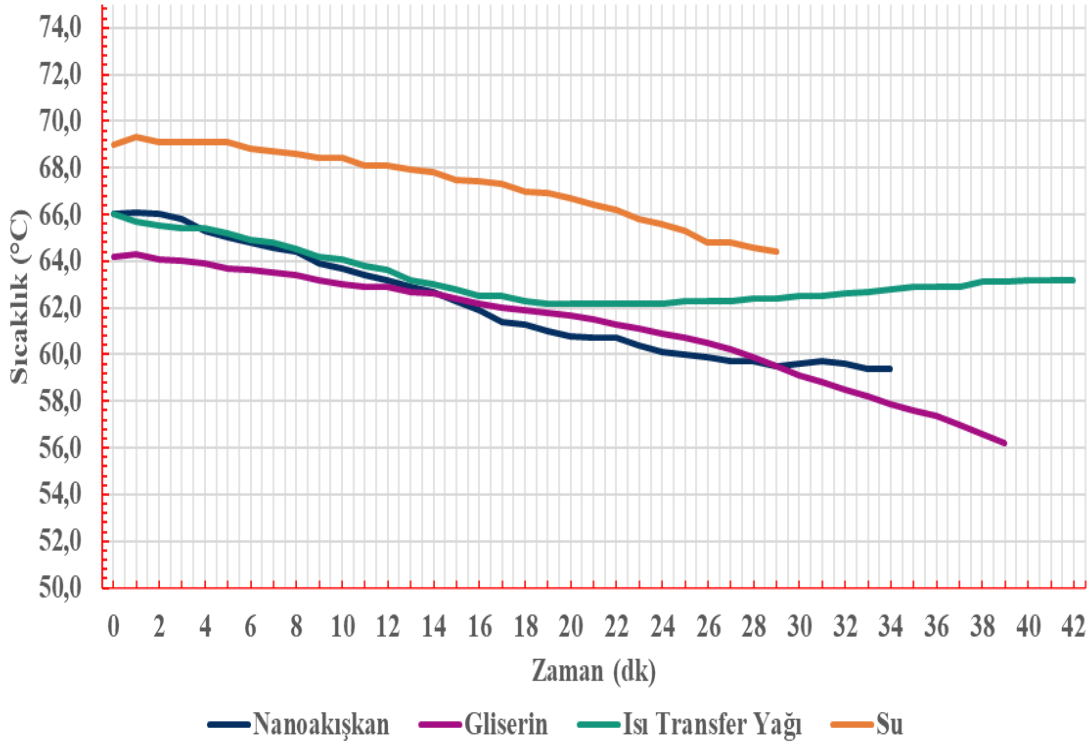
Şekil 6.114. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.115. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

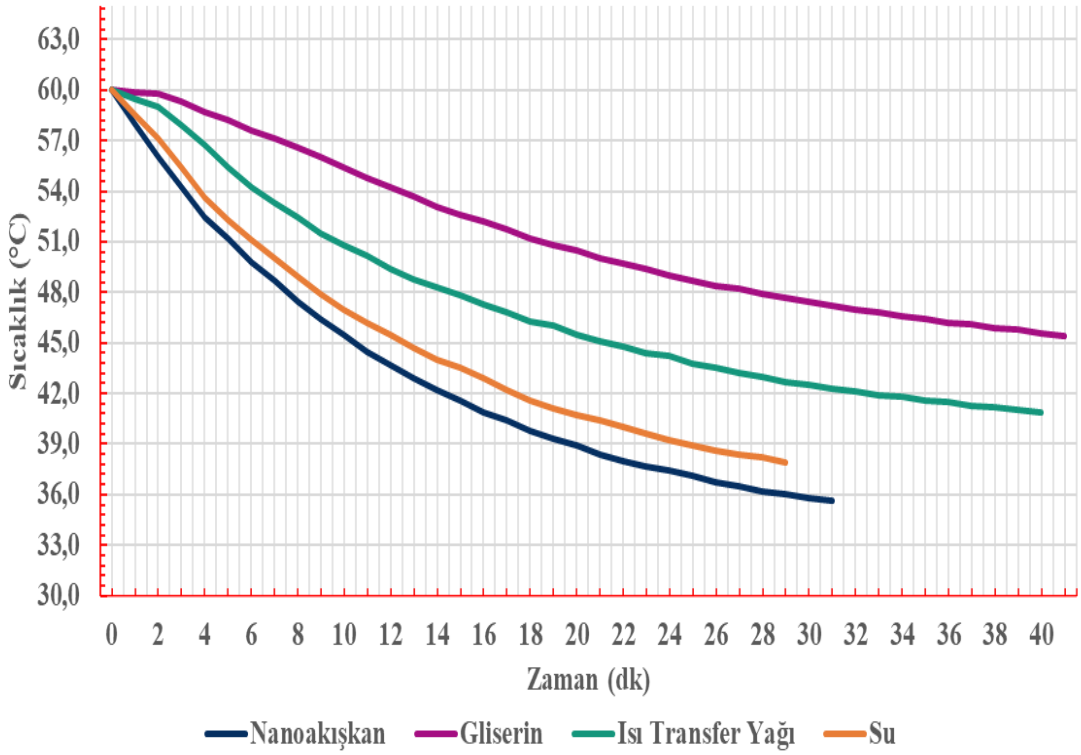


Şekil 6.116. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

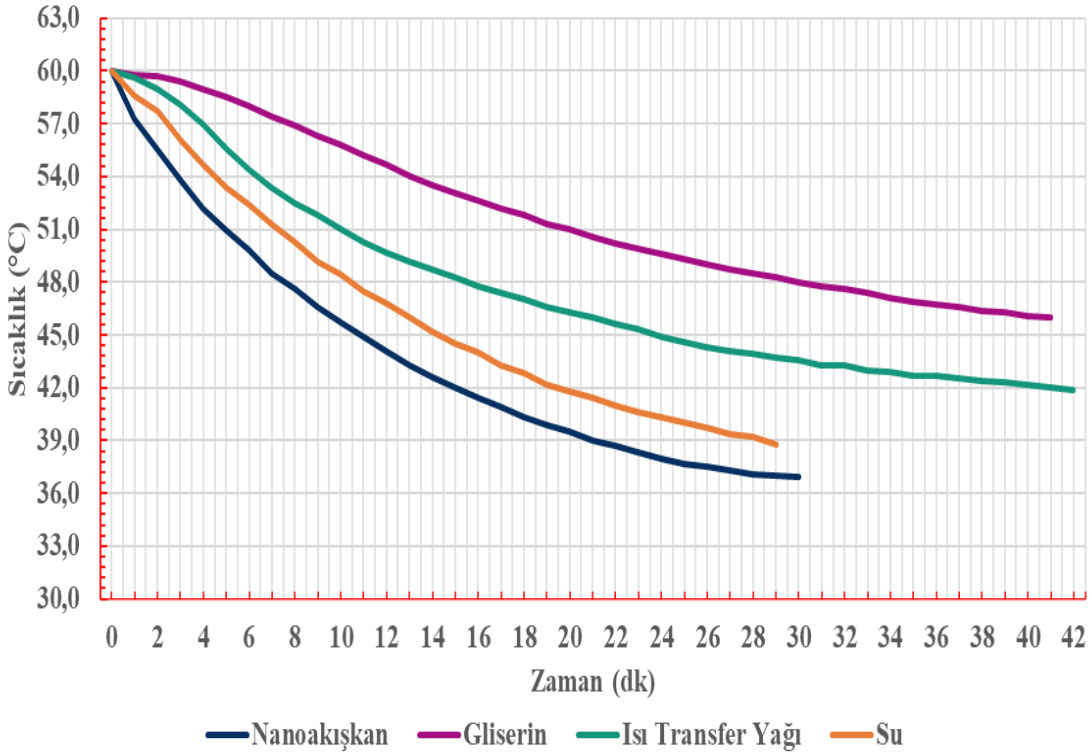


Şekil 6.117. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

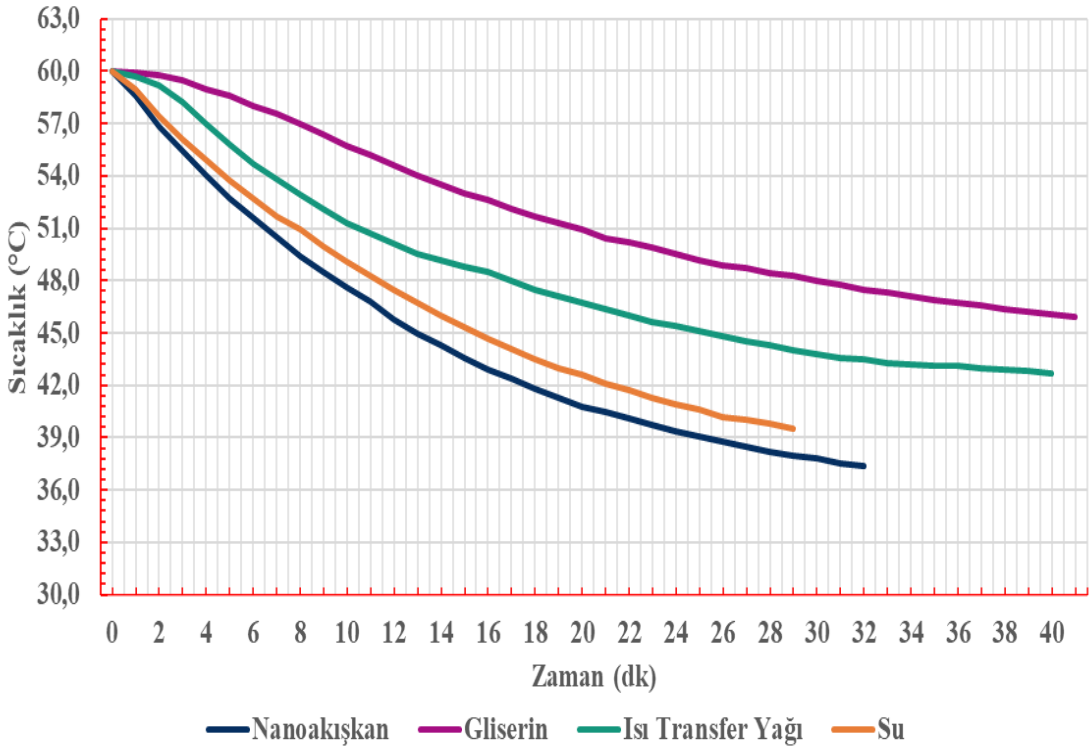
Şekil 6.118-Şekil 6.122 arasında, pompa debisi 1.5 l/dk olduğunda depolama ünitesinin merkezindeki sıcaklıklarının kullanım suyu musluk debisiyle değişimi gösterilmiştir. Şekillere göre, bütün kullanım suyu musluk debileri için, depolama ünitesinin merkezi sıcaklığında en çok azalma nanoakışkan kullanıldığı zaman meydana gelmiştir. Onu su, ısı transfer yağı ve gliserin takip etmiştir. Bu sıralamanın nedeni; nanoakışkandaki yüksek ısı iletim ve ısıl yayınım kabiliyetiyle çevreye daha çok ısı kaybı olmasıdır.



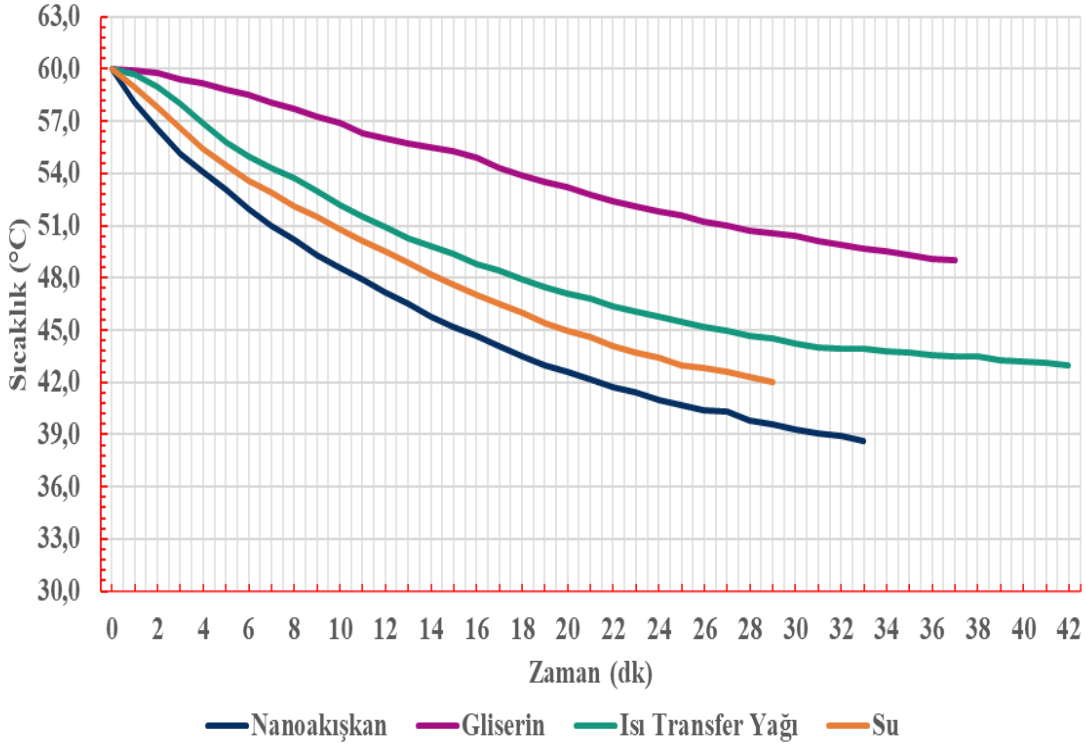
Şekil 6.118. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



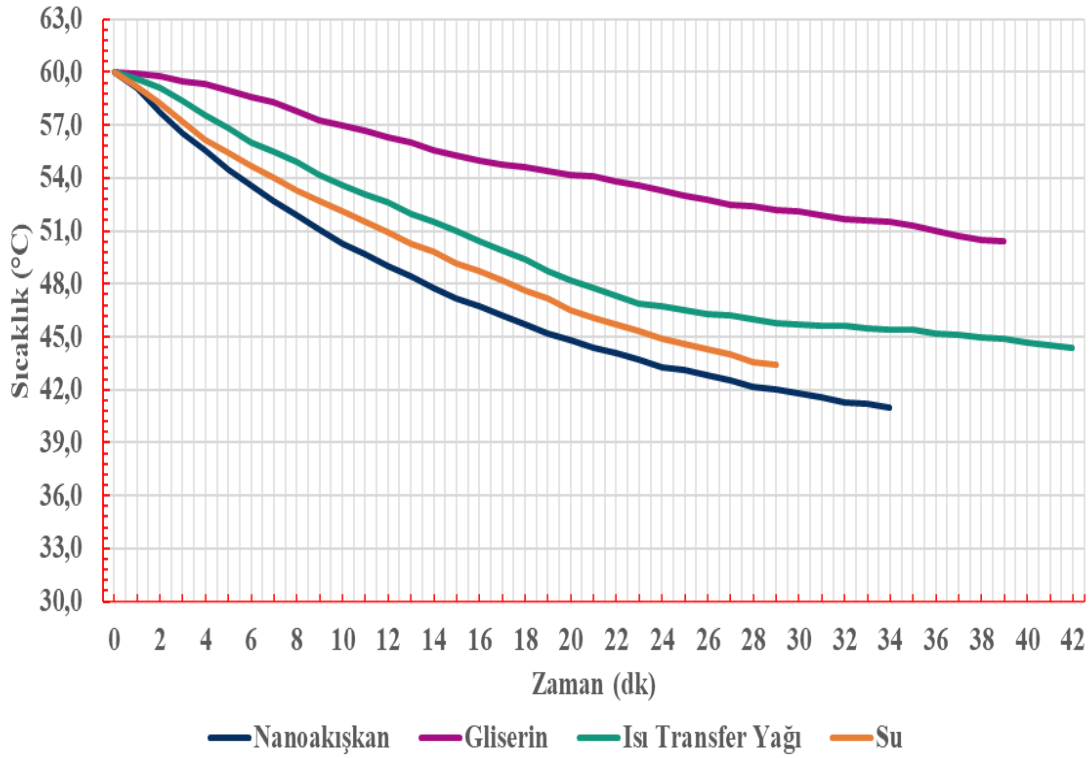
Şekil 6.119. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.120. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

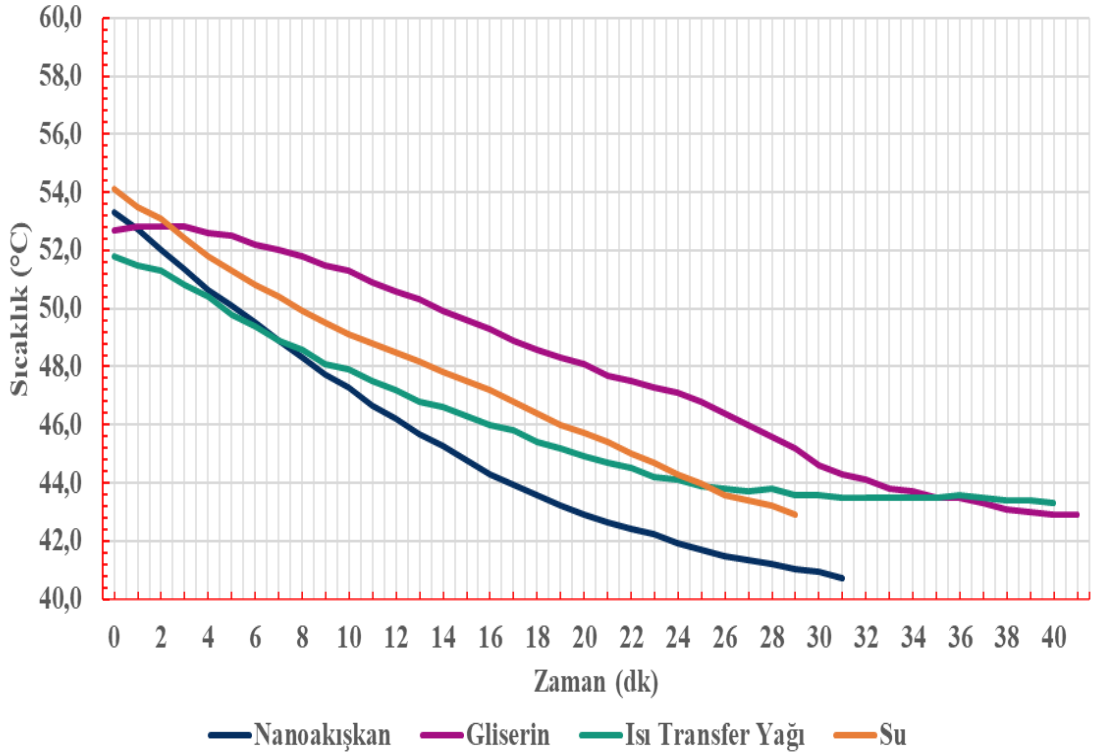


Şekil 6.121. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

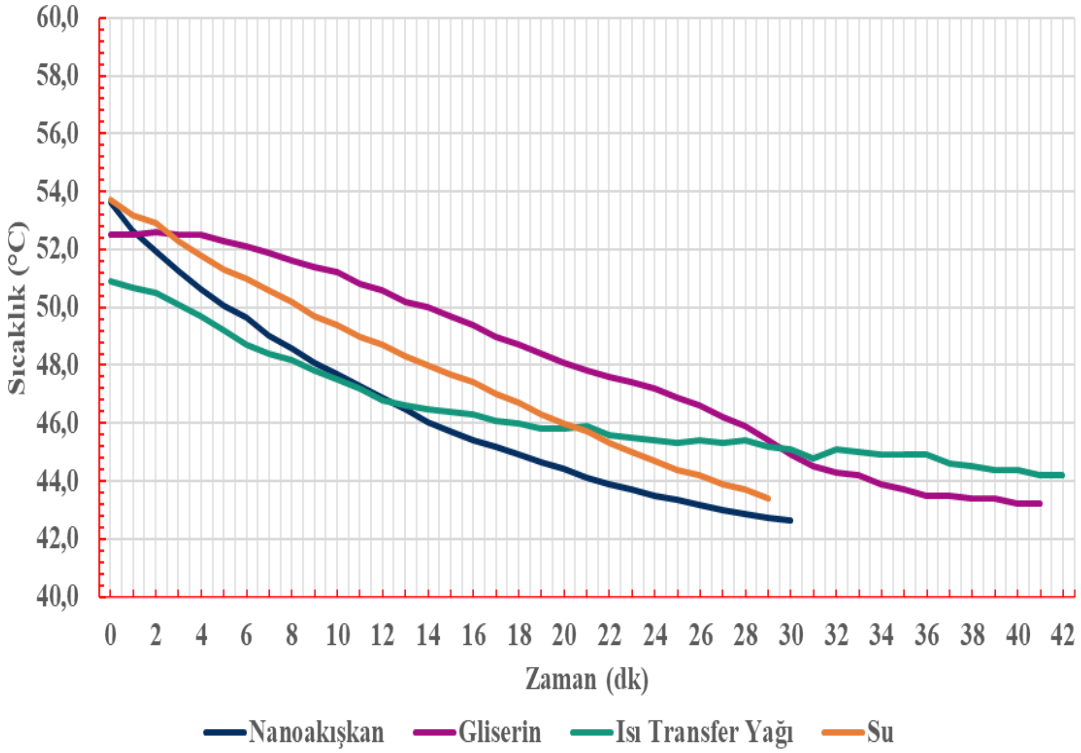


Şekil 6.122 Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

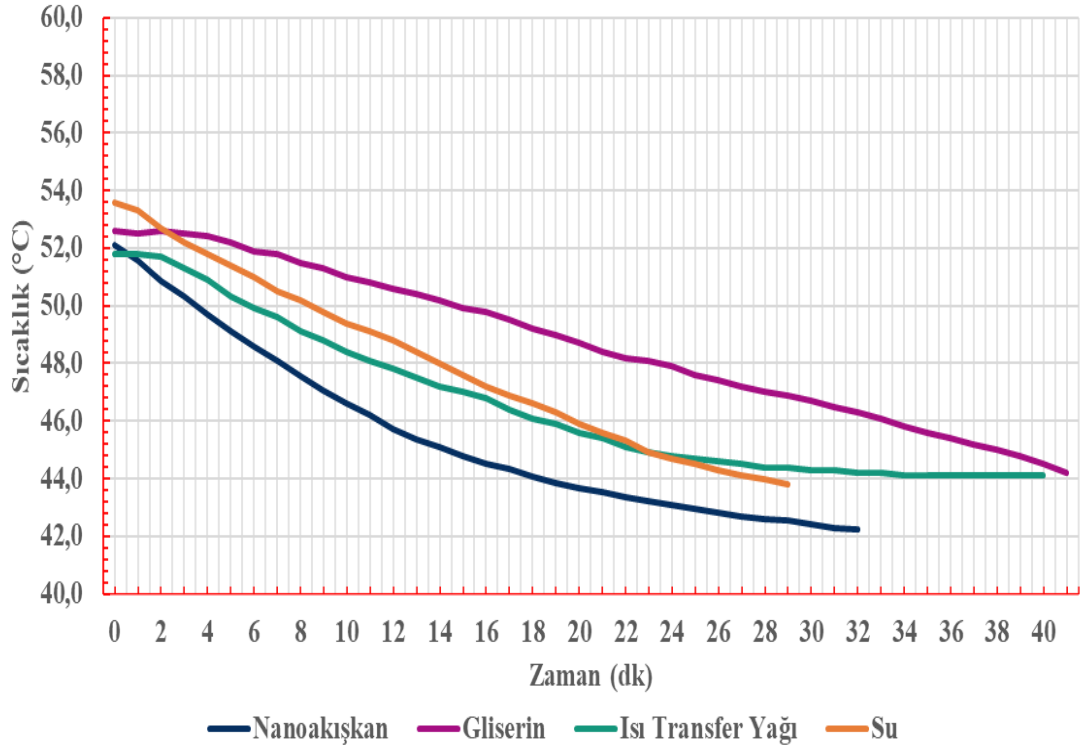
Şekil 6.123-Şekil 6.127 arasında ortalama sıcaklıkların deneylere göre dağılımı gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi ortalama sıcaklık dağılımına göre, bütün kullanım suyu musluk debilerinde, deneylerin ileriki zaman dilimlerine bağlı olarak en düşük ortalama sıcaklıklar, nanoakışkan kullanımı sırasında elde edilmiştir. Çünkü nanoakışkandaki yüksek ısı iletim ve ısıl yayınım kabiliyetiyle çevreye daha çok ısı kaybı meydana gelmiş ve bu durum da ortalama sıcaklıkları düşürmüştür.



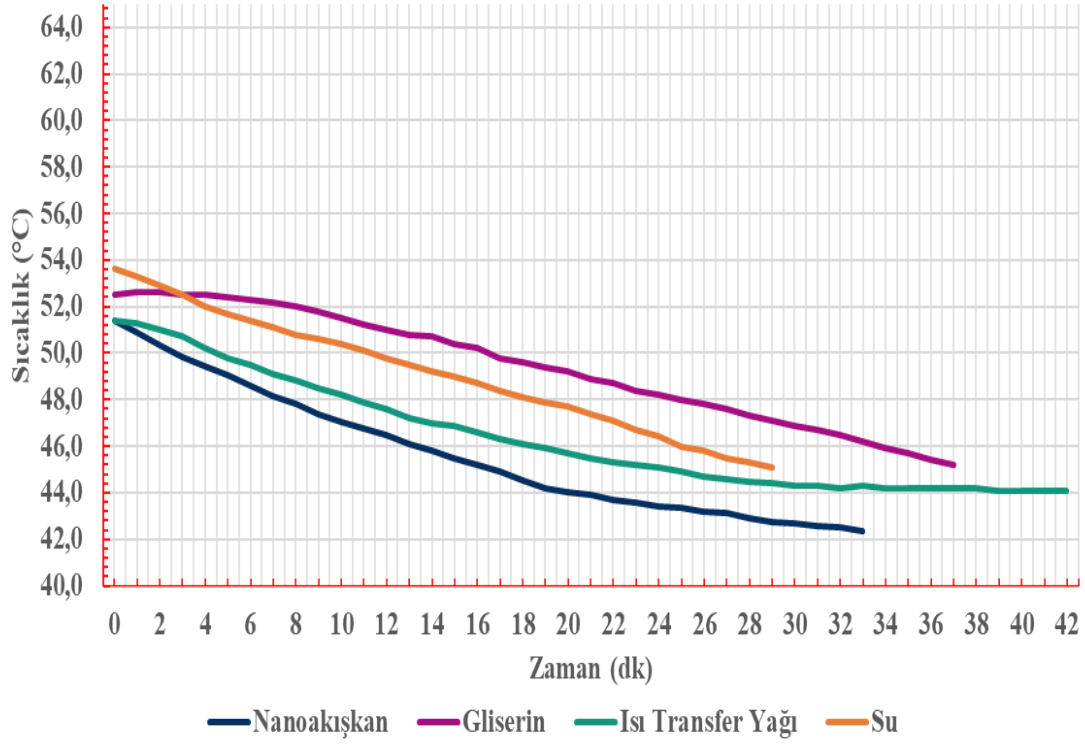
Şekil 6.123. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



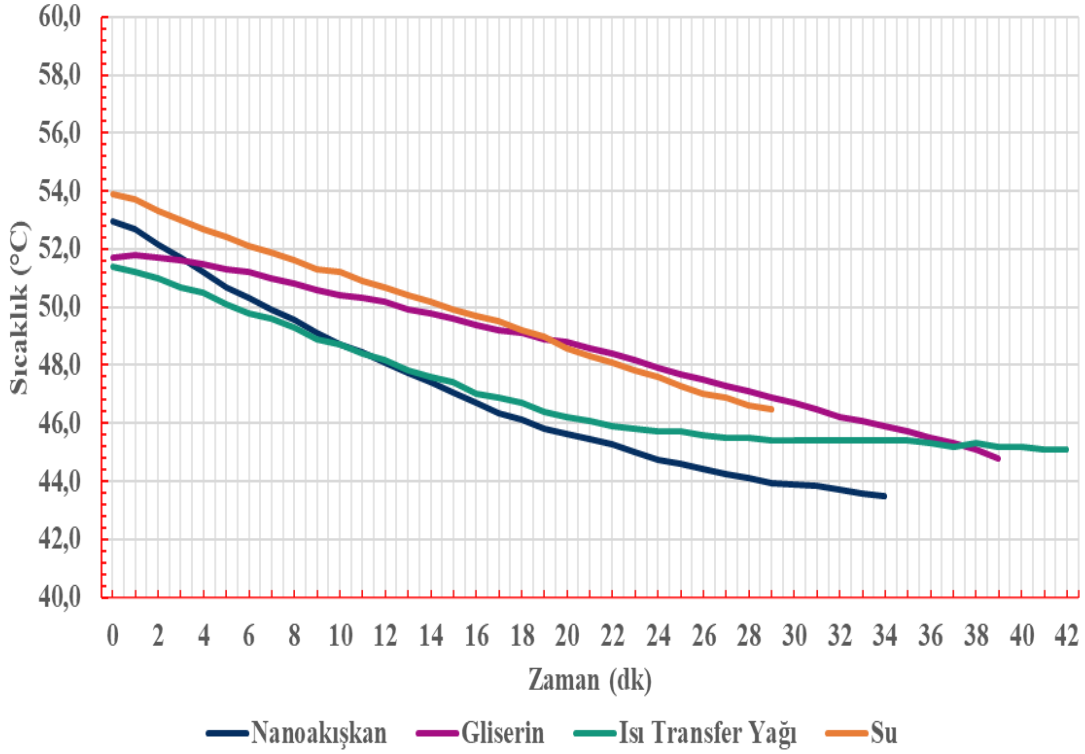
Şekil 6.124. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



Şekil 6.125. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları

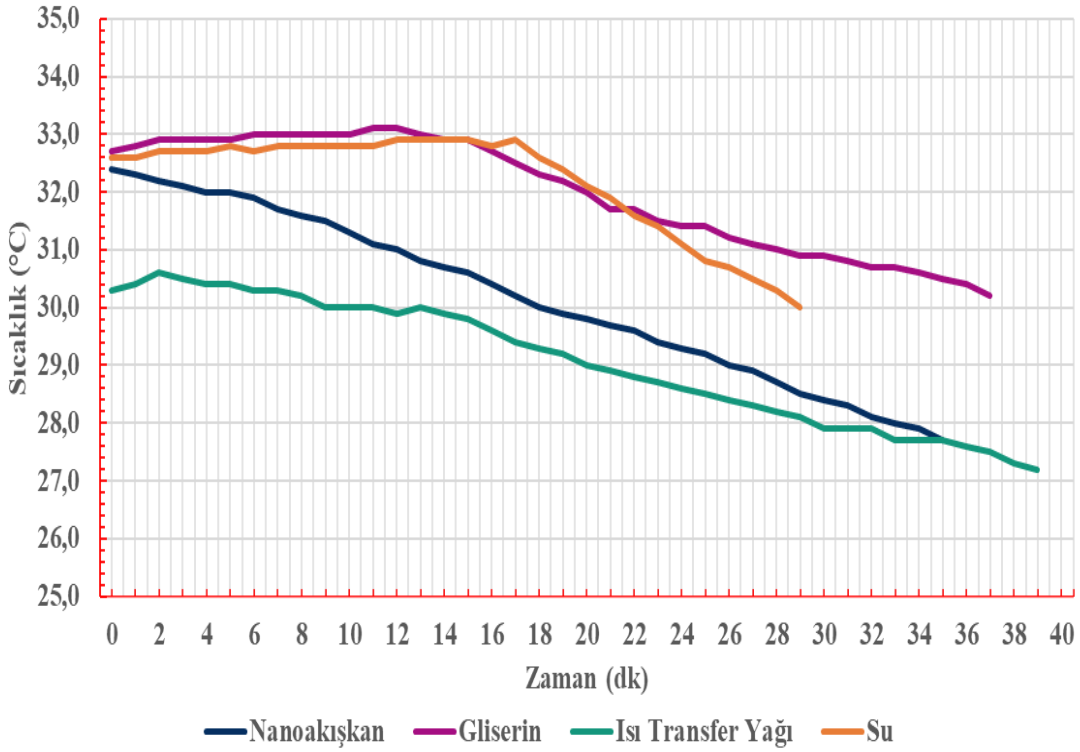


Şekil 6.126. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları

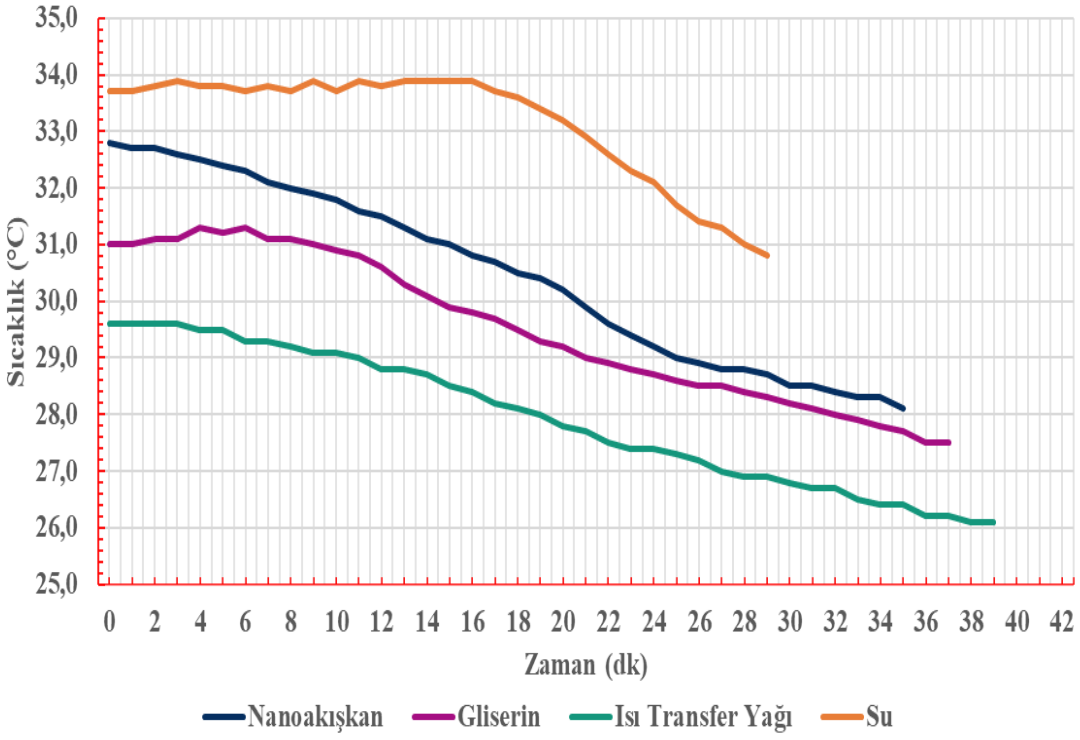


Şekil 6.127. Pompa debisinin 1.5 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları

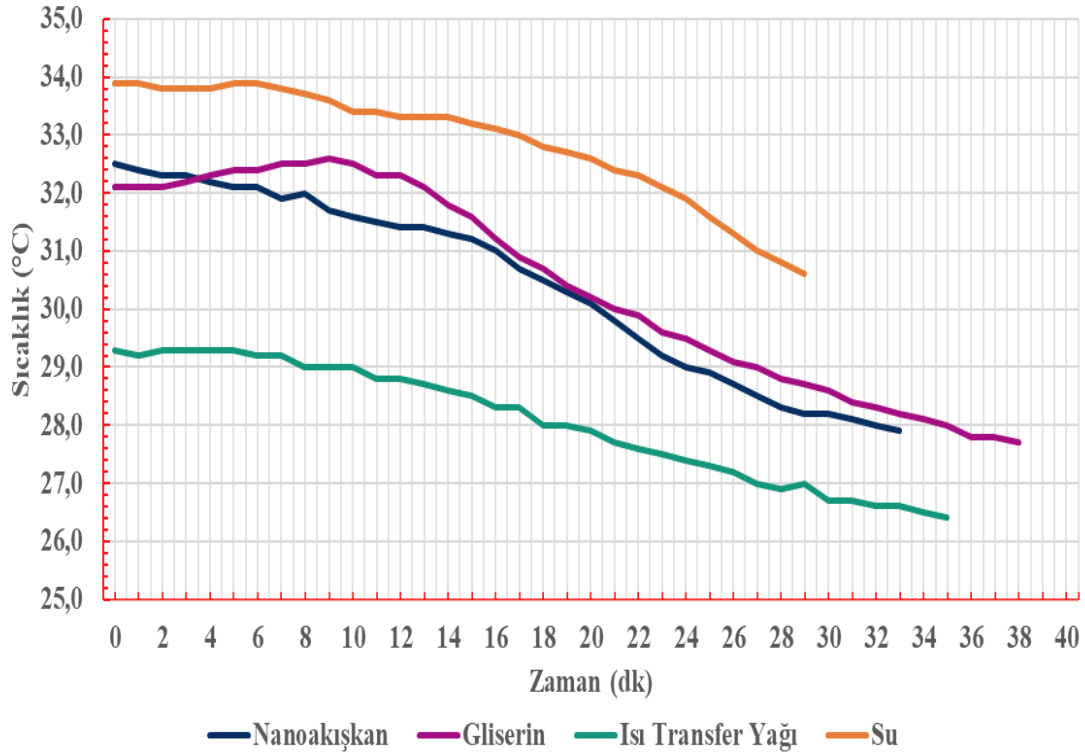
Pompa debisi 1.8 l/dk olduğu zaman kullanım suyu musluk debilerine bağlı olarak, depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklıklar grafiksel olarak sunulmuştur (Şekil 6.128-Şekil 6.132). Bu pompa debisinde de, 1.5 l/dk'lık pompa debisinde olduğu gibi, depolama ünitesinin en alt noktasındaki en düşük sıcaklıklar ısı transfer yağı kullanıldığı zaman meydana gelmiştir. Buna sebep, dört ısı depolama maddesi içerisinde ısı transfer yağının en düşük ısıl iletim ve ısıl yayınım kabiliyetine sahip olmasıdır.



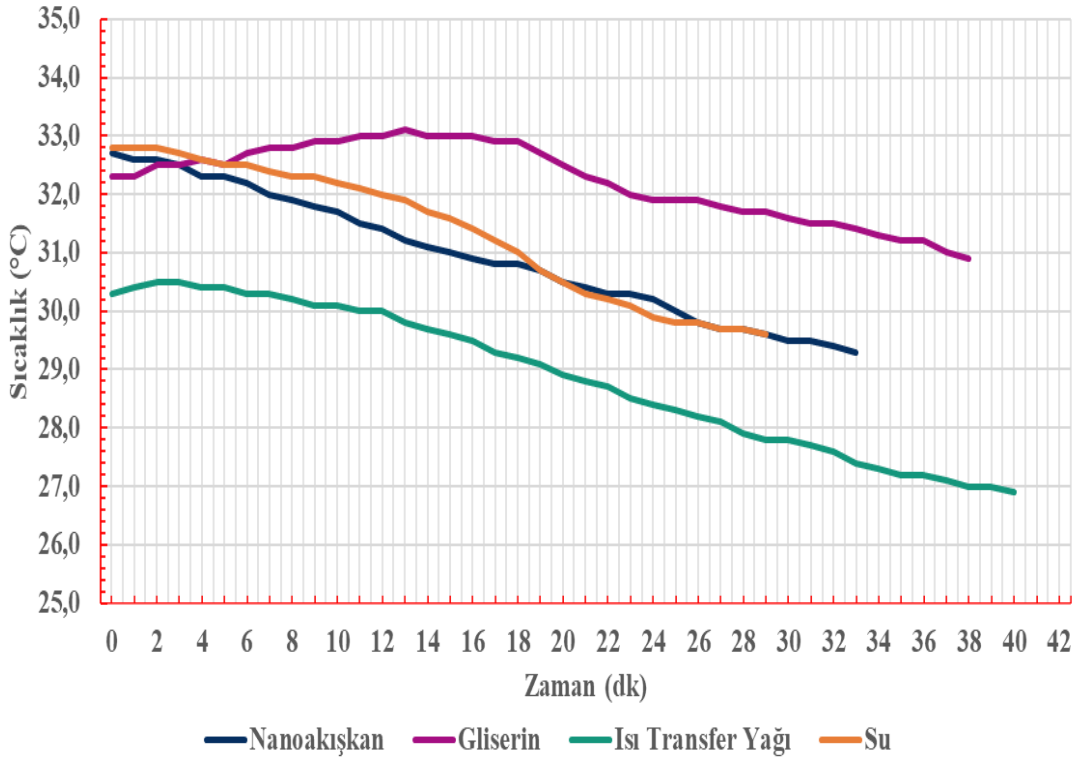
Şekil 6.128. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları



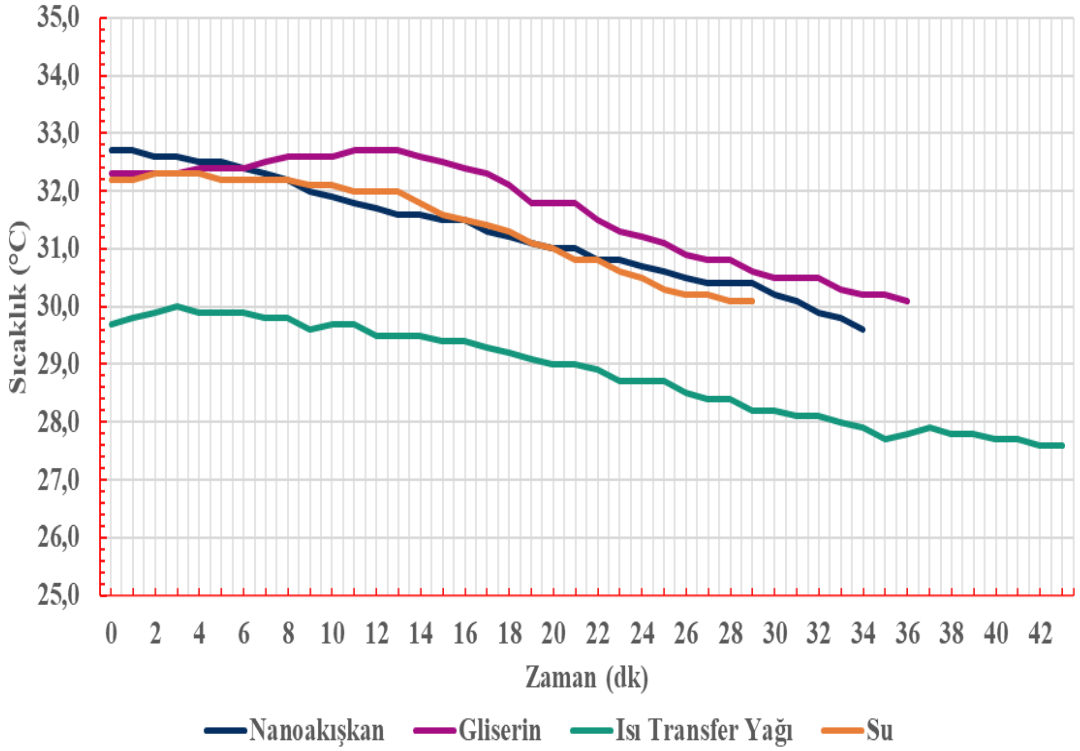
Şekil 6.129. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.130. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

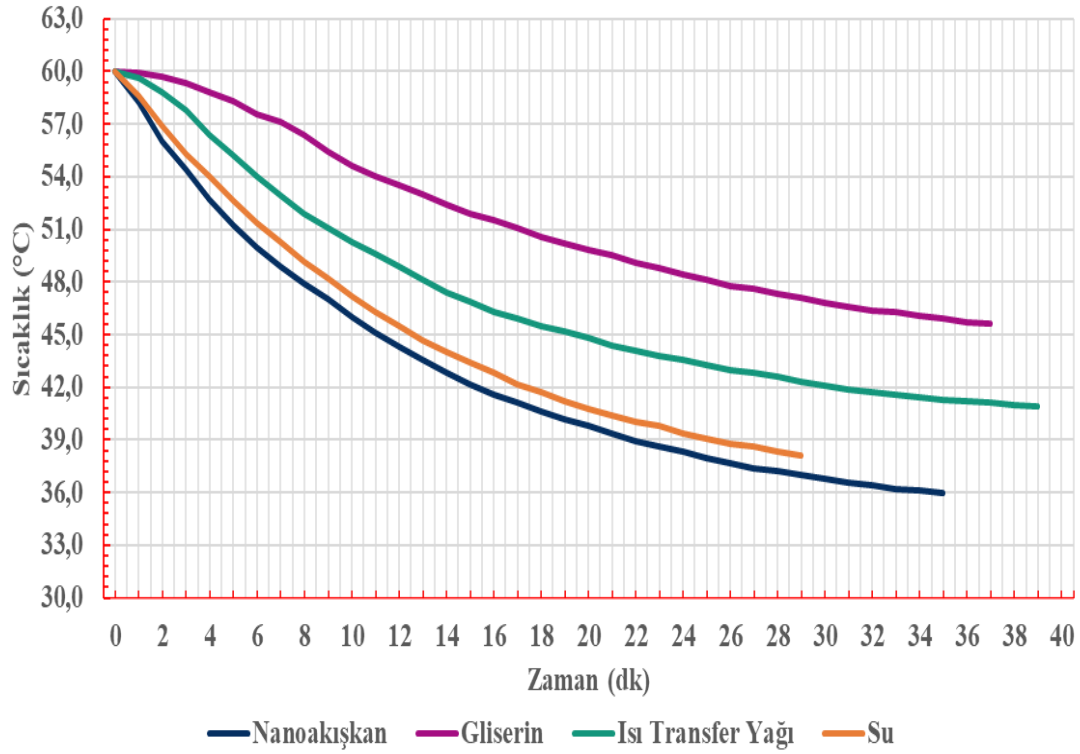


Şekil 6.131. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

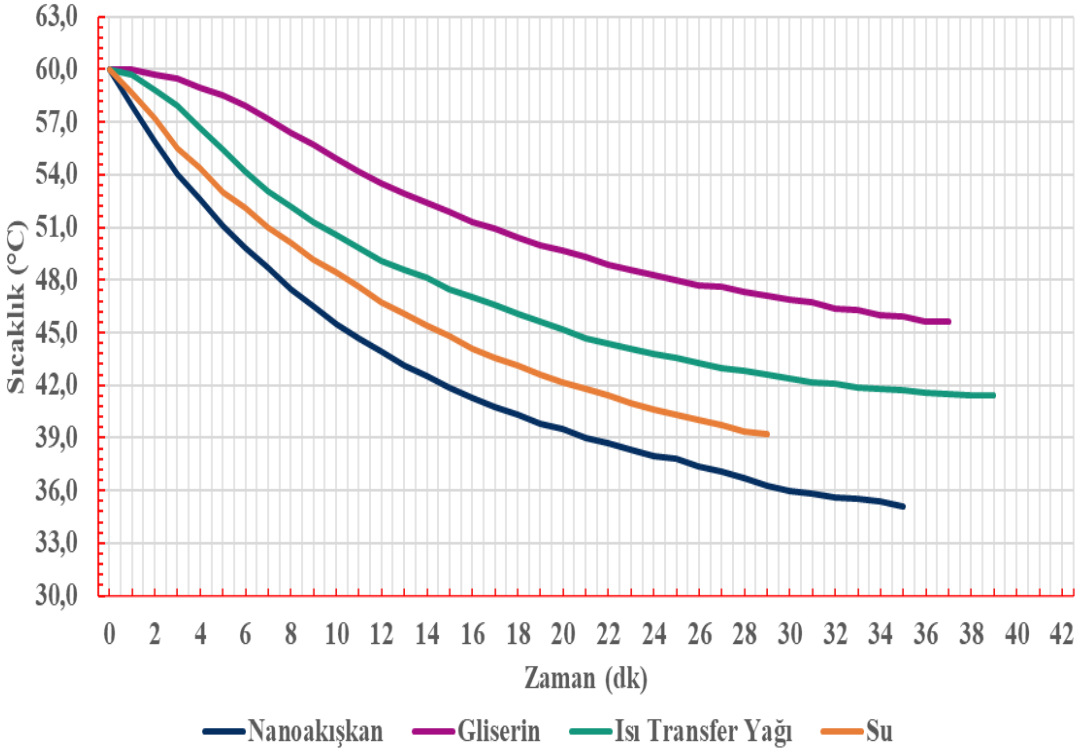


Şekil 6.132. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

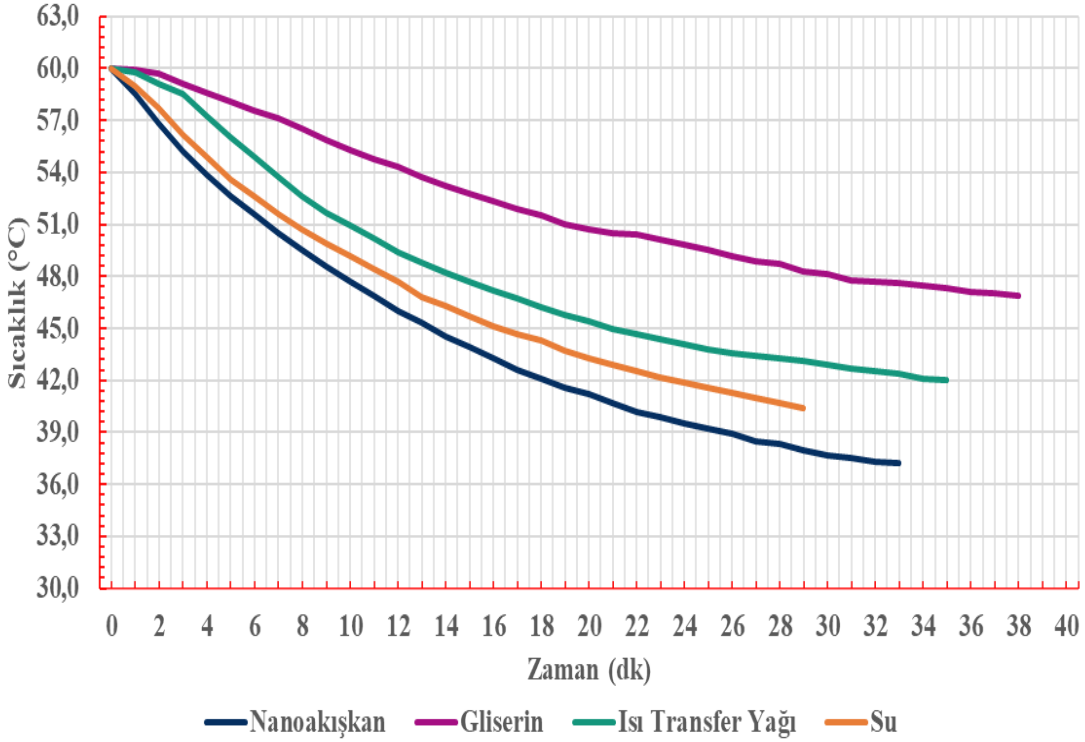
Şekil 6.133-Şekil 6.137 arasında depolama maddelerinin, depolama ünitesinin merkezindeki sıcaklıklarının, 1.8 l/dk'lık pompa debisinde, kullanım suyu musluk debisiyle değişimi gösterilmiştir. Şekillere göre, bütün kullanım suyu musluk debileri için, depolama ünitesinin merkezi sıcaklığında en çok azalma nanoakışkan kullanıldığı zaman meydana gelmiştir. Onu su, ısı transfer yağı ve gliserin takip etmiştir. Bu durum 1.5 l/dk'lık pompa debisindeki sıralamayla uyum içerisindedir ki bu durumun oluşumundaki ana rol, nanoakışkanın kullanıldığı deneylerde, çevreye daha çok ısı kaybının olmasıdır. Çevreye daha çok ısı kaybının olması da; depolama ünitesi merkezi sıcaklıkların daha fazla düşmesine yol açmıştır.



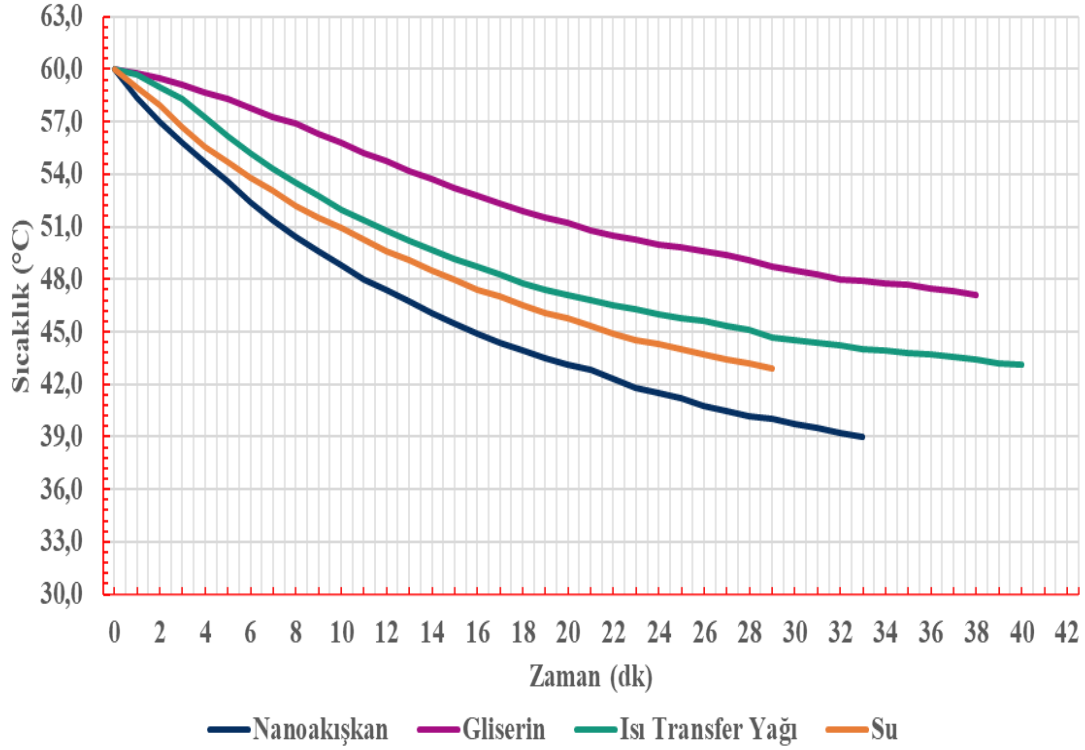
Şekil 6.133. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



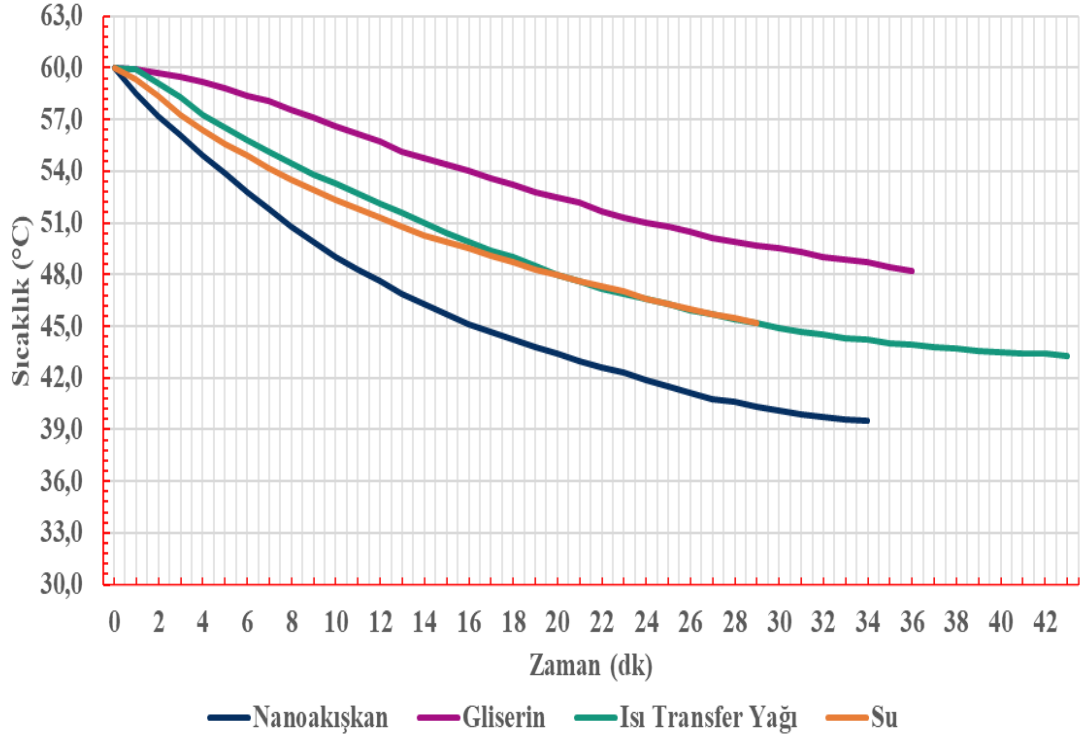
Şekil 6.134. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.135. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.136. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

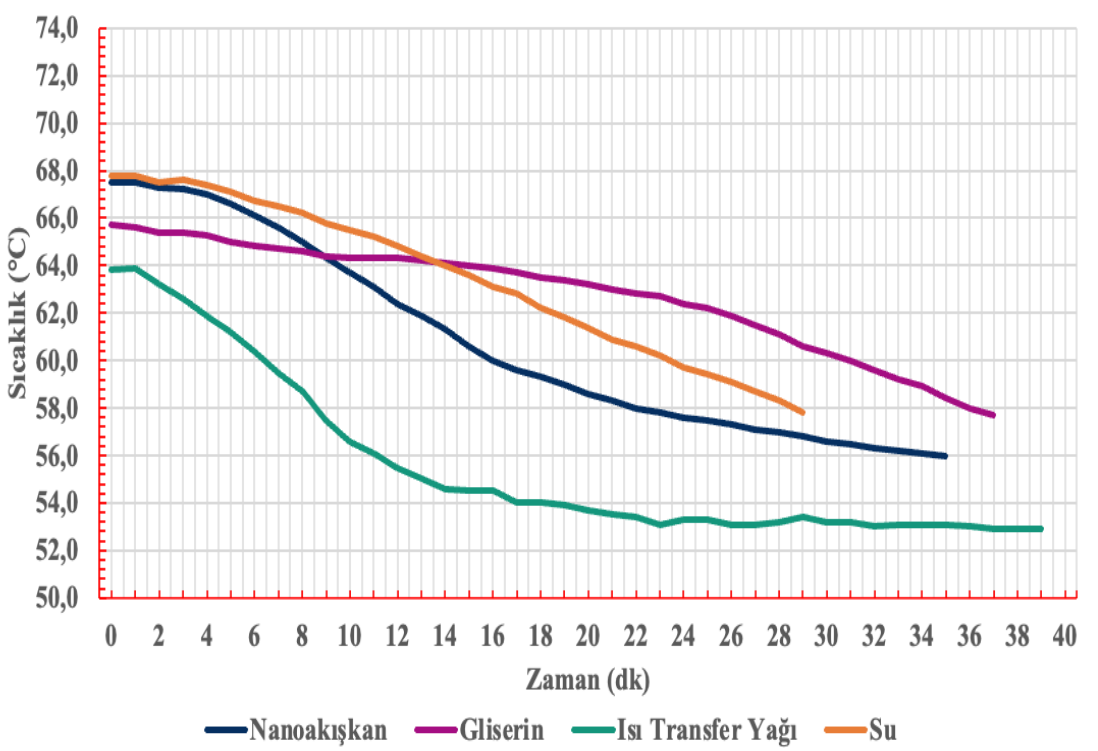


Şekil 6.137. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

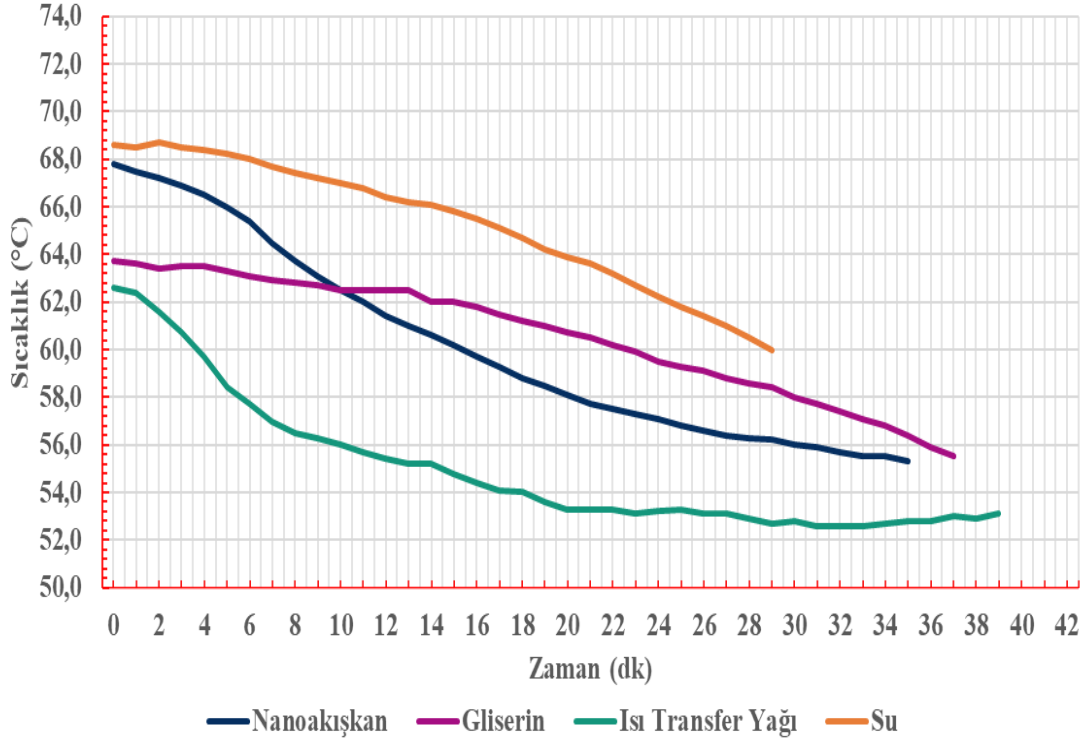
Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda, depolama ünitesindeki depolama maddelerinin depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları karakteristik deneyler boyunca Şekil 6.138, Şekil 6.139, Şekil 6.140, Şekil 6.141 ve Şekil 6.142'de verilmiştir. Şekil 6.138'de ısı transfer yağı ve nanoakışkanın sıcaklıkları diğer iki depolama maddesine göre daha çok düşüme uğramıştır. Çünkü nanoakışkanın yüksek ısı depolama yeteneği ve ısıl yayınım kabiliyeti sayesinde; termosifon giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark yüksek değerlerde seyretmiştir ve bu yüksek fark, depolama ünitesinin en üst noktasında karakteristik deney süreci boyunca görece büyük bir düşüme neden olmuştur. Durum, ısı transfer yağı açısından ele alındığında; bu defa ısı transfer yağının karakteristik deneyinin uzun sürmesi, termosifondan depoya olan ısı aktarımının (termosifon çıkış sıcaklığının görece düşük olması) gittikçe zayıflamasına yol açmıştır ve bu husus, ısı transfer yağı için depolama ünitesinde daha düşük en üst nokta sıcaklıkları anlamı taşımaktadır.

Şekil 6.142'de ısı transfer yağı açısından özel bir durum gözlemlenmiştir: Isı transfer yağının depolama ünitesi içerisindeki en üst nokta sıcaklığı dalgalanmaya maruz

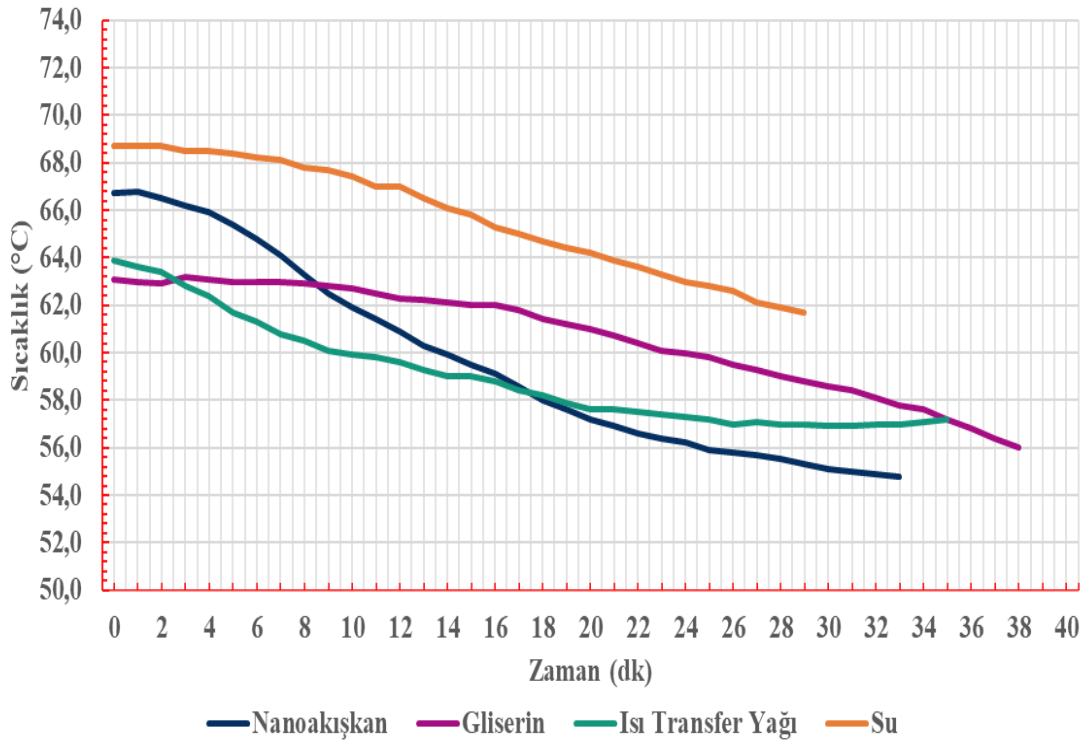
kalmıştır çünkü karakteristik deneyi boyunca ısı transfer yağına giren ısı hiçbir zaman kararlı olmamıştır.



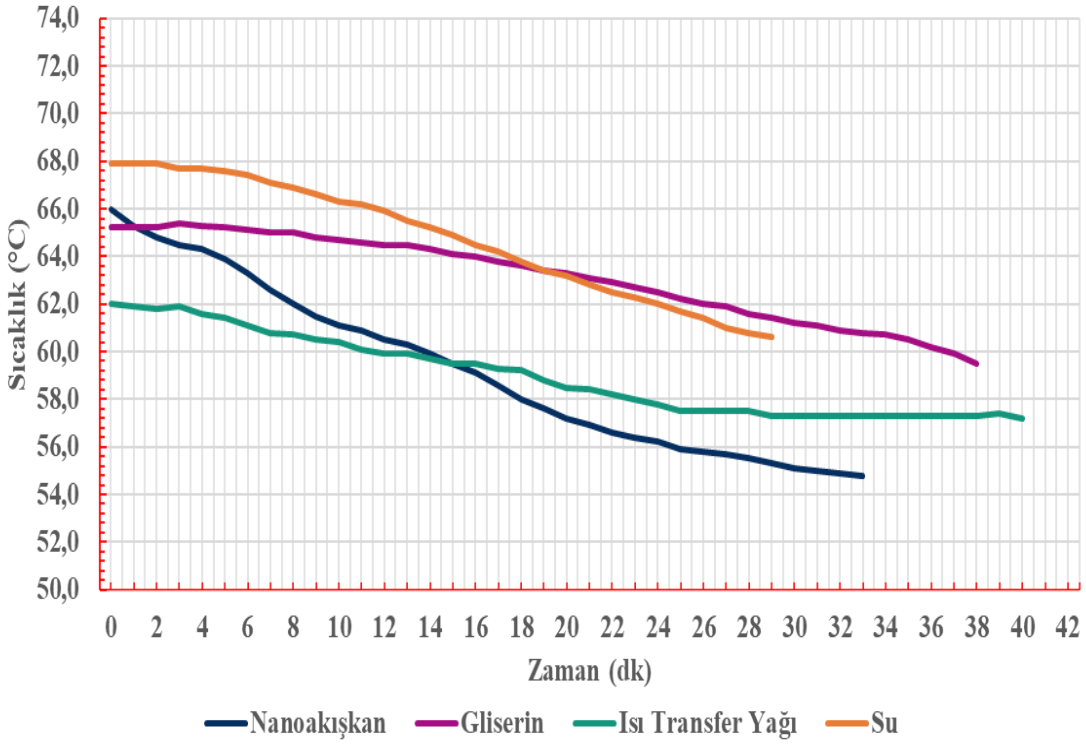
Şekil 6.138. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları



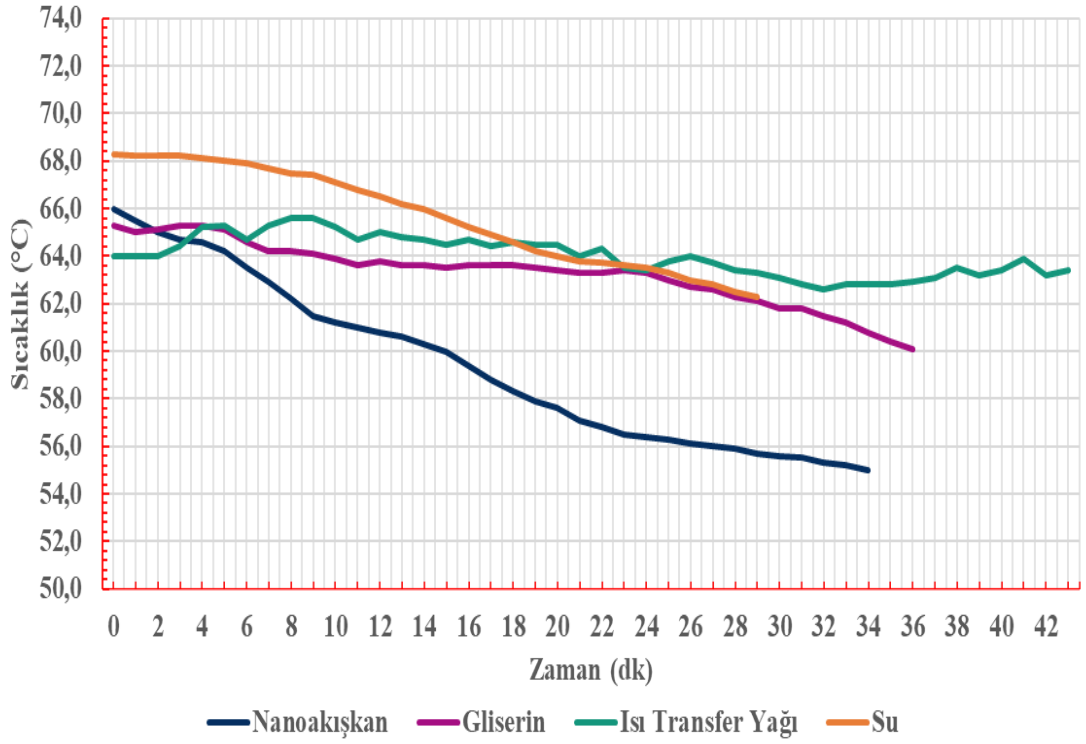
Şekil 6.139. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.140. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

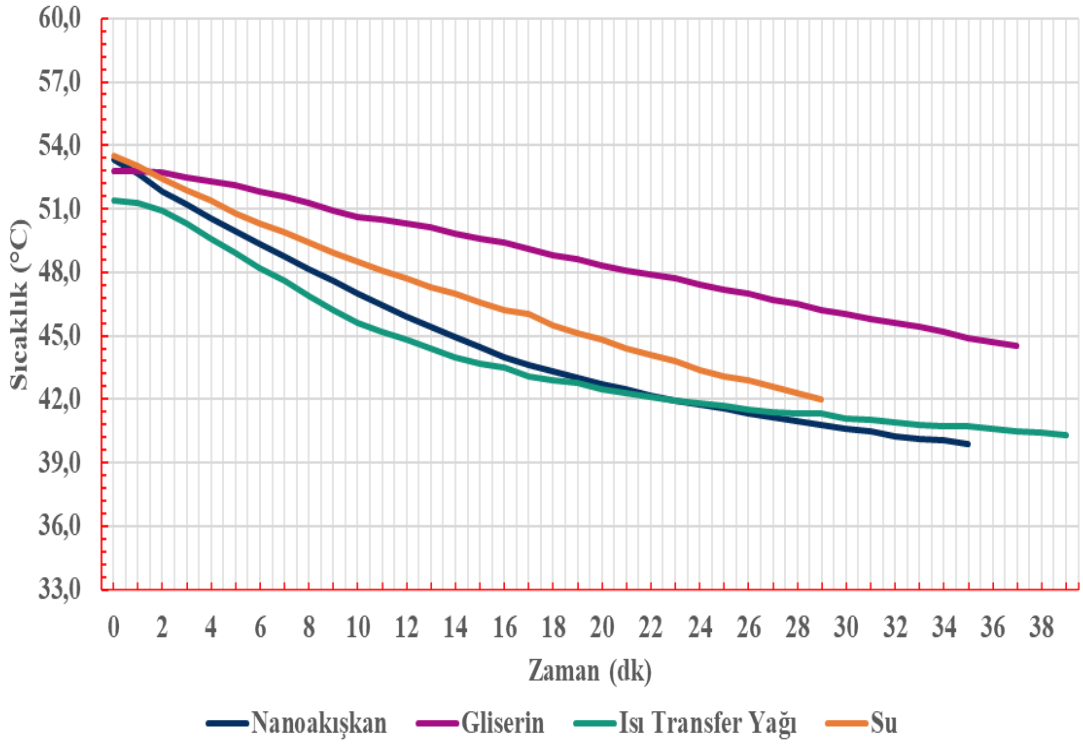


Şekil 6.141. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

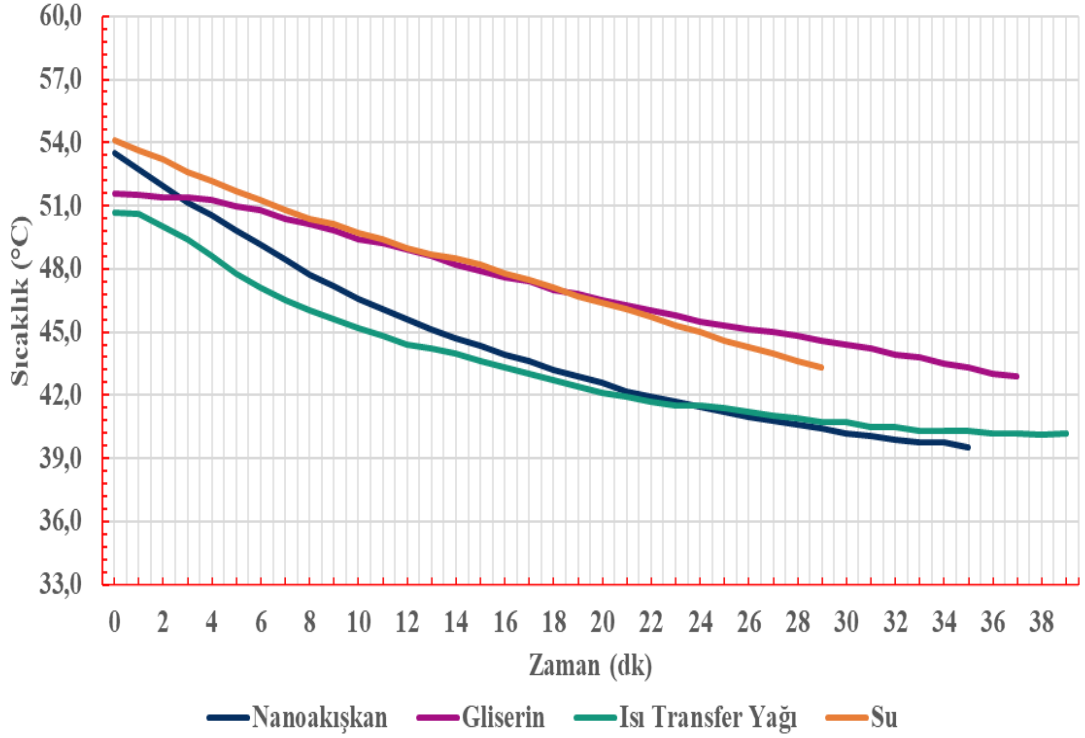


Şekil 6.142. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

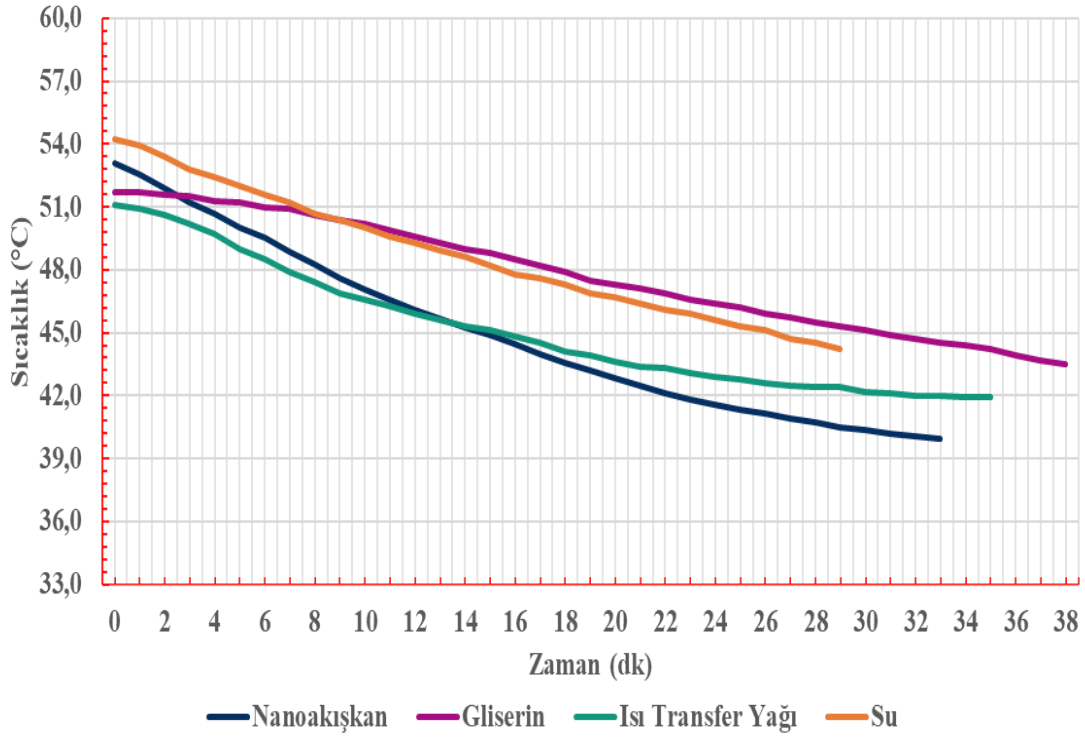
Şekil 6.143-Şekil 6.147 arasında pompa debisi 1.8 l/dk iken, dört depolama maddesine göre depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Tıpkı depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımında olduğu gibi, ortalama sıcaklık dağılımı grafiklerinin oluşmasında da iki etken ortaya çıkmıştır: Nanoakışkanın yüksek ısı depolama yeteneği ve ısıl yayınım kabiliyetiyle birlikte; ısı transfer yağının karakteristik deney sürecinin uzun göreceli olarak uzun sürmesi. Bu iki temel etken, nanoakışkanın ve ısı transfer yağının depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklık dağılımlarının su ve gliserine göre daha düşük düzeylerde seyretmesine neden olmuştur.



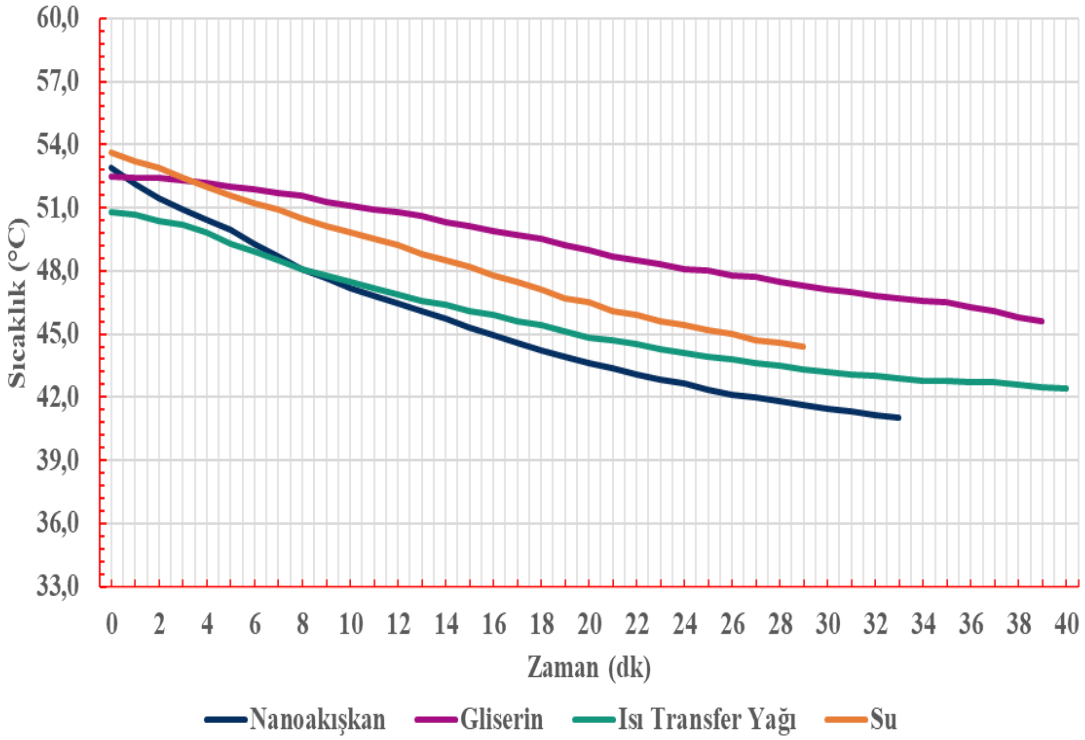
Şekil 6.143. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



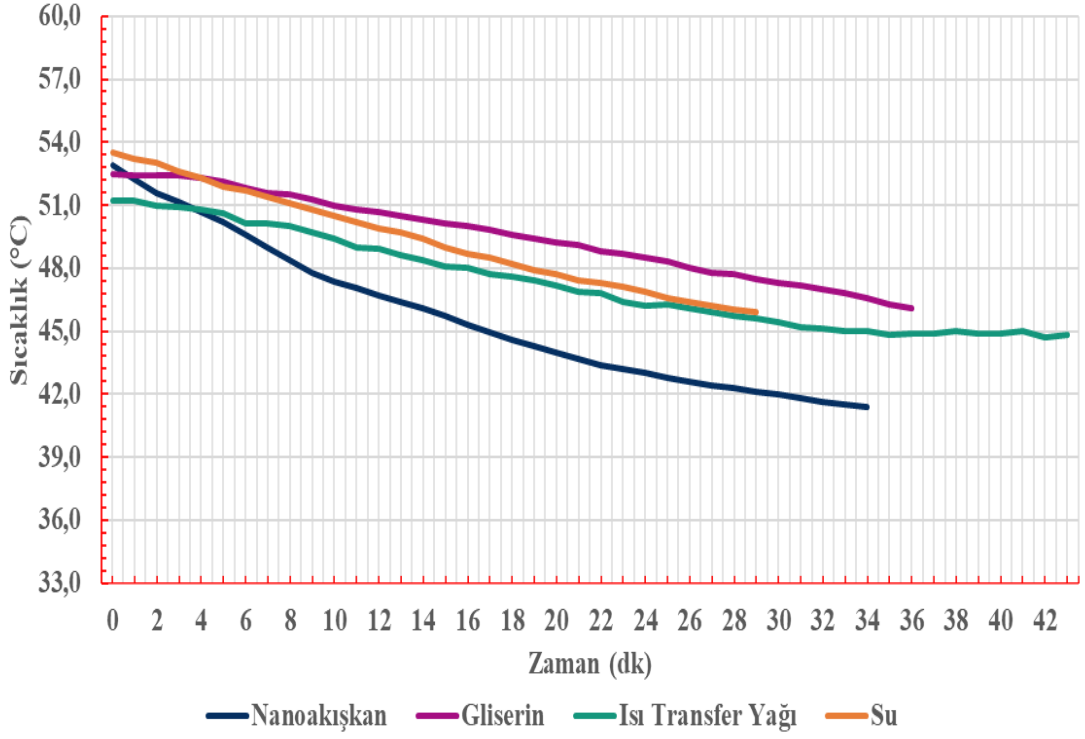
Şekil 6.144. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



Şekil 6.145. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları

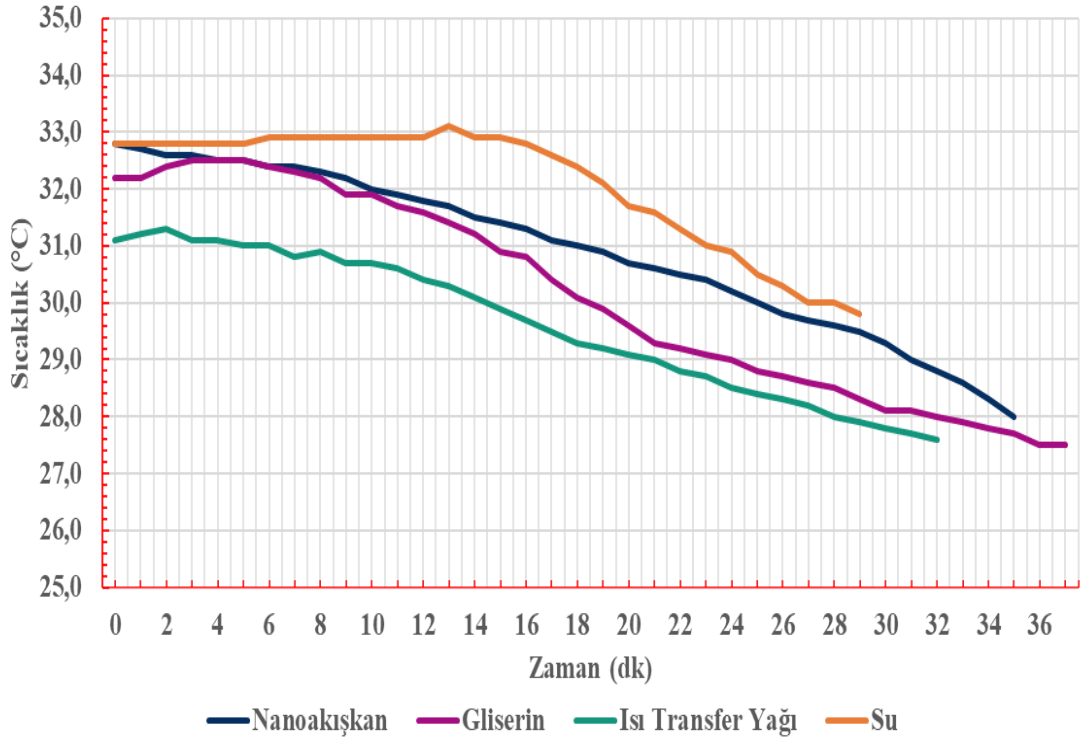


Şekil 6.146. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları

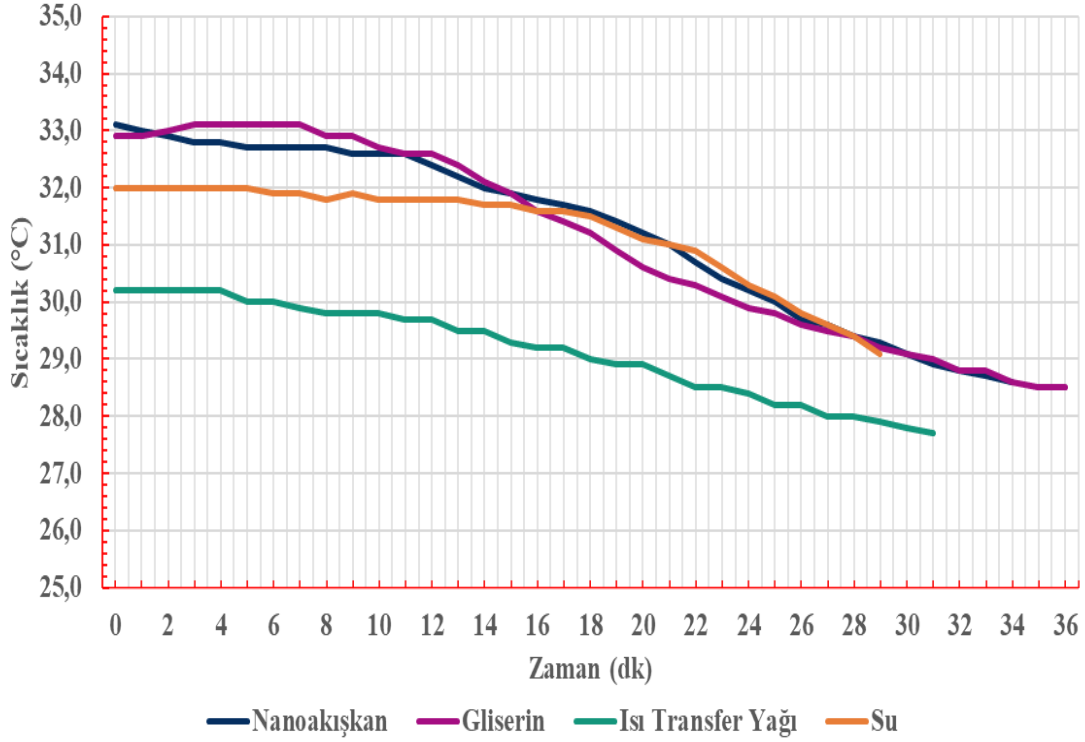


Şekil 6.147. Pompa debisinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları

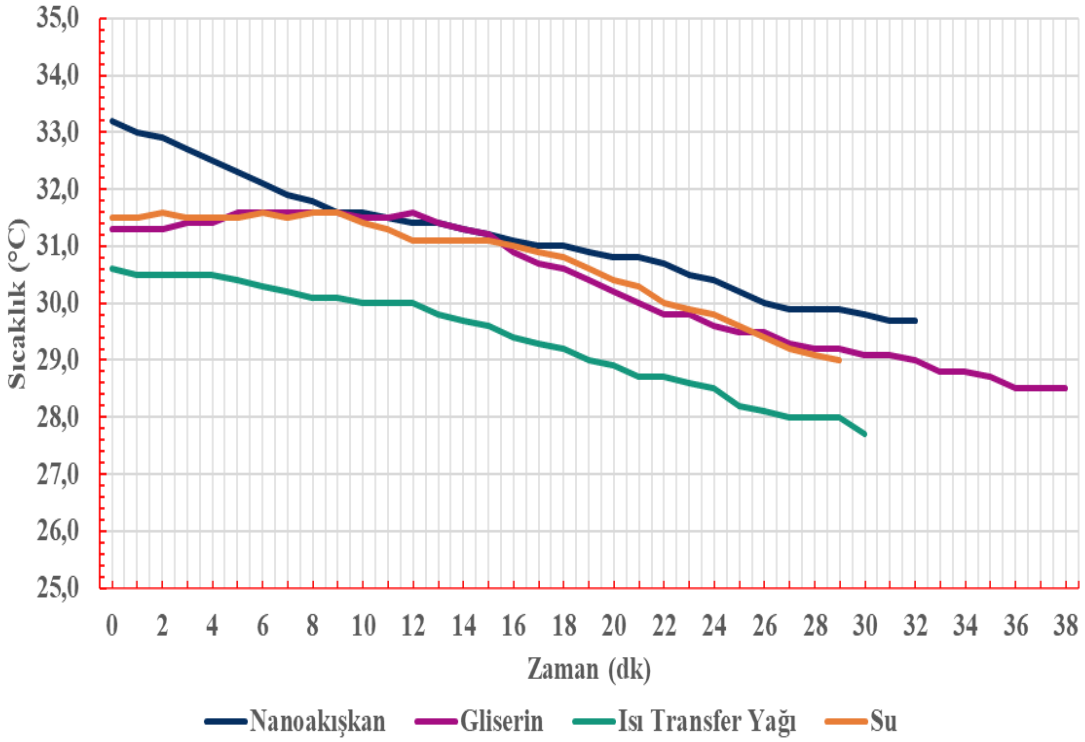
Şekil 6.148, Şekil 6.149, Şekil 6.150, Şekil 6.151 ve Şekil 6.152'de pompa debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda, depolama maddelerinin depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklıkları verilmiştir. İlgili şekiller, ısı transfer yağı açısından pompa debisinin 1.5 l/dk ve 1.8 l/dk olduğu durumlarla uyum içerisindedir; yani depolama ünitesi içerisindeki en alt noktada en düşük sıcaklıklara yine ısı transfer yağı sahip olmuştur.



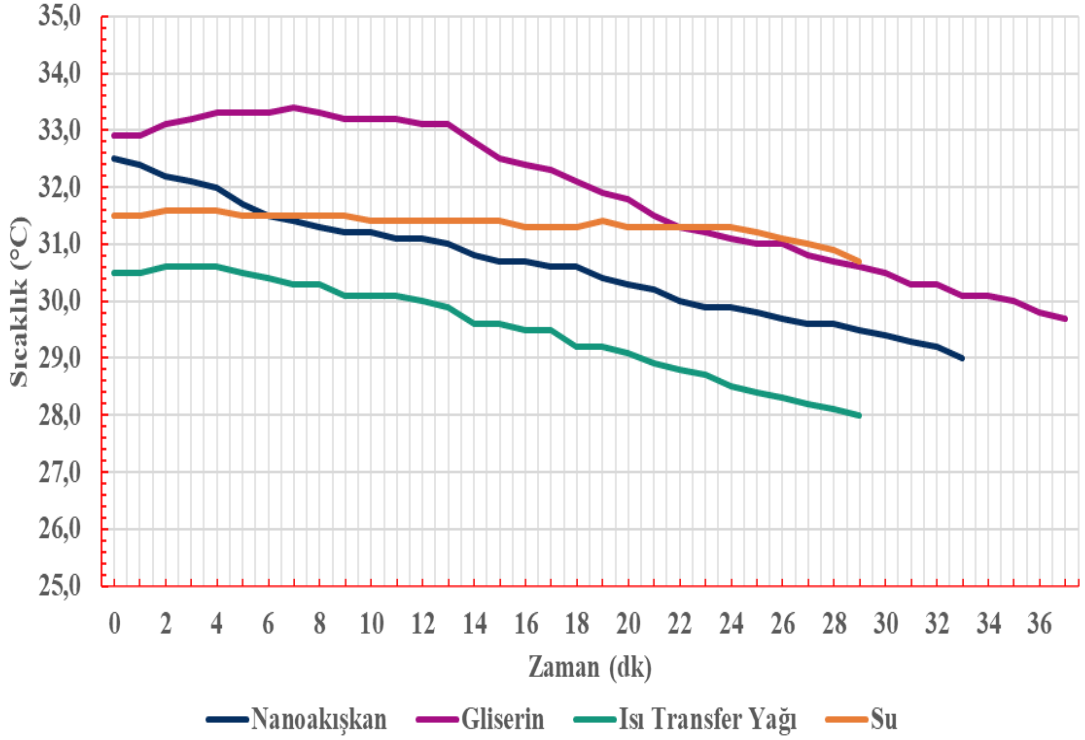
Şekil 6.148. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları



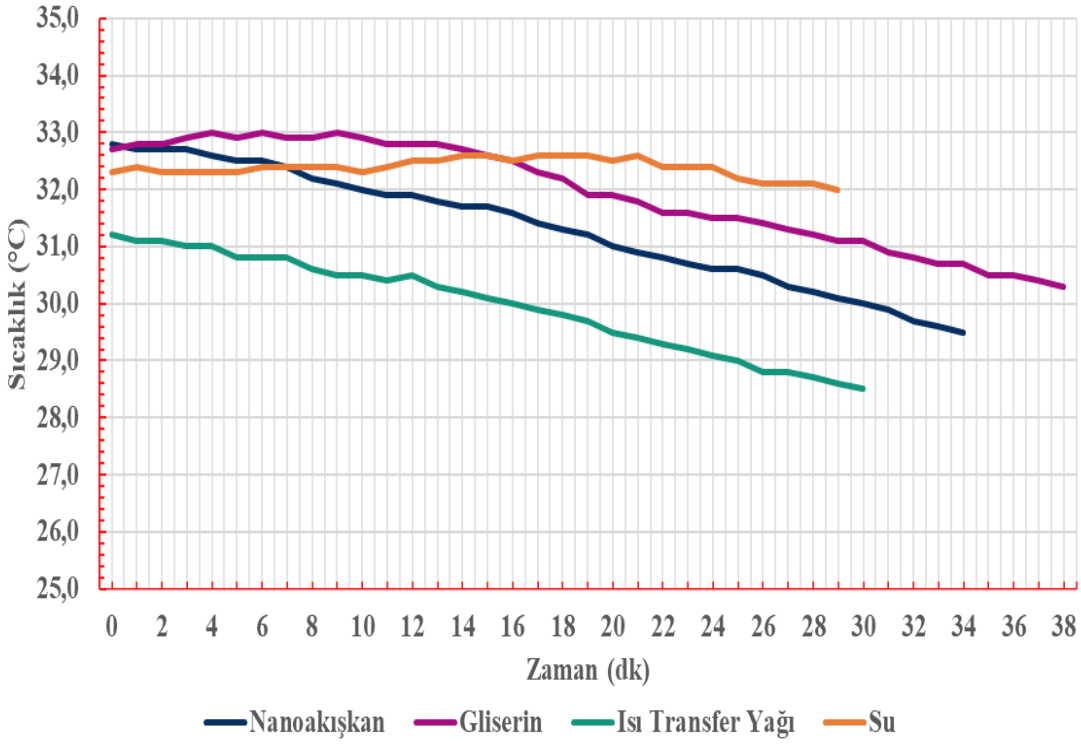
Şekil 6.149. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.150. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

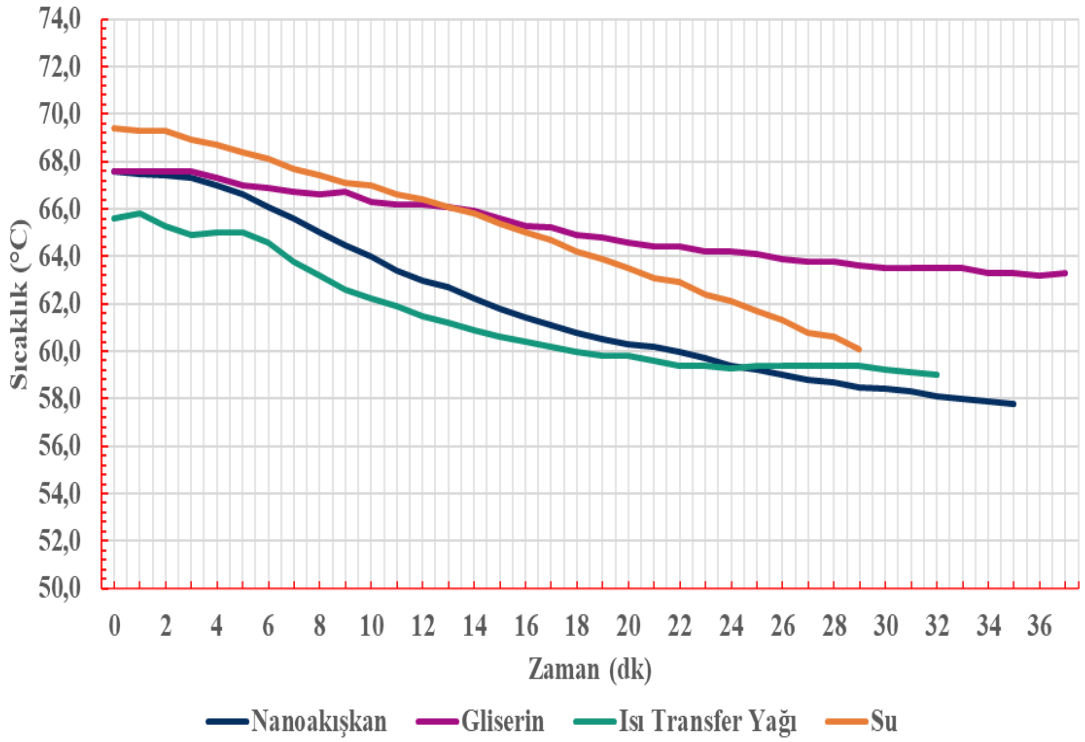


Şekil 6.151. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

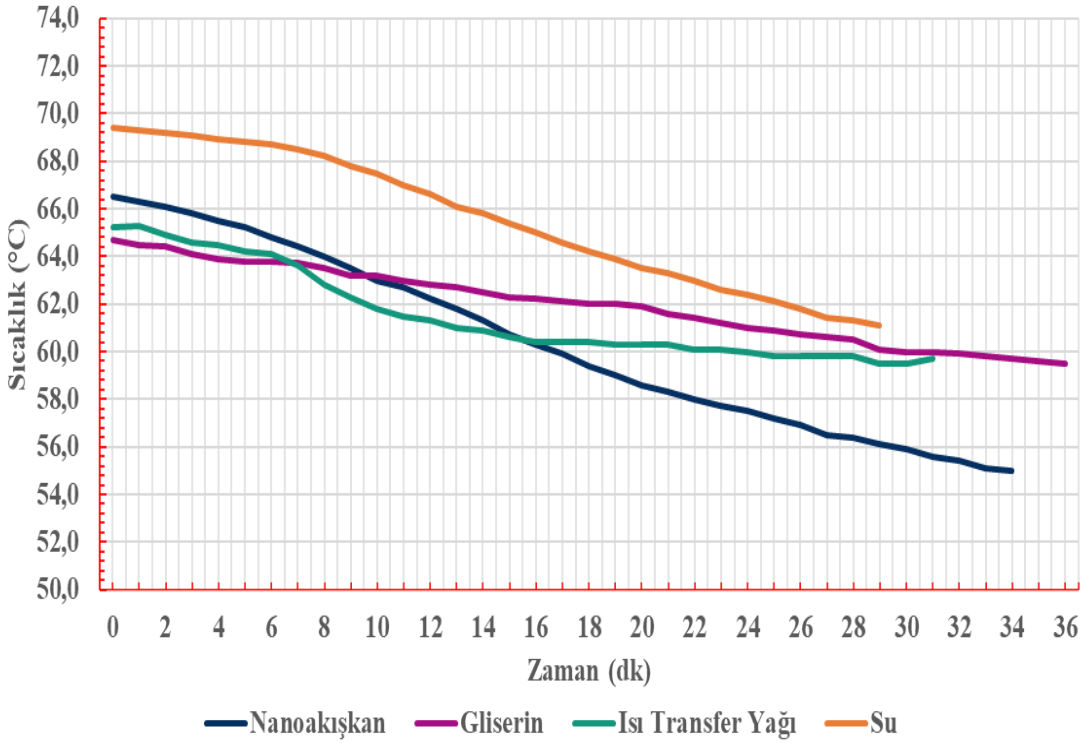


Şekil 6.152. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklık dağılımları

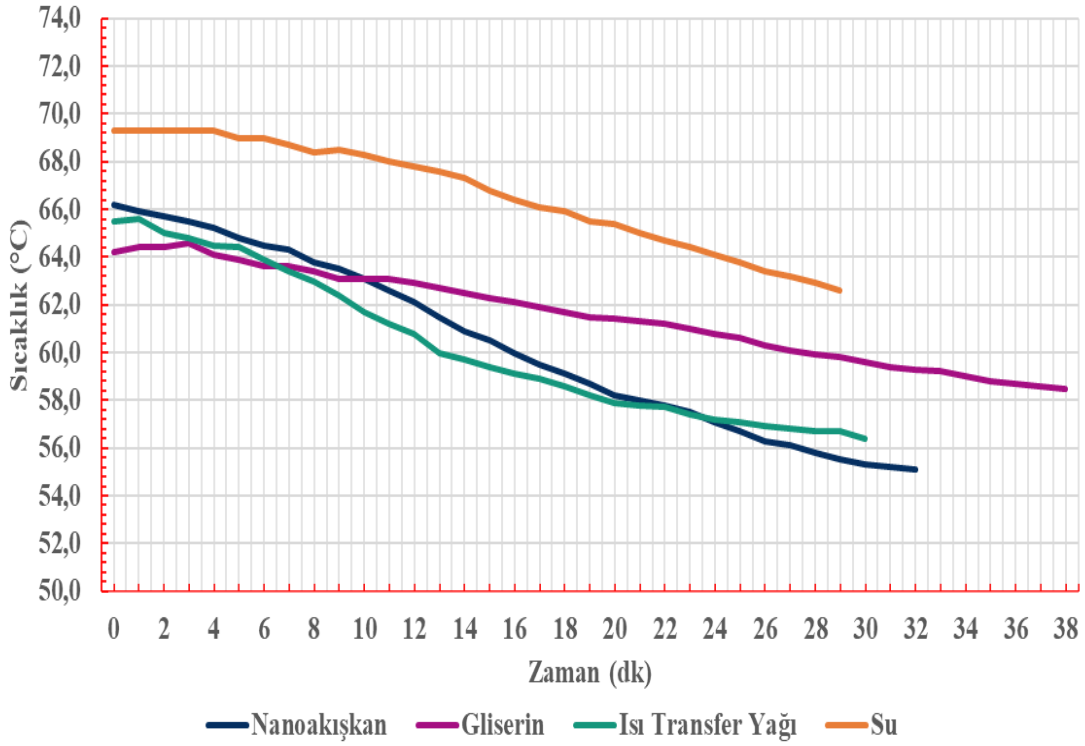
Şekil 6.153-Şekil 6.157 arasında pompa debisinin 2.1 l/dk olduğu zamanda, belirli kullanım suyu musluk debilerinde, depolama maddelerinin depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Şekillerden anlaşılmaktadır ki; kullanım suyu musluk debisi ne olursa olsun, ısı transfer yağının ve nanoakışkanın depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklıkları diğer iki depolama maddesine göre daha çok düşmüştür. Bu pompa debisinde de nanoakışkanın yüksek ısı depolama yeteneği ve ısıl yayınım kabiliyeti ön plandadır ve pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu zamankiyle benzer şekilde termosifon giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark yüksek değerlerde seyretmiştir. Sonuç olarak da bu yüksek değerler, depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık düşümlerini nanoakışkan adına göreceli olarak oldukça düşürmüştür. Isı transfer yağındaysa durum daha farklıdır: Isı transfer yağının karakteristik deneyinin uzun sürmesi doğrultusunda, termosifondan depolama ünitesine olan ısı transferi, deney sürecinde gitgide daha düşük düzeylere inmiştir. Bu olgu da; ısı transfer yağının depolama ünitesinin en üst noktadaki sıcaklığını nanoakışkan da olduğu gibi daha çok düşürmüştür.



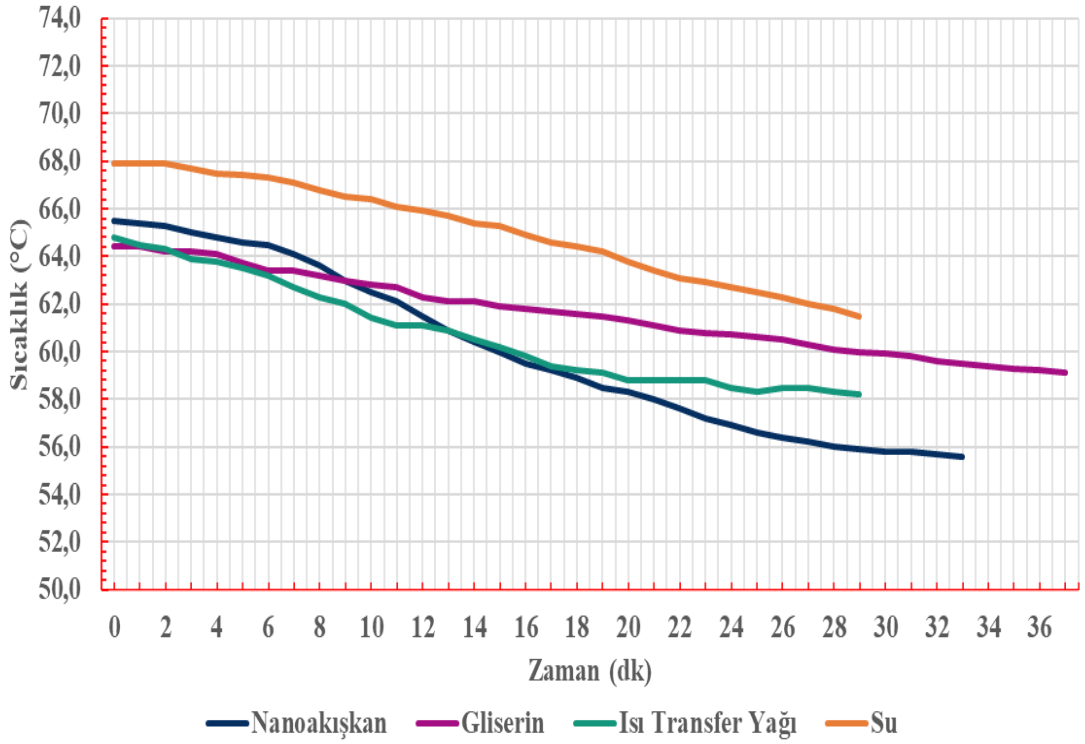
Şekil 6.153. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları



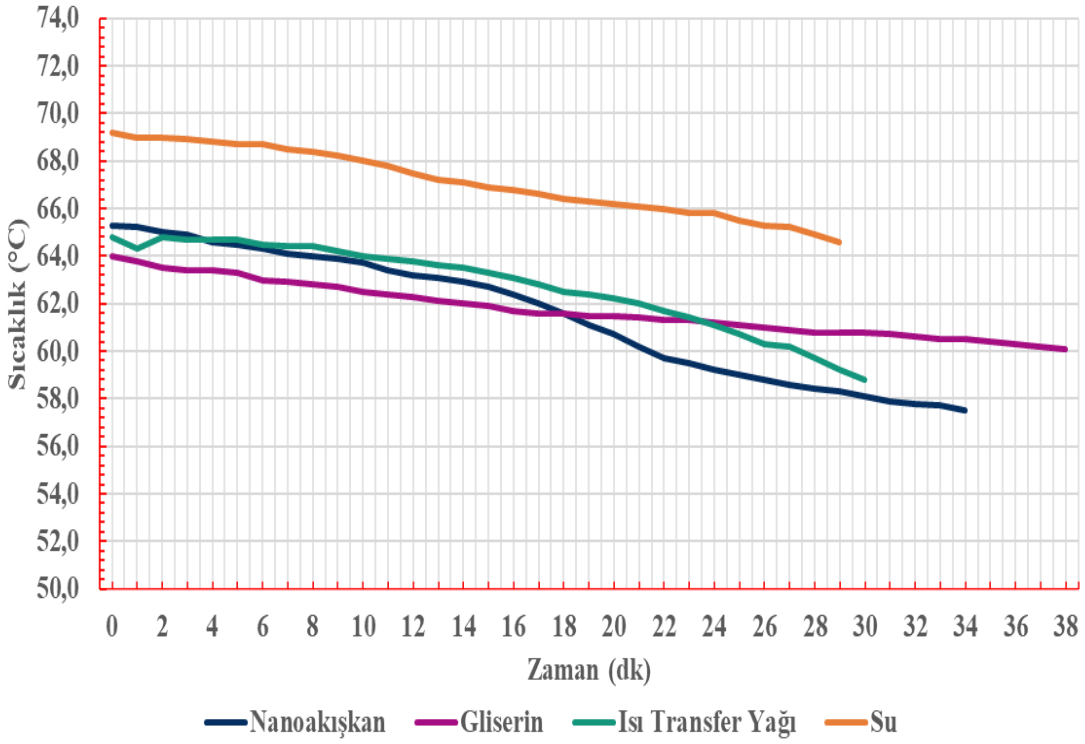
Şekil 6.154. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.155. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

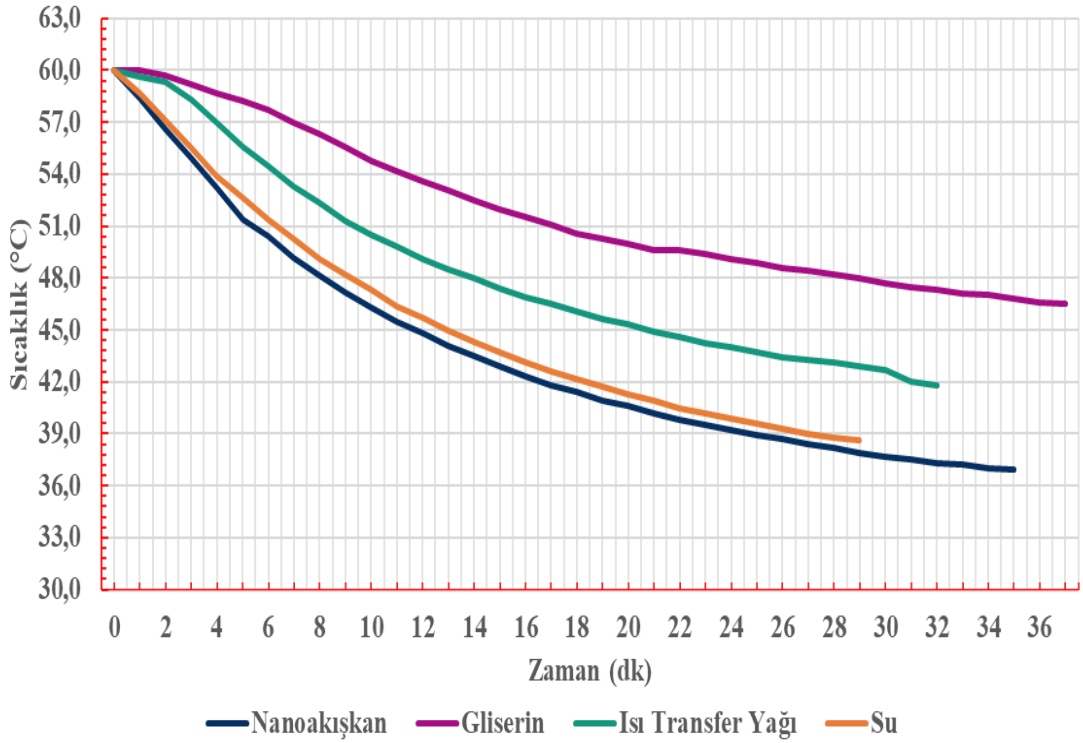


Şekil 6.156. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

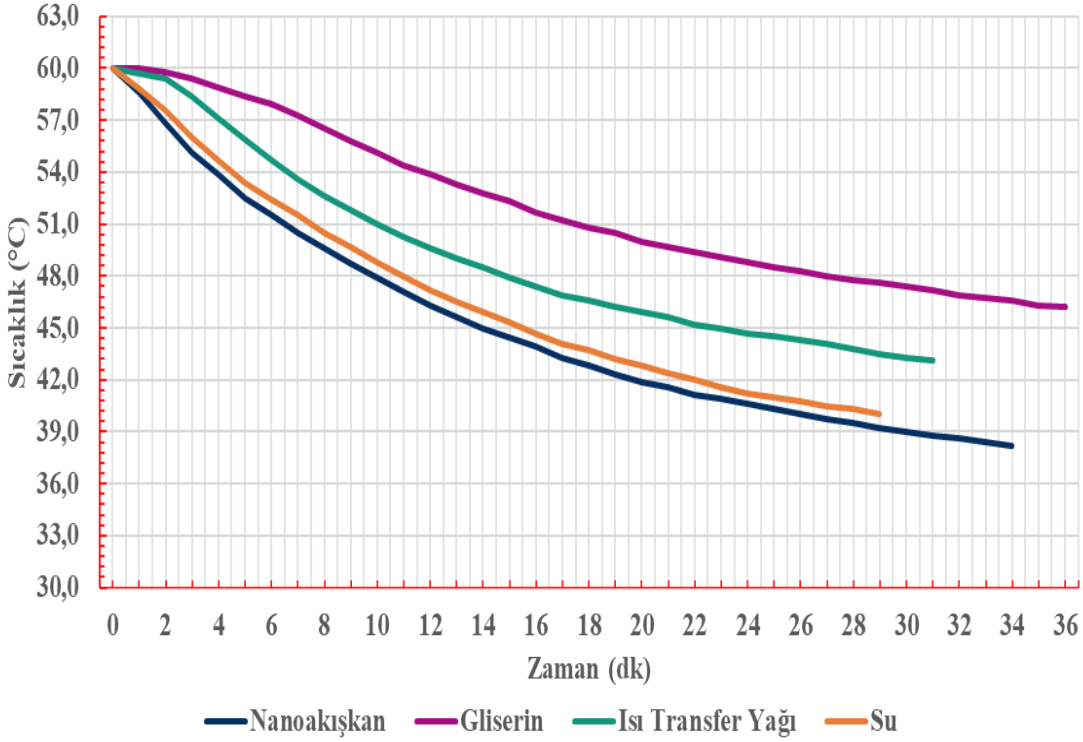


Şekil 6.157. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımları

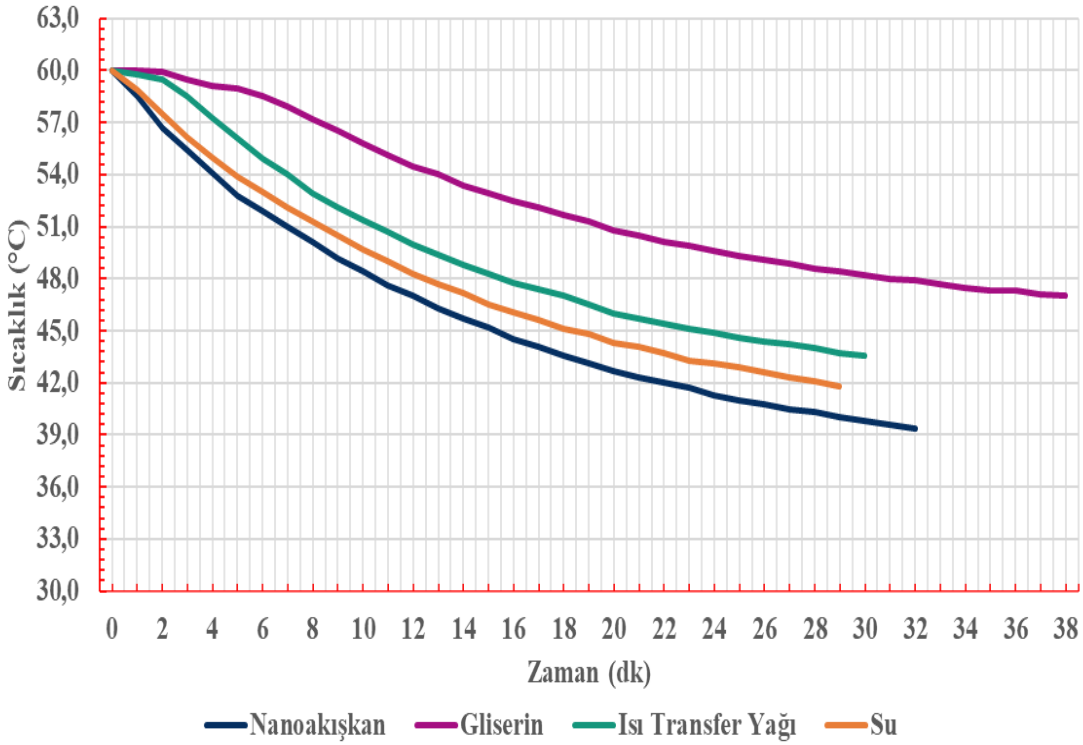
Şekil 6.158, Şekil 6.159, Şekil 6.160, Şekil 6.161 ve Şekil 6.162'de pompa debisi 2.1 l/dk iken, çeşitli kullanım suyu musluk debilerinde depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklıklar sunulmuştur. Kullanım suyu musluk debisinin, depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklıklar üzerinde açık bir etkisi gözlemlenememiştir çünkü depolama ünitesi merkezi sıcaklıklarındaki azalma, dört depolama maddesi için de belirli (aynı) sıralamayı takip etmiştir: Gliserin, ısı transfer yağı, su ve nanoakışkan.



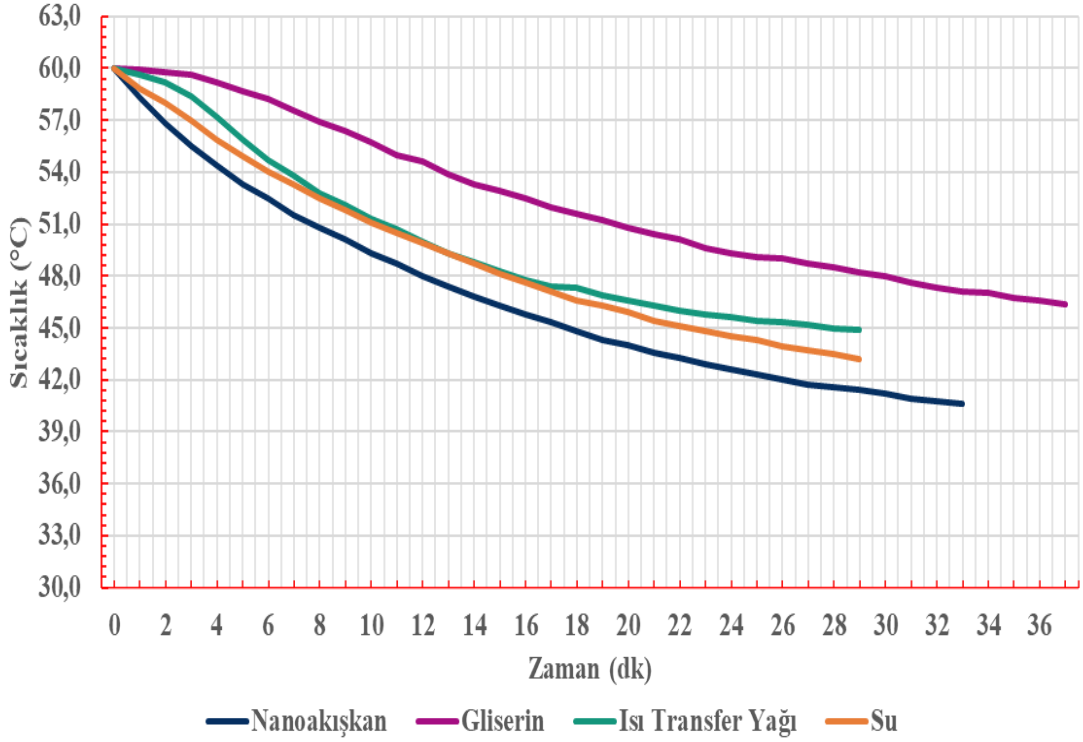
Şekil 6.158. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



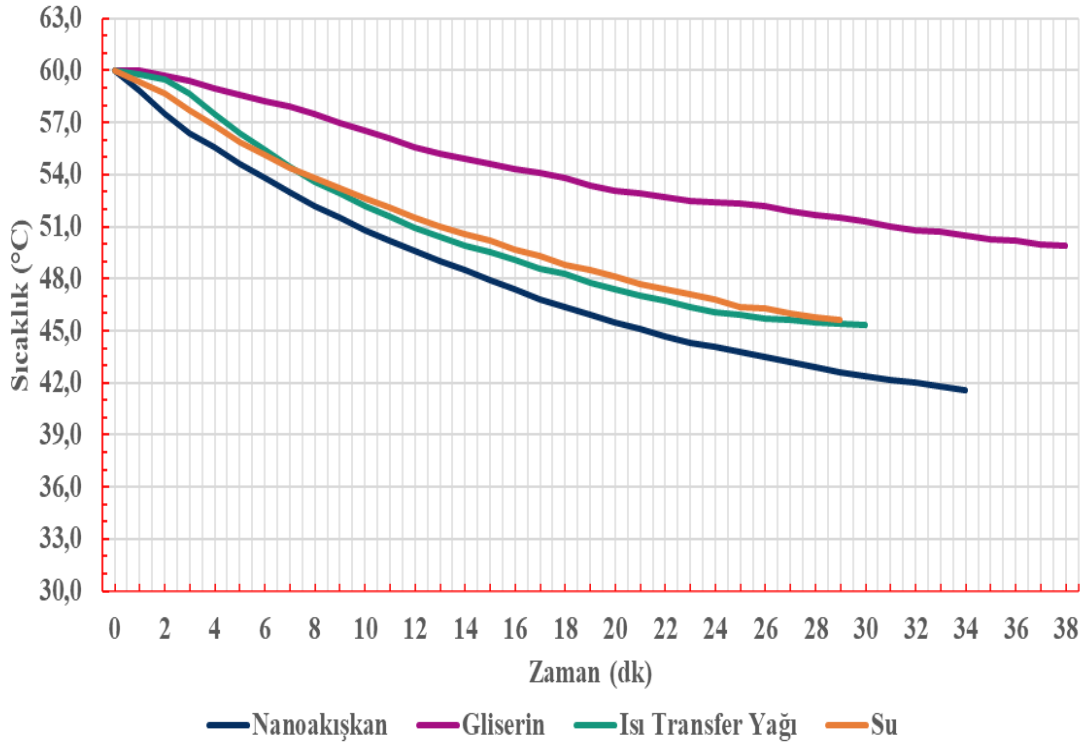
Şekil 6.159. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



Şekil 6.160. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



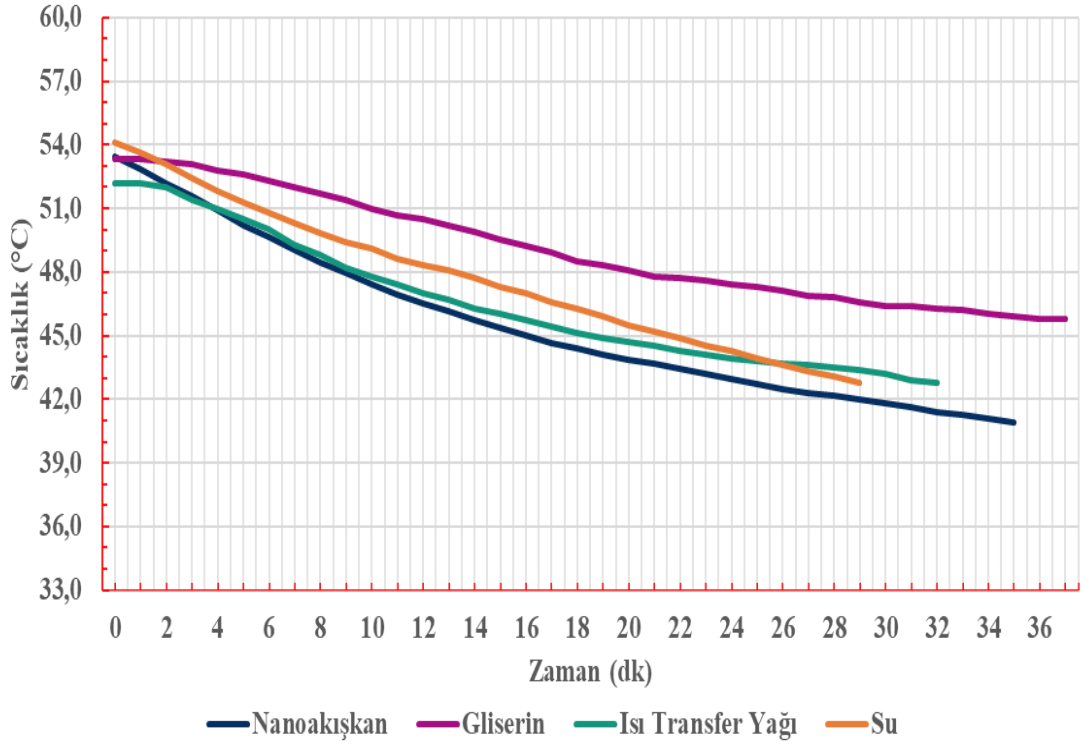
Şekil 6.161. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları



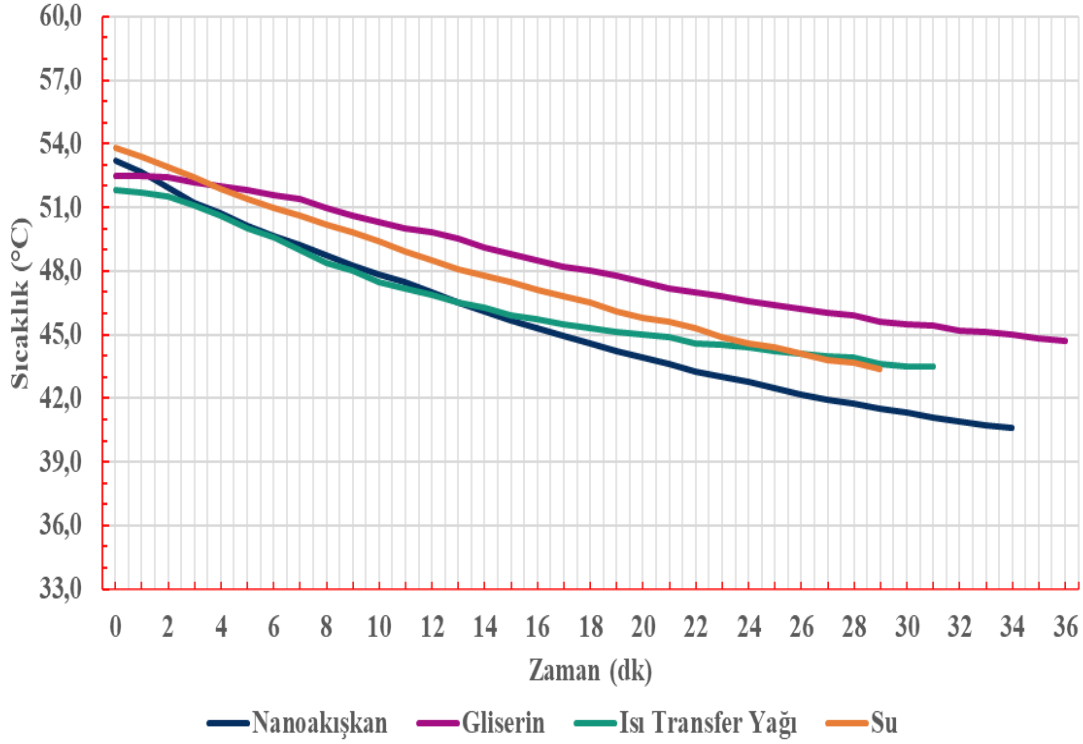
Şekil 6.162. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

Pompa debisinin yine 2.1 l/dk olduğu durumda, çeşitli kullanım suyu musluk debilerine bağlı olarak, depolama ünitesindeki ortalama sıcaklıklar Şekil 6.163-Şekil 6.167 arasında gösterilmiştir. İlgili şekiller aracılığıyla şu iki noktaya ulaşılabilir:

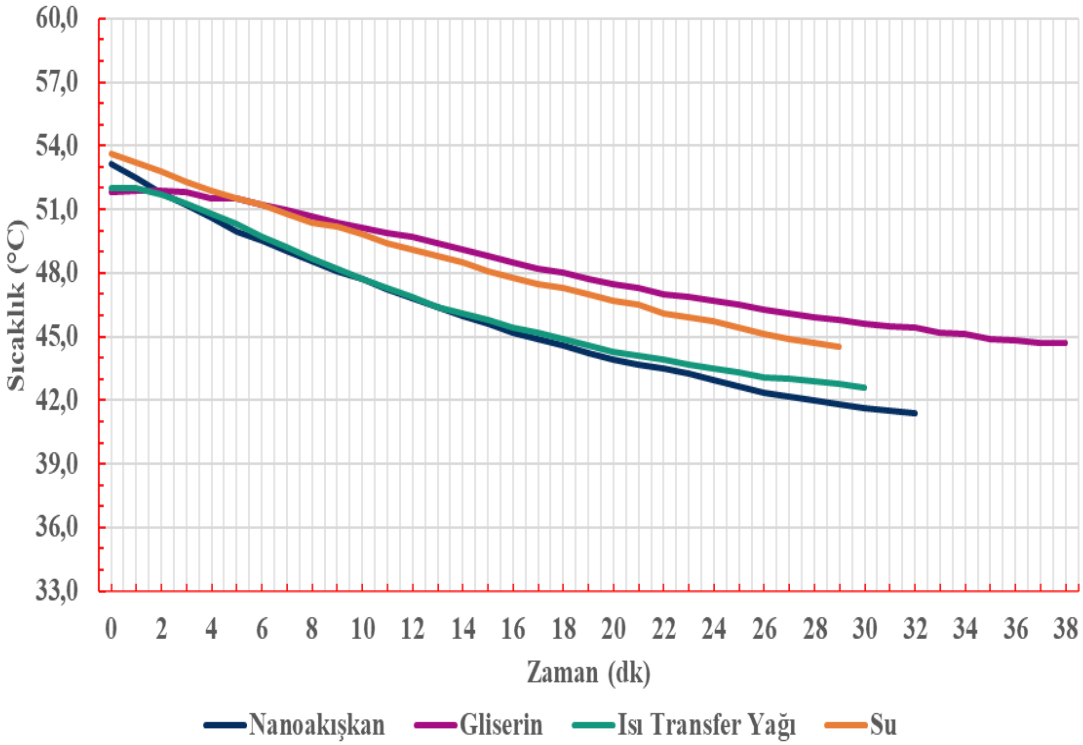
- Depolama maddeleri içerisinde, bütün kullanım suyu musluk debilerinde ortalama sıcaklığı en çok düşüş gösteren depolama maddesi nanoakışkandır (yüksek ısı iletim, ısıl yayınım kabiliyeti ve termosifon giriş-çıkış sıcaklıkları arasındaki fark ve de depolama ünitesinden daha yüksek miktarda ısı çekilmesi nedeniyle).
- Depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklıklar açısından; kullanım suyu musluk debisinin değişimiyle, sıcaklık düşüşü arasındaki en sıkı bağ suda oluşmuştur. Kullanım suyu musluk debisi değeri düştükçe suyun ortalama sıcaklık değerindeki düşüş şiddetini kaybetmektedir.



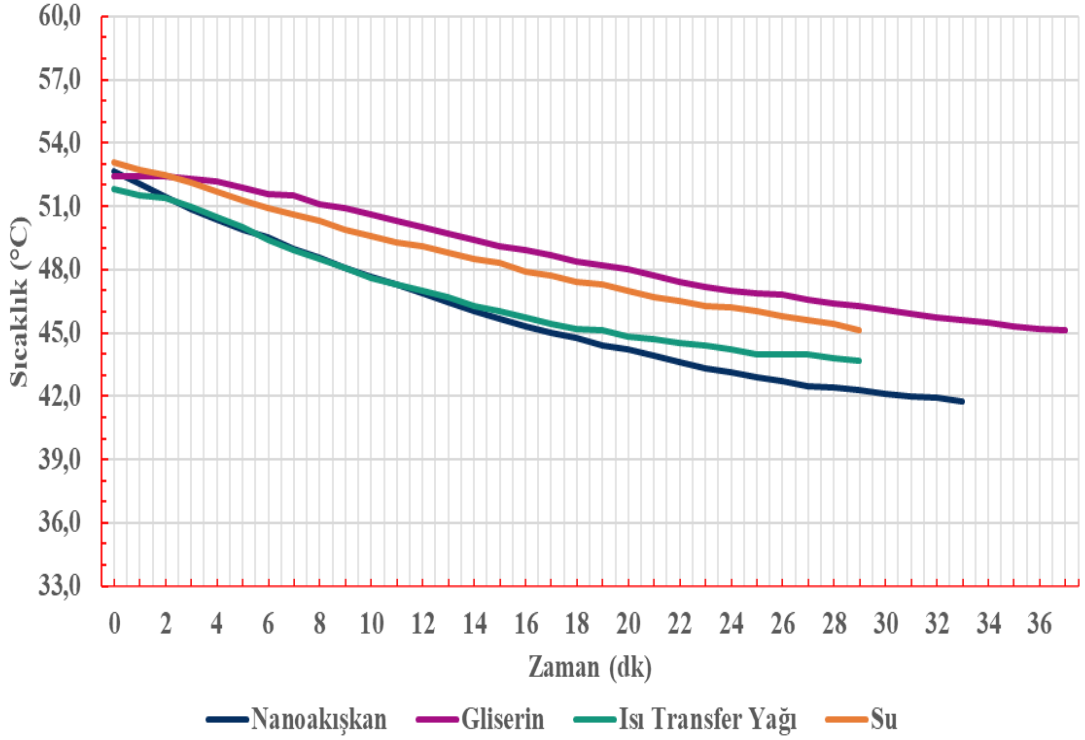
Şekil 6.163. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.4 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



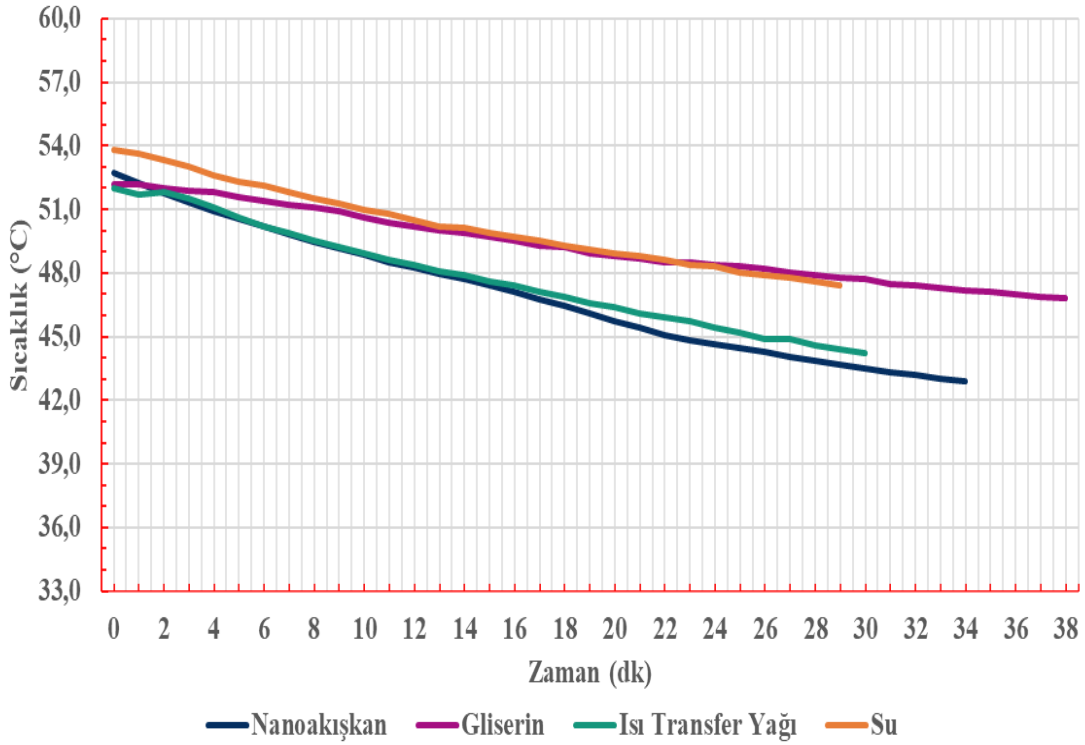
Şekil 6.164. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 2.1 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



Şekil 6.165. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



Şekil 6.166. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.5 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları



Şekil 6.167. Pompa debisinin 2.1 l/dk ve kullanım suyu musluk debisinin 1.2 l/dk olduğu durumda depolama ünitesindeki ortalama sıcaklık dağılımları

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yürütülen deneysel çalışmadaki karakteristik deneyler, 2018 yılı Temmuz ayı ile 2019 yılı Ekim arasında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada, pompa debisi ve kullanım suyu musluk debisi belirli değerlere ayarlanarak, her ikisinin de duyulur ısı depolamaya olan etkisi detaylıca araştırılmıştır. Bu bağlamda, temel olarak ısıl (termal) enerjinin depolanabilirliği açısından dört ısı depolama maddesi aracılığıyla gerçekleştirilen 92 deneyde; özetle şu sonuçlara varılmıştır:

7.1. Depolama Ünitesine Sadece Isı Girişinin Olduğu Duruma Dair Çıkarımlar

Depolama ünitesine sadece ısı girişinin olduğu karakteristik deneylere dair çıkarımlar Çizelge 7.1 aracılığıyla yapılmıştır. İlgili çizelgeden görülebileceği üzere; ısı transfer yağının karakteristik deney süresi diğer depolama maddelerine göre daha uzun sürmesine rağmen toplam depo edilen ısı miktarı yine en az ısı transfer yağı kullanıldığı zaman meydana gelmiştir. Bunun nedeni, ısı transfer yağının ısı depolama kapasitesinin diğer depolama maddelerine göre daha düşük olmasıdır.

Karakteristik deney süreleri birlikte dikkate alındığında; depolama ünitesi yüzeylerinden çevreye olan ısı kayıpları açısından gliserin ve ısı transfer yağında kayıpların çok daha fazla olduğu açıktır.

Bu süreçte ısı transfer yağının, diğer üç depolama maddesine göre, toplam depo edilen ısı söz konusuyken sirkülasyon pompası debi değeri 1.5 l/dk'dan 1.8 l/dk'ya çıktığında bu debi değişiminden en fazla etkilenen depolama maddesi olduğu açıktır. Sirkülasyon pompası debi değeri 1.8 l/dk'dan 2.1 l/dk'ya çıktığındaysa bu debi değişiminden en fazla etkilenense nanoakışkan olmuştur.

Çizelge 7.1. Sadece ısıtma sürecindeki karakteristik deneylere ait veriler

Isı Depolama Maddesi	Pompa Debisi (l/dk)	Akışkan Hızı (Isıtma Serpantini) (m/s)	Deney Süresi (dk)	Toplam Giren Isı (kW)	Toplam Depo Edilen Isı (kW)	Toplam Kayıp Isı (kW)
Su	1.5	0.00486	180	19.354	17.868	1.486
	1.8	0.00584	180	20.838	19.216	1.622
	2.1	0.00680	180	23.019	21.070	1.949
Nanoakışkan	1.5	0.00486	170	18.016	16.552	1.464
	1.8	0.00584	170	19.171	17.683	1.488
	2.1	0.00680	170	21.297	19.762	1.535
Gliserin	1.5	0.00486	300	17.679	15.286	2.393
	1.8	0.00584	320	18.514	16.121	2.393
	2.1	0.00680	310	20.455	17.920	2.535
Isı Transfer Yağı	1.5	0.00486	540	16.424	11.897	4.527
	1.8	0.00584	540	18.621	14.038	4.583
	2.1	0.00680	540	20.327	15.712	4.583

Depolama maddelerinin ısınma süreçleri dikkate alınacak olursa, Çizelge 7.1, nanoakışkanın depo merkezi sıcaklığının 60°C'ye suya oranla 10 dakika kadar daha kısa sürede ulaştığını göstermektedir.

Depolama maddelerinin, karakteristik deneyleri boyunca depolanabilirlikleri de Çizelge 7.2'de verilmiştir. Çizelge 7.2'ye göre nanoakışkan kullanımı, suya oranla ısıl enerjinin depolanabilirliğinde sadece 2.1 l/dk'lık pompa debisinde tercih edilebilir bir durumdadır. Diğer pompa debilerinde (1.8 l/dk ve 1.5 l/dk) nanoakışkan, suyla hemen

hemen eşit derecede depolanabilirlik seviyesini yakalamasına rağmen, nanoakışkanın suya karşı bir üstünlüğü olduğunu söylemek mümkün değildir. Bu durumun olası sebeplerinin; nanoakışkanda zamanla meydana gelen çökelmeler, topaklaşmanın uzun süreli bir hâl alması nedeniyle sıvı-katı arayüzeyine yansıyan olumsuz etki, nanoakışkanın kısmen de olsa stabilitesini kaybetmesi olduğu düşünülmüştür. Isı transferindeki bu olumsuz etki, literatürde yer alan bir çalışmayı da desteklemektedir.

Çizelge 7.2. Sadece ısıtma sürecindeki karakteristik deneylerde yer alan ısı depolama maddelerinin depolanabilirlikleri

Isı Depolama Maddesi	Pompa Debisi (l/dk)	Akışkan Hızı (Isıtma Serpantini) (m/s)	Deney Süresi (dk)	Depolanabilirlik (%)
Su	1.5	0.00486	180	92.32
	1.8	0.00584	180	92.21
	2.1	0.00680	180	91.53
Nanoakışkan	1.5	0.00486	170	91.87
	1.8	0.00584	170	92.23
	2.1	0.00680	170	92.79
Gliserin	1.5	0.00486	300	86.46
	1.8	0.00584	320	87.07
	2.1	0.00680	310	87.60
Isı Transfer Yağı	1.5	0.00486	540	72.43
	1.8	0.00584	540	75.38
	2.1	0.00680	530	77.30

Çizelge 7.3. Sadece ısıtma sürecindeki karakteristik deneylerde, depolama ünitesi içindeki sıcaklıklar

Isı Depolama Maddesi	Pompa Debisi (l/dk)	Akışkan Hızı (Isıtma Serpantini) (m/s)	En Alt Nokta Ortalama Sıcaklığı (°C)	Merkezi Nokta Ortalama Sıcaklığı (°C)	En Üst Nokta Ortalama Sıcaklığı (°C)
Su	1.5	0.00486	25.9	48.7	56.3
	1.8	0.00584	27.5	53.0	55.8
	2.1	0.00680	26.2	48.4	58.5
Nanoakışkan	1.5	0.00486	26.6	48.7	60.4
	1.8	0.00584	26.3	49.3	60.9
	2.1	0.00680	26.7	49.9	61.3
Gliserin	1.5	0.00486	22.6	48.4	61.8
	1.8	0.00584	26.1	49.4	58.8
	2.1	0.00680	26.5	49.8	62.5
Isı Transfer Yağı	1.5	0.00486	28.0	53.0	62.8
	1.8	0.00584	29.6	53.0	63.7
	2.1	0.00680	29.3	53.0	63.3

Depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklıklar, Çizelge 7.3'te verilmiştir. Çizelge 7.3'e göre gliserin ve ısı transfer yağının ısıl yayınım katsayıları su ve nanoakışkana göre daha düşük olduğu için, bu iki depolama maddesinin ısıl tabakalaşmadan daha fazla etkilendiği görülmektedir. Ancak bu, ısıl tabakalaşma etkisini tek başına açıklayamamaktadır. Özellikle gliserinin yüksek özkütle değeri de ısıl tabakalaşma olgusunda önemlidir.

Isınma süreci boyunca; nanoakışkanın ve suyun depolama ünitesi merkezi sıcaklıkları 60°C'ye ulaşabilmiştir ve bu süreç de diğer iki depolama maddesine göre (gliserin ve ısı transfer yağı) daha kısa sürmüştür, çünkü hem nanoakışkanın hem de suyun ısı depolama kapasiteleri ısı transfer yağı ve gliserine göre daha yüksektir. Buna karşılık; ısı transfer yağı ve gliserinin depolama ünitesi merkezi sıcaklıkları, sözü geçen diğer iki depolama maddesine göre kendi karakteristik deneylerinin 320. (gliserin için) ve 520. (ısı transfer yağı için) dakikalarında bile 60°C'ye ulaşamamıştır. Bu iki depolama maddesinin depolama ünitesindeki merkezi sıcaklıkları ancak ısıl tabakalaşma belirli bir düzeye geldiğinde 60°C'ye ulaşabilmiştir ki bu süreç karakteristik deneylerin yapıldığı günde gerçekleşememiştir.

Çizelge 7.3'ten yapılabilecek bir başka çıkarım da şudur: Isınma süreci boyunca depolama ünitesinin en üst, merkez ve en alt noktaları boyunca meydana gelen sıcaklık dağılımlarına göre depolama ünitesinde belirgin bir ısıl tabakalaşma olmaktadır.

7.2. Depolama Ünitesinden Sadece Kullanım Suyuyla Isı Çıkışı Olduğu Duruma Dair Çıkarımlar

Depolama ünitesinden sadece kullanım suyuyla ısı çıkışı olduğu duruma dair çıkarımlar takip eden tablolarda sunulmuştur. Buna göre Çizelge 7.4'ten yapılabilecek ilk çıkarım şudur: Depolama ünitesi merkezi sıcaklığı 60°C'ye ulaştıktan sonra termosifon devreden çıkarılıp deneylere başlandığında; kullanım suyu musluk debisi arttıkça kullanım suyuyla depolama ünitesinden çekilen ısı miktarı, su ve nanoakışkanın kullanıldığı deneylerde, önemli ölçüde artmıştır. Bu saptama, depolama ünitesinden çekilen toplam ısı grafiğiyle de desteklenmiştir. Yine aynı çizelgeden yapılabilecek ikinci çıkarıma göreyse; su ve nanoakışkan bünyesinde ısı depolama yapıldığında, kullanım suyuna aktarılabilen ısı, gliserin ve ısı transfer yağına göre daha yüksek olmuştur. Çünkü gerek suyun gerekse de nanoakışkanın ısı depolayabilme yeteneği gliserin ve ısı transfer yağına göre daha yüksektir.

Çizelge 7.4. Sadece depodan ısı çekilmesi sırasındaki karakteristik deneylere ait veriler

Isı Depolama Maddesi	Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)	Akışkan Hızı (Kullanım Serpantini) (m/s)	Deney Süresi (dk)	Toplam Depodan Çekilen Isı (kW)	Toplam Kayıp Isı (kW)
Su	1.2	0.00388	29	58.440	4.499
	1.5	0.00486	29	74.034	3.949
	1.8	0.00584	29	89.381	3.924
	2.1	0.00680	29	102.312	3.558
	2.4	0.00776	29	116.100	3.555
Nanoakışkan	1.2	0.00388	29	70.694	3.759
	1.5	0.00486	29	83.207	3.820
	1.8	0.00584	29	94.776	3.887
	2.1	0.00680	29	104.661	3.947
	2.4	0.00776	29	115.147	4.054
Gliserin	1.2	0.00388	29	44.777	4.741
	1.5	0.00486	29	48.288	4.699
	1.8	0.00584	29	51.406	4.950
	2.1	0.00680	29	52.802	5.017
	2.4	0.00776	29	55.671	4.360
Isı Transfer Yağı	1.2	0.00388	29	32.319	4.325
	1.5	0.00486	29	35.236	4.154
	1.8	0.00584	29	40.265	4.226
	2.1	0.00680	29	41.039	3.998
	2.4	0.00776	29	42.196	3.851

Depolama ünitesinden ısı çekilmesi konusunda, bir tek durum dışında (2.4 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisi), nanoakışkan suya göre daha avantajlıdır.

Sadece depolama ünitesinden ısı çekimi söz konusu olduğunda, depolama ünitesinden çekilen ısı kapsamında, debi artışından en çok etkilenen ısı depolama maddesinin su olduğu anlaşılmıştır. Önemle belirtilmesi gereken bir başka nokta şudur: Kullanım suyu musluk debisi değeri yükseldikçe, nanoakışkan kullanımı ısı depolaması açısından üstünlüğünü yavaş yavaş yitirmektedir.

Karakteristik deneyler dikkate alındığında Çizelge 7.4'ten, gliserin kullanıldığı zaman en yüksek ısıl kayıpların oluştuğu görülmektedir. Ayrıca yine sadece kullanım suyu elde edilmesi sırasında, nanoakışkanın, kullanım suyu sıcaklıkları açısından suya göre az bir farkla da olsa daha üstün olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 7.5. Sadece depodan ısı çekilmesi sırasındaki karakteristik deneylerde, depolama ünitesi içindeki ortalama merkezi nokta sıcaklıkları

Isı Depolama Maddesi	Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)	Akışkan Hızı (Kullanım Serpantini) (m/s)	Deney Süresi (dk)	Merkezi Nokta Ortalama Sıcaklığı (°C)
Su	1.2	0.00388	29	45.2
	1.5	0.00486	29	44.7
	1.8	0.00584	29	43.5
	2.1	0.00680	29	42.4
	2.4	0.00776	29	42.0
Nanoakışkan	1.2	0.00388	29	43.6
	1.5	0.00486	29	43.1
	1.8	0.00584	29	42.3
	2.1	0.00680	29	42.7
	2.4	0.00776	29	42.6
Gliserin	1.2	0.00388	29	52.0
	1.5	0.00486	29	51.5
	1.8	0.00584	29	50.7
	2.1	0.00680	29	50.2
	2.4	0.00776	29	49.6
Isı Transfer Yağı	1.2	0.00388	29	51.0
	1.5	0.00486	29	50.2
	1.8	0.00584	29	49.3
	2.1	0.00680	29	48.5
	2.4	0.00776	29	48.4

7.3. Depolama Ünitesine Isı Girişi Ve Kullanım Suyu ile Isı Çıkışı Olduğu Duruma Dair Çıkarımlar

Çizelge 7.6. Su için, depodan çekilen toplam ısılar (kW)

SU		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	49.965	59.725	69.619	81.050	90.006
	1.8	48.195	56.410	67.358	77.729	83.361
	2.1	42.737	51.727	59.596	70.695	79.840

Çizelge 7.6 ve Çizelge 7.7'de su ve nanoakışkan için bütün kullanım suyu musluk debileriyle bütün sirkülasyon pompası debilerinde, depodan çekilen toplam ısılar verilmiştir. Her iki çizelge de birlikte ele alındığında, karakteristik deneylerde, pompa debisi 1.5 l/dk iken; su ve nanoakışkan bu şart altında karşılaştırılacak olursa, nanoakışkan kullanımı depolama ünitesinden ısı çekilmesi açısından, suya göre bütün kullanım suyu musluk debilerinde avantajlı olmaktadır. Bununla birlikte; ilgili grafiklere göreyse, nanoakışkan suya göre yine ilgili karakteristik deneylerin sadece belirli bölümlerinde üstünlük kurmaktadır.

Hem depolama ünitesine ısı girişi hem de depolama ünitesinden ısı çıkışının olduğu karakteristik deneylerde, nanoakışkanın ısı iletim katsayısı suya göre sıcaklık düşüşüyle daha hızlı değişmektedir. Ancak özkütle söz konusu olduğunda bu durum su lehine tam tersi şekildedir. Yani suyun özkütlesi, sıcaklık düşüşüyle nanoakışkana göre daha hızlı artmaktadır.

Çizelge 7.7. Nanoakışkan için, depodan çekilen toplam ısılar (kW)

NANOAKIŞKAN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	53.775	62.139	76.130	83.580	93.361
	1.8	32.451	47.926	61.122	78.431	93.935
	2.1	36.906	53.445	59.171	65.846	81.733

Sirkülasyon pompa debi değeri sadece 1.5 l/dk olduğu zaman, gliserin 1.2 l/dk'lık ve 1.5 l/dk'lık kullanım suyu musluk debi değerlerinde diğer depolama maddelerine kıyasla, depodan çekilen ısılar kapsamında bir üstünlük sağlamıştır. Bu durum Çizelge 7.6, Çizelge 7.7, Çizelge 7.8 ve Çizelge 7.9 birlikte değerlendirildiğinde gözlemlenebilmektedir.

Ayrıca sirkülasyon pompası debi değerleri değişiminden en çok etkilenen depolama maddesi nanoakışkan olmuştur.

Çizelge 7.8. Gliserin için, depodan çekilen toplam ısılar (kW)

GLİSERİN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	54.591	55.468	57.894	59.084	61.163
	1.8	39.609	51.691	53.086	55.168	59.385
	2.1	47.703	48.861	50.979	52.302	55.541

Yine, depodan çekilen toplam ısılara ait çizelgeler birlikte değerlendirildiğinde; ısı transfer yağı için tek bir istisnai durum dışında, depodan çekilen toplam ısılar diğer depolama maddelerine göre hep en düşük değerlerde kalmıştır. O istisnai durum da; sirkülasyon pompası debi değerinin 1.8 l/dk ve kullanım suyu musluk debisi değerinin de 1.2 l/dk olduğu durumdur. Bu durum, sisteme termosifon aracılığıyla daha fazla ısı girişi olduğu için gerçekleşmiştir. Normal şartlar altındaysa nanoakışkan, su ve gliserin aracılığıyla depolama ünitesinden ısı çekişi ısı transfer yağına göre daha fazladır.

Çizelge 7.9. Isı transfer yağı için, depodan çekilen toplam ısılar (kW)

ISI TRANSFER YAĞI		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	32.520	34.885	36.380	37.194	38.048
	1.8	38.278	40.608	41.148	42.765	43.958
	2.1	33.584	36.196	38.286	39.474	41.172

Çizelge 7.10, Çizelge 7.11, Çizelge 7.12 ve Çizelge 7.13 birlikte ele alındığında her bir sirkülasyon pompası debisi ve bütün kullanım suyu musluk debilerine (2.4 l/dk, 2.1 l/dk, 1.8 l/dk, 1.5 l/dk ve 1.2 l/dk) bağlı olarak depolama ünitesinin yüzeylerinden çevreye olan toplam ısı kayıpları, özellikle ısı transfer yağı ve gliserinle yapılan deneylerde zaman açısından daha fazla olmuştur. Her ikisi için de durum şu şekildedir: Isı transfer yağı ve gliserin kullanımı sırasında, çevre sıcaklıklarının göreceli olarak daha düşük değerlerde olması çevreye olan ısı kayıplarının da daha fazla olmasına yol açmıştır.

Çizelge 7.10. Su için, toplam kayıp ısılar (kW)

SU		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	3.777	3.593	3.164	3.966	3.901
	1.8	4.413	3.836	4.058	3.993	3.519
	2.1	4.667	4.090	4.188	4.023	3.925

Çizelge 7.11. Nanoakışkan için, toplam kayıp ısılar (kW)

NANOAKIŞKAN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	5.317	4.706	4.602	4.263	3.945
	1.8	4.396	4.142	4.011	4.127	3.797
	2.1	4.430	3.961	3.675	3.779	3.923

Çizelge 7.12. Gliserin için, toplam kayıp ısılar (kW)

GLİSERİN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	6.776	6.620	7.102	6.343	6.407
	1.8	6.220	7.177	6.381	6.030	7.019
	2.1	6.479	5.717	5.781	6.062	6.570

Çizelge 7.13. Isı transfer yağı için, toplam kayıp ısılar (kW)

ISI TRANSFER YAĞI		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	6.954	6.711	6.680	6.894	6.111
	1.8	7.183	5.182	5.133	5.227	5.471
	2.1	5.066	4.505	4.634	4.941	4.841

Çizelge 7.14, Çizelge 7.15, çizelge 7.16 ve Çizelge 7.17'de depolama maddeleri için karakteristik deneylerdeki süreç boyunca elde edilen kullanım suyu çıkış sıcaklarının ortalamaları verilmiştir. İlgili çizelgeler bağlamında sirkülasyon pompası debi değeri hangi değerde olursa olsun, kullanım suyu çıkış sıcaklıkları açısından yapılan incelemede, nanoakışkanın suya göre bir üstünlüğü yoktur; ne var ki gerek nanoakışkan gerekse de su, ısı transfer yağı ve gliserinden kullanım suyu çıkış sıcaklıkları açısından çok daha üstündür. Çünkü her iki depolama maddesinin de ısı depolama kapasiteleri ısı transfer yağı ve gliserine göre daha yüksektir.

Pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu durumda; nanoakışkan suya göre kısmen bir üstünlüğe sahiptir ancak bu üstünlük, kullanım suyu çıkış sıcaklıkları açısından geçerlidir ve sadece belirli kullanım suyu musluk debilerinde deneyin ilk aşamalarındadır. Kullanım suyu çıkış sıcaklıklarının ortalaması açısından bu durum geçerliliğini yitirmektedir. Ne var ki; kullanım suyu çıkış sıcaklıklarının ortalama değerleri açısından sıralama şu şekilde gerçekleşmiştir: 1.5 l/dk'lık sirkülasyon pompası debi değerinde en üst sırada su yer alırken onu sırasıyla nanoakışkan, gliserin ve ısı transfer yağı takip etmiştir. Durum 1.8 l/dk'lık sirkülasyon pompası debi değerinde de aynıdır. Bununla birlikte; ısı transfer yağı 2.1 l/dk'lık sirkülasyon pompası debi değerinde 1.2 l'dk ve 1.5 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisi değerleri dışında gliserinden hep daha fazla kullanım suyu çıkış sıcaklığına sahip olmuştur.

Çizelge 7.14. Su için, ortalama kullanım suyu çıkış sıcaklıkları (°C)

SU		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	58.2	55.6	53.5	52.4	51.8
	1.8	58.1	57.0	54.6	53.5	52.0
	2.1	61.0	58.6	56.6	54.7	52.6

Çizelge 7.15. Nanoakışkan için, ortalama kullanım suyu çıkış sıcaklıkları (°C)

NANOAKIŞKAN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	56.2	54.1	52.6	51.0	49.9
	1.8	56.9	55.2	53.6	50.8	51.8
	2.1	57.2	55.6	54.3	53.2	52.0

Çizelge 7.16. Gliserin için, ortalama kullanım suyu çıkış sıcaklıkları (°C)

GLİSERİN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	42.5	37.4	33.2	30.9	28.6
	1.8	36.7	35.1	32.5	29.2	30.0
	2.1	37.3	35.5	32.2	29.9	29.1

Çizelge 7.17. Isı transfer yağı için, ortalama kullanım suyu çıkış sıcaklıkları (°C)

ISI TRANSFER YAĞI		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	32.6	31.1	29.3	27.5	27.1
	1.8	32.2	31.6	30.8	28.1	26.9
	2.1	37.3	34.7	32.8	32.6	31.2

Çizelge 7.18 ve takip eden diğer üç çizelgede, depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklıkların ortalama değerleri verilmiştir. İlgili çizelgelere göre; sirkülasyon pompası debi değeri hangi değere sahip olursa olsun, depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklıklar ısı transfer yağında en düşük seviyede kalmıştır. Bu durum; deneylere başlamadan hemen önce ısı transfer yağı aracılığıyla depolanan ısının, depolama ünitesinin en alt noktasına; ısı transfer yağının düşük ısıl iletim katsayısı ve yayınımı sebebiyle tam olarak aktarılamamasından kaynaklanmıştır. Bunun yanı sıra; nanoakışkanın görece yüksek sıcaklıklarda daha yüksek doğal taşınım etkisinde kalması da nanoakışkanın bütün sirkülasyon pompası debi değerlerinde, daha düşük değerdeki depolama ünitesi en alt nokta sıcaklıklarına sahip olmasına neden olmuştur.

Çizelge 7.18. Su için, depolama ünitesinin en alt noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C)

SU		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	32.6	31.5	31.3	31.1	32.1
	1.8	31.5	31.4	32.9	33.2	32.2
	2.1	32.4	31.3	30.8	31.3	32.1

Çizelge 7.19. Nanoakışkan için, depolama ünitesinin en alt noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C)

NANOAKIŞKAN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	31.5	31.0	30.9	31.1	31.2
	1.8	31.3	30.9	30.4	30.5	30.2
	2.1	31.3	30.5	31.2	31.3	30.9

Çizelge 7.20. Gliserin için, depolama ünitesinin en alt noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C)

GLİSERİN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	30.1	31.0	31.6	30.2	30.7
	1.8	31.7	32.2	30.4	29.5	32.0
	2.1	31.9	31.9	30.3	31.1	30.1

Çizelge 7. 21. Isı transfer yağı için, depolama ünitesinin en alt noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C)

ISI TRANSFER YAĞI		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	28.1	28.1	27.1	27.6	28.4
	1.8	28.8	28.9	28.0	27.9	29.0
	2.1	30.0	29.5	29.4	29.2	29.6

Çizelge 7.21'den anlaşılmaktadır ki; depolama ünitesinin en alt noktasındaki sıcaklıkların dağılımı, ısı transfer yağı açısından ele alınacak olursa; her üç pompa debisi arasında da bir uyum vardır.

Çizelge 7.22. Su için, merkezi sıcaklıklardaki düşüş (°C)

SU		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	22.1	22.2	20.5	22.2	22.1
	1.8	14.8	17.1	19.6	20.8	21.9
	2.1	14.4	16.8	18.2	20	22.4

Çizelge 7.23. Nanoakışkan için, merkezi sıcaklıklardaki düşüş (°C)

NANOAKIŞKAN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	19.0	22.4	22.6	23.1	25.4
	1.8	21.5	21.0	22.8	24.9	24.0
	2.1	18.4	19.8	20.6	22.8	23.1

Çizelge 7.22, Çizelge 7.23, Çizelge 7.24 ve Çizelge 7.25'te depolama ünitesi merkezi sıcaklıklarındaki düşüş miktarları gösterilmiştir. Bu bağlamda, ilgili bütün sirkülasyon pompası debi değerleriyle kullanım suyu musluk debisi değerlerinde, depolama ünitesinin merkezinde sıcaklık açısından en az düşüş gliserin kullanıldığı zaman meydana gelmiştir. Aynı açıdan onu ısı transfer yağı takip etmektedir. Buradan hareketle, pompa debisinin merkezi sıcaklık düşümünde belirleyici bir unsur olmadığı sonucu çıkartılabilir.

1.5 l/dk'lık pompa debisinde, depolama ünitesi merkezi sıcaklıklarının kullanım suyu musluk debisiyle değişimine göre, bütün kullanım suyu debileri için, depolama ünitesinin merkezi sıcaklığında ortalama olarak en çok azalma su ve nanoakışkan kullanıldığı zaman meydana gelmiştir.

Çizelge 7.24 Gliserin için, merkezi sıcaklıklardaki düşüş (°C)

GLİSERİN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	9.6	11.0	14.1	14.0	14.6
	1.8	11.8	13.1	13.1	14.4	14.4
	2.1	11.1	13.6	13.0	13.8	13.5

Çizelge 7.25. Isı transfer yağı için, merkezi sıcaklıklardaki düşüş (°C)

ISI TRANSFER YAĞI		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	15.6	17.0	17.3	18.1	19.1
	1.8	16.7	16.9	18.0	18.6	19.1
	2.1	14.7	15.1	16.4	16.9	18.2

Bütün kullanım suyu musluk debileriyle yine bütün sirkülasyon pompası debi değerlerinde depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklıklar açısından bir değerlendirme de yapılmıştır. Bu değerlendirmeler, Çizelge 7.26, Çizelge 7.27, Çizelge 7.28 ve Çizelge 7.29 aracılığıyla yapılabilmiştir. Ayrıca ilgili çizelgeler dışında, ilgili grafiklerden de şu sonuca ulaşılmıştır: Isı transfer yağının sıcaklığı, pompa debisi 1.5 l/dk olduğunda deneylerin başında önce azalmakta sonra da artmaktadır. Sıcaklık artışı sırasında termosifon aracılığıyla sisteme ısı girmiştir.

Çizelge 7.26, Çizelge 7.27, Çizelge 7.28 ve Çizelge 7.29 incelendiğinde görülmektedir ki; ortalama sıcaklık dağılımına göre, 1.5 l/dk'lık sirkülasyon pompası debi değerinde en düşük ortalama sıcaklıklar, nanoakışkan kullanımı sırasında gerçekleşmiştir.

2.1 l/dk'lık pompa debisinde, bütün kullanım suyu musluk debilerinde, özellikle sahip oldukları yüksek ısı iletim ve ısıl yayınım katsayısı nedeniyle depolama ünitesi

içindeki ortalama sıcaklık açısından ortalama sıcaklığı en çok azalan depolama maddeleri su ve nanoakışkan olmuştur: Ancak bu özellik nanoakışkanın depolama ünitesi içindeki ortalama sıcaklığının büyük oranda düşmesini tek başına açıklayamamaktadır. Nanoakışkan aracılığıyla depolama ünitesinden daha yüksek miktarda ısı çekilebilmesi ve termosifon giriş-çıkış sıcaklıkları arasındaki fark da ortalama sıcaklığın azalmasında etkendir.

Çizelge 7.26. Su için, depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklıklar (°C)

SU		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	50.0	49.1	48.1	48.1	47.8
	1.8	49.4	48.5	48.7	48.4	47.1
	2.1	50.2	48.7	48.6	48.0	47.8

Çizelge 7.27. Nanoakışkan için, depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklıklar (°C)

NANOAKIŞKAN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	47.1	45.7	45.5	46.6	45.5
	1.8	45.7	45.5	45.0	44.5	44.7
	2.1	47.0	45.7	45.9	45.6	45.5

Çizelge 7.28. Gliserin için, depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklıklar (°C)

GLİSERİN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	48.7	49.4	48.7	48.0	47.9
	1.8	49.6	49.2	47.8	47.2	48.8
	2.1	49.3	48.6	48.1	48.3	49.1

Çizelge 7.29. Isı transfer yağı için, depolama ünitesi içerisindeki ortalama sıcaklıklar (°C)

ISI TRANSFER YAĞI		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	47.1	46.4	46.6	46.4	46.0
	1.8	47.3	45.6	45.2	43.4	43.9
	2.1	47.8	46.9	46.5	46.7	46.6

Çizelge 7.30 ve takip eden diğer üç çizelgedeyse depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklıkların ortalama değerleri karakteristik deneylere göre verilmiştir. Buna göre; sirkülasyon pompası 1.5 l/dk olduğunda, bütün kullanım suyu debi değerleri açısından en düşük en üst nokta ortalama sıcaklık değerleri gliserin ve ısı transfer yağı kullanıldığında ortaya çıkmıştır. En yüksek en üst nokta ortalama sıcaklık değerlerineyse su kullanıldığı zaman ulaşılmıştır.

Çizelge 7.30. Su için, depolama ünitesinin en üst noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C)

SU		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	67.3	67.0	65.8	66.5	65.9
	1.8	65.6	64.8	65.7	65.3	63.5
	2.1	67.1	65.1	66.6	65.6	65.3

Sirkülasyon pompası debi değerinin 1.8 l/dk olduğu durumdaysa, depolama ünitesindeki depolama maddelerinin depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık dağılımlarına göre, ısı transfer yağı ve nanoakışkanın sıcaklıkları diğer iki depolama maddesine göre daha çok düşüme uğramıştır. Bu düşümün yüksek olmasının ardındaki birincil sebep; nanoakışkanın yüksek ısı depolama yeteneği ve yine yüksek ısıl yayınım katsayısıdır. İkincil sebepse; ısı transfer yağının karakteristik deneyinin uzun sürmesi

sonucu termosifondan depolama ünitesine olan ısı transferinin daha ciddi boyutlarda olmasıdır.

Üstteki paragrafa benzer şekilde sirkülasyon pompası debi değeri 2.1 l/dk iken, kullanım suyu musluk debisinden bağımsız olarak ısı transfer yağının ve nanoakışkanın depolama ünitesinin en üst noktasındaki ortalama sıcaklıkları diğer iki depolama maddesine göre daha çok düşmüştür. Ayrıca aynı pompa debisinde de nanoakışkanın yüksek ısı depolama yeteneği ve ısıl iletim ile ısıl yayınım katsayısı baskındır ve pompa debisinin 1.8 l/dk olduğu duruma benzer bir şekilde termosifon giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark yüksektir. Aradaki bu ciddi fark, depolama ünitesinin en üst noktasındaki sıcaklık düşümlerini nanoakışkan adına göreceli olarak oldukça düşürmüştür. Aynı sirkülasyon pompası debi değerinde (2.1 l/dk), ısı transfer yağının karakteristik deneyi göreceli olarak daha uzun sürdüğünden termosifondan depolama ünitesine olan ısı transferi, karakteristik deney sürecinde gittikçe daha düşük değerlere inmiştir. Bu durum, ısı transfer yağının depolama ünitesinin en üst noktadaki sıcaklığının ortalama açısından daha çok düşmesine yol açmıştır.

Çizelge 7.31. Nanoakışkan için, depolama ünitesinin en üst noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C)

NANOAKIŞKAN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	62.1	64.8	65.5	64.4	62.4
	1.8	59.3	59.3	59.7	60.2	60.8
	2.1	61.5	59.8	60.4	60.4	61.9

Çizelge 7.32. Gliserin için, depolama ünitesinin en üst noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C)

GLİSERİN		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	61.2	63.1	62.7	61.9	61.6
	1.8	63.3	63.0	60.7	60.6	62.7
	2.1	61.7	61.6	61.6	62.0	65.2

Çizelge 7.33. Isı transfer yağı için, depolama ünitesinin en üst noktasındaki ortalama sıcaklıklar (°C)

ISI TRANSFER YAĞI		Kullanım Suyu Musluk Debisi (l/dk)				
		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Pompa Debisi (l/dk)	1.5	63.3	62.6	64.3	64.0	62.2
	1.8	64.0	58.9	59.0	55.0	55.6
	2.1	62.8	60.8	60.3	61.5	61.4

Bunlar dışında, ilgili grafikler incelendiği zaman aynı pompa debisinde ısı transfer yağı açısından özel bir durum da ortaya çıkmıştır: Isı transfer yağının depolama ünitesi içerisindeki en üst nokta sıcaklığı sürekli bir dalgalanma eğilimi göstermiştir çünkü karakteristik deney süresince ısı transfer yağına aktarılan ısı hiçbir şekilde kararlı olamamıştır.

Bu tez çalışmasında; literatürde fazlasıyla var olan ve faz değiştiren maddeler aracılığıyla termal enerji depolama konusunu içeren çalışmaların dışında, depolama ünitesi içinde durağan bulunan farklı depolama maddelerinin ısı depolayabilirliği detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular ve ortaya konan sonuçlar ışığında tez çalışmasının ileride yapılacak çalışmalar için yol gösterici nitelikte olduğu düşünülmektedir. Öyle ki; bu tez çalışmasının, son yıllarda önemi giderek artan hibrit

nanoakışkanlarla uygun bir şekilde sentezlenerek, ortaya yeni bir çalışma konulması, bu alanda çalışacak çalışmacılara kuvvetle önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Adlı, D. (2013). Nanoakışkanların Isı Transferine Etkisi. (Yayımlanmamış doktora tezi). Trakya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Al-Mdallal, Q., Ganesh, N. V., Al Fahel, S., Dadoa, S. (2019). Riga-plate flow of ɣ Al_2O_3-water/ethylene glycol with effective Prandtl number impacts. *Heliyon, 5,* 1-7. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01651

Bauer, T., Steinmann, W. D., Laing, D., Tamme R. (2012). Thermal Energy Storage Materials and Systems. *Annual Reivew of Heat Transfer* (Vol.15, pp 131-177). doi: 10.1615/AnnualRevHeatTransfer.2012004651

Belhadj, A., Bouchenafa, R., Rachid, S. (2018). Numerical investigation of forced convection of nanofluid in microchannels heat sinks. *Journal of Thermal Engineering* 4(5), 2263-2273. doi: 10.18186/thermal.438480

Burheim, O. S. (2018). *Engineering Energy Storage*. erişim https://www.sciencedirect.com/book/9780128141007/engineering-energy-storage

Cardenas, B. & Leon, N. (2013). High temperature latent heat thermal energy storage: Phase change materials, design considerations and performance enhancement techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27,* 724-737. doi: 10.1016/j.rser.2013.07.028

Choi S. U. S. & Eastman J. A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. https://www.researchgate.net/publication/236353373_Enhancing_thermal_conductivity_of_fluids_with_nanoparticles?enrichId=rgreq-48d440e92b3bdb4845576aad9af1f70a-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIzNjM1MzM3MztBUzoxMDMyODYzMDQ2NzM4MDZAMTQwMTYzNjc4MjUxMQ%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf

Çengel, Y. A. & Boles, M. A. (2014). *Thermodynamics – An Engineering Approach* (8. Baskı). Mc-Graw Hill.

Çengel, Y. A. & Cimbala J. M. (2006). *Fluid Mechanics – Fundamentals and Applications* (1. Baskı). Mc-Graw Hill.

Deshmukh, H. S. & Thombre, S. B. (2017). Solar distillation with single basin solar still using sensible heat storage materials. *Desalination, 410,* 91-98. doi: 10.1016/j.desal.2017.01.030

Dinçer, İ. & Rosen, M. A. (2011). *Thermal Energy Storage Systems and Applications* (2. Baskı). Wiley

Fang, G., Alva, G., Lin, Y. (2018). An overview of thermal energy storage systems. *Energy, 144,* 341-378. doi: 10.1016/j.energy.2017.12.037

Gemici, Z. (2008). *Termal Enerji Depolama Sistemlerinde Kullanılan ve Faz Değişimi Yapan Kapsüllerde Isı Transferinin İncelenmesi* (Yayımlanmamış doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=NtBAevXNhYaNqJFoAcdBdgz2SxAWLBQYAMjKu2TyjwlYR9somyTr4zQvMFR94uua

Gürtürk, M. (2011). *Depo Kısmında Faz Değiştiren Madde Bulunan Güneş Enerjili Su Isıtma Sisteminin Tasarımı ve Isıl Performansının İncelenmesi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Fırat Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=zD1B0cW7zVr3VcnZjitVXuRiB-2GBlEuUaH4HIYdbacU8RQqME12xEUGAPgs_S-I

https://lubricanthub.com/shell-thermia-oil-high-performance-heat-transfer-fluid/

Han, D., Zheng, M., Asif, F., Si, Z. (2020). Effect of Al_2O_3/water nanofluid on heat transfer of turbulent flow in the inner pipe of a double-pipe heat exchanger. *Heat and Mass Transfer, 56,* 1127-1140. doi: 10.1007/s00231-019-02774-z

Hussein, A. K., Walunj, A. A., Kolsi, L. (2016). Applications of Nanotechnology to Enhance the Performance of the Direct Absorption Solar Collectors. *Journal of Thermal Engineering*, 2(1), 529-540. doi: 10.18186/jte.46009

Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., Lavine, A. S. (2006). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6. Baskı). John Wiley & Sons.

Ito, H. (1959). Friction factors for turbulent flow in curved pipes. *ASME Journal of Basic Engineering*, 123-132. doi: 10.1115/1.4008391

Kakaç, S. (1987). *Örneklerle Isı Transferi* (7. Baskı). Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

Kakaç, S., Güvenç Yazıcıoğlu, A., Elçioğlu, E. B., (2014). Nanoakışkanın Viskozitesinin Karşılaştırılmalı Değerlendirilmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi 34 (1),* 137-151. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/400524

Kozak, M., Kozak, Ş. (2012). Enerji Depolama Yöntemleri. *SDU International Technologic Science,* 4(2), 17-29. https://dergipark.org.tr/tr/pub/utbd/issue/25984/273706

Kalaiarasi, G., Velraj, R., Vanjeswaran, M. N., Ganesh Pandian, N. (2020). Experimental analysis and comprasion of flat plate solar air heater with and without integrated sensible heat storage. *Renewable Energy, 150,* 255-265.
doi: 10.1016/j.renene.2019.12.116

Khair, M. B. & Duwairi, H. M. (2021). Solar energy storage in evacuated tubes solar collector using nanofluid embedded in saturated porous media in the fullu developed region: Al_2O_3 nanofluid embedded in graphite as a saturated porous media. *AIMS Energy, 9(4),* 854-881.
doi: 10.3934/energy.2021040

Lebedev, V., & Amer A. E. (2018). Thermal Energy Storage by Using Latent Heat Storage Materials. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 9(5), 1442-1447.

Li, P. W. & Chan, C. L. (2017). *Thermal Energy Storage Analyses and Designs https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=8kXUDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=li+chan+2017+thermochemical&ots=CQBtH6mVUq&sig=-27bj3-IqMto9_vcgKU8OnVWFQc&redir_esc=y#v=onepage&q=li%20chan%202017%20thermochemical&f=false*

Lotfi, M., Heyd, R., Bakak, A., Hadaoui, A., Koumina, A. (2021). Experimental measurements on the thermal conductivity of glycerol-based nanofluids with different thermal contrasts. *Journal of Nanomaterials,* 1-9.
doi: 10.1155/2021/3190877

Mawire, A., Phori, A., Taole, S. (2014). Performance comparison of thermal energy storage oils for solar cookers during charging. *Applied Thermal Engineering, 73,* 1323-1331.
doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.08.032

Mawire, A., Lugolole, R., Lentswe, K. A., Okello, D., Nyeinga, K. (2018). Thermal performance comparison of three sensible heat thermal energy storage systems during charging cycles. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 30,* 37-51.
doi: 10.1016/j.seta.2018.09.002

Meister, C. & Beausoleil-Morrison I. (2021). Experimental and modelled performance of a building-scale solar thermal system with seasonal storage water tank. *Solar Energy, 222,* 145-159.
doi: 10.1016/j.solener.2021.05.025

Meng, X., Gao, Y., He, F., Xu, T., Zhang, M., Yan, L., Gao W. (2020). Thermal performance analysis of sensible and latent heat thermal enery storage tanks: A contrastive experiment. *Journal of Building Engineering, 32,* 1-10.
doi: 10.1016/j.jobe.2020.101713

Mitra, S. (2015). A technical report on design of hot oil system.
doi: 10.13140/RG.2.1.4159.0882

Ndukwu, M. C., Onyenwigwe, D., Abam, F. I., Eke, A. B., Dirioha, C. (2020). Development of a low-cost wind-powered active solar dryer integrated with glycerol as thermal storage, *Renewable Energy, 154,* 553-568.
doi: 10.1016/j.renene.2020.03.016

Patel, P. & Kumar, R. (2016). Comparative Performance Evaluation of Modified Passive Solar Still Using Sensible Heat Storage Material and Increased Frontal Height. *Procedia Technology, 23,* 431-438.
doi: 10.1016/j.protcy.2016.03.047

Rogers, G. F. C. & Mayhew, Y. R. (1964). Heat transfer and pressure loss in helically coiled tubes with turbulent flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 7,* 1207-1216.
doi: 10.1016/0017-9310(64)90062-6

Sarkar, J., Ghosh, P., Adil, A. (2015). A review on hybrid nanofluids: Recent research, development and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43,* 164-177.
doi: 10.1016/j.rser.2014.11.023

Scheepers, M., Gamboa Palacios, S., Janssen, G., Moncada Botero, J.; van Stralen, J., Machado dos Santos, C. O., Uslu, A., West, K. (2022). Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050-Scenrio update and analysis of heat supply and chemical and fuel production from sustainable feedstocks. *TNO Report.*
https://www.researchgate.net/publication/360463899_Towards_a_sustainable_energy_system_for_the_Netherlands_in_2050_-Scenario_update_and_analysis_of_heat_supply_and_chemical_and_fuel_production_from_sustainable_feedstocks

Schuller, M., Shao, Q., Lalk, T. (2015). Experimental investigation of the specific heat of nitrate-alumina nanofluid for thermal energy storage systems. *International Journal of Thermal Sciences, 91,* 142-145.
doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2015.01.012

Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M. (2006). Nanoakışkanlar ile Isı Transferinin İyileştirilmesi. *Mühendis ve Makine 47(559)*, 29-34.

Turan, D., Yönetken A. (2016). Enerji Depolama Sistemlerinin Araştırılması ve Analizi. *AKÜ FEMÜBİD* (16), 113-121.

Ünverdi, M. (2016). *Nanoakışkanlı Levhalı Isı Değiştirici Kanallarında Isı Geçişinin Deneysel ve Sayısal İncelemesi* (Yayımlanmamış doktora tezi).
Sakarya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=DPTyuy3wRPq_qvCPSqUB697YlUKox2PYr02Efa5P3NuCDpy1YgZiFY4vkjGx5Fbd

Yılmaz, M. Ö. (2005). *Yeraltı Termal Enerji Depolamadan Kullanılan Farklı Dolgu Maddelerinin Termal Özelliklerinin Araştırılması* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=ThGBDgi_H4_JXegA59aBRg&no=8BKQmmBk6veUFnzL-kXg3w

Yılmazoğlu, M. Z. (2010). Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması. *Politeknik Dergisi* 13 (1), 33-42. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/385534

ÖZGEÇMİŞ

Evren Osma 1984 yılında Edirne'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Edirne'de tamamladı. 2003 yılında Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi'nde makine mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı ve aynı fakülteden 2007 yılında mezun oldu. 2008 yılında Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı ve 2011 yılında yüksek makine mühendisi ûnvanını aldı. 2012 Aralık-2013 Mayıs döneminde askerlik hizmetini yerine getirdi. 2014 yılından bu yana da Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda doktora eğitimine devam etmektedir.

EKLER

EK A. Suya Dair Deney Verileri

EK A.1 1. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Pompa Debi Değeri (L/dk)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
11.30	2.1	26.6	26.8	26.6	25.1	24.5	24.7
11.40	2.1	26.6	71.6	34.9	45.3	27.7	24.9
11.50	2.1	26.6	69.3	41.3	55.5	35.0	24.9
12.00	2.1	26.6	59.7	45.5	57.0	41.7	24.9
12.10	2.1	26.7	56.6	47.3	56.3	44.9	25.0
12.20	2.1	26.7	54.6	49.6	55.4	46.3	25.0
12.30	2.1	26.7	56.5	51.3	55.6	47.9	25.0
12.40	2.1	26.7	58.5	53.9	56.6	48.8	25.2
12.50	2.1	26.7	59.8	55.2	57.7	49.6	25.3
13.00	2.1	26.7	61.3	56.5	59.1	50.7	25.6
13.10	2.1	26.7	62.6	57.6	60.3	51.8	25.8
13.20	2.1	26.8	64.1	59.0	61.8	52.7	26.2
13.30	2.1	26.8	65.0	60.2	63.0	53.8	26.6
13.40	2.1	26.9	66.4	61.4	64.3	54.9	27.0
13.50	2.1	27.0	67.5	62.6	65.5	56.0	27.4
14.00	2.1	27.0	68.7	63.7	66.6	56.9	27.7
14.10	2.1	27.0	69.8	64.9	67.9	58.0	28.2
14.20	2.1	27.0	70.9	66.0	69.1	59.1	28.7
14.30	2.1	27.1	71.7	66.5	70.0	60.0	29.2

EK A.2 2. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Debi Değeri (L/d)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
10.10	1.8	26.8	27.1	26.4	25.5	23.5	25.6
10.20	1.8	26.9	69.9	34.3	44.3	28.3	25.7
10.30	1.8	27.0	69.4	39.8	52.8	34.8	25.7
10.40	1.8	27.0	65.7	45.0	55.7	40.8	25.7
10.50	1.8	27.0	58.1	49.9	56.5	45.2	25.9
11.00	1.8	27.0	55.1	51.3	55.7	47.5	25.9
11.10	1.8	27.1	56.8	52.6	55.8	49.0	26.0
11.20	1.8	27.1	58.6	54.0	56.5	50.0	26.1
11.30	1.8	27.2	60.4	55.2	57.4	50.8	26.2
11.40	1.8	27.2	61.9	56.3	58.3	51.6	26.2
11.50	1.8	27.1	63.2	57.4	59.7	52.6	26.5
12.00	1.8	27.2	64.7	58.8	60.8	53.6	26.7
12.10	1.8	27.2	65.8	60.0	62.1	54.7	26.9
12.20	1.8	27.2	67.0	61.2	63.8	55.7	27.3
12.30	1.8	27.2	68.3	62.4	65.2	56.7	27.5
12.40	1.8	27.2	69.4	63.5	66.2	57.7	27.9
12.50	1.8	27.2	70.8	64.8	67.4	58.8	28.3
13.00	1.8	27.2	72.0	65.9	68.8	59.7	28.7
13.10	1.8	27.2	71.2	64.9	69.1	60.0	29.0

EK A.3 3. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Debi Değeri (L/d)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
10.50	1.5	26.9	27.1	26.8	24.9	22.6	24.6
11.00	1.5	27.1	69.7	33.0	41.6	26.5	24.6
11.10	1.5	27.2	69.9	39.1	51.4	33.9	24.7
11.20	1.5	27.2	68.4	44.2	55.6	38.5	24.7
11.30	1.5	27.2	64.0	47.2	58.2	43.6	24.9
11.40	1.5	27.2	57.2	50.5	57.5	47.3	24.9
11.50	1.5	27.3	55.7	51.9	57.1	49.3	25.2
12.00	1.5	27.3	57.2	53.2	56.8	50.5	25.4
12.10	1.5	27.3	59.6	54.2	58.2	51.2	25.7
12.20	1.5	27.3	61.4	55.4	59.3	51.9	26.2
12.30	1.5	27.3	63.1	56.5	61.3	52.6	26.7
12.40	1.5	27.3	64.6	57.5	61.9	53.5	27.2
12.50	1.5	27.3	66.0	58.7	62.7	54.4	27.7
13.00	1.5	27.4	67.3	59.9	63.9	55.5	28.5
13.10	1.5	27.4	68.5	61.3	65.3	56.6	29.1
13.20	1.5	27.5	69.7	62.5	66.2	57.7	29.6
13.30	1.5	27.5	70.8	63.6	67.3	58.7	30.4
13.40	1.5	27.5	72.0	64.8	67.9	59.8	31.0
13.50	1.5	27.5	72.2	64.8	68.8	60.0	31.8

EK B. Gliserine Dair Deney Verileri

EK B.1. 24. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Debi Değeri (L/d)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
10.20	2.1	22.4	22.1	22.1	24.6	22.0	23.6
10.30	2.1	22.4	69.4	53.2	46.8	24.5	23.6
10.40	2.1	22.5	69.1	54.8	51.9	26.0	23.6
10.50	2.1	22.5	65.7	53.1	54.4	30.8	23.6
11.00	2.1	22.6	66.0	56.1	56.5	35.9	23.8
11.10	2.1	22.7	66.4	56.5	57.5	40.0	23.8
11.20	2.1	22.9	66.9	57.0	59.7	43.1	23.9
11.30	2.1	22.9	67.9	58.7	61.3	45.8	23.8
11.40	2.1	22.9	68.9	60.5	62.3	48.0	23.9
11.50	2.1	22.9	70.0	62.8	63.2	49.8	24.1
12.00	2.1	22.9	70.7	64.3	64.4	51.4	24.2
12.10	2.1	23.0	69.3	64.3	65.0	52.5	24.5
12.20	2.1	22.9	66.9	63.9	65.0	53.2	24.8
12.30	2.1	23.0	68.8	66.3	66.0	54.1	24.8
12.40	2.1	23.1	69.7	67.4	66.4	54.8	25.0
12.50	2.1	23.1	68.4	66.4	66.9	55.3	25.7
13.00	2.1	23.1	66.5	65.0	66.2	55.6	26.1
13.10	2.1	23.1	67.6	66.4	66.7	55.7	26.2
13.20	2.1	23.2	69.8	68.4	66.5	56.1	26.4
13.30	2.1	23.3	69.3	68.0	67.4	56.4	27.0
13.40	2.1	23.3	66.5	65.1	66.7	56.5	27.6
13.50	2.1	23.3	66.3	65.7	66.4	56.4	28.0
14.00	2.1	23.4	69.0	67.3	66.6	56.6	28.0
14.10	2.1	23.5	69.8	67.8	67.7	56.7	28.6
14.20	2.1	23.5	68.0	66.9	67.2	56.8	29.1
14.30	2.1	23.5	66.2	64.5	66.7	56.8	29.8
14.40	2.1	23.5	67.2	65.9	66.8	56.8	29.8
14.50	2.1	23.4	69.6	68.6	66.7	57.0	30.0
15.00	2.1	23.4	69.2	68.2	67.9	57.1	30.7
15.10	2.1	23.4	66.7	65.6	67.0	57.1	31.2
15.20	2.1	23.4	66.2	65.2	66.6	57.0	31.5
15.30	2.1	23.4	67.9	66.8	67.1	57.0	31.7

EK B.2. 25. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Pompa Debi Değeri (L/dk)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
10.20	2.1	22.4	22.1	22.1	24.6	23.0	23.6
10.30	2.1	22.4	69.4	53.2	46.8	24.5	23.6
10.40	2.1	22.5	69.1	54.8	51.9	26.0	23.6
10.50	2.1	22.5	65.7	53.1	54.4	30.8	23.6
11.00	2.1	22.6	66.0	56.1	56.5	35.9	23.8
11.10	2.1	22.7	66.4	56.5	57.5	40.0	23.8
11.20	2.1	22.9	66.9	57.0	59.7	43.1	23.9
11.30	2.1	22.9	67.9	58.7	61.3	45.8	23.8
11.40	2.1	22.9	68.9	60.5	62.3	48.0	23.9
11.50	2.1	22.9	70.0	62.8	63.2	49.8	24.1
12.00	2.1	22.9	70.7	64.3	64.4	51.4	24.2
12.10	2.1	23.0	69.3	64.3	65.0	52.5	24.5
12.20	2.1	22.9	66.9	63.9	65.0	53.2	24.8
12.30	2.1	23.0	68.8	66.3	66.0	54.1	24.8
12.40	2.1	23.1	69.7	67.4	66.4	54.8	25.0
12.50	2.1	23.1	68.4	66.4	66.9	55.3	25.7
13.00	2.1	23.1	66.5	65.0	66.2	55.6	26.1
13.10	2.1	23.1	67.6	66.4	66.7	55.7	26.2
13.20	2.1	23.2	69.8	68.4	66.5	56.1	26.4
13.30	2.1	23.3	69.3	68.0	67.4	56.4	27.0
13.40	2.1	23.3	66.5	65.1	66.7	56.5	27.6
13.50	2.1	23.3	66.3	65.3	66.4	56.4	28.0
14.00	2.1	23.4	69.0	67.3	66.6	56.6	28.0
14.10	2.1	23.5	69.8	67.8	67.7	56.7	28.6
14.20	2.1	23.5	68.0	66.9	66.2	56.8	29.1
14.30	2.1	23.5	66.2	64.5	66.7	56.8	29.8
14.40	2.1	23.5	67.2	65.9	66.8	56.8	29.8
14.50	2.1	23.4	69.6	68.6	66.7	57.0	30.0
15.00	2.1	23.4	69.2	68.2	67.9	57.1	30.7
15.10	2.1	23.4	66.7	65.6	67.0	57.1	31.2
15.20	2.1	23.4	66.2	65.2	66.6	57.0	31.5
15.30	2.1	23.4	67.9	66.8	67.1	57.0	31.7

EK B.3 26. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Debi Değeri (L/d)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
11.20	1.5	21.2	20.8	20.7	20.5	17.8	20.2
11.30	1.5	21.2	70.1	52.2	42.9	19.7	20.3
11.40	1.5	21.3	71.3	55.2	50.2	21.6	20.3
11.50	1.5	21.4	71.4	57.8	54.1	27.4	20.5
12.00	1.5	21.5	65.9	54.0	55.6	33.4	20.3
12.10	1.5	21.6	64.6	55.1	57.2	37.8	20.5
12.20	1.5	21.6	65.4	57.6	58.3	39.9	20.5
12.30	1.5	21.5	66.2	59.1	59.5	43.6	20.6
12.40	1.5	21.7	67.0	60.5	60.5	45.9	20.7
12.50	1.5	21.7	67.9	62.0	61.8	47.9	20.9
13.00	1.5	21.7	69.2	64.1	62.9	49.4	21.0
13.10	1.5	21.9	70.5	66.0	64.3	50.7	21.0
13.20	1.5	21.9	71.5	65.7	65.5	52.0	21.1
13.30	1.5	21.9	70.7	65.3	66.0	53.0	21.3
13.40	1.5	21.9	70.0	64.6	66.4	53.9	21.5
13.50	1.5	21.9	70.1	66.0	67.0	54.6	21.6
14.00	1.5	22.0	68.3	63.9	66.5	55.1	21.8
14.10	1.5	22.1	70.0	65.8	66.5	55.5	21.9
14.20	1.5	22.1	69.9	65.8	66.5	56.0	22.2
14.30	1.5	22.2	68.2	64.3	67.3	56.1	22.4
14.40	1.5	22.2	65.7	62.3	66.5	56.1	22.7
14.50	1.5	22.2	68.9	65.6	67.0	56.3	23.2
15.00	1.5	22.2	70.0	67.4	66.8	56.5	23.8
15.10	1.5	22.2	69.0	66.4	67.4	56.6	24.4
15.20	1.5	22.2	66.0	63.3	66.9	56.6	25.0
15.30	1.5	22.3	66.8	64.3	66.7	56.4	25.6
15.40	1.5	22.3	69.7	67.7	66.7	56.7	26.1
15.50	1.5	22.3	69.8	67.9	66.9	56.8	26.5
16.00	1.5	22.4	68.3	66.8	67.3	56.9	26.9
16.10	1.5	22.5	65.6	64.0	66.4	56.7	27.2
16.18	1.5	22.5	66.8	65.2	66.6	56.7	27.5

EK C. Nanoakışkana Dair Deney Verileri

EK C.1 47. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Debi Değeri (L/d)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
10.00	2.1	27.4	27.9	28.3	24.7	24.5	24.7
10.10	2.1	27.5	69.0	32.5	42.8	25.3	24.9
10.20	2.1	27.6	69.0	40.0	55.1	35.7	25.1
10.30	2.1	27.6	62.3	48.6	59.3	42.7	25.3
10.40	2.1	27.6	59.3	51.0	59.7	46.0	25.4
10.50	2.1	27.6	60.7	55.7	60.8	48.9	25.5
11.00	2.1	27.7	62.6	57.3	61.7	50.7	25.7
11.10	2.1	27.7	63.9	58.2	62.8	52.0	25.9
11.20	2.1	27.8	65.7	60.6	64.2	53.1	26.3
11.30	2.1	27.8	66.9	61.8	65.5	54.0	26.6
11.40	2.1	27.9	68.1	63.3	66.7	55.2	26.9
11.50	2.1	27.9	69.3	64.5	67.9	56.1	27.2
12.00	2.1	27.9	70.6	65.6	69.1	57.0	27.6
12.10	2.1	27.9	71.2	66.5	70.0	58.0	28.0
12.20	2.1	28.0	69.2	65.6	69.4	58.5	28.4
12.30	2.1	28.1	67.4	64.4	69.0	59.0	28.7
12.40	2.1	28.0	66.4	64.9	68.5	59.5	29.3
12.50	2.1	28.0	69.2	65.9	69.0	60.0	29.9

EK C.2 48. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Debi Değeri (L/d)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
10.30	1.8	27.4	27.7	27.8	29.1	26.5	28.8
10.40	1.8	27.4	69.1	38.5	47.8	30.3	28.9
10.50	1.8	27.4	69.5	44.7	57.1	36.9	30.1
11.00	1.8	27.5	65.2	49.3	61.0	43.1	30.3
11.10	1.8	27.5	56.9	51.3	60.1	47.1	30.5
11.20	1.8	27.6	57.6	53.0	59.1	49.3	30.7
11.30	1.8	27.6	59.4	55.0	59.2	50.8	30.9
11.40	1.8	27.6	61.4	56.6	60.3	51.9	31.2
11.50	1.8	27.6	62.9	57.7	61.3	52.8	31.4
12.00	1.8	27.6	64.4	59.0	62.6	53.7	31.7
12.10	1.8	27.7	65.8	60.3	64.0	54.6	32.0
12.20	1.8	27.8	67.2	61.4	65.3	55.6	32.3
12.30	1.8	27.7	68.4	62.8	66.6	56.6	32.7
12.40	1.8	27.8	69.8	64.0	67.9	57.7	33.1
12.50	1.8	27.8	70.9	65.1	69.0	58.8	33.6
13.00	1.8	27.8	71.2	66.2	70.0	59.6	34.1
13.10	1.8	27.9	67.8	63.9	69.6	60.0	34.6

EK C.3 49. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Debi Değeri (L/d)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
10.40	1.5	27.1	27.2	27.2	27.5	25.1	27.6
10.50	1.5	27.1	70.3	37.1	47.3	28.5	27.8
11.00	1.5	27.2	70.6	43.3	57.1	34.9	27.9
11.10	1.5	27.3	67.8	47.0	61.7	41.3	30.1
11.20	1.5	27.3	57.9	51.6	61.2	46.3	30.3
11.30	1.5	27.3	57.3	53.0	59.7	48.7	30.5
11.40	1.5	27.4	59.4	54.7	59.3	50.5	30.8
11.50	1.5	27.3	61.3	56.1	60.1	51.8	31.1
12.00	1.5	27.4	62.9	57.2	61.1	52.6	31.3
12.10	1.5	27.4	64.5	58.3	62.3	53.5	31.4
12.20	1.5	27.5	66.1	59.7	63.8	54.4	31.6
12.30	1.5	27.5	67.4	60.7	65.2	55.3	31.9
12.40	1.5	27.6	68.8	62.2	66.5	56.3	32.3
12.50	1.5	27.6	70.1	63.3	67.6	57.6	32.7
13.00	1.5	27.6	71.3	64.6	69.0	58.6	33.0
13.10	1.5	27.6	71.8	65.8	70.0	59.5	33.5
13.20	1.5	27.6	67.8	63.5	69.7	60.0	34.0

EK D. Isı Transfer Yağına Dair Deney Verileri

EK D.1 70. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Debi Değeri (L/dk)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
09.30	1.8	22.0	22.0	22.0	25.7	22.1	24.7
09.40	1.8	22.1	67.9	51.2	45.6	24.7	24.4
09.50	1.8	22.2	69.5	57.7	51.9	28.2	24.4
10.00	1.8	22.2	70.7	61.6	56.5	34.0	24.4
10.10	1.8	22.3	71.1	63.2	59.4	39.7	24.4
10.20	1.8	22.5	71.3	64.0	61.7	44.0	24.4
10.30	1.8	22.6	71.4	64.8	64.0	47.5	24.6
10.40	1.8	22.6	71.7	67.3	65.4	50.5	24.6
10.50	1.8	22.7	70.2	67.0	65.5	52.4	24.7
11.00	1.8	22.7	67.6	62.6	64.7	53.3	24.8
11.10	1.8	22.7	68.1	64.3	64.4	53.9	25.1
11.20	1.8	22.7	69.5	66.0	64.9	54.6	25.2
11.30	1.8	22.7	68.4	66.2	65.1	55.0	25.5
11.40	1.8	22.7	69.8	67.5	65.5	55.0	25.9
11.50	1.8	22.7	69.1	66.5	65.6	55.4	26.1
12.00	1.8	22.9	68.0	65.5	65.3	55.4	26.2
12.10	1.8	22.9	68.4	66.0	65.5	55.4	26.7
12.20	1.8	22.9	69.4	68.0	65.9	55.7	27.0
12.30	1.8	22.9	68.1	66.5	65.6	55.7	27.4
12.40	1.8	23.0	67.2	65.5	65.4	55.6	27.8
12.50	1.8	23.0	67.4	66.1	65.4	55.7	28.1
13.00	1.8	23.0	67.5	66.0	65.3	55.8	28.4
13.10	1.8	23.0	67.6	66.1	65.3	55.8	28.6
13.20	1.8	23.0	69.6	68.3	65.8	55.9	29.0
13.30	1.8	23.1	68.7	67.4	66.1	56.0	29.3
13.40	1.8	23.1	67.8	66.4	65.6	55.9	29.6
13.50	1.8	23.1	66.8	65.3	65.3	55.8	29.9
14.00	1.8	23.0	69.1	67.7	65.8	55.8	30.2
14.10	1.8	23.0	69.0	67.6	65.8	55.9	30.5
14.20	1.8	23.1	68.0	66.6	65.5	55.9	30.6
14.30	1.8	23.1	67.5	66.2	65.4	55.9	30.9
14.40	1.8	23.1	67.3	65.8	65.5	55.9	31.1
14.50	1.8	23.1	67.7	66.3	64.3	55.9	31.4

15.00	1.8	23.2	67.9	66.5	65.4	55.9	31.7
15.10	1.8	23.2	68.0	66.5	65.4	55.8	31.9
15.20	1.8	23.3	68.9	67.4	65.2	55.8	32.0
15.30	1.8	23.4	68.3	66.9	65.5	55.8	32.1
15.40	1.8	23.4	67.8	66.0	65.1	55.7	32.3
15.50	1.8	23.4	69.7	68.2	65.5	55.9	32.6
16.00	1.8	23.5	69.2	67.6	65.6	56.0	32.6
16.10	1.8	23.5	68.0	66.5	65.6	56.0	32.8
16.20	1.8	23.5	69.5	68.0	66.0	56.4	33.1
16.30	1.8	23.4	69.3	67.8	65.7	56.7	33.1
16.40	1.8	23.4	69.2	67.8	65.2	56.8	33.2
16.50	1.8	23.5	69.0	67.5	65.0	56.9	33.3
17.00	1.8	23.5	69.4	67.8	65.1	56.8	33.5
17.10	1.8	23.5	69.5	68.0	65.3	56.8	33.6
17.20	1.8	23.4	69.7	68.2	65.7	56.8	33.7
17.30	1.8	23.4	69.6	68.1	65.4	56.7	33.7
17.40	1.8	23.4	69.5	67.9	65.3	56.8	33.8
17.50	1.8	23.3	69.0	67.1	65.6	56.7	33.9
18.00	1.8	23.2	68.2	66.2	66.0	56.7	34.0
18.10	1.8	23.3	68.0	66.6	65.7	56.6	34.1
18.20	1.8	23.3	67.8	66.4	65.5	56.6	34.3
18.30	1.8	23.3	68.1	66.6	65.7	56.6	34.4

EK D.2 71. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Debi Değeri (L/d)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
09.30	1.8	22.0	22.0	22.0	25.7	22.1	24.7
09.40	1.8	22.1	67.9	51.2	45.6	24.7	24.4
09.50	1.8	22.2	69.5	57.7	51.9	28.2	24.4
10.00	1.8	22.2	70.7	61.6	56.5	34.0	24.4
10.10	1.8	22.3	71.1	63.2	59.4	39.7	24.4
10.20	1.8	22.5	71.3	64.0	61.7	44.0	24.4
10.30	1.8	22.6	71.4	64.8	64.0	47.5	24.6
10.40	1.8	22.6	71.7	67.3	65.4	50.5	24.6
10.50	1.8	22.7	70.2	67.0	65.5	52.4	24.7
11.00	1.8	22.7	67.6	62.6	64.7	53.3	24.8
11.10	1.8	22.7	68.1	64.3	64.4	53.9	25.1
11.20	1.8	22.7	69.5	66.0	64.9	54.6	25.2
11.30	1.8	22.7	68.4	66.2	65.1	55.0	25.5
11.40	1.8	22.7	69.8	67.5	65.5	55.0	25.9
11.50	1.8	22.7	69.1	66.5	65.6	55.4	26.1
12.00	1.8	22.9	68.0	65.5	65.3	55.4	26.2
12.10	1.8	22.9	68.4	66.0	65.5	55.4	26.7
12.20	1.8	22.9	69.4	68.0	65.9	55.7	27.0
12.30	1.8	22.9	68.1	66.5	65.6	55.7	27.4
12.40	1.8	23.0	67.2	65.5	65.4	55.6	27.8
12.50	1.8	23.0	67.4	66.4	65.4	55.7	28.1
13.00	1.8	23.0	67.5	67.4	65.3	55.8	28.4
13.10	1.8	23.0	67.6	67.5	65.3	55.8	28.6
13.20	1.8	23.0	69.6	69.5	65.8	55.9	29.0
13.30	1.8	23.1	68.7	69.0	66.1	56.0	29.3
13.40	1.8	23.1	67.8	66.8	65.6	55.9	29.6
13.50	1.8	23.1	66.8	66.5	65.3	55.8	29.9
14.00	1.8	23.0	69.1	68.9	65.8	55.8	30.2
14.10	1.8	23.0	69.0	70.0	65.8	55.9	30.5
14.20	1.8	23.1	68.0	68.0	65.5	55.9	30.6
14.30	1.8	23.1	67.5	67.0	65.4	55.9	30.9
14.40	1.8	23.1	67.3	66.8	65.5	55.9	31.1
14.50	1.8	23.1	67.7	67.8	64.3	55.9	31.4

15.00	1.8	23.2	67.9	68.0	65.4	55.9	31.7
15.10	1.8	23.2	68.0	68.0	65.4	55.8	31.9
15.20	1.8	23.3	68.9	68.0	65.2	55.8	32.0
15.30	1.8	23.4	68.3	67.9	65.5	55.8	32.1
15.40	1.8	23.4	67.8	65.8	65.1	55.7	32.3
15.50	1.8	23.4	69.7	69.5	65.5	55.9	32.6
16.00	1.8	23.5	69.2	68.7	65.6	56.0	32.6
16.10	1.8	23.5	68.0	67.5	65.6	56.0	32.8
16.20	1.8	23.5	69.5	68.5	66.0	56.4	33.1
16.30	1.8	23.4	69.3	68.0	65.7	56.7	33.1
16.40	1.8	23.4	69.2	68.0	65.2	56.8	33.2
16.50	1.8	23.5	69.0	67.5	65.0	56.9	33.3
17.00	1.8	23.5	69.4	68.8	65.1	56.8	33.5
17.10	1.8	23.5	69.5	68.3	65.3	56.8	33.6
17.20	1.8	23.4	69.7	68.4	65.7	56.8	33.7
17.30	1.8	23.4	69.6	68.4	65.4	56.7	33.7
17.40	1.8	23.4	69.5	67.9	65.3	56.8	33.8
17.50	1.8	23.3	69.0	67.1	65.6	56.7	33.9
18.00	1.8	23.2	68.2	66.2	66.0	56.7	34.0
18.10	1.8	23.3	68.0	66.7	65.7	56.6	34.1
18.20	1.8	23.3	67.8	66.5	65.5	56.6	34.3
18.29	1.8	23.3	68.1	66.8	65.7	56.6	34.4

EK D.3 72. Deney Günü Verileri (Sadece Isı Girişi Var)

Deney Saatleri	Debi Değeri (L/d)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Termosifondan Çıkan Suyun Sıcaklığı (°C)	Termosifona Giren Suyun Sıcaklığı (°C)	Deponun En Üst Noktasındaki Sıcaklık (°C)	Deponun Merkezindeki Sıcaklık (°C)	Deponun Tabanındaki Sıcaklık (°C)
09.50	1.5	21.6	21.2	21.2	22.7	19.7	22.2
10.00	1.5	21.7	69.2	53.5	43.5	21.8	22.1
10.10	1.5	21.8	70.5	58.5	49.6	26.4	22.1
10.20	1.5	21.9	71.2	63.1	53.9	33.1	22.0
10.30	1.5	21.9	71.2	63.0	55.9	39.1	22.1
10.40	1.5	21.9	71.7	64.4	58.1	43.5	22.2
10.50	1.5	22.0	72.3	65.8	61.2	47.1	22.3
11.00	1.5	22.1	72.6	67.6	62.5	49.9	22.4
11.10	1.5	22.1	71.8	67.0	62.3	51.8	22.5
11.20	1.5	22.2	71.0	66.2	64.9	53.3	22.6
11.30	1.5	22.3	70.6	64.9	64.4	54.3	22.7
11.40	1.5	22.2	69.3	67.2	64.5	54.9	23.0
11.50	1.5	22.3	70.1	68.1	64.6	55.3	23.3
12.00	1.5	22.4	69.5	67.0	64.7	55.7	23.6
12.10	1.5	22.4	68.3	66.0	64.9	55.9	23.9
12.20	1.5	22.4	69.7	67.2	64.7	56.0	24.4
12.30	1.5	22.5	69.3	68.1	64.5	56.1	24.6
12.40	1.5	22.5	68.5	67.0	64.9	56.3	25.1
12.50	1.5	22.6	68.2	66.8	65.2	56.2	25.5
13.00	1.5	22.6	69.7	68.1	65.4	56.2	25.9
13.10	1.5	22.6	69.2	68.0	65.0	56.3	26.2
13.20	1.5	22.6	68.3	68.1	65.1	56.4	26.5
13.30	1.5	22.7	67.2	67.1	65.3	56.2	27.0
13.40	1.5	22.7	69.8	69.5	64.7	56.3	27.4
13.50	1.5	22.7	69.3	69.3	64.5	56.4	27.7
14.00	1.5	22.7	68.6	68.0	64.9	56.4	28.0
14.10	1.5	22.9	67.5	67.1	65.0	56.4	28.3
14.20	1.5	22.9	68.6	68.0	65.0	56.2	28.8
14.30	1.5	22.9	69.5	69.6	64.7	56.3	29.2
14.40	1.5	22.9	69.0	69.0	64.6	56.4	29.3
14.50	1.5	22.8	68.0	67.6	64.6	56.4	29.6
15.00	1.5	22.9	67.7	67.3	65.0	56.3	30.0
15.10	1.5	22.9	69.7	69.6	65.1	56.3	30.2

15.20	1.5	22.8	69.3	69.2	65.2	56.4	30.4
15.30	1.5	22.9	68.4	68.3	64.6	56.4	30.6
15.40	1.5	22.9	67.1	66.3	64.3	56.4	30.8
15.50	1.5	23.0	69.3	67.9	64.1	56.3	31.1
16.00	1.5	23.0	69.6	68.6	64.4	56.4	31.3
16.10	1.5	23.1	69.0	68.6	64.6	56.6	31.3
16.20	1.5	23.0	67.2	68.8	64.8	56.3	31.8
16.30	1.5	23.0	68.3	67.8	64.6	56.3	32.0
16.40	1.5	23.0	69.8	69.0	64.6	56.3	32.1
16.50	1.5	23.0	69.3	68.3	64.2	56.4	32.2
17.00	1.5	23.0	68.5	67.5	64.6	56.5	32.3
17.10	1.5	23.0	67.5	66.2	65.0	56.4	32.5
17.20	1.5	22.9	68.1	67.0	65.3	56.3	32.7
17.30	1.5	22.9	69.5	68.5	64.8	56.4	32.8
17.40	1.5	22.9	69.2	68.2	64.8	56.4	33.0
17.50	1.5	22.9	68.1	67.0	64.6	56.3	33.0
18.00	1.5	22.9	66.8	65.4	64.8	56.3	33.1
18.10	1.5	22.8	67.8	65.9	65.0	56.3	33.2
18.20	1.5	22.8	67.0	65.3	65.1	56.4	33.3
18.30	1.5	22.7	65.9	64.9	65.2	56.4	33.3
18.40	1.5	22.7	66.2	64.0	65.1	56.4	33.4
18.44	1.5	22.7	66.5	64.0	65.0	56.3	33.4