



T.C
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

SİLİNDİRİK SICAK SU DEPOLAMA TANKLARINDA FARKLI TİP
YALITIM MALZEMELERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ İLE ISIL
KATMANLAŞMANIN ARTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜMİT BAYRAKTAR

MAYIS

**SİLİNDİRİK SICAK SU DEPOLAMA TANKLARINDA FARKLI TİP
YALITIM MALZEMELERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ İLE ISIL
KATMANLAŞMANIN ARTIRILMASI**

Ümit BAYRAKTAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman

Doç. Dr. Burak KURŞUN

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2022

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ümit BAYRAKTAR

12.05.2022

SİLİNDİRİK SICAK SU DEPOLAMA TANKLARINDA FARKLI TİP YALITIM
MALZEMELERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ İLE ISIL KATMANLAŞMANIN
ARTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Ümit BAYRAKTAR

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2022

ÖZET

Günümüzde kullanılan enerji depolama sistemleri, elektrik enerjisinin ve ısı enerjisinin depolanması olarak iki temel kategoride incelenebilir. Enerji depolama sistemleri ile elektrik enerjisi ve ısı enerjisi, fazladan enerji üretiminin olduğu ya da enerji üretiminin daha az maliyetli olduğu koşullarda depolanmakta ve ihtiyaç duyulan zamanlarda tekrar kullanılmaktadır. Sıcak su depolama tankları ısı enerjisi depolama yöntemleri arasında önemli bir yere sahiptir. Sıcak su tanklarındaki ısı enerjiden daha verimli ve daha uzun süreli faydalanmak için tank içerisinde ısı katmanlaşmanın sağlanması yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. Isı katmanlaşma, soğuma ile birlikte oluşan sıcak ve soğuk su karışımının önlenmesi neticesinde oluşan bir yapıdır. Literatürde sıcak su tank tasarımının ve konumlandırılmasının ısı katmanlaşma üzerine etkilerinin incelendiği çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada ise literatür çalışmalarından farklı olarak yalıtım geometrisinin, tank boyutlarının ve farklı malzemelerden oluşan yalıtım katmanlarının ısı katmanlaşma üzerine etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında farklı tank en/boy oranları, yalıtım kademe oranları, yalıtım çeşitleri ve yalıtım kalınlıkları için sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Isı iletkenliği ve kullanılabilirliği dikkate alındığında, yalıtım malzemesi olarak cam yünü, poliüretan köpük ve arojel tercih edilmiştir. Sayısal analizler, tank içerisindeki sıcaklık dağılımı, akışkan hareketleri, termodinamiğin birinci ve ikinci yasası açısından değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları tank en/boy oranının düşürülmesi ve kademeli yalıtım geometrisi kullanımı ile ısı katmanlaşmanın arttığını ortaya koymuştur. Farklı yalıtım malzemesi kombinasyonları kullanılmış ve en yüksek ısı katmanlaşmanın cam yünü-arjel yalıtım çiftinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Tank içerisindeki en yüksek sıcaklık farkı, cam yünü-arjel kullanımı için 15.313 °C, yalnız cam yünü yalıtım kullanımı için ise 7.9 °C olarak elde edilmiştir. Ayrıca kullanılan tank geometrisi ve yalıtım katmanlarının uygulanabilirliğinin tespit edilebilmesi için enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Kademeli yalıtım ve farklı yalıtım birleşimleri kullanımı ile sıcak suyun enerji ve ekserji veriminde makul görülebilir bir seviyede düşüş meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, sıcak su tanklarında kademeli yalıtım geometrisi ve katmanlı yalıtım yapısı kullanımının pratikte uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Sayfa Adedi : 95
Anahtar Kelimeler : Isı enerjisi depolama, Isı katmanlaşma, Sıcak su tankı
Danışman : Doç. Dr. Burak KURŞUN

ENHANCEMENT OF THERMAL STRATIFICATION BY COMBINING DIFFERENT TYPES OF INSULATION MATERIALS IN CYLINDRICAL HOT WATER STORAGE TANKS

(M. Sc. Thesis)

Ümit BAYRAKTAR

AMASYA UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2022

ABSTRACT

The energy storage systems used today can be examined in two basic categories as the storage of electrical energy and thermal energy. With energy storage systems, electrical energy and thermal energy are stored in conditions where there is extra energy production or energy production is less costly and reused when needed. Hot water storage tanks have an important place among thermal energy storage methods. To benefit from the thermal energy in the hot water tanks more efficiently and for a longer time, providing thermal stratification in the tank is one of the commonly used methods. Thermal stratification is a structure formed as a result of preventing the mixture of hot and cold water that occurs with cooling. In the literature, there are many experimental and numerical studies examining the effects of hot water tank design and positioning on thermal stratification. In this study, unlike the literature studies, the effect of insulation geometry, tank dimensions, and insulation layers consisting of different materials on thermal stratification was investigated numerically. In this thesis, numerical analyzes were carried out for different tank aspect ratios, insulation step ratios, insulation types, and insulation thicknesses. Considering its thermal conductivity and usability, glass wool, polyurethane foam and aerogel were preferred as insulation materials. Numerical analyzes were evaluated in terms of temperature distribution in the tank, fluid movements, first and second laws of thermodynamics. The results of the analysis revealed that the thermal stratification increased with the reduction of the tank aspect ratio and the use of stepped insulation geometry. Different combinations of insulation materials were used and it was determined that the highest thermal stratification occurred in the glass wool-aerogel insulation pair. The highest temperature difference in the tank was obtained as 15.313 °C for the use of glass wool-aerogel and 7.9 °C for the use of glass wool insulation only. In addition, energy and exergy analyses were carried out to determine the feasibility of the used tank geometry and insulation layers. With the use of gradual insulation and different insulation combinations, a reasonable decrease occurred in the energy and exergy efficiency of hot water. These results showed that the use of stepped insulation geometry and layered insulation structure in hot water tanks is practically applicable.

PageNumber : 95

KeyWords : Thermal energy storage, Thermal stratification, Hot water tank

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Burak KURŞUN

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi tecrübe ve yardımlarını benden esirgemeyen, tezimi hayata geçirebilmem konusunda her türlü özveriyi gösteren danışman hocam sayın Doç. Dr. Burak KURŞUN' a, derslerini alarak kendimi şanslı hissettiren lisans ve yüksek lisans hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca emeklerini benden esirgemeyen, eğitim gördüğüm her aşamada benden desteklerini esirgemeyen tüm aile bireylerime tüm kalbimle ayrı ayrı teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Depolama.....	3
1.1.1. Mekanik sistemler	3
1.1.1.1. Pompa depolamalı hidroelektrik sistemler.....	3
1.1.1.2. Sıkıştırılmış hava depolamalı sistemler	4
1.1.2. Elektrokimyasal sistemler (Piller)	5
1.1.3. Isıl enerji depolama	5
1.1.4. Hidrojen depolama sistemleri.....	7
1.2. Isıl Katmanlaşma.....	9
2. LİTERATÜR TARAMASI	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM	19
3.1. Problemin Tanımlanması	19
3.2. Matematiksel Model.....	20
3.2.1. Boussinesq yaklaşımı	22
3.2.2. Başlangıç ve sınır şartları	22
3.3. Sayısal Yöntem	24
3.4. Isıl Enerji Depolama Sisteminin Birinci Yasa (Enerji) ve İkinci Yasa (Ekserji) Veriminin Hesaplanması	25
3.5. Parametrik Çalışma	26

	Sayfa
3.5.1. Yalıtım kademe oranı (L/H)	27
3.5.2. Yalıtım kalınlığı oranı (ha / hü)	28
3.5.3. En/Boy oranı (D/H)	29
3.5.4. Farklı yalıtım katmanları	32
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	33
4.1. Sayısal Sonuçların Doğrulanması	33
4.2. Yalıtım Kademe Oranı Değişimi (L/H) İçin Analiz Sonuçları	36
4.2.1. Cam yünü yalıtım kullanılması durumunda yalıtım kademe oranı değişimi için boyutsuz yükseklik değerlerine göre su sıcaklık dağılımı	36
4.2.1.1. Yalıtım kademe oranı değişimine göre 10 saatlik analiz sonucunda oluşan sıcaklık ve hız konturları	40
4.2.1.2. Yalıtım kademe oranı değişimine göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji ve ekserji verimleri.....	43
4.2.2. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yalıtım kullanılması durumunda yalıtım kademe oranı değişimi için boyutsuz yükseklik değerlerine göre su sıcaklık dağılımı	45
4.2.2.1. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimine göre 10 saatlik analiz sonucunda oluşan sıcaklık ve hız konturları	48
4.2.2.2. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yalıtım kademe oranı değişimine göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji ve ekserji verimleri.....	51
4.3. Yalıtım Kalınlığı Oranı (ha / hü) Değişimi İçin Analiz Sonuçları.....	53
4.3.1. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yalıtım kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için boyutsuz yükseklik değerlerine göre su sıcaklık dağılımı	53
4.3.2. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimine göre 10 saatlik analiz sonucunda oluşan sıcaklık ve hız konturları	56
4.3.3. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yalıtım kalınlık oranı değişimine göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji ve ekserji verimleri	58
4.4. Tankın En/Boy Oranı (D/H) Değişimi İçin Analiz Sonuçları.....	60

Sayfa

4.4.1. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yalıtım kullanılması durumunda takım en/boy (d/h) değişimi için boyutsuz yükseklik değerlerine göre su sıcaklık dağılımı	61
4.4.2. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yapıda en/boy oranı değişimine göre 10 saatlik analiz sonucunda oluşan sıcaklık ve hız konturları	69
4.4.3. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yapıda en/boy oranı değişimine göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji ve ekserji verimleri	76
4.5. Farklı Yalıtım Katmanları İçin Analiz Sonuçları.....	80
4.5.1. Yalıtım katmanı değişimi için boyutsuz yükseklik değerlerine göre su sıcaklık dağılımı	80
4.5.2. Farklı yalıtım için 10 saatlik analiz sonucu oluşan sıcaklık ve hız kontörleri	84
4.5.3. Farklı yalıtım katmanları için 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji ve ekserji verimleri	87
5. SONUÇLAR	89
KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Güneş enerjili su ısıtıcı kolektörlerinin 2018 sonu itibariyle toplam kapasitesi ve 2019 yılı sonunda eklenen kapasitesi	1
Şekil 1.2. Düşey mantolu sıcak su tankına sahip güneş enerji sisteminin şematik gösterimi (Leblebicioğlu, 2020).....	2
Şekil 1.3. Bir pompa depolamalı hidroelektrik sistemin çalışma prensibi (Aneke & Wang, 2016).....	4
Şekil 1.4. Sıkıştırılmış yeraltı hava depolamalı sisteminin çalışma prensibi (Amrouche, Rekioua, Rekioua, & Bacha, 2016)	5
Şekil 1.5. Küçük hava depolamalı sistemlerin çalışma prensibi (Guo, ve diğerleri, 2019).....	5
Şekil 1.6. Düşey mantolu sıcak sulu sistemlerin şematik olarak gösterimi	6
Şekil 1.7. Bir hidrojen depolama sisteminin çalışma prensibi.....	8
Şekil 1.8. Yalıtım geometrisi ve tank geometrisinin ısı katmanlaşmaya etkisi	10
Şekil 3.1. Su tankı geometrisi a) değişken yalıtım ve değişken yalıtım kalınlığı b) sabit yalıtım kalınlığı.....	19
Şekil 3.2. Kapalı kapta doğal taşınım	22
Şekil 3.3. Sayısal Çözümleme için kullanılan hücre yapısı ve hücre dağılımı	24
Şekil 3. 4. Sayısal çözümlemede kullanılan sabit kalınlıktaki yalıtım ve kademeli yalıtım için hücre yapısı	25
Şekil 3.5. Silindirik sıcak su tankı ve yalıtım geometrileri (yalnız cam yünü yalıtım) a) $L/H=0.3$, b) $L/H=0.5$, c) $L/H=0.7$ d) kademersiz	27
Şekil 3.6. Farklı yalıtım katmanları için silindirik sıcak su tankı ve yalıtım geometrileri a) $L/H=0.3$, b) $L/H=0.5$, c) $L/H=0.7$ d) kademersiz	28
Şekil 3.7. $D/H=0.5$ için silindirik sıcak su tankı ve yalıtım geometrileri a) cam yünü-aerojel katmanlı b) sabit kalınlıklı kademersiz	31
Şekil 3.8. Farklı yalıtım katmanları için kullanılan sıcak su tank geometrileri a) aerojel katmanlı kademeli yalıtım b) poliüretan katmanlı kademeli yalıtım c) cam yünü katmanlı kademeli yalıtım d) cam yünü sabit kalınlıklı yalıtım.....	32

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Sayısal çözümlemenin doğrulanabilmesi için hücre boyutu değişiminden bağımsızlık testi.....	34
Şekil 4.2. Sayısal çözümlerin doğrulanması için zaman adımı değişiminden bağımsızlık testi	34
Şekil 4.3. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.4. Farklı parametre değerleri için tank içerisindeki su hacminin 10 eşit parçaya bölünmesi ile ilgili örnekler	36
Şekil 4. 5. Yalıtım kademe oranı değişimi için 2 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $ha/hü=0.02$)	37
Şekil 4.6. Yalıtım kademe oranı değişimi için 4 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $ha/hü=0.02$)	38
Şekil 4.7. Yalıtım kademe oranı değişimi için 6 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $ha/hü=0.02$)	38
Şekil 4.8. Yalıtım kademe oranı değişimi için 8 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $ha/hü=0.02$)	39
Şekil 4.9. Yalıtım kademe oranı değişimi için 10 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $ha/hü=0.02$)	39
Şekil 4.10. Yalıtım kademe oranı değişimi ve sabit kalınlıklı yalıtım için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri.....	41
Şekil 4.11. Yalıtım kademe oranı değişimi ve sabit yalıtım kalınlığı için zamana bağlı ortalama hız grafiği.....	42
Şekil 4.12. Yalıtım kademe oranı değişimine göre tank içerisindeki en yüksek su sıcaklık farkları.....	43
Şekil 4.13. Yalıtım kademe oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri.....	44
Şekil 4.14. Yalıtım kademe oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda ekserji verimleri	45
Şekil 4.15. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi için 2 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $ha/hü=0.02$).....	46
Şekil 4.16. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi için 4 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $ha/hü=0.02$).....	46

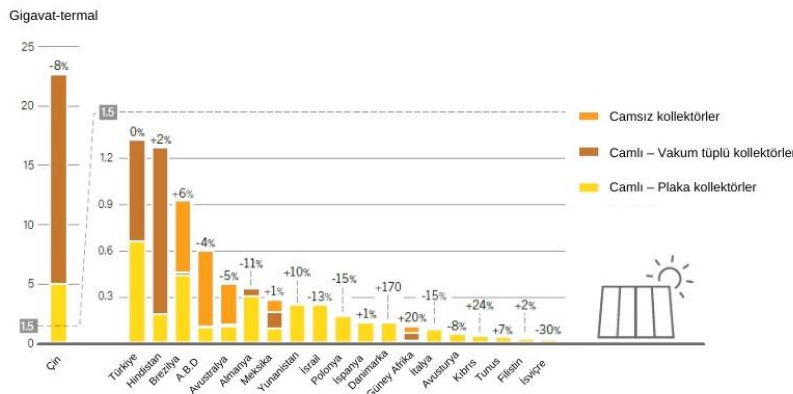
Şekil	Sayfa
Şekil 4.17. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi için 6 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı (D/H=0.5, ha/hü=0.02).....	47
Şekil 4.18. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi için 8 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı (D/H=0.5, ha/hü=0.02).....	47
Şekil 4.19. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi için 10 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı (D/H=0.5, ha/hü=0.02).....	48
Şekil 4.20. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi ve sabit kalınlıklı yalıtım için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri.....	49
Şekil 4.21. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi ve sabit yalıtım kalınlığı için zamana bağlı ortalama hız grafiği.....	50
Şekil 4.22. Cam yünü-aerojel katmanlı yalıtım kademe oranı değişimine göre tank içerisindeki en yüksek su sıcaklık farkları	51
Şekil 4.23. Cam yünü-aerojel katmanlı yalıtım kademe oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri.....	52
Şekil 4.24. Cam yünü-aerojel katmanlı yalıtım kademe oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda ekserji verimleri	52
Şekil 4.25. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için 2 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımları (D/H=0.5, L/H=0.5)	54
Şekil 4.26. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için 4 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımları (D/H=0.5, L/H=0.5)	54
Şekil 4.27. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için 6 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımları (D/H=0.5, L/H=0.5)	55
Şekil 4.28. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için 8 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımları (D/H=0.5, L/H=0.5)	55
Şekil 4.29. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için 10 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımları (D/H=0.5, L/H=0.5)	56

Şekil	Sayfa
Şekil 4.30. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi ve sabit kalınlıklı yalıtım için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri.....	57
Şekil 4.31. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi ve sabit yalıtım kalınlığı için zamana bağlı ortalama hız grafiği.....	58
Şekil 4.32. Cam yünü-aerojel katmanlı yalıtım kalınlık oranı değişimine göre tank içerisindeki en yüksek su sıcaklık farkları	58
Şekil 4.33. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri	59
Şekil 4.34. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlık oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri	60
Şekil 4.35. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranı değişimi için 2 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı (L/H=0.5, ha/hü=0.02)	63
Şekil 4.36. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranı değişimi için 4 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı (L/H=0.5, ha/hü=0.02)	64
Şekil 4.37. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranı değişimi için 6 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı (L/H=0.5, ha/hü=0.02)	66
Şekil 4.38. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranı değişimi için 8 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı (L/H=0.5, ha/hü=0.02)	67
Şekil 4.39. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranı değişimi için 10 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı (L/H=0.5, ha/hü=0.02)	69
Şekil 4.40. Cam yünü-aerojel katmanlı, kademeli ve sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda D/H=0.3 değerinde tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri.....	70
Şekil 4.41. Cam yünü-aerojel katmanlı, kademeli ve sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda D/H=0.5 değerinde tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri.....	71
Şekil 4.42. Cam yünü-aerojel katmanlı, kademeli ve sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda D/H=1 değerinde tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri.....	72

Şekil	Sayfa
Şekil 4.43. Cam yünü-aerojel katmanlı, kademeli ve sabit yalıtım geometrileri için zamana bağlı ortalama hız grafikleri.....	74
Şekil 4.44. Cam yünü-aerojel katmanlı yalıtım D/H oranı değişimine göre tank içerisindeki en yüksek su sıcaklık farkları	76
Şekil 4.45. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri.....	78
Şekil 4.46. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda ekserji verimleri	80
Şekil 4.47. Farklı yalıtım katmanları için 2 saatlik analiz sonucu boyutsuz yükseklikteki sıcaklık değeri ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$ ve $ha/hü=0.02$)	81
Şekil 4.48. Farklı yalıtım katmanları için 4 saatlik analiz sonucu boyutsuz yükseklikteki sıcaklık değeri ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$ ve $ha/hü=0.02$)	82
Şekil 4.49. Farklı yalıtım katmanları için 6 saatlik analiz sonucu boyutsuz yükseklikteki sıcaklık değeri ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$ ve $ha/hü=0.02$)	82
Şekil 4.50. Farklı yalıtım katmanları için 8 saatlik analiz sonucu boyutsuz yükseklikteki sıcaklık değeri ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$ ve $ha/hü=0.02$)	83
Şekil 4.51. Farklı yalıtım katmanları için 10 saatlik analiz sonucu boyutsuz yükseklikteki sıcaklık değeri ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$ ve $ha/hü=0.02$)	83
Şekil 4.52. Farklı yalıtım katmanları için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri a) cam yünü-aerojel, b) cam yünü-poliüretan, c) cam yünü, d) sabit kalınlıklı yalıtım, cam yünü	85
Şekil 4.53. Farklı yalıtım katmanları için zamana bağlı ortalama hız grafiği.....	86
Şekil 4.54. Farklı yalıtım katmanları için tank içerisindeki en yüksek su sıcaklık farkları	86
Şekil 4.55. Farklı yalıtım katmanları için 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri.....	88
Şekil 4.56. Farklı yalıtım katmanları için 10 saatlik soğuma periyodu sonunda ekserji verimleri	88

1. GİRİŞ

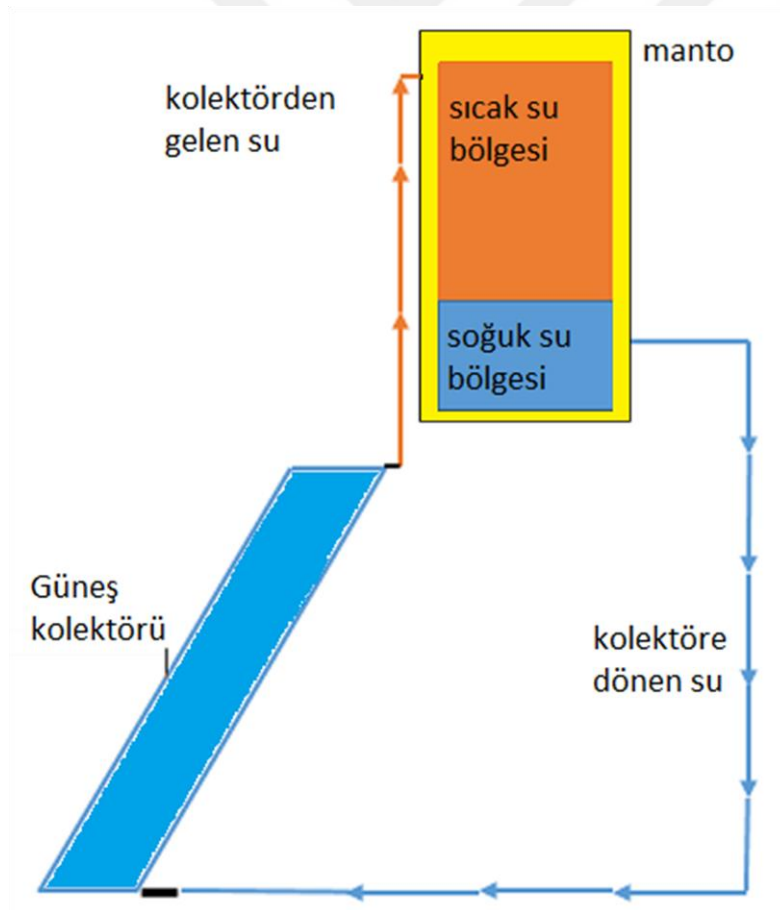
Enerji insanoğlunun varoluşundan günümüze kadar yiyecek, içecek ve barınma kadar önemli bir faktör olmuştur. Yakın geçmişe baktığımızda petrol ve doğalgaz için birçok savaşlar yapılmış milyonlarca insanın ölmesine ve medeniyetlerin yıkılmasına sebebiyet vermiştir. Yakın tarihten itibaren kullanımı artan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hem kaynak arama savaşını önlemiş hem de küresel ısınmanın zararlı etkilerinin azaltılması açısından büyük bir öneme sahip olmuştur. Bir ülkenin gelişmişlik seviyesini en iyi gösteren faktör enerji üretim ve tüketim faktörünün iyi derecede olmasıdır. Ülkeler için temiz enerji, maliyet açısından hem ekonomik hem de çevreye zarar vermeme açısından sosyal hayatın temel problemleri arasında yerini almaktadır. Nüfus artışından kaynaklanan daha fazla enerji ihtiyacı günümüzde petrol rezervlerinin azalmasına dayalı olarak artan petrol fiyatları araştırmacıları alternatif olarak sürekli yenilenebilir ve sürdürülebilirlik açısından daha iyi olması amacıyla yeni enerji kaynakları bulmaya yönlendirmiştir. Enerji; her bir enerjiyi sınıflandırdığımız zaman kendi türünde depolanabilmesi önemli bir faktördür. Fakat teorik olarak birçok iyi sonuçlar veren depolama teknikleri uygulanabilirlik açısından maliyet ve uzun dönemli performans açısından ısı enerjisi depolama, enerji depolama teknikleri arasında yaygın olarak en çok tercih edilmektedir. Yapılan araştırmalara göre Ülkemizde dünyadaki gelişime paralel olarak ilerlemeler olmuştur. Öyle ki hali hazırda ülkemiz güneş enerjili sıcak su sistemi uygulamalarında dünyanın ikinci kapasitesine ve pazarına sahip olduğu Şekil 1.1’de görülmektedir.



Şekil 1.1. Güneş enerjili su ısıtıcı kolektörlerinin 2018 sonu itibariyle toplam kapasitesi ve 2019 yılı sonunda eklenen kapasitesi

Şekil 1.1’de REN 21-2020 yenilenebilir enerji Küresel durum raporunda yenilenebilir enerji pazarı, kapasiteler, enerji talebi pazardaki gelişmeler, ekonomi gibi pek çok açıdan incelenmiştir. Kapasite artışındaki en iyi 20 ülke küresel artışın %94 lük kısmını oluşturmuştur. Güneş enerjili su ısıtıcısı kolektörü kurulumunda birincilik yüzde 73 ile yine Çin’in olurken, Türkiye bu ülkeler arasın da ikinci sırada yer almıştır. Ülkemizi sıralamada Hindistan, Brezilya, ABD, Avusturalya, Almanya, Meksika takip etmiştir.

Günümüzde alternatif enerji kaynaklarının artışı güneş enerjisi üzerindeki araştırmaların daha çok artmasına olanak sağlamıştır. Şekil 1.2’de güneş enerjisi uygulamaları arasında en çok tercih edilenlerden biri de sıcak su üretimi olmuştur. Sıcak suyun elde edilmesi ve kullanılması kolektörler vasıtasıyla ısıl depolama yapılmış ve gündüz ısınan su gecede kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 1.2. Düşey mantolu sıcak su tankına sahip güneş enerji sisteminin şematik gösterimi (Işık, 2015)

1.1. Enerji Depolama

İnsanoğlunun önceleri enerji ihtiyacı sadece ısınmak için harcanmaktaydı daha sonraları yiyeceklerin pişirilmesi için enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. Dünya geliştikçe insanoğlunun ihtiyaçları sınır tanımamış ve yeni arayışlar içine atılmıştır. Bu arayışlarla buharlı makinelerin icadı, kömür kullanımı artan enerji ihtiyacı sürekli alternatif bir enerji ihtiyacı doğurmuştur. Enerjiye ihtiyacın katlanması ile enerjinin depolanarak daha sonra kullanılması ihtiyacı kaçınılmaz olmuştur. Artan enerji tüketimine sürekli paralel olarak karbon salınımı eklenmekte ve küresel ısınmada gün geçtikçe artmaktadır. Buna çözüm olarak daha az karbon salınımı ve çevreye verilen zararların azaltılması adına yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji ihtiyacına gereksinim duyulmuştur. Ancak yenilenebilir enerji kullanımının bir problemi sürekli olarak aktif olmamalarıdır. Bu problemin çözümü de gün içerisinde veya enerjinin mümkün olduğu durumlarda ihtiyaç fazlasını depolamak ve gerektiği durumlarda ise kullanmaktır.

Enerji depolama sistemlerinde birçok yöntem mevcuttur bu yöntemler:

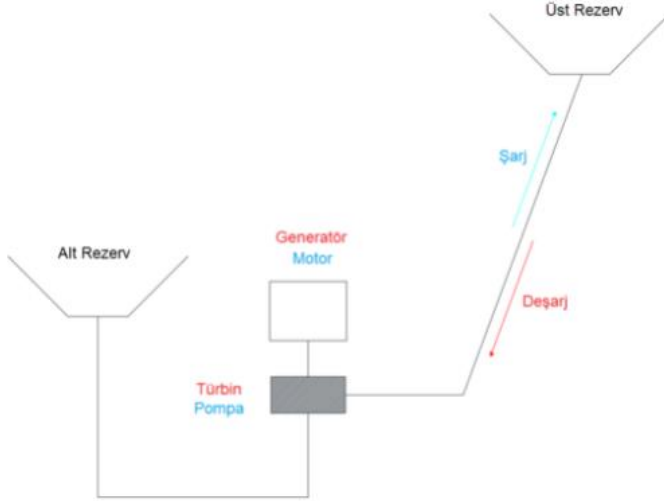
- 1) Mekanik Sistemler
- 2) Elektrokimyasal Sistemler (Piller)
- 3) Isıl Enerji Depolama
- 4) Hidrojen Depolama Sistemleri olarak dört ana başlıkta incelenebilir.

1.1.1. Mekanik sistemler

1.1.1.1. Pompa depolamalı hidroelektrik sistemler

Pompa depolamalı hidroelektrik sistemlerin çalışma prensibi, iki farklı yükseklikte bulunan su rezervlerinden suyun pompalanarak enerji üretimi prensibine dayanır (Jülch, 2016). Enerji ihtiyacının bulunmadığı durumlarda alt rezervdeki su üst rezerve pompa motorları ile depolanır (Şekil 1.3). Enerji talebinin artması durumunda ise üst rezervdeki su alt rezerve doğru hareket ettirilerek türbinler devreye alınır ve enerji üretimi meydana gelir. Pompa depolamalı hidroelektrik sistemler büyük bir kapasiteye ve düşük maliyete sahip

sistemlerdir. Enerji depolama kapasitesinin yaklaşık% 94'ünü oluşturan, dünya çapında en büyük kurulu kapasiteye sahip olgun depolama teknolojisidir. (Hu, Yang, Li, & Duan, 2021).



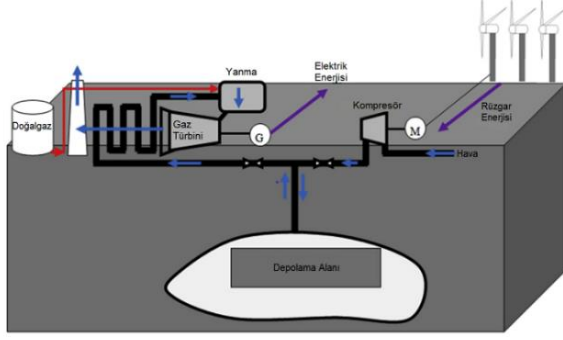
Şekil 1.3. Bir pompa depolamalı hidroelektrik sistemin çalışma prensibi (Aneke & Wang, 2016)

1.1.1.2. Sıkıştırılmış hava depolamalı sistemler

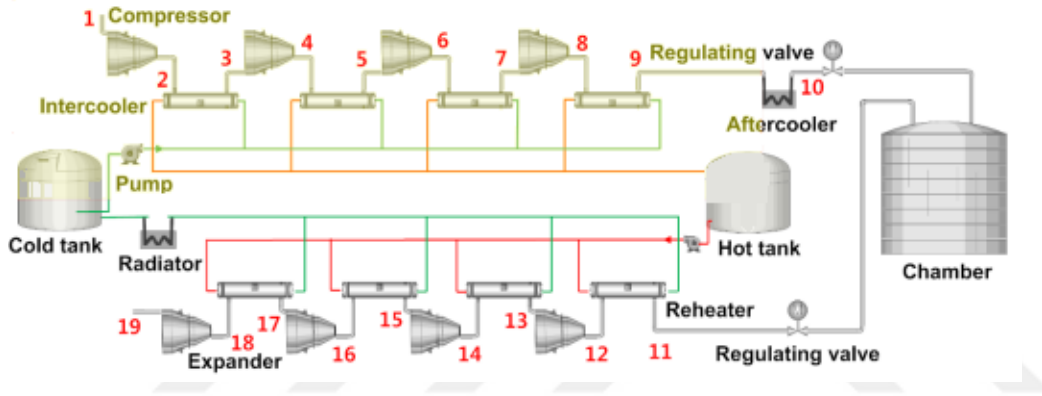
Sıkıştırılmış hava depolamalı sistemlerdeki temel amaç, havayı kompresörler vasıtasıyla sıkıştırıp depolamak ve sıkıştırılmış havayı ısıtıp gaz yanma türbininde enerji üretiminde kullanmaktır. Sıkıştırılmış hava depolamalı sistemler aynı zamanda yüksek basınçlı hava üretmek ve 300 MW' a kadar kapasiteye sahip yeraltı mağaralarında depolamak için elektrik tüketen büyük ölçekli bir enerji depolama teknolojisidir (Hu, Yang, Li, & Duan, 2021).

İki tip yöntemi mevcuttur:

- a) Büyük hava depolamalı sistemler için yeraltında depolanan sıkıştırılmış hava,
- b) Küçük hava depolamalı sistemler için depolar veya hava borularında depolanan sıkıştırılmış hava.



Şekil 1.4. Sıkıştırılmış yeraltı hava depolamalı sisteminin çalışma prensibi (Amrouche, Rekioua, Rekioua, & Bacha, 2016)



Şekil 1.5. Küçük hava depolamalı sistemlerin çalışma prensibi (Guo, ve diğerleri, 2019)

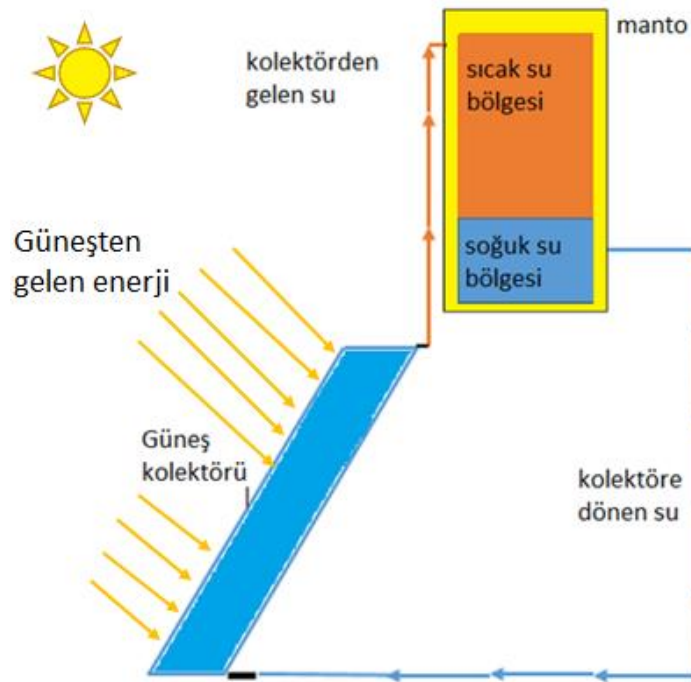
1.1.2. Elektrokimyasal sistemler (Piller)

Dünyada birçok pil teknolojisi mevcut olmakla birlikte toplam pil depolama kapasitesi de giderek artmaktadır. Pillerin maliyeti giderek azalmakta ve ileride yenilenebilir enerji sistemlerine yüksek katkıda bulunacağı öngörülmektedir. Piyasada lityum-iyon baterileri diğer vanadyum redox akış pillerinin daha fazla kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar ile vanadyum redox akış pillerinin maliyeti azaltılıp piyasada kullanılması beklenmektedir (Jülch, 2016).

1.1.3. Isıl enerji depolama

Isı enerji depolama ihtiyaç olmadığı durumlarda enerjinin fazlasını ya da enerjiyi direk depolayarak daha sonra kullanmak amacıyla geçici olarak depolama işlemine denir. Kendi

arasında ikiye ayrılır ilki duyulur ısı enerji depolama ikincisi ise gizli ısı enerjisi depolama yöntemidir (Eren & Köksal, 2019).Gizli ısı depolama işleminde maddenin katı halden sıvı hale geçmesi veya sıvı halden buhar haline geçmesi durumunda herhangi bir sıcaklık işleminin değişmediği durumlardır. Genellikle malzeme katı halden sıvı hale geçerken ısı enerji depolanır. Duyulur ısı depolamada ise maddenin sıcaklığı artırılarak ısı depolama şeklidir. Bir veya birden fazla olan maddenin sıcaklığı artırılarak ısı enerji depolama işlemi gerçekleşir ve ihtiyaç durumunda kullanıma hazır hale gelmiş olur. Güneş enerjili su sistemlerinde yaygın olarak kullanılan silindirik düşey mantolu su tanklarıdır. Bunların kullanılmasının neden daha kolay imal edilebilir olması ve daha büyük ısı transfer bölgesine sahip olmalarındandır (Kurtuluş, 2019). Termal depolama sistemlerinin seçimi depolama sıcaklık aralığı, özel uygulama alanları ve depolama ortamı gibi faktörlere bağlıdır (Ateşoğlu, 2018). Termal depolama genellikle düşük ve yüksek sıcaklık sistemleri olarak iki ana başlıkta sınıflandırılır. Düşük sıcaklıklı termal depolama sistemleri 200 °C'den düşük sıcaklık aralığında çalıştığı varsayılmaktadır. Bu türe ait depolama sistemleri çoğunlukla bina ısıtma ve soğutma uygulamalarında, güneş enerjili su tanklarında ve hava ısıtma sistemlerinde bulunur. Yüksek sıcaklıklı termal depolama sistemleri ise genellikle yenilenebilir enerji sistemlerinde ve atık ısıdan yararlanmak için kullanılır.



Şekil 1.6. Düşey mantolu sıcak sulu sistemlerin şematik olarak gösterimi

Isıl enerji depolama sistemlerini temel olarak üç gruba ayrılır:

- 1. Duyulur ısı enerji depolama:** Depolama maddenin sıcaklık değişimini esas alan bir enerji depolama sistemidir. Enerji; yükleme, depolama ve boşaltım fazları ile sistemden geçer. Enerji yükleme periyodunda depolama maddesinin sıcaklığı arttırılır ya da düşürülür. Daha sonra depolama malzemesi bir depolama birimi ya da tank içerisinde kullanılacağı zamana kadar bekletilir. Enerji boşaltma periyodunda ise enerji yükleme safhasındaki işlemin tersi gerçekleştirilerek depolanan enerji kullanılarak ihtiyaç karşılanır.
- 2. Gizli ısı enerji depolama:** Maddelerin faz değişimini esas alan ısı enerji depolama yöntemidir. Saf maddelerin faz değişimi sırasında gerekli olan ya da açığa çıkan enerjiye gizli enerji denir. Enerji yükleme periyodunda depolama malzemelerinin faz değiştirmesi sağlanır. Daha sonra faz değiştirilen depolama malzemesi bir depo ya da tank içerisinde bekletilmektedir. Son olarak enerji yükleme periyodundaki faz değişiminin tersi gerçekleştirilerek enerji ihtiyacı karşılanır. Bu sistemin avantajları arasında depolama hacminin ve yüzey alanının düşük olması sayılabilir. Yüzey alanının düşük olması sayesinde kayıp miktarı da düşmektedir. Bu özelliklerinden dolayı büyük kapasiteli sistemlerde gizli enerji depolama sistemleri tercih edilmektedir.
- 3. Kimyasal ısı enerji depolama:** Kimyasal tepkimelerin endotermik ve ekzotermik çevrimler ile çalışması esasına dayanmaktadır. Bir enerji kaynağından bir endotermik reaksiyonun aktivasyon enerjisi sağlanır. Kimyasal tepkime tamamlandığı zaman tepkime sonu ürünleri bir depolama ortamında tutulur. Enerjinin ihtiyaç olduğu zaman enerji yükleme periyodundaki tepkimenin tersi gerçekleştirilerek enerji ihtiyacı karşılanır.

1.1.4. Hidrojen depolama sistemleri

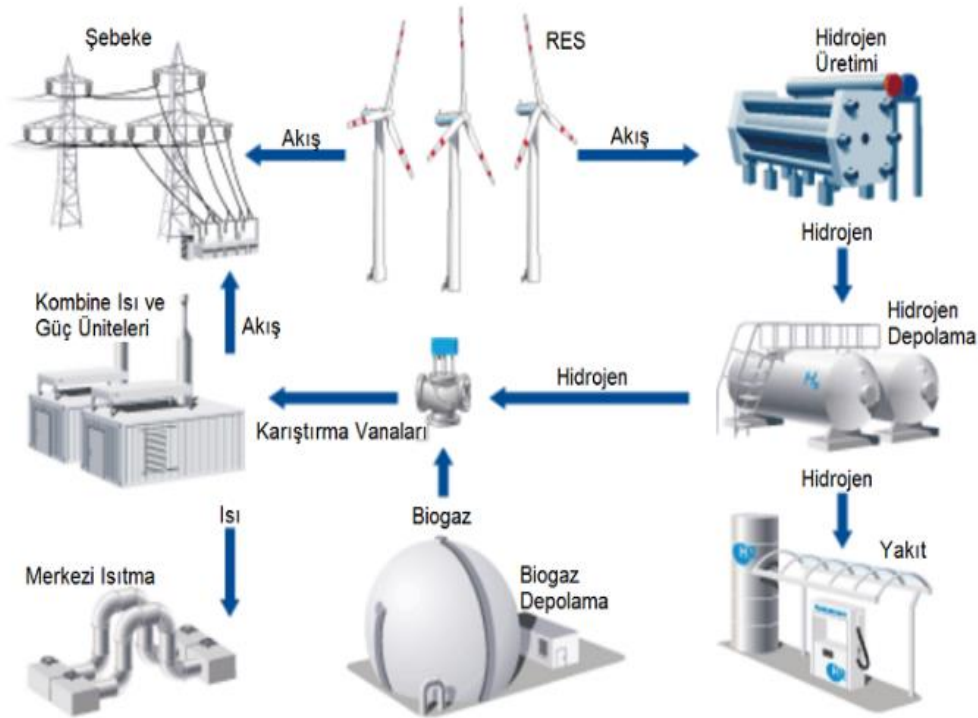
Hidrojen diğerlerine göre kütle başına en yüksek enerjiyi içeren yakıtların başında geliyor. Ancak, ortam sıcaklığında düşük yoğunluğu sebebiyle daha yüksek enerji yoğunluğuna

ulaşmak için gelişmiş depolama teknolojilerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Sıkıştırılmış, sıvılaştırılmış ve metal hidrid vb. hidrojen depolama yöntemleri mevcuttur.

Analiz edilen depolama sistemi (Jülch, 2016):

- Elektrolitik, elektriği hidrojene dönüştürmek aracılığıyla hidrojen depolama tankı,
- CO₂ arıtma tesisi,
- Hidrojeni CH₄'e dönüştüren metanasyon birimi,
- Sisteminde gaz besleme
- Depolama sistemi olarak kullanılan gaz şebekesi
- Elektriğe yeniden dönüşüm için kombine çevrim gaz türbini.

Hidrojen depolama sistemine ait akış şeması aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:

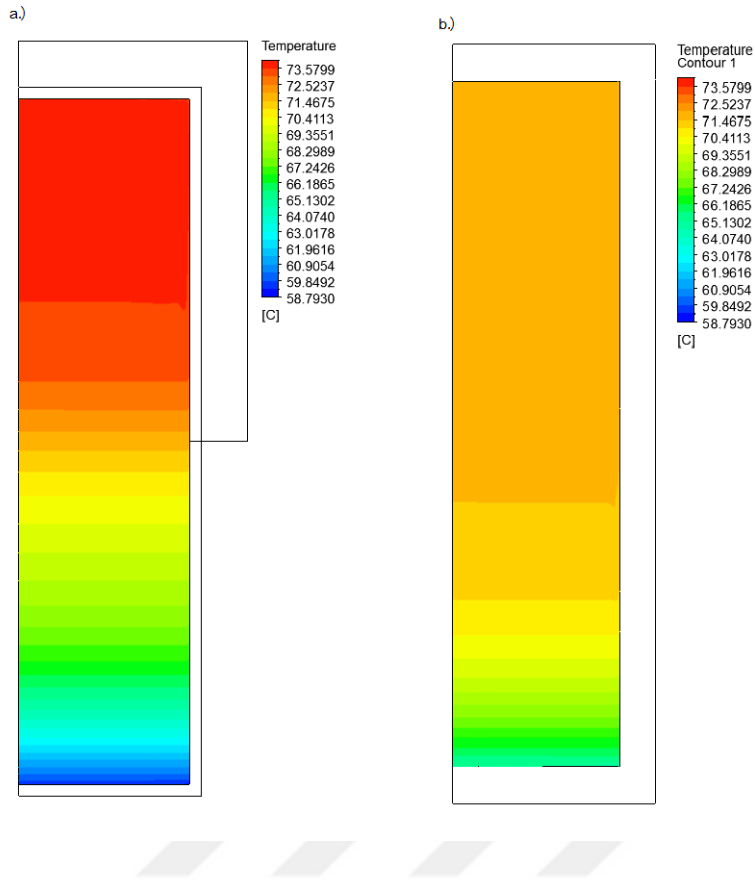


Şekil 1.7. Bir hidrojen depolama sisteminin çalışma prensibi

1.2. Isıl Katmanlaşma

Güneş enerjili ısıtma tanklarında en önemli etkenlerden biri ısı katmanlaşmadır (Erdemir & Altuntop, 2016). Isıl katmanlaşma tank sisteminde aşağıdan yukarıya doğru olan sıcaklık dağılımıdır. Bu sıcaklık dağılımında eğer düşey mantolu tankın alt kısımları soğuk ve yukarı doğru sıcaklık artıyorsa tank içerisinde ısı katmanlaşma oluşmuş demektir ve sistem verimliliği açısından iyidir (Kulkarni, Deshmukh, & P.Shekhwat, 2019). Birçok araştırmacı (Smushz , 2017) (Lohse, 2015) (Castell, Medrano, Solé, & Cabeza, 2010) sıcak su tanklarındaki ısı katmanlaşmayı ve onu geliştirmek için araştırma yapmışlardır. Yapılan diğer araştırmalarda ısı katmanlaşmanın artırılması için tankın en boy oranı ve giriş çıkış açıklıklarının ısı katmanlaşma üzerindeki etkilerini (Rodríguez-Hidalgo, Rodríguez-Aumente, Lecuona, Legrand, & Ventas, 2012) (Khalifa, Mustafa, & Khammas , 2011) incelemişlerdir.

Bir sıcak su depolama tankının termal performansı, enerji depolama kapasitesine ve deşarj hızına bağlı olarak değişir. Daha iyi bir sistem performansı için, amaçlanan operasyon stratejisi, belirli bir uygulama için tasarım prosedürünün bir parçası olarak tanımlanmalı ve analiz edilmelidir. Sıcak su tankı için performans, doldurma ve boşaltma sırasında farklı su sıcaklık bölgeleri ile karakterize edilir. Tank duvarındaki ısı kaybı ve su bölgeleri arasındaki iç iletim nedeniyle tank içindeki sıcaklık dağılımı genellikle düzgün değildir. Sıcak su tankındaki katmanlaşma su daha kısa sürede daha yüksek bir sıcaklık değerine ulaştığı için enerji verimliliğini artırır (Njoku , Ekechukwu , & Onyegegbu , 2014). Isıl katmanlaşma, sıvının yükseklikle farklı sıcaklıklarda katmanlara ayrıldığı, kaldırma kuvvetine dayalı bir olgudur. Isıl katmanlaşma, tankın geometrisine, yalıtıma ve tank içindeki karışım seviyesine bağlıdır (Yang, Chen, Wang, Sheng, & Wang, 2016). Isıl katmanlaşmanın maksimum seviyede olduğu bir sistem elde edilirse kullanılacak olan sıcak su hem geç soğuyacaktır hem de tank tabanından ısı kaynağına gönderilecek olan suyun sıcaklığı düşeceğinden ısı kaynağının enerjisinden daha verimli bir şekilde faydalanmak mümkün olacaktır. Şekilde verilen sıcak su tankında en boy oranı ve yalıtım geometrisi bakımından ısı katmanlaşma üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Yalıtım geometrisi ve tank geometrisinin ısı katmanlaşmaya etkisi

2. LİTERATÜR TARAMASI

Isıl katmanlaşma tanklarda sıcak su elde edilmesinde, uzun süreli muhafaza ve kullanılmasında önemli faktör olmuştur. Isıl katmanlaşmanın iyi olduğu tank sisteminde soğuk su alt kısımda az miktarda bulunurken sıcak su üst kısımda bulunur ve sıcaklığı yüksektir. Literatürde baktığımızda birçok farklı parametrelerle çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar statik ve dinamik moda gerçekleştirilmiştir. Statik moda yapılan çalışmalarda tank içerisinde soğumaya bırakılan akışkan bulunurken dinamik moda yapılan çalışmalar tank içerisine su giriş ve çıkışının olduğu durumlar için gerçekleştirilmiştir. Bazı çalışmalarda tank içine engeller yerleştirilmiş bazı çalışmalarda ise ısı katmanlaşma için yalıtım özeliği iyileştirilmiştir. Bu bölümde statik ve dinamik moda yapılan çalışmalar için literatür taraması yapılmıştır.

(Kurşun & Ökten, 2017)Yapmış oldukları sayısal analizde ısı enerji depolama işlemleri için kullanılan silindirik sıcak su tanklarında sabit ve değişken yalıtım kalınlıkları oranının ısı katmanlaşmaya olan etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri verilere göre silindirik tankın alt bölmesinde yalıtım kalınlığının azaltılıp üst bölgelerinde artırılması ısı katmanlaşmanın daha iyi etkilediği kanısına varmışlardır. Tank yüksekliğinin ısı katmanlaşmaya olan en iyi etkisinin D/H (tank boyut oranının) $D/H=0,3$ oranında meydana geldiğini bulmuşlardır. Yalıtım kalınlıklarının farklılık göstermesi durumunda ise $D/H=0,3-1$ arasında değişen çap boy oranları ile tank içerisinde sıcaklık farkı $7 - 9^{\circ}\text{C}$ arasında arttığını bulmuşlardır. Bu çalışmada birinci modelde sabit yalıtım kalınlığı kullanılırken ikinci modelde ise soğuk akışkan bölgesinden sıcak akışkan bölgesine doğru artan yalıtım kalınlığı kullanmışlardır. Böylelikle yapmış oldukları çalışmada sabit ve değişken yalıtım kalınlığındaki modelin 8 saatlik soğuma periyodu için tankın alt ve üst kısımlarındaki sıcaklık farkının ısı katmanlaşma üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

(Erdemir & Altıntop, 2016)Yaptıkları çalışmada, dikey mantolu sıcak su tankında oluian ısı katmanlaşmayı, tankın içine farklı engeller yerleştirilerek araştırmışlardır. Tankın içine, tankın tabanından dört farklı mesafede dört farklı engel yerleştirilmiştir. Böylece engel tipleri ve konumlarının etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın sonunda tankın içine yerleştirilen engelin ısı katmanlaşmayı arttırdığı tespit edilmiştir. Elde edilen veriler sıcaklık dağılımı, enerji depolama kapasitesi, Richardson Sayısı, tüketim çıkışı ve manto çıkış sıcaklığı

açısından sunulmuştur. Tüm bu değerler, normal tanka göre engelin tankın içine yerleştirilmesiyle geliştirilmiştir. En iyi ısı katmanlaşma, engelin tank tabanından uzaklığının $Y = 200$ ile $Y = 300$ mm arasında olduğu durumlarda elde edilmiştir.

(Abdelhak, Mihiri, & Bournot, 2015) Yaptıkları çalışmada, evsel tip sıcak su depolama tanklarının dinamik mod için ısı davranışlarını sayısal olarak incelemişlerdir. İlk olarak, dikey silindirik bir tank içindeki ısı katmanlaşmayı incelemişlerdir. Daha sonra, tank konumunun dikeyden yataya değişiminin ısı katmanlaşmanın geçici davranışı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Dikey tankın giriş kısmının yakınında karıştırma miktarı kısıtlanırken, yatay tankta artırılmış iki karıştırma bölgesi tanımlanmıştır. Yatay tankın ısı katmanlaşma verimliliği dikey tanktan önemli ölçüde düşük olduğu görülmüştür. Deneysel çalışma, evsel sıcak su depolama tankının dinamik mod için gerçek davranışını tahmin etme açısından faydalı olmuştur.

(Bouhal, ve diğerleri, 2017) Yapmış oldukları çalışmada standart bir sıcak su depolama tankı içindeki ısı katmanlaşmayı değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Farklı başlıklı ve farklı konumlara sahip birçok düz plaka, dikey bir tank prototipinin içine yerleştirilmiştir. Bu çalışmadaki amaç, şarj modunda çalışan bir dikey depolama tankı içindeki düz plaka konumlarının ısı katmanlaşma üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemek ve elde edilecek olası performans iyileştirmelerini gerçekleştirmektir. Depolama tankı içindeki en verimli ısı katmanlaşmanın düz plakanın konumuna bağlı olduğunu bulmuşlardır. Çalışmada, depolama tankının, orta yüksekliğinde tutulan düz plaka koşulu için daha etkin bir ısı performans sergilediği gözlenmiştir.

(Brown & Lai, 2011) Yapmış oldukları çalışmada bir sıvı depolama tankında ısı katmanlaşmanın oluşumu ve sürdürülmesinde gözenekli bir mani foldun etkinliğini araştırmak için deneyler yapmışlardır. Deney için 315 L kapasiteli ve tank boyut oranı 4 olan bir termal depolama tankı kullanmışlardır. Kullanılan gözenekli manifold, bir naylon ekranın tüp şeklinde sarılmasıyla yapılmıştır. Gözenekli manifoldun kararlı ısı katmanlaşmayı desteklemesi ve sürdürülmesindeki etkinliğini doğrulamak için akış görselleştirmesini yapmışlardır. Akış görselleştirmesinin sonuçlarından, gözenekli manifoldun, farklı sıcaklıktaki akışkanlar arasındaki kesme kaynaklı karışımı azaltabildiği ve böylece kararlı bir katmanlaşmayı destekleyip sürdürebildiği sonucuna varmışlardır.

(Chung , Cho, Tae, & Yoo, 2008) yapmış oldukları çalışma da, çeşitli tasarım faktörlerinin dikdörtgen bir depolama tankının ısı katmanlaşma performansı üzerindeki etkisini sistematik olarak incelemişlerdir. Bir depolama tankının performansını önemli ölçüde etkileyen difüzör konfigürasyonuna odaklanmışlardır. Burada, geliştirilmiş performansı örnekleyen yeni bir difüzör şekli önerilmiştir. Katmanlı bir termal depolama tankının dört tasarım parametresi için üç boyutlu kararsız sayısal deneyler yapmışlardır: Üç seviyeli üç tasarım parametresi (yani, Reynolds sayısı=400, 800 ve 1200; Froude sayısı=0.5, 1.0 ve 2.0; ve difüzörün tank kesit alanına oranı = 0.0327, 0.0582 ve 0.131) ve iki seviyeye sahip bir tasarım parametresi (yani, difüzör tipi=radyal plaka tipi ve radyal ayarlı plaka tipi) için analizler gerçekleştirmişlerdir. Ele alınan parametreler neticesinde Reynolds sayısı ısı katmanlaşma için en baskın parametre olarak bulunmuştur.

(Dragsted , Furbo, Dannemand, & Bava, 2017) Yaptıkları çalışmada farklı kontrollü laboratuvar koşullarında, farklı tasarlanmış giriş katmanlaştırıcıları ile tankta ısı katmanlaşmanın ne kadar iyi olduğunu açıklamak için bir test tankı ile deneyler yapmışlardır. İncelenen giriş katmanlaştırıcıları Solvis GmbH & Co KG ve EyeCular Technologies ApS tasarımı tanklardır. Solvis GmbH'nin giriş katmanlaştırıcısı, her biri 30 cm'lik deliklere sahip sert plastik bir borudan oluşmaktadır. Delikler, boruya karşı akışı engelleyen kanatlarla tasarlanmıştır. EyeCular Technologies ApS'nin giriş katmanlaştırıcısı, kenar boyunca ve katmanlayıcının tüm uzunluğu boyunca açıklıkları olan esnek bir polimerden yapılmıştır. Testler, her iki giriş katmanlaştırıcı tipinin de farklı test koşulları altında test tankında katmanlaşma oluşturma yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. EyeCular Technologies ApS'nin katmanlayıcısı, 1-2 l/dk'lık düşük akışlarda daha iyi bir performansa sahip olmuştur. Solvis GmbH & Co KG'ye yönelik katmanlayıcı, 4 l/dk'da daha iyi performans sağlamıştır. Ara şarj testinde EyeCular Technologies ApS'nin katmanlaştırıcısı, düşük bir sıcaklıkta şarj olurken depolama tankındaki termal katmanlaşmayı koruma açısından daha iyi bir performans sergilemiştir.

(Fan & Furbo, 2012) Yaptıkları çalışmada tankın yan yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybını ve sıcak su tankındaki ısı katmanlaşmanın sayısal araştırmalarını sunmuşlardır. Tanktaki ısı katmanlaşmanın doğal konveksiyondan nasıl etkilendiği ve tankın kenarlarından gerçekleşen ısı kaybının farklı ısı koşullarda tankın farklı seviyelerine nasıl dağılacığı açıklanmıştır. Sonuç olarak, yan ısı kaybının %20-55'inin, ısı katmanlaşma olmaksızın

tankın alt kısmındaki katmanlara düştüğünü göstermektedir. Doğal konveksiyonla tank katmanları arasındaki ısı kaybı değişimi üzerindeki kaldırma kuvvetiyle yönlendirilen akışın etkisini karakterize etmek için bir ısı kaybı giderme faktörü tanıtılmıştır. Parametrik çalışmaların sonuçlarına dayanarak, regresyon yoluyla ısı kaybı giderme faktörü için tank hacmi, yükseklik/çap oranı, tank yalıtımı ve tankın başlangıç koşullarının etkilerini hesaba katan genelleştirilmiş bir denklem elde etmişlerdir. Denklem, 0-7 cm mineral yün ile yalıtılmış 150-500 l'lik bir tank ve yüksekliği/çap 1-5 oranı için doğrulanmıştır.

(Gasque, ve diğerleri, 2015)Yaptıkları çalışmada, iç kaplama malzemesinin termal iletkenliğinin, bir sıcak su tankındaki termal şarj ve sonraki bekleme süresi boyunca ısı katmanlaşma üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Analiz, üç boyutlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) modeli ile sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Modeli seçmek ve doğrulamak ve daha sonra CFD simülasyonlarını doğrulamak için sıcaklık profillerinin deneysel ölçümleri kullanılmıştır. Doğrulanmış modelle, çeşitli yüksekliklerde zaman içinde sıcaklık profilleri, hız konturları, su akışları incelenmiş ve üç farklı iç kaplama malzemesi için karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, zayıf iletken bir kaplama malzemesinin, tankta enerji depolanmasını şarj sırasında ve sonraki bekleme süresi boyunca suyun ısı katmanlaşmasını desteklediğini doğrulamıştır. Kullanılan analiz teknikleri en faydalı olduğunu kanıtlamış ve sonuçların yeni bir şekilde karşılaştırılmasına ve sunulmasına olanak sağladığı vurgulanmıştır.

(Gunjo, Mahanta, & Robi, 2017) Yaptıkları çalışmada düz yükseltici ve kolektör düzenine sahip bir güneş düz plakalı kolektörün yutucu plaka ve çıkış suyu sıcaklığı incelemişlerdir. Giriş suyu sıcaklığı, güneş ışığı, ortam sıcaklığı ve kütle akış hızı gibi farklı çalışma parametrelerinin çıkış suyu sıcaklığı ve termal verim üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Mevcut araştırma için hem kapalı hem de açık çevrim güneş enerjili su ısıtma sistemi ele alınmıştır. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin ısı veriminin ortam sıcaklığı, güneş ışığına maruz kalma ve suyun kütsel debisi ile arttığı gözlemlenmiştir. 3 boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak sayısal simülasyonlar yapılmış ve bir saatlik aralıklarla güneş ışığı, ortam sıcaklığı ve giriş suyu sıcaklığının deneysel değerleri kullanılarak çıkış suyu ve yutucu plaka sıcaklıkları tahmin edilmiştir. CFD sonuçları deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Geliştirilen modelin, ısıtma sisteminin çıkış suyu ve yutucu plaka sıcaklığını makul bir doğrulukla tahmin edebildiği bulunmuştur.

(Kurşun & Ökten, 2018) Yapmış oldukları çalışmada dikdörtgen şeklinde bir sıcak su tankının kullanım durumundaki pozisyonunu ve farklı açılarda kurulum yapılacak olursa bunun ısı katmanlaşma üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Sıcak su tankının konum ve uzunluk oranının sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla farklı iterasyon değerleriyle sayısal analizler yapmışlardır. Bunun yanı sıra su tankının yatay eksenindeki konumunda yaptığı farklı açılar ve farklı tank boyut oranları (D/H) için sayısal analiz çalışması yapılmıştır. Sayısal analiz çalışmasında $0-60^\circ$ açı değerleri ve 0,5-1 (D/H) tank boyut oranı için yapılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen verilerden hareketle sıcak su tankının $\alpha=0^\circ$ yani dikey olarak konumlandırılmasının sıcaklık tabakalaşmasını arttırdığı tespit edilmiştir. Sadece $\alpha=0^\circ$ için tankın boyut oranının (D/H) azaltılmasının ısı katmanlaşmaya etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Sıcak su tankı içerisindeki soğuk ve sıcak bölgenin sıcaklık farkının $\alpha=45^\circ$ ve D/H=0,5 boyut oranında oluştuğunu tespit etmişlerdir. Tankın alt ve üst noktaları arasındaki sıcaklık farkının $\alpha=45^\circ$ için %93 ve $\alpha=60^\circ$ için %86 seviyelerinde arttığı görülmüştür. Tank dikey pozisyonda iken yani $\alpha=0^\circ$ iken boyut oranındaki düşüşün ısı katmanlaşmayı arttırdığı tespit edilmiştir. Sayısal analiz sonuçlarından hareketle; tank eğik pozisyonda iken boyut oranındaki değişikliğin ısı katmanlaşma üzerine ihmal edilebilir seviyede etkisi olduğu görülmüştür. Öte yandan tank dikey pozisyonda iken ($\alpha=0^\circ$), düşük boyut oranının (D/H) sıcaklık tabakalaşması üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür.

(Wang, ve diğerleri, 2017) Yapmış oldukları çalışmada sıcak su depolama tankının ısı katmanlaşmasını iyileştirmek amacıyla yeni bir ekolayzır tasarlanmıştır. Sıcak su depolama tankındaki ısı katmanlaşma faktörünü araştırmak için ANSYS kullanılarak üç boyutlu (3B) kararsız Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) modeline dayalı sayısal analizler yapılmıştır. Performans parametreleri olarak Richardson sayısı, ekserji değerleri kullanılmıştır. Akış oranının artırılmasıyla Richardson son sayısında bir düşüş olduğu dolum verimi ve ekserjinin önce arttığını ardından azaldığı görülmüştür. Akış oranları 1 lt/dk, 2 lt/dk, 3 lt/dk, 4 lt/dk, 5 lt/dk, ve 6 lt/dk. için ayarlanmıştır. İlk sıcaklık 700°C iken sabit doldurma sıcaklığı ise 100°C 'dir. Akış oranı 3lt/dk olduğunda ekolayzır en iyi performansı göstermiş ve tanktaki ısı katmanlaşmanın en çok bu debide gelişim gösterdiği görülmüştür.

(Knudsen, Morrison, Behnia, & Furbo, 2005) Yaptıkları çalışmada mantonun üstündeki iç tanktaki akış alanının deneysel incelemeleri, mantoya yüksek bir giriş sıcaklığının olduğu

bir durumda ısı katmanlaşmanın nasıl oluştuğunu araştırmışlardır. İncelenen testlerde yukarı akıştaki maksimum hız 0.007 m/s civarındadır. İç tankın üst kısmı soğutulduğunda, çevreye ısı kaybı manto sıvısından gelen ısı değişiminden daha büyük olduğu için, tank duvarının yakınında aşağı doğru bir akış ve tankın ortasında ise yukarı doğru daha yavaş bir akış vardır. Aşağı akıştaki maksimum hız ise yaklaşık 0.002 m / s'dir. Mantodaki akış yapısının deneysel incelemeleri, mantoya sıcak bir giriş sıcaklığı için mantonun tepesinde yeniden dolaşan bir yüzdürme tahrikli akış olduğunu göstermiştir. İç tanktaki ve mantodaki akış alanları da CFD kullanılarak sayısal olarak araştırmalar yapılmıştır. Sayısal sonuçlar deneysel PIV sonuçları ile karşılaştırılıp ve iyi sonuçlar gözlemlenmiştir. Tank duvarı ve manto duvarındaki ısı transferi sayısal olarak incelendi. Durum 1 için (başlangıçta karıştırılmış) manto duvarındaki ısı akısı esas olarak üst kısımda yoğunlaşmıştır. Manto giriş sıcaklığı ile mantonun üstündeki tank sıcaklığı arasında küçük bir farkın olduğu durum 2 için ısı transferi mantonun ortasının hemen üstünde daha yüksektir. Manto giriş sıcaklığının mantonun üstündeki tank sıcaklığından daha düşük olduğu durum 3 için ısı akışı, mantonun üst kısmında 0W/m²'nin hemen altındadır. Isı transferi, manto seviyesi olan alttan 0.1 m ile 0.5 m arasında bir mesafede konsantre edildiği görülmüştür. Her durumda mantonun üzerinde negatif bir ısı akısı vardır, çünkü cam model tankı yalıtımsız bir şekildedir. Yapılan araştırma da dikey bir manto ısı eşanjörünün, manto giriş sıcaklığı mantonun giriş seviyesindeki tank sıcaklığından daha düşük olsa bile, iç tankta ısı katmanlaşmaya teşvik edebildiğini göstermiştir.

(Rodríguez-Hidalgo, Rodríguez-Aumente, Lecuona, Legrand, & Ventas, 2012) Yapmış oldukları çalışmada bir binanın evsel güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde tank boyutlarının sistem üzerindeki verimliliğini ne türde değiştireceğini araştırmışlardır. Sistem performansını ölçmek için sayısal analiz yapıp geçici bir simülasyon programı yapmışlardır ve yaptıkları deneysel çalışmada ayrıntılı ölçümler ile programın doğruluğunu kanıtlamaya çalışmışlardır. Yaptıkları çalışma ile tank boyutlarının sistem performansını etkilediğini ortaya koymuşlardır. Sistem boyutunun kritik $V/A < 0.05$ m (50 m² 'lik bir kolektör alanlı bir güneş enerjisi tesisi için 2.5 m³ hacimli depolama tankı) koşulunun önemini belirtmişlerdir. Depolama tank boyutlarının belirtilen kriterden %23,4 büyük alınmasının bütçe masraflarını %37,8 artırdığını, ayrıca sistem performansını da olumsuz etkilediğini ortaya koymuşlardır.

(Helwa, Mobarak, El-Sallak, & El-Ghetany, 1995) Yapmış oldukları çalışmada yatay depolama tankı içerisindeki ısı değiştiricili bir güneş enerjili su ısıtma sistemin davranışlarını incelemek, tank içindeki ısı katmanlaşmayı sıcak su kullanımına olan etkilerini incelemek amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. Sistem performansını değerlendirmek için, Mısır ülkesinde bulunan bir ailenin günlük sıcak su tüketim bilgilerini ele almışlardır. Günün farklı saatlerinde ve farklı yükler için deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen veriler, yatay tank kullanılan sistemlerde yaz aylarında sıcak su tüketimi için istenen yeterli katmanlaşma ve sistem verimini sağlamasına rağmen özellikle kış aylarında gerekli yükü ve gerekli sıcaklığı karşılamak için bir yardımcı elektrikli ısıtıcı ile donatılması gerektiğini ortaya koymuşlardır.

(Castell, Medrano, Solé, & Cabeza, 2010)Yaptıkları çalışmada su tanklarındaki ısı katmanlaşmayı göstermek ve en çok kullanılan boyutsuz sayıların belirlenmesi için çalışma yapmışlardır. Aynı zamanda bu boyutsuz sayıları birbiri ile kıyaslayarak uygunluklarını araştırmışlardır. Bu çalışmada farklı akış oranlarında deneyler yapılmış ve boyutsuz sayılar hesaplanmıştır. Deneyden alınan verilerden hareketle; Richardson sayısının su tankındaki ısı katmanlaşmayı belirleyen en iyi sayı olduğunu öte yandan MIX sayısının bazı problemler ve kötü davranışlar sergilediğini tespit etmişlerdir. Diğer sayıların ısı katmanlaşmayı tam olarak karakterize etmediğini ancak Richardson sayısı ile kombineli şekilde kullanıldığında faydalı olacağı sonucuna varmışlardır. MIX sayısının akış oranını hesaba katmadığı, Reynolds ve Peclet sayısının ise doğrudan çalışma sıcaklıklarını hesaba katmadığı görülmüştür. Isıl katmanlaşma oluştuğunda Richardson sayısının su tankının davranışlarını doğru bir biçimde gösterdiğini tespit etmişlerdir.

(Kurşun , 2018)Yaptığı çalışmada tepesi kesilmiş koni ve piramit şeklinde izolasyonlu silindirik ve dikdörtgensel sıcak su depolama tanklarının ısı katmanlaşmaya olan etkisini araştırmıştır. Sekiz saatlik aralıklarla alınan üç farklı parametre ile sayısal analizler yapmıştır. Bu parametreler; tank çapının yüksekliğe oranı (D/H), alt izolasyon çapının üst izolasyon çapına oranı (d_i/D_i) ve alt izolasyonun üst izolasyon kalınlığına oranıdır (h_b/h_t). Çalışma sonucunda; tank ve izolasyon geometrisinin ısı transferini etkileyen önemli bir faktör olduğunu, azalan D/H , d_i/D_i ve h_b/h_t oranlarının depolama suyu ile çevre arasındaki ısı transferini artırdığını ortaya koymuştur. Tepesi kesilmiş koni ve piramit şeklindeki izolasyon geometrisi ile tank tabanındaki ısı transferini artırdığını ve su sıcaklığını

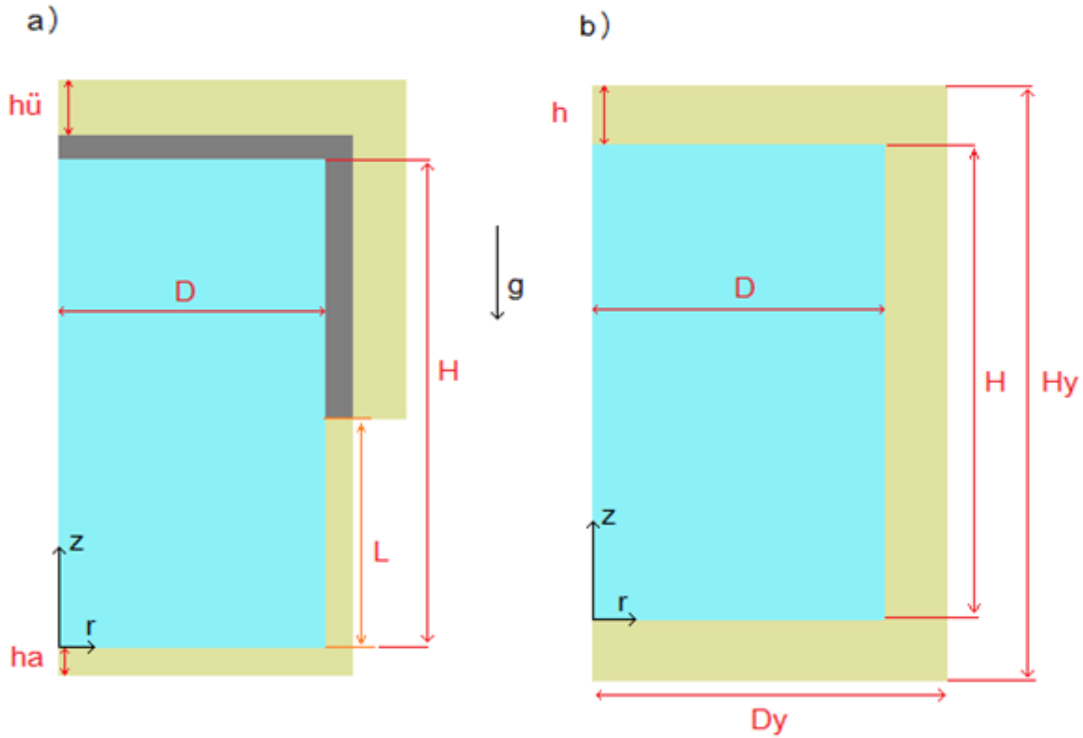
düşürdüğünü belirlemiştir. Silindirik ve dikdörtgensel şeklindeki sıcak su depolama tanklarının tepesi kesilmiş koni ve piramit şeklinde izolasyonla kaplanması, ısı katmanlaşmayı iyileştirdiğini tespit etmiştir. Silindirik tanktaki ısı katmanlaşmanın daha hızlı, dikdörtgensel şeklindeki depolama tankında ise daha yavaş olduğunu, termal enerji depolama kapasitesinin dikdörtgensel tankta daha fazla olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, azalan D/H , d_i/D_i ve h_b/h_t oranlarının ısı katmanlaşmayı önemli oranda iyileştirdiğini tespit etmiştir.

Bu tez çalışmasında ise farklı yalıtım geometrisi ve katmanlarına sahip bir silindirik sıcak su tankındaki ısı katmanlaşma sayısal olarak incelemiştir. Tez çalışmasında gerçekleştirilen sıcak su tankı tasarımları ve yalıtım geometrileri ile tank içerisindeki sıcak ve soğuk su karışımının belirli ölçüde engellenerek ısı katmanlaşmanın artırılması ve böylece tankın üst bölgesindeki su sıcaklığının daha uzun süre muhafaza edilebilmesi hedeflenmiştir. Diğer bir amaç ise ısı katmanlaşma artışı ile tank tabanındaki su sıcaklığının düşmesinin sağlanması ve suyu ısıtmak için kullanılan ısı kaynağının enerjisinden daha verimli şekilde faydalanılmasıdır. Bu doğrultuda bir silindiri sıcak su depolama tankına aerojel, camyünü ve poliüretan yalıtım malzemeleri uygulanarak tankın farklı en/boy oranları, yalıtım-kademe oranları ve yalıtım kalınlık oranları için 14 farklı sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler ANSYS 2020 R1 ACADEMIC programı ile gerçekleştirilip 10 saatlik zaman dilimi için depodaki bulunan 80°C 'lik sıcak su soğumaya bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlar tank içerisindeki sıcaklık dağılımını, sıcaklık ve hız kontörlerini, sistemin birinci ve ikinci yasa verimini gösteren grafikler halinde sunulmuş ve en uygun parametre değerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Problemin Tanımlanması

Fiziksel problem için ele alınan silindirik tank ve yalıtım geometrileri Şekil 3.1’de görülmektedir. Şekil 3.1’a da kademeli yalıtım geometrisi ve farklı yalıtım katmanlarına sahip sıcak su tankı, Şekil 3.1’b de ise sabit yalıtım kalınlığına sahip geleneksel sıcak su tankı geometrisi verilmiştir. Şekil 3.1 a’da tank içerisinde sıcak ve soğuk su karışım bölgelerini minimum seviyeye indirmek için sıcak bölgelerden soğuk bölgelere doğru azalan yalıtım kalınlığı kullanılmıştır. Sabit ve değişken yalıtım kalınlığı koşullarının her ikisinde de aynı hacme sahip yalıtım kullanılmıştır. Buna göre Şekil 3.1 b’de verilen ölçülerde D_y , d_y , H_y , D ve H boyutları tankın en/boy oranına göre değişkenlik göstermektedir. Alt ve üst yalıtım kalınlıklarını ifade eden h_a ve $h_{\bar{u}}$ boyutları ise tank en/boy oranı ve yalıtım kademe ve kalınlık oranına göre değişkenlik göstermiştir. Sabit yalıtım kalınlığı için h_a ve $h_{\bar{u}}$ boyutları birbirine eşit ve 30 mm alınmıştır.



Şekil 3.1. Su tankı geometrileri a) değişken yalıtım ve değişken yalıtım kalınlığı b) sabit yalıtım kalınlığı

3.2. Matematiksel Model

Sayısal analizler laminar ve doğal konveksiyon şartlarındaki fiziksel problemin çözümü için gerçekleştirilmiştir. Doğal konveksiyon akışının laminar olma "kriteri için" literatürde farklı sonuçlar mevcuttur. Yapılan mevcut bir çalışmada düşey bir düz plakada türbülansa geçiş bölgesindeki akış için Rayleigh (Ra) sayısının 10^{11} civarında olduğunu belirtmişlerdir (Sparrow & Gregg, 1956). Diğer bir çalışmada ise laminar akış koşulunun $Ra < 10^{13}$ olduğu aktarılmıştır (Papanicolaou & Belessiotis, 2002). Vliet ve Liu, düşey ve düz plakada gerçekleşen doğal konveksiyon akışının türbülansa geçişi için Ra sayısının $10^{12} < Ra < 10^{14}$ aralığında olması gerektiğini yaptıkları çalışma ile ortaya koymuşlardır. Yapılan başka bir deneysel çalışma verilerinde Kang ve Chun hız sınır tabakasının silindir çapının oldukça küçük olması nedeni ile silindir geometrisinin eğrilik etkisinin ihmal edilebileceğini ve silindirin düz plaka gibi kabul edilebileceğini vurgulamışlardır (Kang & Chung, 2010). Düz plakada doğal konveksiyon için yapılan bir çalışmada ise Bejan ve Lage Gr sayısının $Gr < 10^9$ olması koşulunda akış rejiminin laminar olabileceğini ifade etmişlerdir (Bejan & Lage, 1990). Bu çalışmada literatürdeki sonuçlar doğrultusunda tüm koşullar için Ra ve Gr sayısı hesaplanarak akışın rejimi belirlenmiştir. Gr sayısı için denklem 1 ve Ra sayısı için ise denklem 2 ile hesaplamalar yapılmıştır.

$$Gr = \frac{g\beta(T_{ort} - T_d)D^3}{\nu^2} \quad (1)$$

$$Ra = Gr.Pr \quad (2)$$

Yukarı verilen denklemlerde g yerçekimi ivmesi, β ısı genleşme katsayısı, D silindir çapı, ν akışkan kinematik viskozitesi T_{ort} ve T_d ise sırası ile ortalama akışkan ve tank duvar sıcaklığıdır. T_{ort} ve T_d sıcaklıkları sırasıyla elde edilen sayısal veriler ile kullanılan analiz programı içerisinde akışkan ve yalıtım duvar bölgesi seçilerek hesaplatılmıştır. Sayısal analizler sonucunda en yüksek Gr sayısı yaklaşık olarak 2×10^8 bulunmuş ve aynı koşullar için Pr sayısı ise 2.45 hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu Ra sayısı $Ra = 4.90 \times 10^8$ olarak bulunmuştur. Bu koşullar ele alındığında ve yukarıdaki verilere bakıldığında akışın doğal konveksiyon koşullarında laminar olduğu kabul edilmiştir.

Analiz için sayısal model tasarlanırken deponun duvar kalınlığı yalıtım kalınlığına göre çok ince olduğundan dolayı depo duvar kalınlığı göz ardı edilerek tank duvar kalınlığı yalıtım kalınlığına dâhil edilerek analizler yapılmıştır. Sıvının fiziksel özellikleri, z yönündeki momentumun korunumu denklemindeki yoğunluk değeri dışında sabit alınmıştır (Boussinesq yaklaşımı). Sayısal çözümler akışın tank eksenine göre simetrik olduğu kabul edilerek akışın iki boyutlu ve zamana bağlı olması koşulu ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu kabullerle birlikte sayısal analizde tank ve yalıtım malzemesi için kullanılan korunum denklemleri aşağıda verilmiştir. Kütlenin korunumu denklemi denklem 3 ile verilmiş, denklem 4 ve denklem 5 te ise sırası ile r ve z yönlerindeki momentumun korunumu denklemleri verilmiştir. Denklem 6 da ise enerjinin korunumunu ifade eden denklem son olarak denklem 7 de ise yalıtım bölgesi için kullanılan ısı iletimi denklemi verilmiştir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(ru)}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(uu)}{\partial r} + \frac{\partial(wu)}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (4)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial(uw)}{\partial r} + \frac{\partial(ww)}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] + g\beta(T - T_{\infty}) \quad (5)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial(uT)}{\partial r} + \frac{\partial(wT)}{\partial z} = \frac{k}{\rho c_p} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (6)$$

$$\frac{\partial T_{yal}}{\partial t} = \frac{k_{yal}}{\rho_{yal} c_{p,yal}} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_{yal}}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T_{yal}}{\partial z^2} \right] \quad (7)$$

Yukarıda verilen korunum denklemlerinde u ve v sırasıyla r ve z yönündeki hız bileşenlerini, P akışkan basıncını, μ akışkanın dinamik viskozitesini, ρ akışkan yoğunluğunu, g yerçekimi ivmesini, β termal genleşme katsayısını, k akışkanın ısı iletkenlik katsayısını, c_p akışkanın özgül ısısını göstermektedir. Denklem 5 te $g\beta(T - T_{\infty})$ verilen ifade ise kütle kuvvetlerinin etkisini göstermektedir. Denklem 7 de kullanılan ifadelerden k_{yal} yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısını göstermektedir.

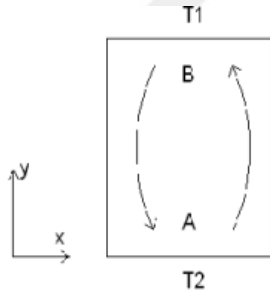
iletkenlik katsayısı, T_{yal} yalıtım malzemesinin sıcaklığı, ρ_{yal} ve $c_{p,yal}$ ise sırası ile yalıtım malzemesinin yoğunluğu ve özgül ısısını ifade etmektedir.

3.2.1. Boussinesq yaklaşımı

Doğal bir taşınım da akışın oluşabilmesi için önemli faktörlerden biri sıcaklıktır. Şekil 3.2 de görülmekte olan içerisinde akışkan bulunduran kapalı kaptaki iki nokta arasında sıcaklık farkı olduğunda ($T_2 > T_1$) yoğunluk farkı ($\rho_A < \rho_B$) da oluşacaktır. Boussinesq yaklaşımına göre momentum denklemindeki kaldırma kuvvetinde yer alan yoğunluk hariç ortamın tüm özellikleri sabit kabul edilmektedir. Kaldırma kuvvetinde yer alan akışkan yoğunluğu denklem 8 de verilmiştir.

$$\rho = \rho_0[1 - \beta(T - T_0)] \quad (8)$$

Bu verilen denklemde ρ akışkan yoğunluğunu, ρ_0 , T_0 sıcaklığındaki akışkanın yoğunluğunu ve β ısıl genleşme katsayısını göstermektedir.



Şekil 3.2. Kapalı kaptaki doğal taşınım

Boussinesq yaklaşımı, yoğunluk değişiminin ρ_0 ile karşılaştırıldığında küçük olduğu ve sıcaklık değişiminin ortam özelliklerini değiştirmeyecek kadar küçük olduğu haller için geçerlidir (Nield & Bejan, 1992).

3.2.2. Başlangıç ve sınır şartları

Denklem 9 da akışkan ve yalıtım bölgesindeki başlangıç sıcaklıkları T_0 ve T_c sıcaklıklarına eşitlenmiştir.

$$T = T_0; \quad T_{yal_dış} = T_{\dot{c}} \quad (9)$$

Yukarıda denklemde verilen $T_{yal_dış}$ yalıtımın dış yüzey sıcaklığını, T_0 akışkanın başlangıç sıcaklığını ve $T_{\dot{c}}$ ise dış ortam sıcaklığıdır. $T_{\dot{c}} = 288.15$ K ve akışkanın başlangıç sıcaklığı ise $T_0 = 353.15$ K olarak alınmıştır.

Akışın tank eksenine göre simetrik olması nedeniyle su ve yalıtım bölgesi için simetri sınır şartları denklem 10 ve 11 ile ifade edilmiştir.

$$\frac{\partial w}{\partial r} = 0; \quad u = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial T_{yal_iç}}{\partial r} = 0 \quad (11)$$

Denklem 11 de verilen $T_{yal_iç}$ yalıtımın iç yüzey sıcaklığını ifade etmektedir. Ayrıca akışkan bölgesindeki katı yüzeylere uygulanmakta olan kaymama sınır koşulları ve ısı sınır koşulları denklem 12 ile ifade edilmiştir.

$$u = 0; \quad w = 0; \quad T_d = T_{yal_iç} : -k \frac{\partial T}{\partial r} = -k_{yal} \frac{\partial T_{yal_iç}}{\partial r} \quad (12)$$

Analizde kullanılan yalıtım malzemelerinin alt ve üst dış yüzeyleri için sınır şartı denklem 13, yan dış yüzeyi için ise sınır şartı denklem 14 te verilmiştir.

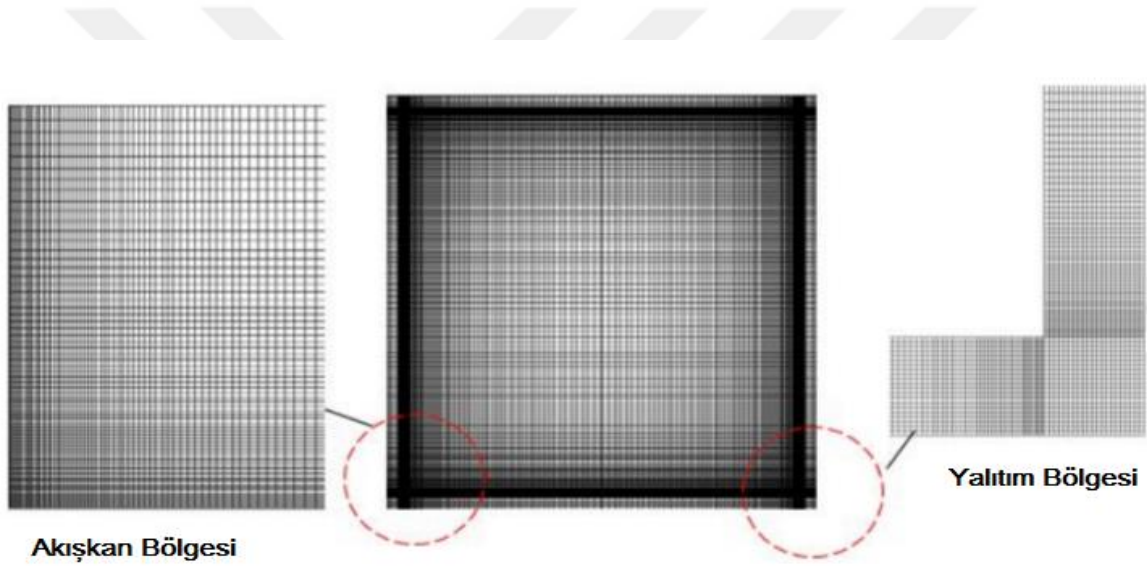
$$-k_{yal} \frac{\partial T_{yal_dış}}{\partial z} = h(T_{yal_dış} - T_{\dot{c}}) \quad (13)$$

$$-k_{yal} \frac{\partial T_{yal_dış}}{\partial r} = h(T_{yal_dış} - T_{\dot{c}}) \quad (14)$$

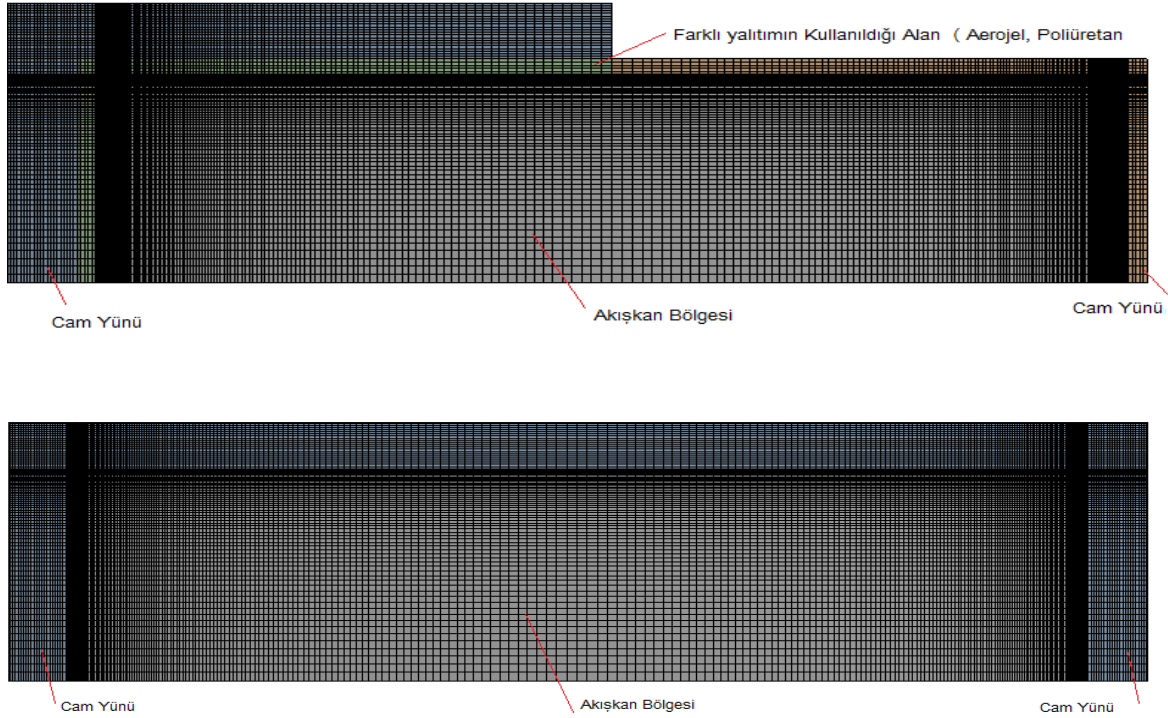
Yukarıda verilen denklem 13 ve 14 te h tankın konveksiyon katsayısıdır. Konveksiyon katsayısı değeri yapılan bir çalışmadan $h = 2$ W/m² K olarak alınmıştır (Yang, Chen, Wang, Sheng, & Wang, 2016). $T_{yal_dış}$ ise yalıtımın dış yüzey sıcaklığını ifade etmektedir.

3.3. Sayısal Yöntem

Analiz yapılırken hücre yapısının oluşturulmasında tank geometrisi (Şekil 3.3), akışkan bölgesi ve yalıtım bölgesi olmak üzere iki ayrı bölüme ayrılmıştır. Akışkan ve yalıtım bölgesinde düzgün dağılımlı ağ yapısı kullanılmış ve akışkan bölgesinin tank duvarıyla birleşmiş olduğu bölgelerde hız sınır tabakası oluşumu için hücre sıklığı artırılmıştır. Hücrelerin yoğun olduğu akışkan bölgesinde cidara yakın ilk hücre genişliği 0.270 mm ve büyüme oranı 1,2 alınarak yığılma faktörü (bias factor) 10 seçilmiştir. Yapılan analizlerde akışın tank eksenine simetrik olması sebebiyle analizler tank geometrisinin yarısı için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Sayısal Çözümleme için kullanılan hücre yapısı ve hücre dağılımı



Şekil 3. 4. Sayısal çözümlemelerde kullanılan sabit kalınlıktaki yalıtım ve kademeli yalıtım için hücre yapısı

Sayısal modelin çözümünde sonlu hacimler metodu uygulanmış ve korunum denklemlerinin çözümlemesinde ise SIMPLE algoritması ve zamana bağlı birinci dereceden kapalı formülasyon kullanılmıştır. PRESTO! yöntemi basıncın ayrıklaştırılması işleminde doğal konveksiyon etkisinin baskın olduğu koşullarda daha iyi yakınsama sağladığından basınç ayrıklaştırılması için PRESTO! yöntemi tercih edilmiştir (Kurşun & Ökten, 2017). Difüzyon terimleri için ikinci dereceden merkezi farklar metodu ve konvektif terimler için de UPWIND metodu kullanılmıştır. Su tankının dış yüzeylerinde ise konveksiyon sınır koşulu uygulanmıştır. Yapılan tüm analizlerde, kalıntı değerlerinin kütle ve momentumun korunumu için 10^{-3} değerinden, enerjinin korunumu için ise 10^{-6} değerinden küçük olduğu duruma kadar analizler devam ettirilmiştir.

3.4. Isıl Enerji Depolama Sisteminin Birinci Yasa (Enerji) ve İkinci Yasa (Ekserji) Veriminin Hesaplanması

Sistemin enerji ve ekserji eriminin hesaplanmasında parametre değerlerine bağlı olarak elde edilen ortalama su sıcaklıkları kullanılmıştır. Ortalama su sıcaklıkları ile belirli bir soğuma

periyodu için akışkanın entalpi ve entropi değerleri belirlenmiş ve aşağıdaki denklemler kullanılarak sıcak su tankındaki suyun enerji ve ekserji verimleri elde edilmiştir.

Suyun sahip olduğu enerji değerine göre Denklem 15 ile sistemin enerji verimi (η_{enerji}) bulunabilir,

$$\eta_{\text{enerji}} = \frac{mh_{\text{anlık}}}{mh_{\text{ilk}}} = \frac{Q_{\text{anlık}}}{Q_{\text{ilk}}} \quad (15)$$

Burada m tank içerisindeki su kütlesini, $h_{\text{anlık}}$ belirlenen andaki sıcaklığa bağlı entalpiyi, h_{ilk} ise suyun başlangıçtaki entalpisini ifade etmektedir. Sistemin ekserji verimi (η_{ekserji}) ise aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır,

$$\eta_{\text{ekserji}} = \frac{E_{\text{anlık}}}{E_{\text{ilk}}} \quad (16)$$

Denklemde E akışkanın ekserjisini göstermekte olup, anlık ve ilk alt indisleri enerji veriminde olduğu gibi sırasıyla akışkanın belirlenen bir zamandaki ve başlangıçtaki ekserjileridir. Tank içerisindeki akışkan bölgesi kontrol hacmi seçildiğinden fiziksel ekserjinin hesaplanmasında kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilmiştir. Denklem 17 kullanılarak E değerleri bulunmuştur,

$$E = m[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (17)$$

Burada, h ve s sırasıyla suyun belirlenen andaki entalpisi ve entropisidir. T_0 dış ortam sıcaklığını, h_0 ve s_0 ise akışkanın dış ortam sıcaklığındaki entalpi ve entropilerini ifade etmektedir.

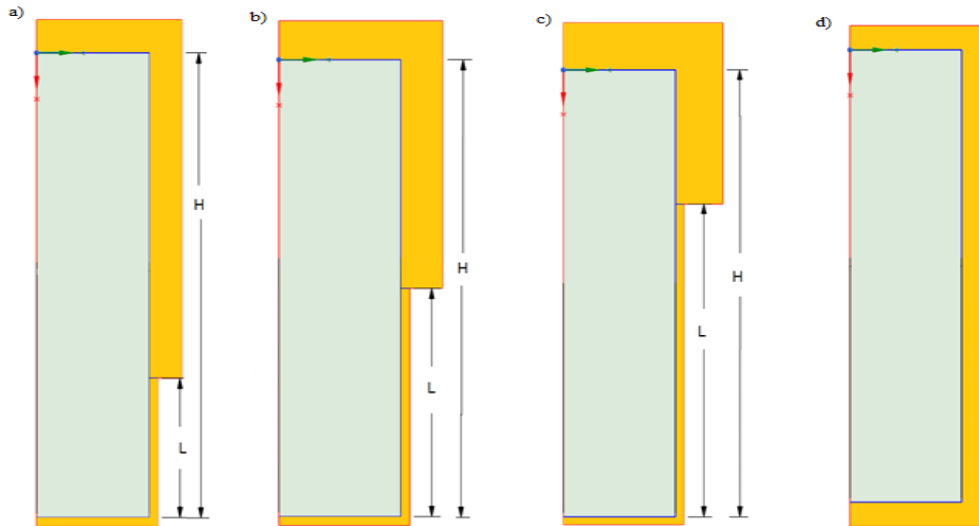
3.5. Parametrik Çalışma

Parametrik çalışma farklı tank ve yalıtım geometrileri için gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizde kullanılan parametreler tankın en/boy oranı, yalıtım kademe oranı, yalıtım kalınlık

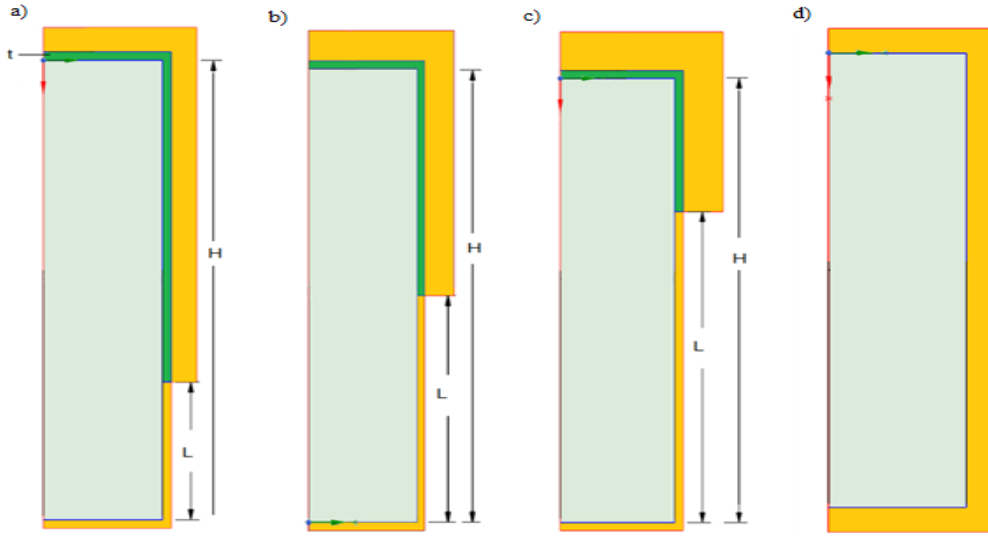
oranı ve yalıtım çeşididir. Aşağıda parametreler için oluşturulan tank ve yalıtım geometrileri verilmiştir.

3.5.1. Yalıtım kademe oranı (L/H)

Yalıtım kademe oranı tankın alt ve üst bölgesindeki suyun soğuma zamanını değiştirdiğinden ısı katmanlaşmayı etkileyen faktörlerden bir tanesidir. Analizlerde yalıtım kademe oranı olarak $L/H=0.3$, 0.5 ve 0.7 değerleri kullanılmıştır. Kademeli ve sabit kalınlıklı yalıtım geometrisine sahip silindirik sıcak su tankları Şekil 3.5 ve 3.6’da verilmiştir. Sarı renkli bölgeler cam yünü yalıtımın kullanıldığı alanlardır. Yeşil renkli bölgeler ise poliüretan köpük, aeorojel ve cam yünü olarak değiştirilmiştir. Yeşil renkli bölgenin kalınlığı ekonomik faktörlerde dikkate alınarak sabit 10 mm alınmıştır. L/H oranı için gerçekleştirilen sayısal analizlerde en/boy oranı (D/H) 0.5 , yalıtım kalınlığı oranı ($h_a/h_{\bar{u}}$) 0.02 olarak sabit tutulmuştur. Farklı L/H oranlı yalıtım geometrisine sahip sıcak su tankı ile sabit yalıtım kalınlığına sahip sıcak su tankı ısı katmanlaşma, enerji ve ekserji verimi açısından birbiri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.5. Silindirik sıcak su tankı ve yalıtım geometrileri (yalnız cam yünü yalıtım) a) $L/H=0.3$, b) $L/H=0.5$, c) $L/H=0.7$ d) kademersiz

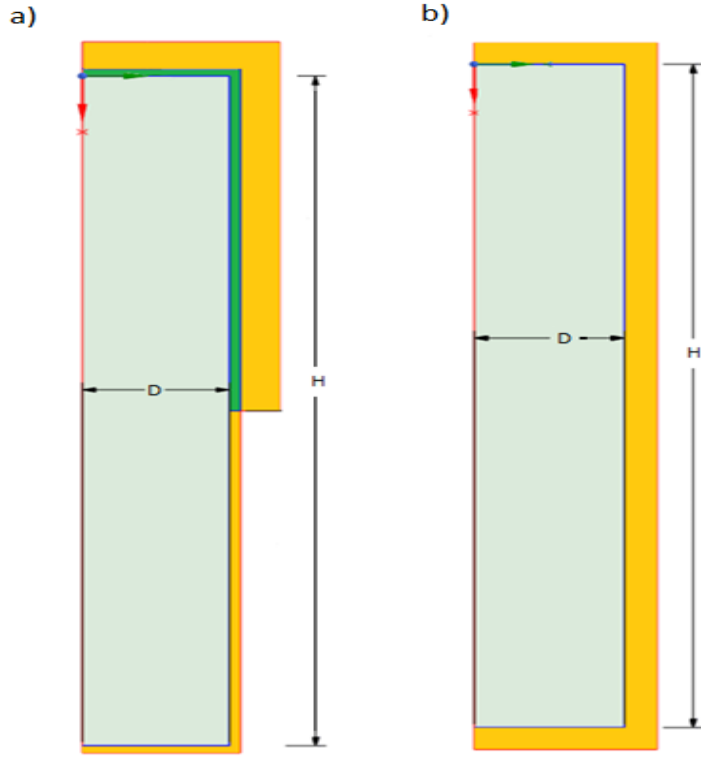


Şekil 3.6. Farklı yalıtım katmanları için silindirik sıcak su tankı ve yalıtım geometrileri a) $L/H=0.3$, b) $L/H=0.5$, c) $L/H=0.7$ d) kademesiz

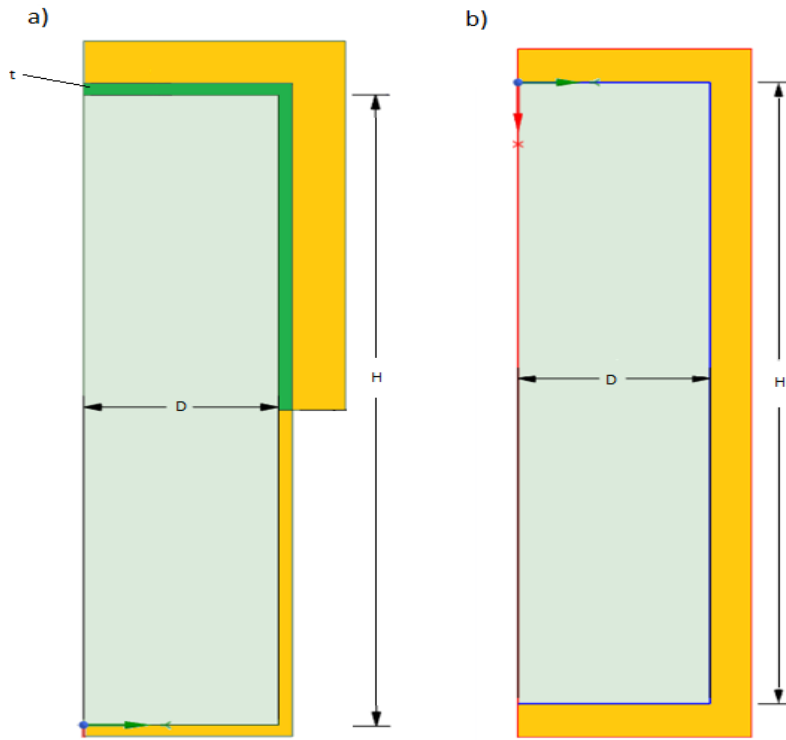
3.5.2. Yalıtım kalınlığı oranı ($h_a / h_{\bar{u}}$)

Tank alt ve üst yüzeyindeki yalıtım kalınlıkları tanktan dış ortama gerçekleşen ısı kaybını değiştirmektedir. Isı kaybına bağlı olarak da tank içerisindeki sıcaklık farkı ve dolayısıyla ısı katmanlaşma değişim göstermektedir. Bu nedenle yalıtım kalınlığı oranı değişimi kademeli yalıtım geometrisi için analiz edilmiştir. Analizlerde yalıtım kalınlığı oranları $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$, 0.5 ve 1 olarak belirlenmiştir. Farklı $h_a/h_{\bar{u}}$ oranları için kademeli ve sabit kalınlıklı yalıtım geometrisine sahip silindirik sıcak su tankları Şekil 3.7'd verilmiştir. Sarı renkli bölgeler cam yünü yalıtımın kullanıldığı alanlardır. Yeşil renkli bölgeler ise poliüretan köpük, aeorjel ve cam yünü olarak değiştirilmiştir. Yeşil renkli bölgenin kalınlığı daha öncede belirtildiği gibi ekonomik faktörlerde dikkate alınarak sabit 10 mm alınmıştır. $h_a/h_{\bar{u}}$ oranı için gerçekleştirilen sayısal analizlerde en/boy oranı $D/H=0.5$, yalıtım kalınlığı oranı $L/H=0.5$ olarak sabit tutulmuştur. Farklı $h_a/h_{\bar{u}}$ oranlı yalıtım geometrisine sahip sıcak su tankı ile sabit yalıtım kalınlığına sahip sıcak su tankı ısı katmanlaşma, enerji ve ekserji verimi açısından birbiri ile karşılaştırılmıştır.

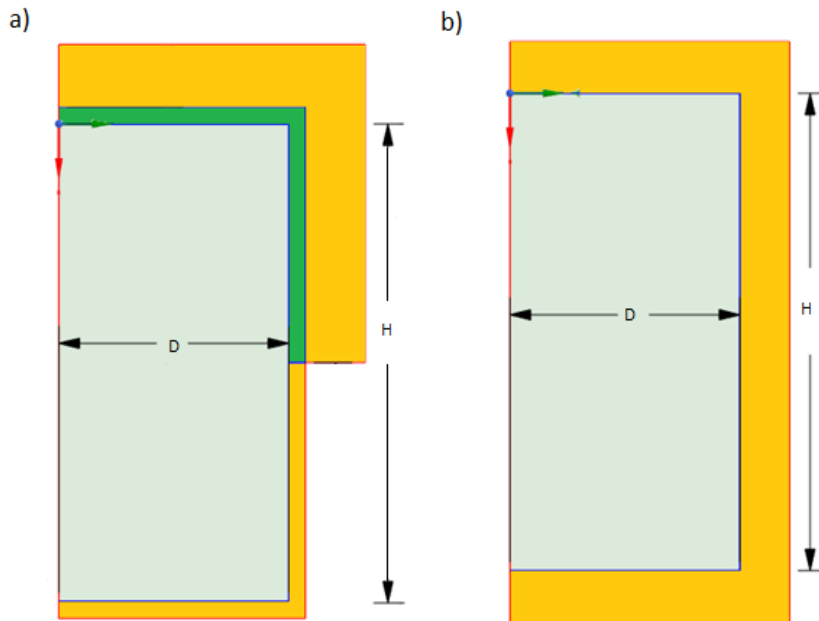
oranının değişimini içeren tüm analizlerde yalıtım kadem oranı $L/H=0.5$ ve yalıtım kalınlığı oranı $h_a/h_0=0.02$ olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 3.8. $D/H=0.3$ için silindirik sıcak su tankı ve yalıtım geometrileri a) cam yünü-aerojel katmanlı b) sabit kalınlıklı kademesiz



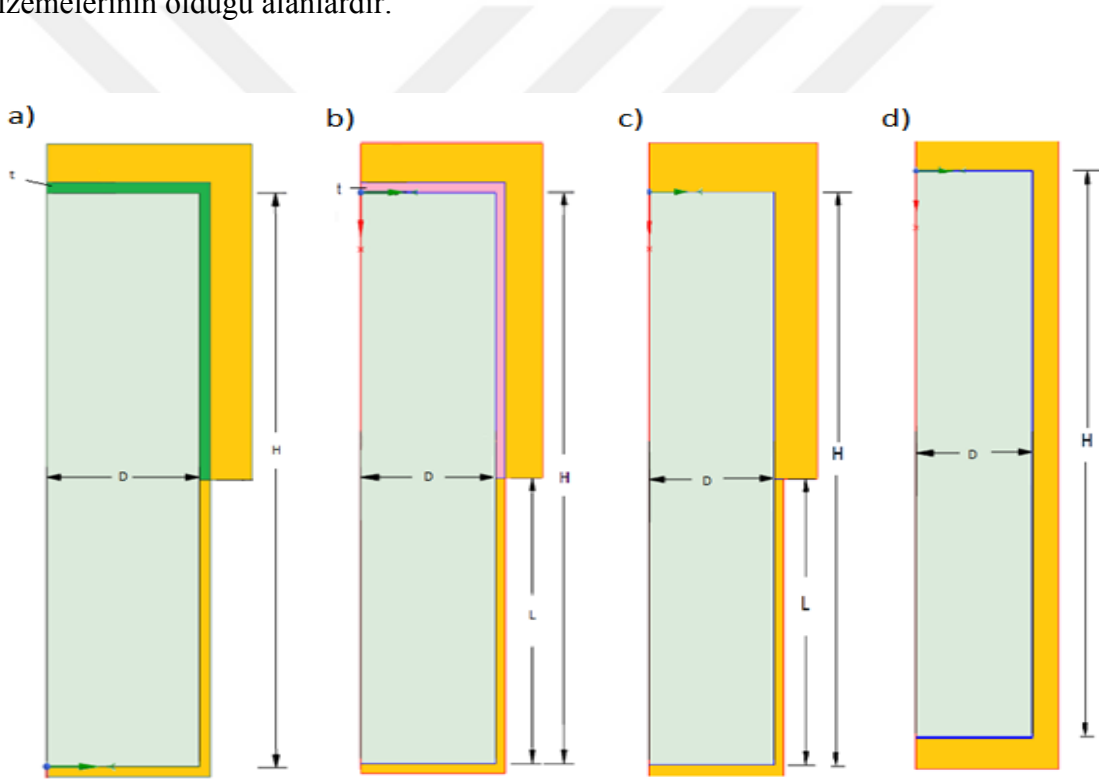
Şekil 3.7. $D/H=0.5$ için silindirik sıcak su tankı ve yalıtım geometrileri a) cam yünü-aerojel katmanlı b) sabit kalınlıklı kademesiz



Şekil 3.10. $D/H=1$ için silindirik sıcak su tankı ve yalıtım geometrileri a) cam yünü-aerojel katmanlı b) sabit kalınlıklı kademesiz

3.5.4. Farklı yalıtım katmanları

Kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerinin farklı olması sıcak sudan dış ortama olan ısı kayıplarını direkt olarak etkilemekte ve sıcak suyun muhafaza edilebileceği süreyi değiştirmektedir. Bu çalışmada, sıcak su tanklarında farklı yalıtım çiftleri kullanımının ısı katmanlaşmaya etkisi de araştırılmıştır. Şekil 3.11’de, farklı yalıtım çifti kullanılan kademeli yalıtım geometrisinin ve cam yünü kullanılan sabit kalınlıklı yalıtım geometrisinin tank içerisindeki ısı katmanlaşmaya olan etkisinin incelenmesi için kullanılan sıcak su tankları verilmiştir. Şekilde gösterilen yeşil ve pembe alanlar sırasıyla aerjel ve poliüretan yalıtım malzemelerinden oluşmaktadır. Sarı alanlar cam yünü yalıtım malzemelerinin olduğu alanlardır.



Şekil 3.8. Farklı yalıtım katmanları için kullanılan sıcak su tank geometrileri a) aerjel katmanlı kademeli yalıtım b) poliüretan katmanlı kademeli yalıtım c) cam yünü katmanlı kademeli yalıtım d) cam yünü sabit kalınlıklı yalıtım

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

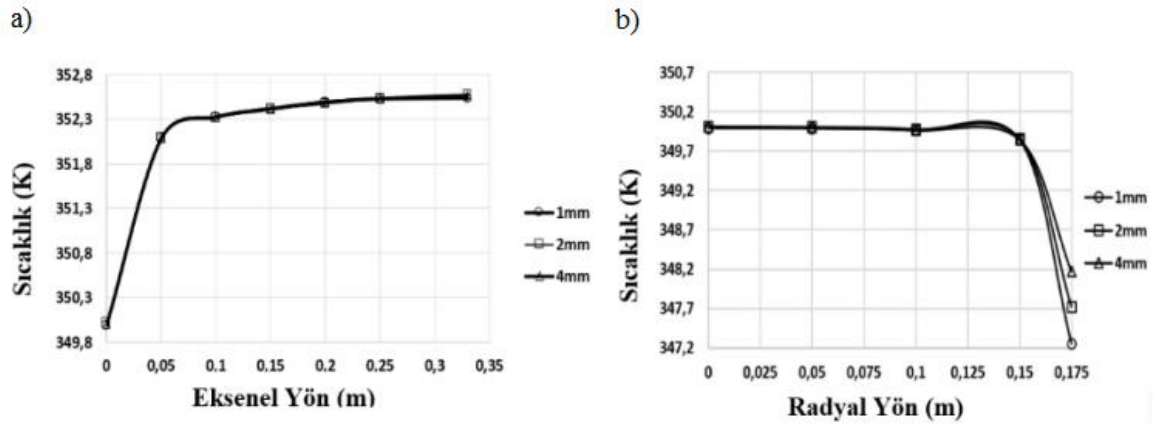
Yapılan analizlerde tüm parametre değerleri için 10 saatlik soğuma sonucundaki veriler incelenmiştir. Farklı yalıtım malzemelerinin birleştirilmesi ile yalıtım kademe oranı, yalıtım kalınlığı oranı ve en/boy oranı ele alınarak farklı analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler su sıcaklık dağılımı, doğal taşınım hareketi, birinci ve ikinci yasa verimi açısından değerlendirilmiştir.

Bu bölümde elde edilen bulgular iki ana başlık altında incelenmiştir. Öncelikle sıcak su tankı için oluşturulan matematiksel ve sayısal modelden elde edilen bulgular literatürdeki deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış ve doğrulaması yapılmıştır. İkinci aşamada ise parametrik çalışma sonucu elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

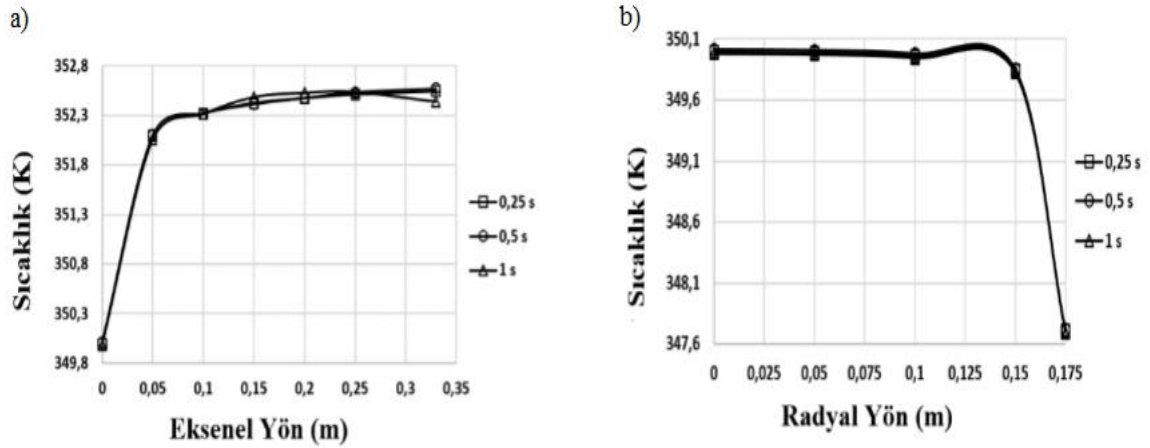
4.1. Sayısal Sonuçların Doğrulanması

Sayısal sonuçların doğrulanması işleminde ilk olarak hücre yapısından ve zaman adımından bağımsızlık testi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise sayısal çalışmada elde edilen sonuçlar, Yang ve ark. Yapmış oldukları deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Yang, Chen, Wang, Sheng, & Wang, 2016).

Eksenel ve radyal doğrultudaki hücre boyutuna bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Her iki yöndeki sıcaklık değişimlerinin incelenmesi için 1 mm, 2 mm ve 4 mm’lik hücre boyutları kullanılmıştır. Eksenel yöndeki sıcaklık dağılımı Şekil 4.1a’da görüldüğü gibi hücre boyutu değişiminden ihmal edilebilir seviyede etkilenmiştir. Radyal yöndeki sıcaklık dağılımında ise 2 mm’lik hücre boyutundan 1 mm’lik hücre boyutuna geçildiğinde su sıcaklığındaki değişim 0,26% civarındadır. 2 mm’lik hücre boyutundan daha küçük hücre boyutlarında sıcaklık değişiminin oldukça düşük olması nedeniyle 2 mm’lik hücre boyutunun sayısal analizler için yeterli olacağına karar verilmiştir. Analizlerin zamandan bağımsız olduğunun gösterilebilmesi açısından üç farklı zaman aralığı (1 saniye, 0.5 saniye v 0.25 saniye) için analizler yapılmıştır. Radyal yöndeki su sıcaklığı dağılımı zaman adımı değişiminden etkilenmezken eksenel yöndeki su sıcaklığı dağılımı 0.5 s’nin altındaki değerlerde değişmemiştir. Bu nedenle zamana bağlı sayısal analizler için 0.5 s zaman adımı seçilmiştir.

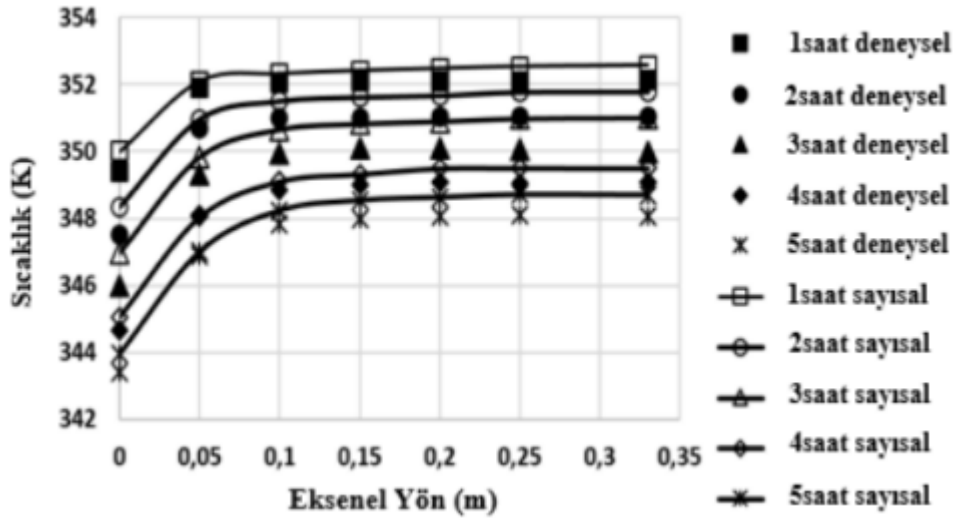


Şekil 4.1. Sayısal çözümlemenin doğrulanabilmesi için hücre boyutu değişiminden bağımsızlık testi



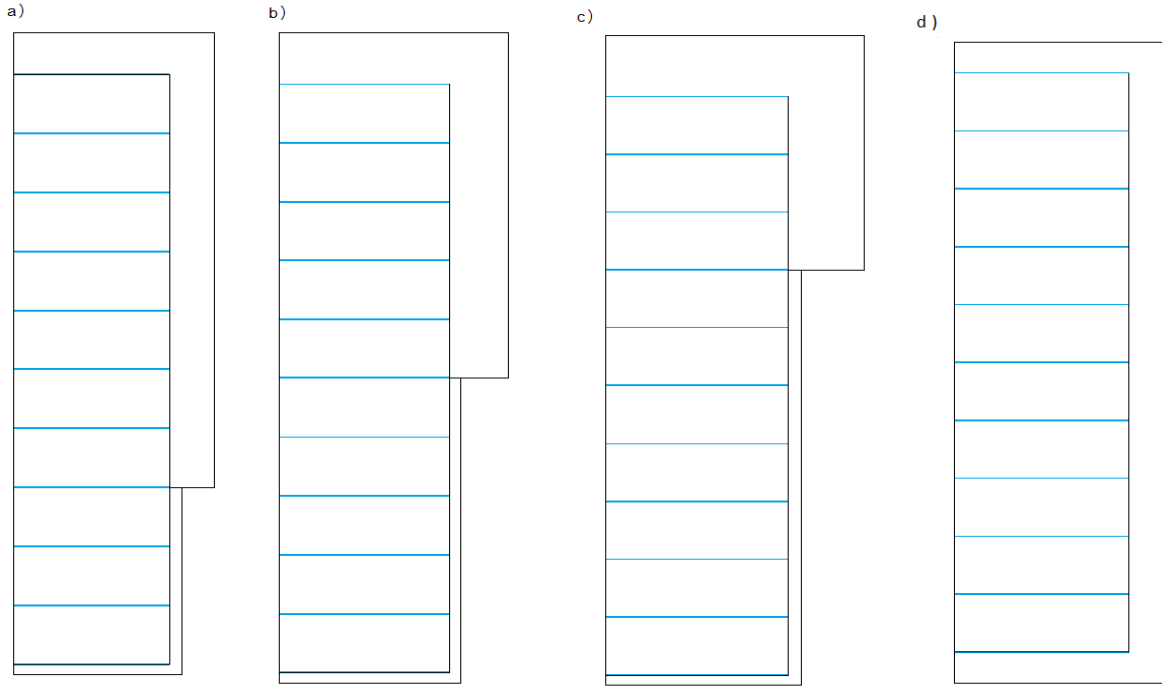
Şekil 4.2. Sayısal çözümlerin doğrulanması için zaman adımı değişiminden bağımsızlık testi

Sayısal analiz de kullanılan 2 mm hücre boyutu ve 0,5 s zaman adımı değerleri için elde edilen sonuçlar ve deneysel analiz sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4,3'te verilmiştir. 5 saatlik soğuma periyodu için karşılaştırmalar yapılmış ve tank eksenli boyunca oluşan su sıcaklıkları açısından deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki en büyük farkın 1.5% olduğu tespit edilmiştir. Bu durum analizler için oluşturulan matematiksel model ve kullanılan sayısal yöntemlerin kabul edilebilir olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.3. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

Parametrik analiz sonuçlarının verildiği sonraki bölümde tüm parametre değerlerinin değişimi tank içerisindeki sıcaklık dağılımı, akışkanın tank içerisindeki hareketi, sistemin birinci ve ikinci yasa verimi değerlendirilmiştir. Tank içerisindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesinde tüm parametre değerleri için Şekil 4.4’de verildiği gibi su hacmi 10 eşit parçaya bölünmüştür. Her bir parçayı temsil eden çizgiler üzerindeki ortalama sıcaklık değerleri alınarak eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları grafikler halinde verilmiştir. Grafiklerdeki sıcaklık dağılımları, eksenel yönde ve tank tabanından üst yüzeye doğru olacak şekilde verilmiştir. Sıcaklığın ölçüldüğü konumun tank yüksekliğine bölünmesi ile boyutsuz yükseklik değerleri elde edilmiştir. Ayrıca tüm parametre değerleri için soğuma periyodunun başlangıcında tank içerisindeki su sıcaklığı 80 °C alınmıştır.



Şekil 4.4. Farklı parametre değerleri için tank içerisindeki su hacminin 10 eşit parçaya bölünmesi ile ilgili örnekler

4.2. Yalıtım Kademe Oranı Değişimi (L/H) İçin Analiz Sonuçları

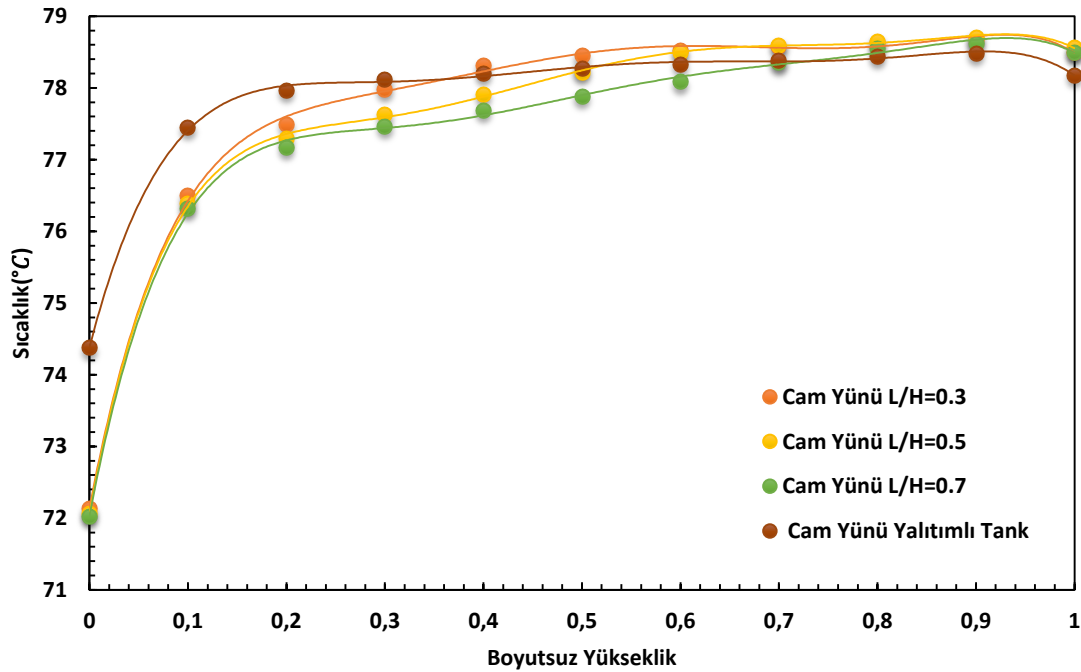
Sayısal analizler L/H oranının 0.3, 0.5 ve 0.7 değerleri için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yalnızca cam yünü yalıtım kullanılması ve cam yünü-aerogel çifti kullanılması durumundaki analiz sonuçları birbirleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

4.2.1. Cam yünü yalıtım kullanılması durumunda yalıtım kademe oranı değişimi için boyutsuz yükseklik değerlerine göre su sıcaklık dağılımı

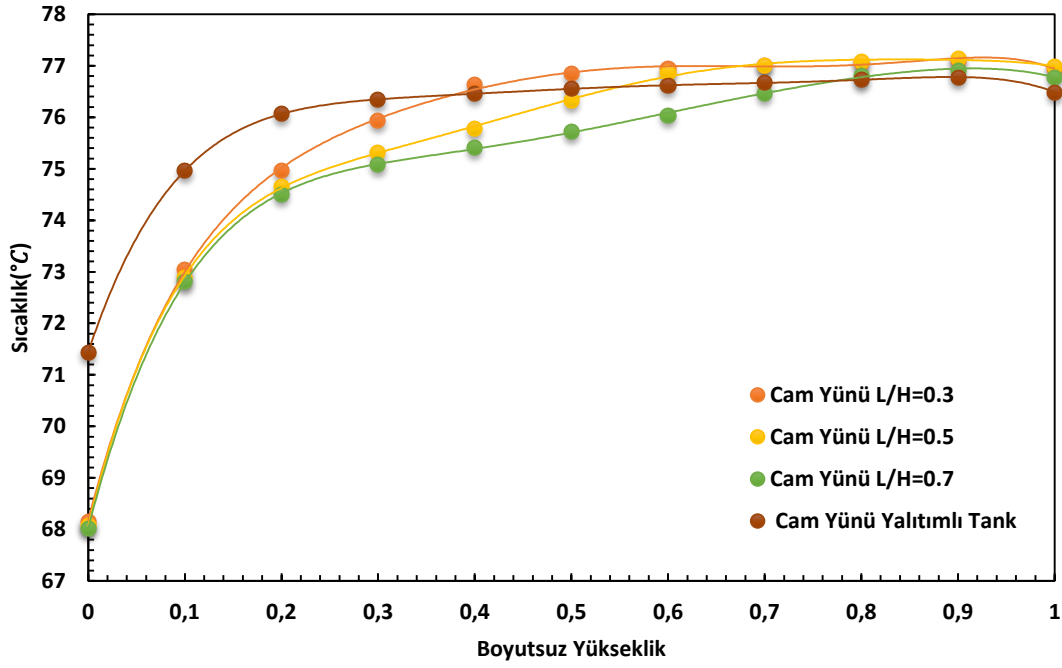
Tüm L/H değerleri ve sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi için 10 saatlik analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.5-4.9'da verilen grafiklerde 2'şer saat zaman aralıkları için elde edilen sıcaklık dağılımları görülmektedir. Grafiklerdeki cam yünü yalıtımlı ifadesi kullanılan sıcak su tankının sabit kalınlıklı yalıtım geometrisine sahip olduğunu ifade etmektedir.

Su sıcaklıklarının tüm durumlarda zamana bağlı olarak düştüğü görülmektedir. Ayrıca kademeli yalıtım geometrisi kullanılması ile tank tabanındaki su sıcaklıkları, sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi kullanımındaki su sıcaklıklarına göre daha düşük değerdedir. Diğer

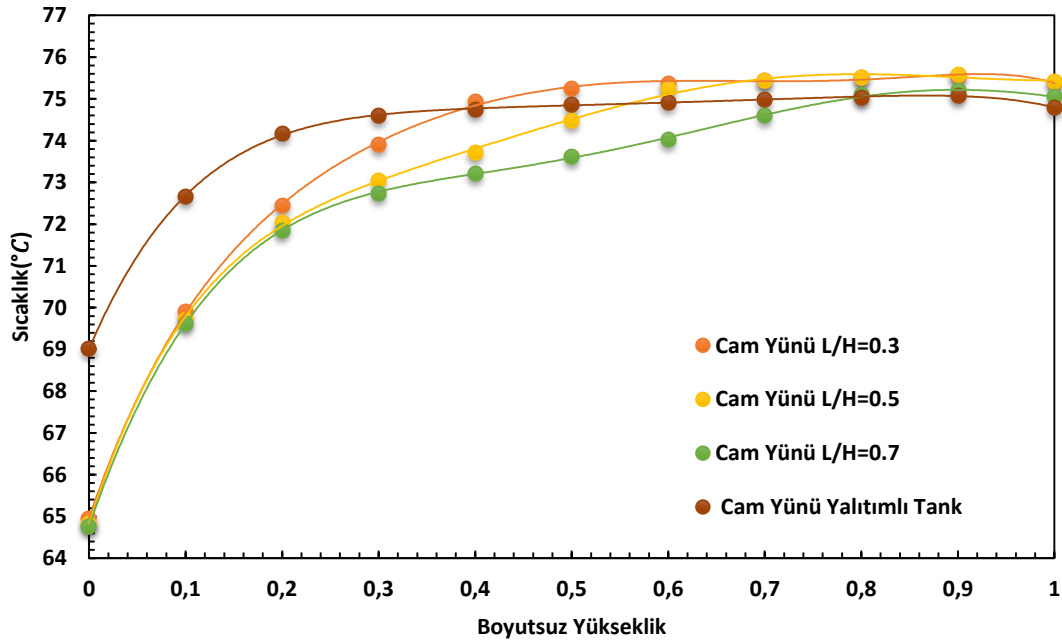
yandan tank üst bölgesindeki sıcaklık değerleri ise kademeli yalıtım kullanılmasıyla daha uzun süre muhafaza edilebilmiştir. 2, 4, 6, 8 ve 10 saatlik soğuma periyodlarının tümünde tankın orta ve alt bölgesinde $L/H=0.7$ değeri için su sıcaklıkları daha fazla düşmüştür. Bu sıcaklık düşüşü, sabit kalınlıklı yalıtım geometrisine sahip tanka göre 2 saatlik soğuma periyodunda 3.3% ve 10 saatlik soğuma periyodunda 8.6% oranında gerçekleşmiştir. Tankın üst bölgesinde ise 2 saatlik soğuma periyodu için tüm L/H değerlerinde su sıcaklıkları birbirine yakın iken (Şekil 4.5) 10 saatlik soğuma periyodunda $L/H=0.7$ için su sıcaklığı sabit kalınlıklı yalıtım geometrisine sahip sıcak su tankındaki sıcaklıklarıyla yaklaşık aynı değerleri almıştır (Şekil 4.9). Bu durum, $L/H=0.7$ iken tankın orta ve alt bölgesindeki yalıtım miktarının oldukça düşmesi nedeniyle dış ortama olan ısı kayıplarının artmasından kaynaklanmıştır. Diğer L/H değerleri için ise 10 saatlik soğuma periyodunda dahi tank üst bölgesindeki su sıcaklığı geleneksel yalıtımlı sıcak su tankındaki sıcaklıklara göre daha yüksektir. Bu sonuçlar $L/H=0.5$ ve 0.3 değerleri için kademeli yalıtım geometrisi kullanımıyla tank üst bölgesindeki su sıcaklığının daha uzun süre muhafaza edilebileceğini göstermiştir.



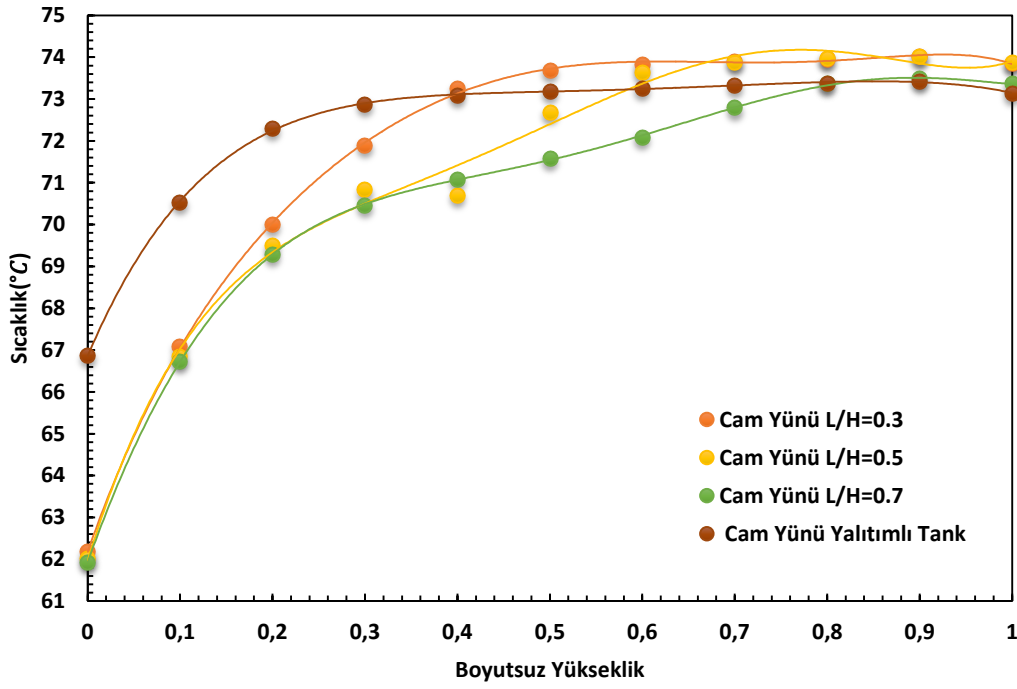
Şekil 4. 5. Yalıtım kademe oranı değişimi için 2 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$)



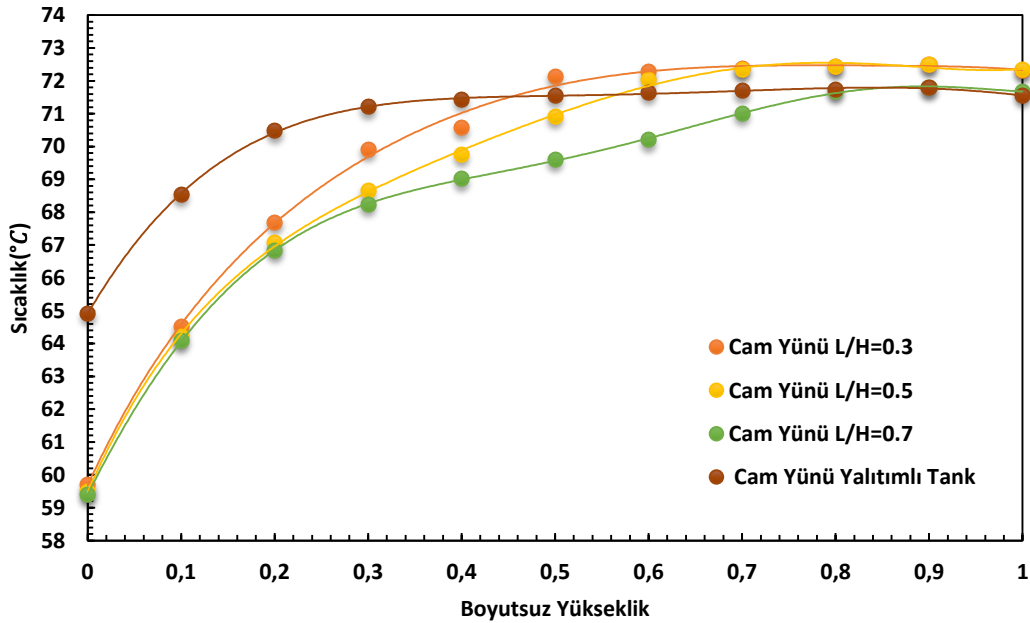
Şekil 4.6. Yalıtım kademe oranı değişimi için 4 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$)



Şekil 4.7. Yalıtım kademe oranı değişimi için 6 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$)



Şekil 4.8. Yalıtım kademe oranı değişimi için 8 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$)



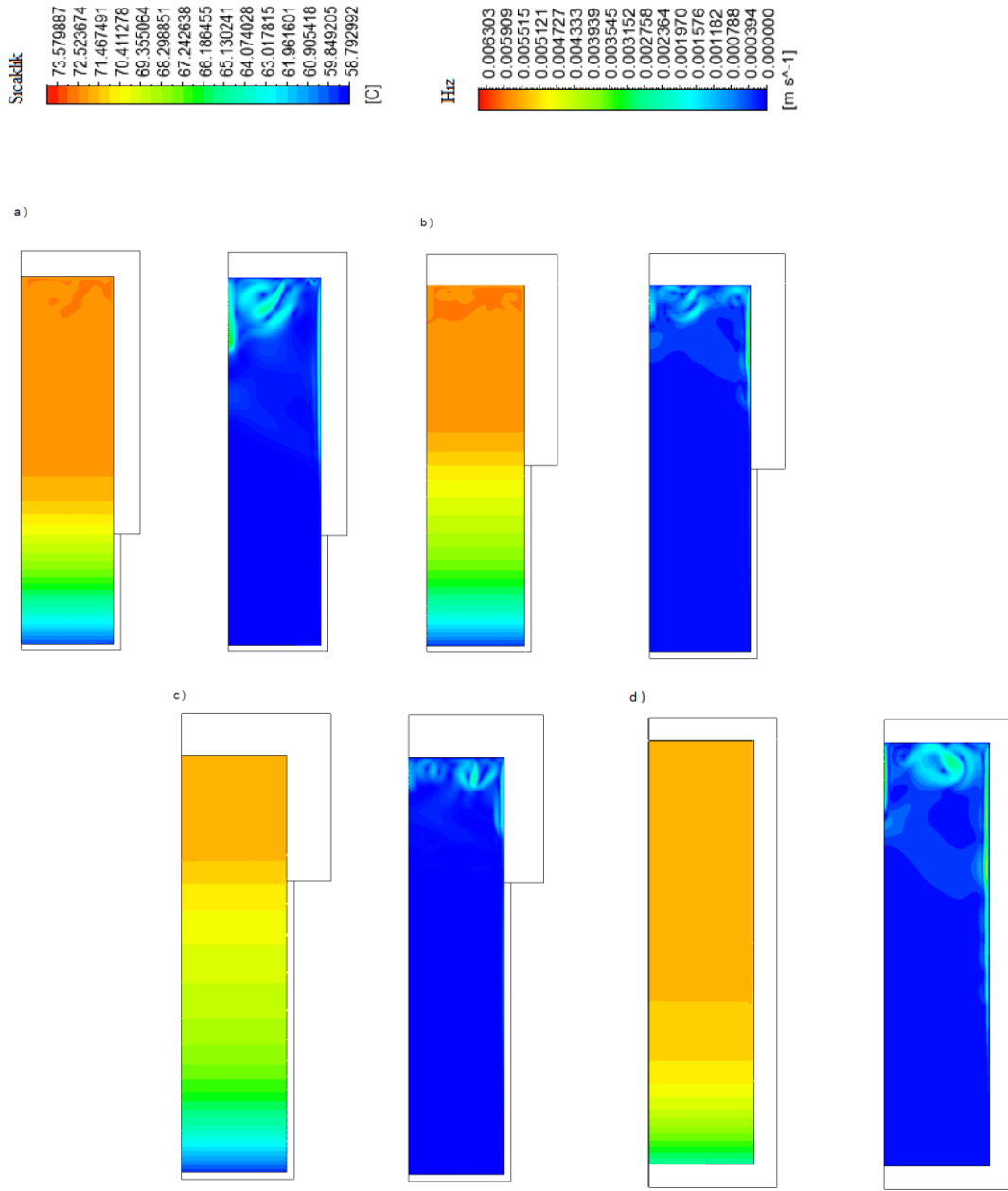
Şekil 4.9. Yalıtım kademe oranı değişimi için 10 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$)

2 saatlik soğuma periyodu sonunda tank alt kısmı ve tank üst kısmı arasındaki en düşük sıcaklık farkı, sabit kalınlıklı yalıtım geometrisine sahip tank için 3.8°C , en yüksek sıcaklık farkı ise $L/H=0.5$ için 6.50°C olarak elde edilmiştir. 10. saat sonunda ise tank haznesinin alt

kısmı ve üst kısmı arasındaki en yüksek sıcaklık farkının $L/H=0.5$ için $12.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve en düşük sıcaklık farkının ise sabit kalınlıklı yalıtım geometrisine sahip tank için $6.63\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.1.1. Yalıtım kademe oranı değişimine göre 10 saatlik analiz sonucunda oluşan sıcaklık ve hız konturları

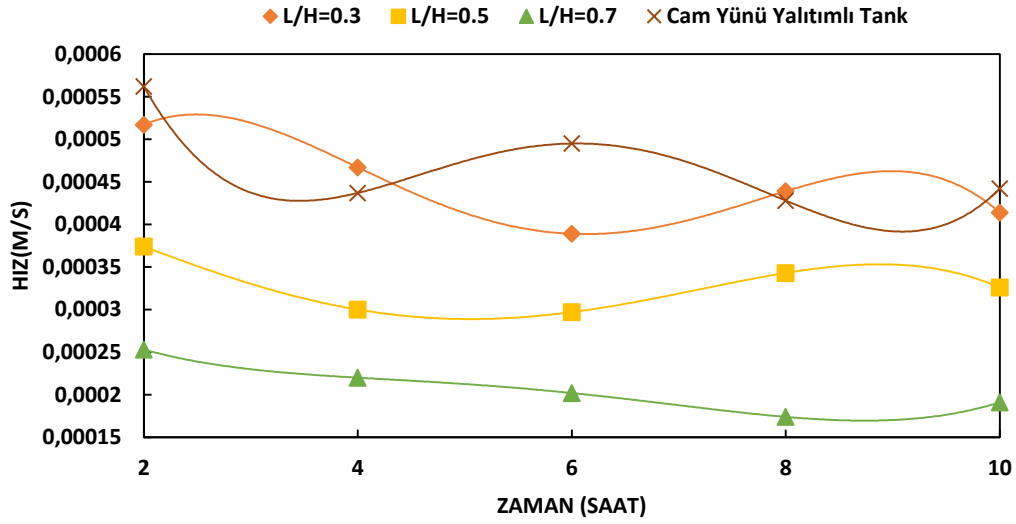
Şekil 4.10'de kademeli yalıtıma sahip sıcak su tanklarındaki L/H oranlarının farklı değerleri ve sabit kalınlıklı yalıtım geometrisine sahip sıcak su tankı için sıcaklık ve hız kontörleri verilmiştir. Şekil 4.10a, 4.10b, 4.10c ve 4.10d'deki kontörlerde soldaki şekil sıcaklık kontörlerini sağdaki şekil ise hız kontörlerini göstermektedir. Kademeli yalıtım geometrisi ile tank içerisinde soğuma sonucu oluşan sıcak ve soğuk suyun yer değişimi hareketini olabildiğince engellemesi hedeflenmiştir. Şekil 4.10d'de verilen geleneksel sıcak su tankında akışkan hareketinin en yüksek olduğu görülmektedir. Akışkan hareketinin artması neticesinde sıcak ve soğuk su karışımı artmış ve tankın üst bölgesindeki su sıcaklığı kademeli yalıtım geometrisine sahip tanklardaki su sıcaklıklarına göre düşmüştür. Tanklara ait hız kontörleri incelendiğinde kademeli yalıtımlı tanklarda hız sınır tabakası tank alt yüzeyine daha uzak olan noktalarda sona ermiş ve böylece üst bölgedeki sıcak suyun soğuyarak alt bölgedeki su ile karışımı belirli ölçüde engellenmiştir. Kademeli yalıtıma sahip sıcak su tankları kendi içerisinde incelendiğinde tank tabanındaki en düşük sıcaklık $L/H=0.7$ için elde edilirken, ısı katmanlaşmanın en yüksek olduğu, diğer bir ifadeyle tank içerisindeki sıcaklık farkının en yüksek olduğu durum ise $L/H=0.5$ için elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Yalıtım kademe oranı değişimi ve sabit kalınlıklı yalıtım için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri

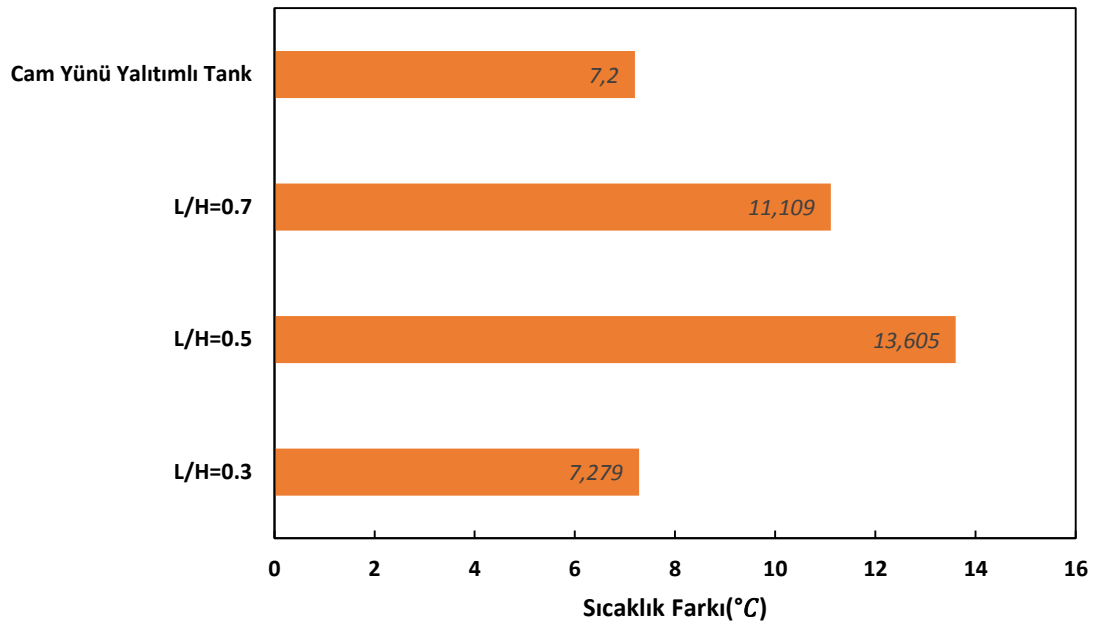
Analiz boyunca 2 saatlik aralıklarla tank içerisindeki ortalama hız değerleri hesaplanmış ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.11’deki ortalama hız değerleri incelenecek olursa 10 saatlik soğuma periyodu boyunca en yüksek ortalama hız değerlerinin sabit kalınlıklı yalıtım kullanılması ve $L/H=0.3$ ’lük kademe oranına sahip kademeli yalıtım kullanılması durumunda, en düşük ortalama hız değerlerinin ise $L/H=0.7$ koşulunda olduğu saptanmıştır. Ayrıca sabit yalıtım kalınlığı ve $L/H=0.3$ olması durumlarında tank içerisindeki doğal konveksiyondan kaynaklanan ortalama hız değerlerinin dalgalı bir karakteristik

gösterdiği göze çarpmaktadır. $L/H=0.5$ ve 0.7 kademe oranlarında ise ortalama akışkan hızının daha kararlı bir yapıda olduğu görülmektedir. Hız kontörlerinden anlaşıldığı gibi Şekil 4.11'den de kademeli yalıtım geometrisi kullanımının sıcak ve soğuk karışımını önemli ölçüde azalttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.11. Yalıtım kademe oranı değişimi ve sabit yalıtım kalınlığı için zamana bağlı ortalama hız grafiği

Şekil 4.12'de ise L/H değişimine göre tank içerisinde oluşan en yüksek sıcaklık farklarının sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi kullanılması durumu ile karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 4.12'dan da görüldüğü gibi tank içerisindeki en yüksek sıcaklık farkı kademeli yalıtım geometrisi kullanımı durumunda $L/H=0.5$ için elde edilmiştir (13.605°C). Başka bir ifadeyle ısı katmanlaşma oluşumu için en uygun kademe oranının $L/H=0.5$ olduğu gözlenmiştir.

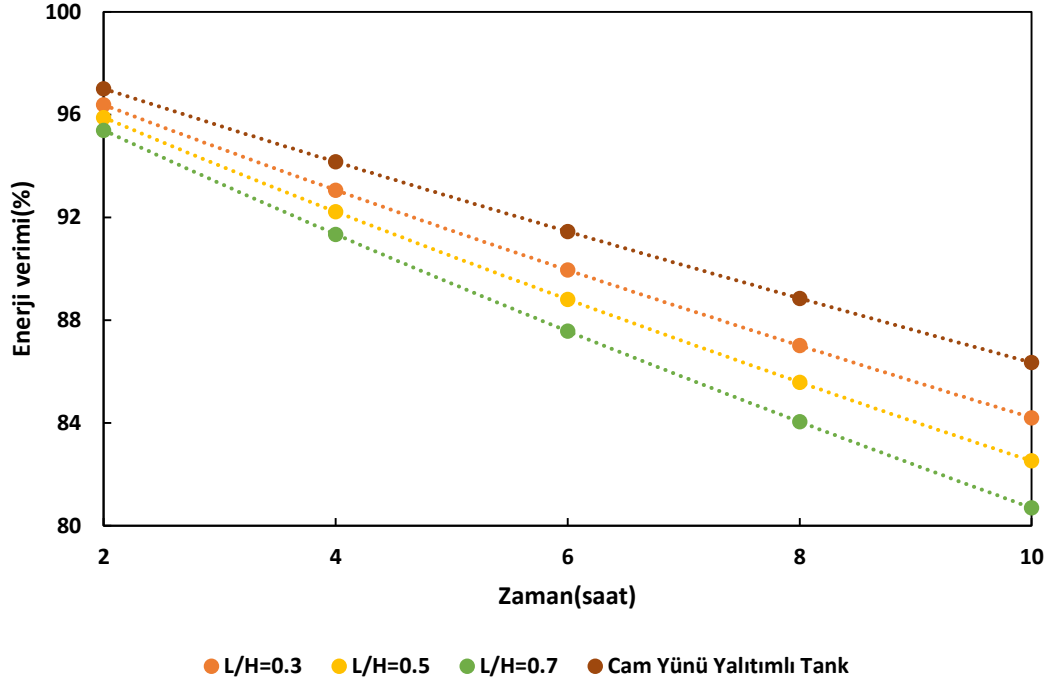


Şekil 4.12. Yalıtım kademe oranı değişimine göre tank içerisindeki en yüksek su sıcaklık farkları

4.2.1.2. Yalıtım kademe oranı değişimine göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji ve ekserji verimleri

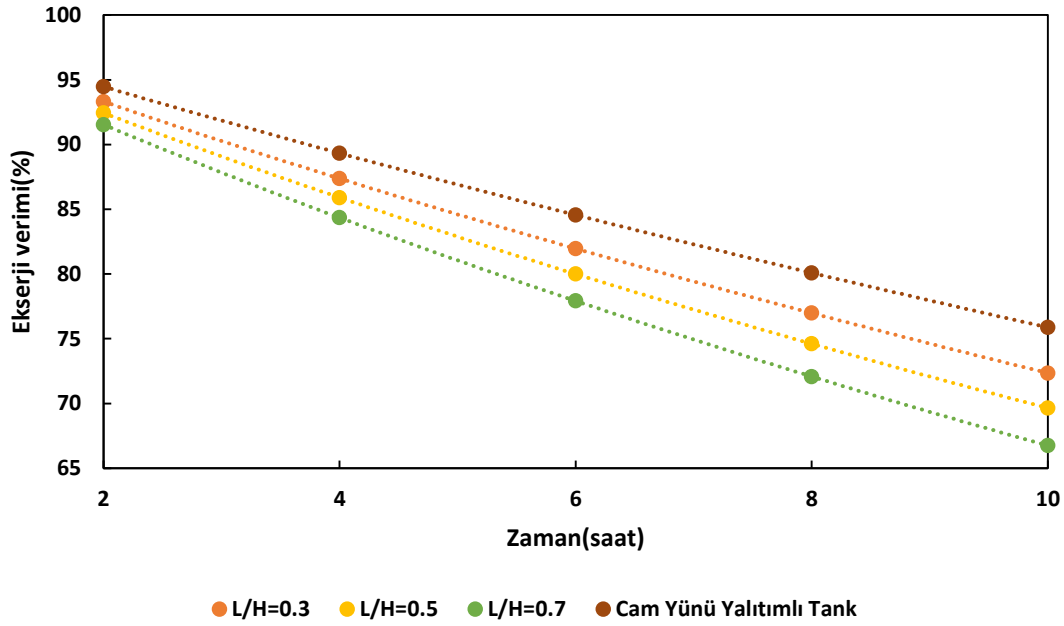
Tez çalışmasında verilen tank ve yalıtım geometrilerinin pratikte uygulanabilir olduğunun gösterilebilmesi için soğuma periyoduna bağlı olarak sistemin enerji ve ekserji verimleri incelenmiştir. Enerji ve ekserji verimlerinin hesaplanmasında tank içerisindeki suyun belirlenen zamandaki ortalama sıcaklıkları kullanılmıştır. Enerji verimi herhangi bir zamandaki suyun sahip olduğu enerjinin başlangıçta suyun sahip olduğu enerjiye oranı şeklinde hesaplanmıştır. Şekil 4.13’den anlaşıldığı üzere tüm parametre değerleri için soğuma zamanı arttıkça enerji veriminin düştüğü gözlemlenmektedir. Kademeli yalıtım kullanımı için tüm L/H değerlerinde sabit kalınlıklı yalıtım kullanımına göre enerji veriminin daha düşük olduğu görülmektedir. L/H oranının artışıyla sabit kalınlıklı yalıtım durumuna göre enerji verimindeki düşüşte artmıştır. Bu düşüş L/H=0.7 için 2 saatlik soğuma periyodunda en fazla 1.9% oranında iken 10 saatlik soğuma periyodunda 6.6% oranındadır. Kademeli yalıtım geometrisi kullanımı ile tankın üst bölgesindeki su daha yüksek sıcaklıkta ve daha uzun süre muhafaza edilmiş olsa da tankın orta ve alt bölgelerindeki su sıcaklıklarının daha düşük olması tank içerisindeki ortalama su sıcaklığının düşmesine neden

olmuştur. Düşük sıcaklıktaki suyun enerjisinin de daha düşük olması kademeli yalıtım kullanımında sistemin enerji veriminde azalmaya yol açmıştır.



Şekil 4.13. Yalıtım kademe oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri

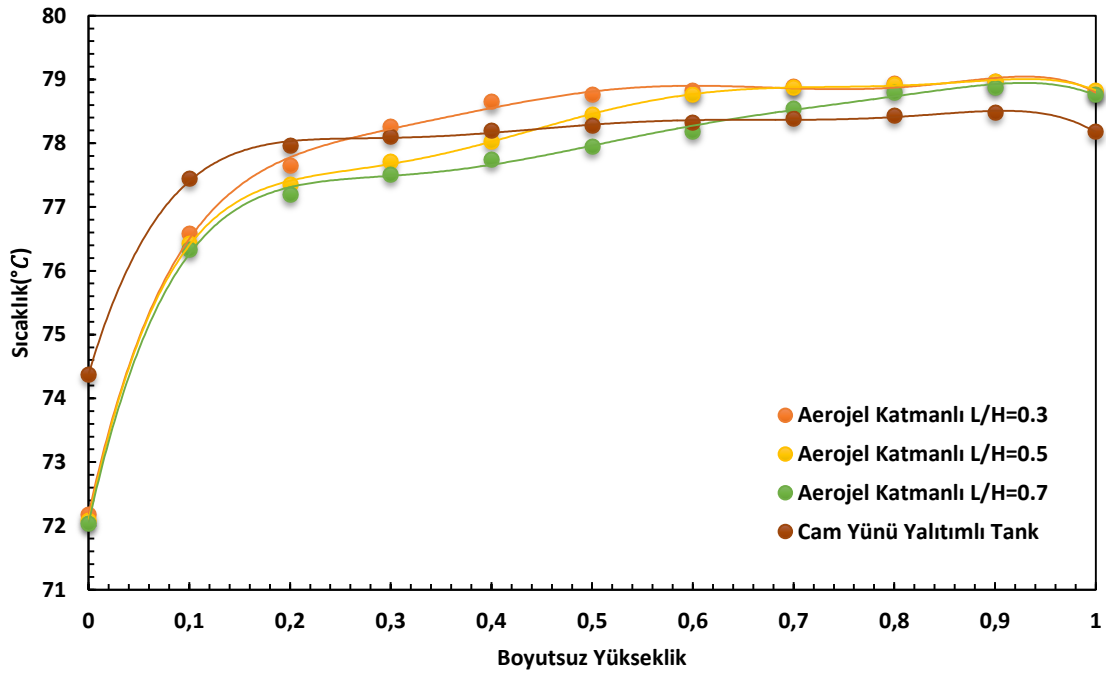
Şekil 4.14’de ise sistemin parametre değerlerine göre ekserji verimlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Ekserji verimi belirlenen bir zamanda sıcak suyun sahip olduğu enerjiden kaynaklı iş yapabilme potansiyelinin soğuma periyodunun başlangıcındaki iş yapabilme potansiyeline oranı olarak değerlendirilebilir. Diğer bir deyişle var olan sıcak su enerjisinin ne kadarından faydalanılabileceğinin bir ölçüsüdür. Enerji veriminde olduğu gibi tüm parametre değerleri için soğuma periyodu uzadıkça sistemin ekserji veriminde de düşüş meydana gelmiştir. 10 saatlik soğuma periyodu boyunca sabit kalınlıklı yalıtım kullanılması durumundaki ekserji verimi kademeli yalıtım durumuna göre daha yüksektir. Kademeli yalıtım durumunda $L/H=0.7$ değeri için ekserji veriminde en yüksek düşüş meydana gelmiştir. Standart duruma göre ekserji verimindeki en az düşüş ise $L/H=0.3$ değeri için olmuştur. $L/H=0.7$ oranına sahip kademeli yalıtım kullanımı ile sabit kalınlıklı yalıtım kullanımına göre 2 saatlik soğuma periyodunda ekserji verimi 94.47%’den 91.53%’ye (3.1%), 10 saatlik soğuma periyodunda ise 75.88%’den 66.75%’ye (12%) düşmüştür.



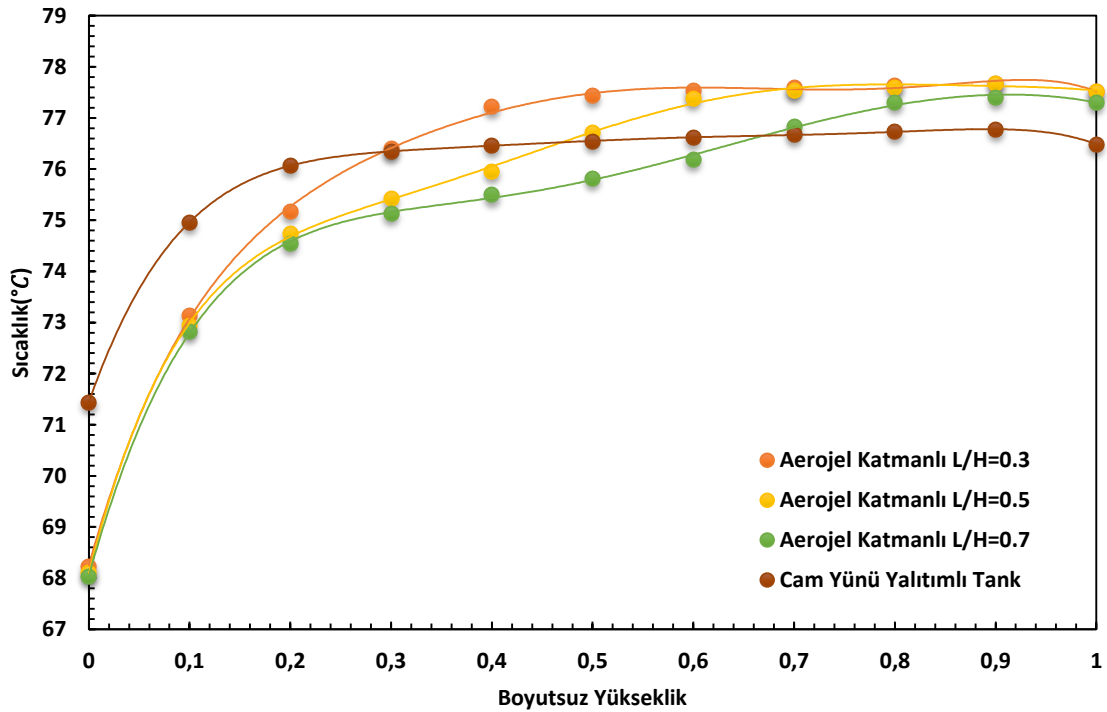
Şekil 4.14. Yalıtım kademe oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda ekserji verimleri

4.2.2. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yalıtım kullanılması durumunda yalıtım kademe oranı değişimi için boyutsuz yükseklik değerlerine göre su sıcaklık dağılımı

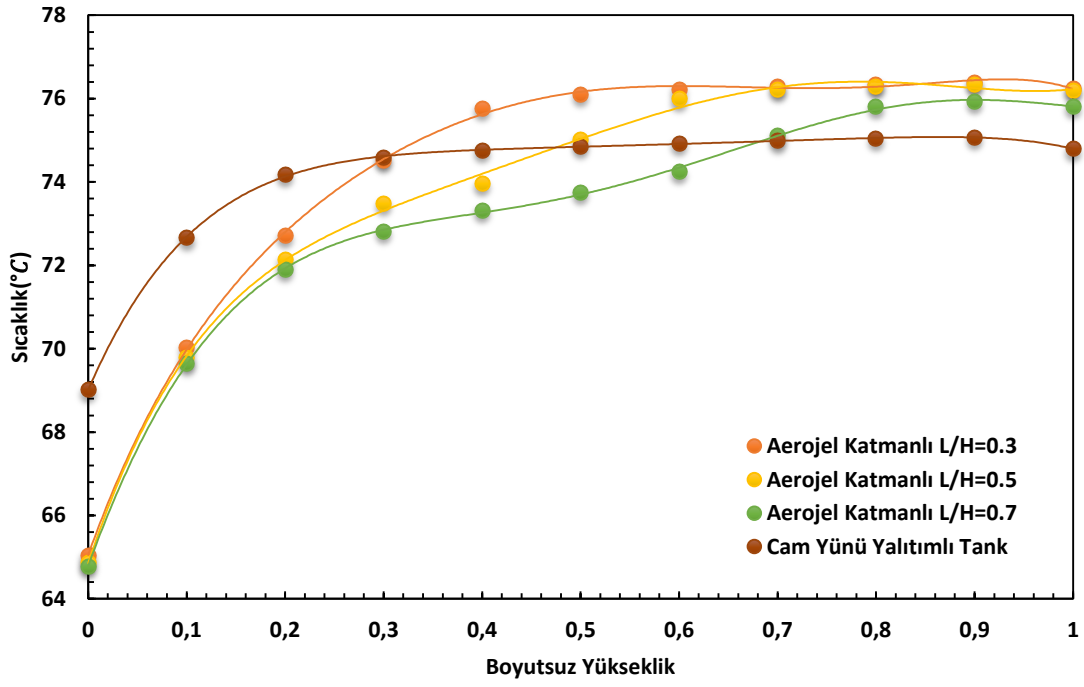
Bu bölümdeki incelemede su tankının belirli bir bölümü için cam yünü yalıtım içerisine 10 mm kalınlığında aerojel yalıtım katmanı eklenerek hem ısı katmanlaşmanın artırılması hem de su sıcaklığının daha uzun süre muhafaza edilebilmesi amaçlanmıştır. Bir önceki bölümde olduğu gibi 2 saatlik soğuma periyodları için tank içerisinde eksenel yöndeki su sıcaklığı dağılımı Şekil 4.15-4.19 ile verilmiştir. 2 saatlik soğuma sonucunda tüm L/H değerleri için tank tabanındaki su sıcaklığının standart duruma göre 2.34 °C azalarak 3.1% oranında düştüğü görülmektedir (Şekil 4.15). Tankın üst bölgesindeki sıcaklıklar ise tüm L/H değerleri için yaklaşık olarak aynıdır ve standart yalıtımlı tankın üst bölgesindeki su sıcaklığına göre daha yüksek sıcaklıkta kalmıştır. Soğuma süresinin artmasıyla tüm L/H değerleri için tank tabanındaki sıcaklıklar yaklaşık aynı değeri alırken tank üst bölgesindeki su sıcaklığında özellikle 10 saatlik soğuma periyodu sonunda L/H=0.7 değeri için daha fazla düşüş meydana gelmiştir (Şekil 4.19). Bu sonuçlar uzun süre ısı katmanlaşma sağlanmasında L/H=0.3 ve 0.5 kademe oranlarının daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır.



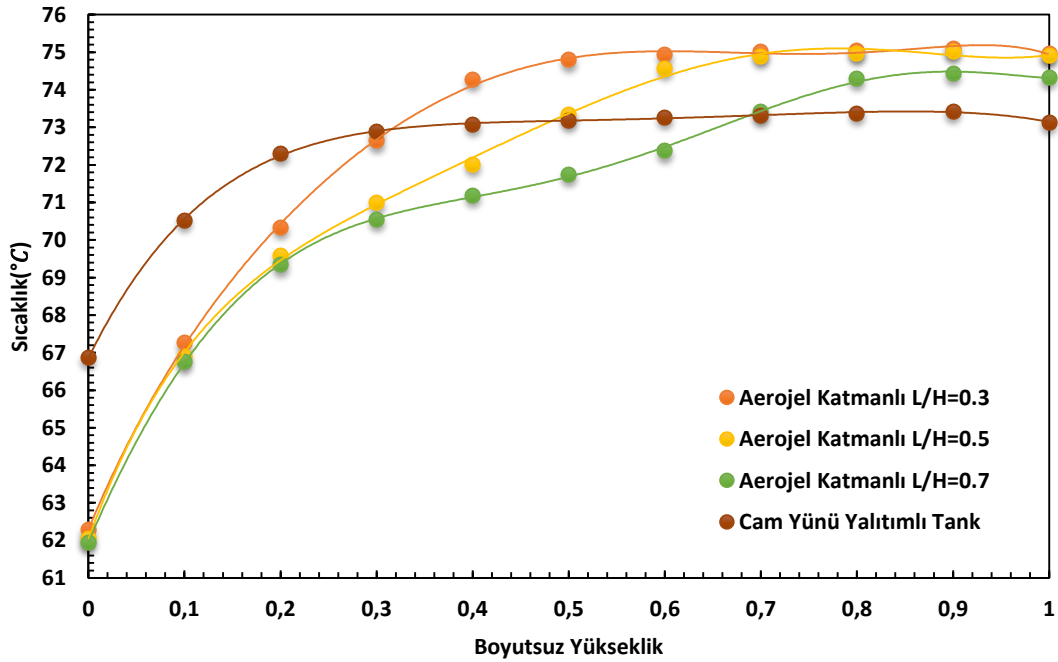
Şekil 4.15. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi için 2 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$)



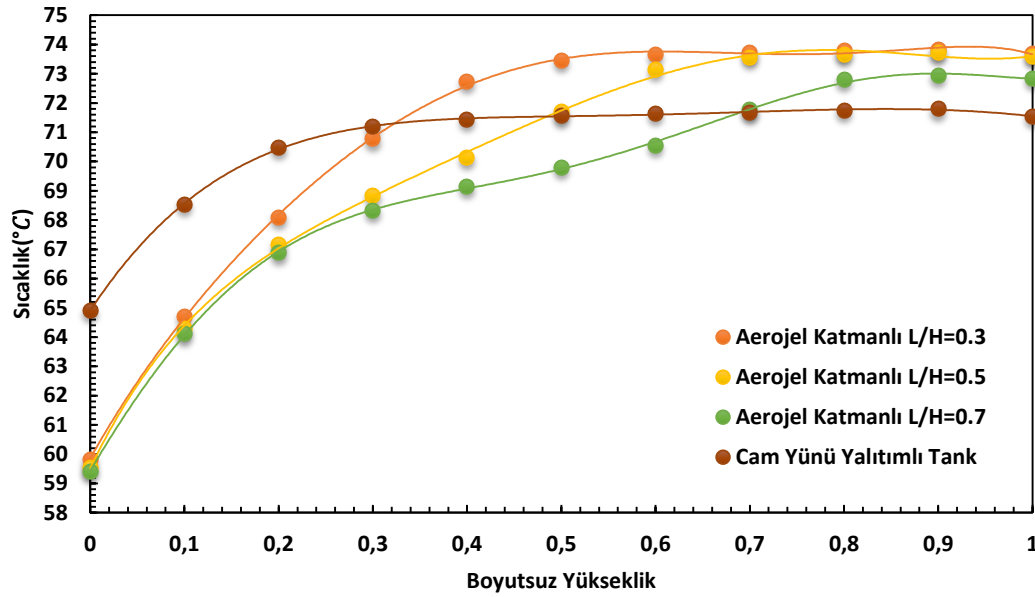
Şekil 4.16. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi için 4 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$)



Şekil 4.17. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi için 6 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $ha/hü=0.02$)



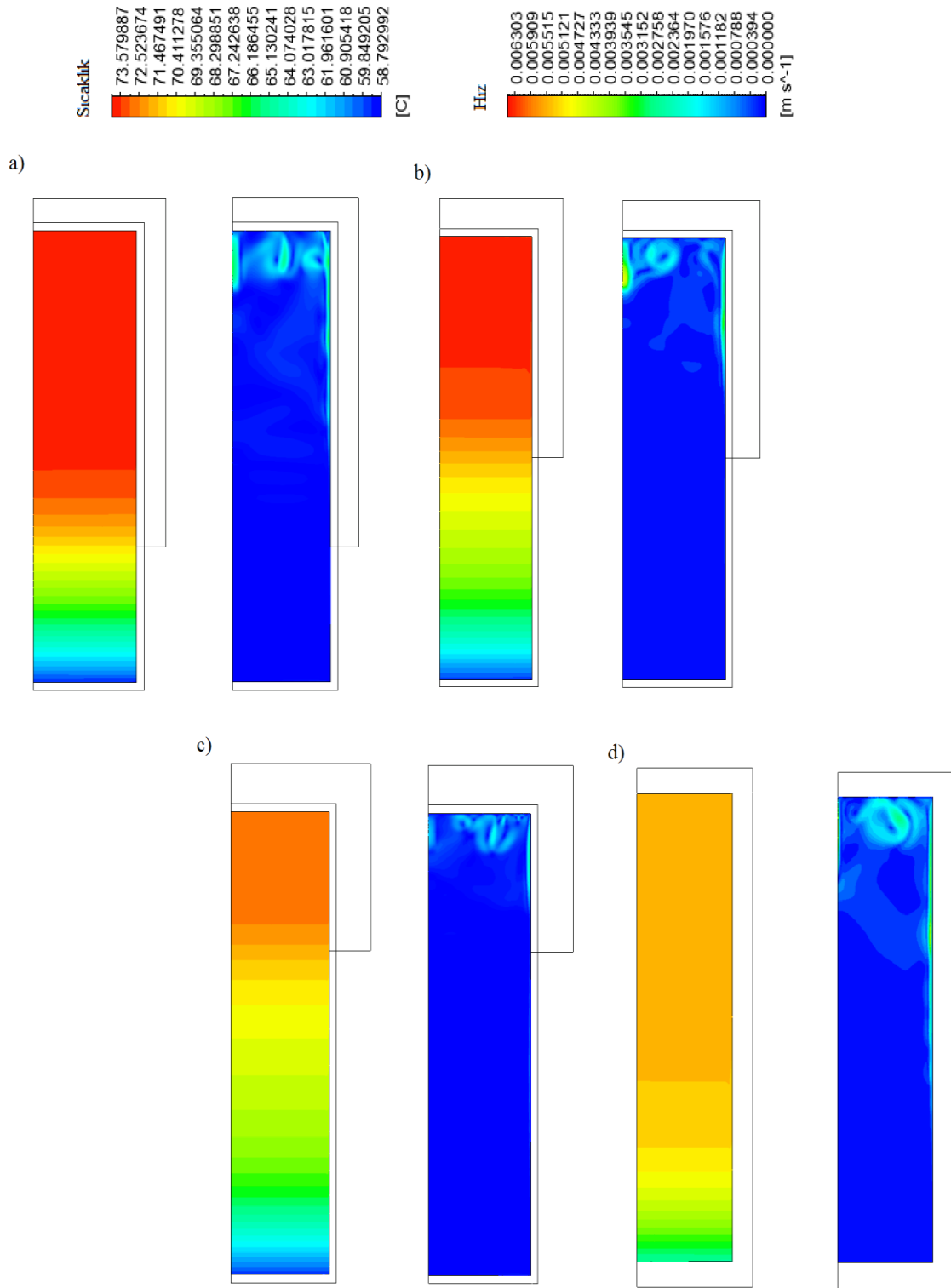
Şekil 4.18. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi için 8 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $ha/hü=0.02$)



Şekil 4.19. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi için 10 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($D/H=0.5$, $ha/hü=0.02$)

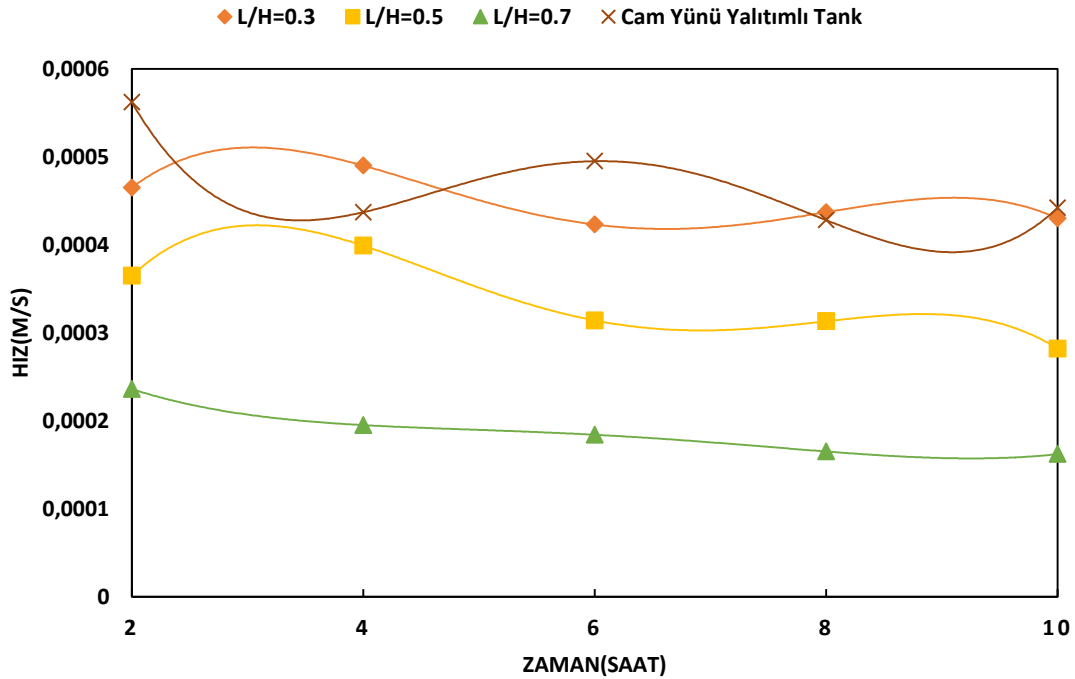
4.2.2.1. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimine göre 10 saatlik analiz sonucunda oluşan sıcaklık ve hız konturları

Şekil 4.20'de verilen hız kontörleri incelendiğinde sabit kalınlıklı yalıtım geometrisine sahip sıcak su tankındaki sıcak ve soğuk su karışım hareketinin en yüksek olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.20d'den görüldüğü gibi tank duvarındaki hız sınır tabakası tank alt bölgesine yakın mesafede başlamıştır. Kademeli yalıtım geometrisi kullanımı ile tüm L/H değerleri için doğal konveksiyon hareketi belirgin şekilde azalmıştır. Sıcak ve soğuk su karışımının en az indiği durumun $L/H=0.5$ koşulunda meydana geldiği anlaşılmıştır (Şekil 4.20b). Cam yünü-aerojel katmanlı kademeli yalıtım geometrisi kullanımı durumunda farklı L/H değerleri için elde edilen sonuçlar yalnızca cam yünü katmanlı kademeli yalıtım geometrisi kullanımı durumundaki sonuçlarla benzer olsa da aerojel malzemesinin ısı iletkenliğinin düşük olması 10 saatlik soğuma periyodu sonunda tankın üst bölgesindeki su sıcaklığının daha yüksek olmasını sağlamıştır. Bu durum Şekil 4.10, Şekil 4.20 ile karşılaştırıldığında belirgin bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Yalnız cam yünü katmanlı kademeli yalıtım kullanımında 10 saatlik soğuma sonunda tank içerisindeki en yüksek sıcaklık 72°C iken cam yünü-aerojel katmanlı kademeli yalıtım kullanıldığında bu sıcaklık 73.6°C 'ye yükselmiştir.

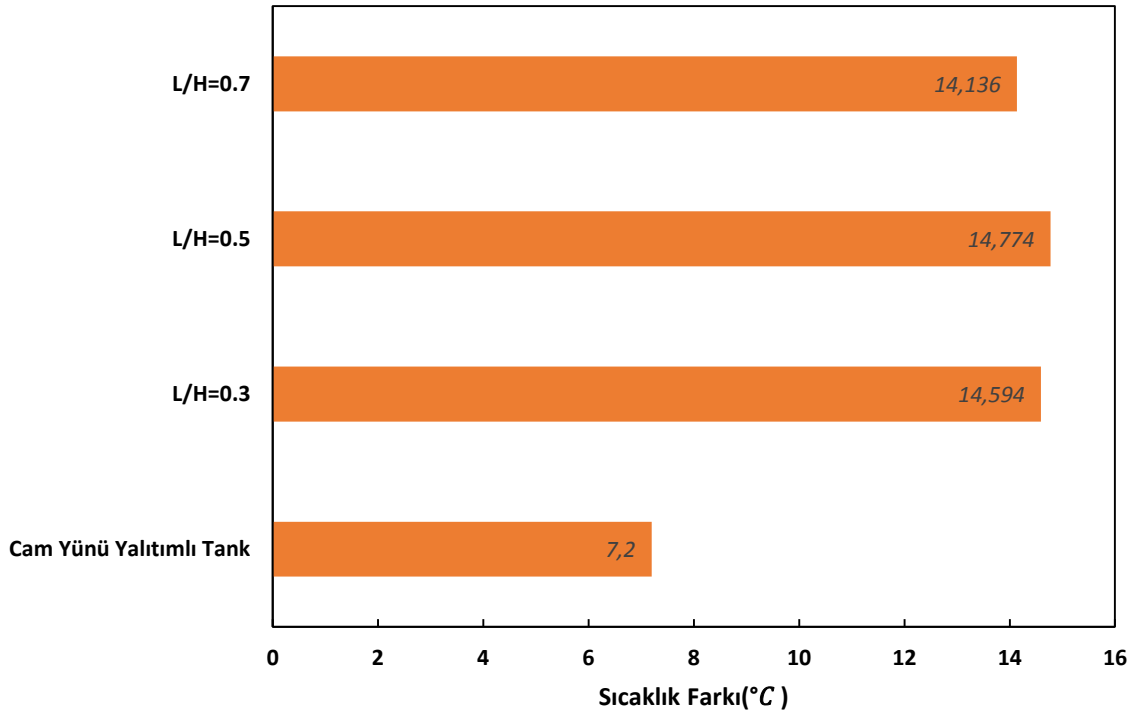


Şekil 4.20. Cam yünü-aerogel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi ve sabit kalınlıklı yalıtım için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri

Şekil 4.21’den görüldüğü gibi L/H oranının 0.3 değerini aşması ile birlikte tank içerisindeki ortalama akışkan hızında daha kararlı bir yapı ve belirgin bir düşüş meydana gelmiştir. Tank içerisindeki en düşük ortalama hız L/H=0.7 koşulu için oluşmuş olsa da Şekil 4.22’de görüldüğü gibi en yüksek su sıcaklık farkı L/H=0.5 koşulu için oluşmuştur (14.774 °C). Bu durum L/H=0.5 koşulunda Şekil 4.20b’de görüldüğü gibi akışkan hareketinin büyük bir bölümünün tankın üst bölgesinde gerçekleşmesi ve tankın alt bölgesindeki soğuk su ile karışımın daha az olmasıdır. Ayrıca tank içerisindeki su sıcaklığı farkı, cam yünü-aerojel katmanlı yapı kullanımı durumunda tüm L/H değerleri için birbirine yakın değerler almıştır. Şekil 4.12’deki su sıcaklık farkı sonuçlarıyla kıyaslandığında, cam yünü-aerojel katmanlı kademeli yalıtım kullanılması durumunda ısı katmanlaşmadaki değişimin L/H değerlerinin değişiminden daha az etkilendiği anlaşılmaktadır.



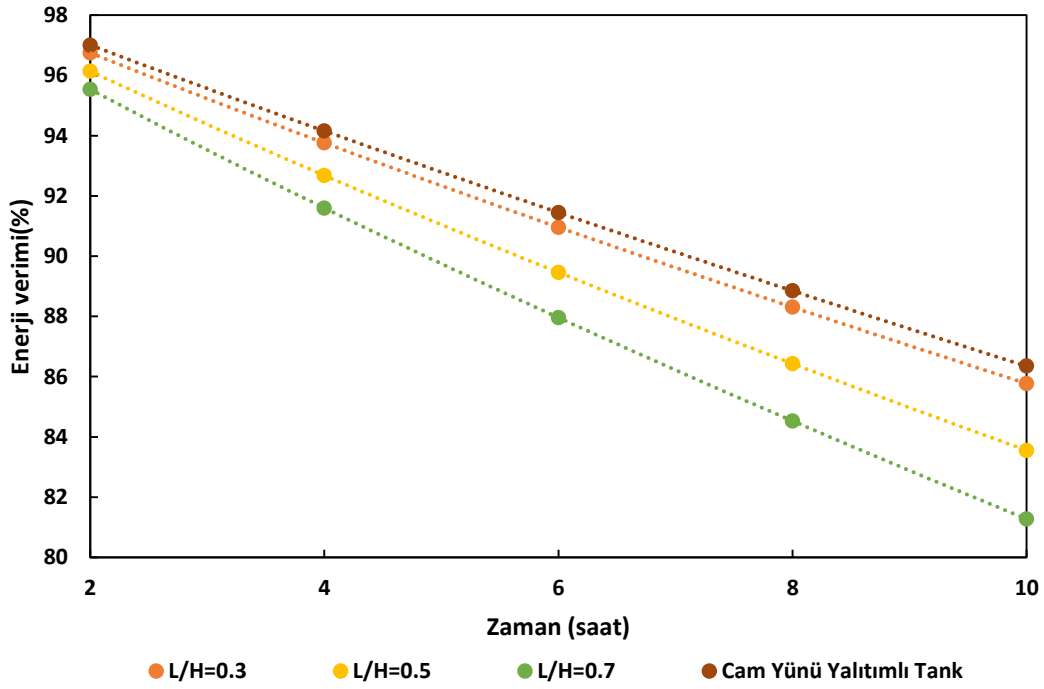
Şekil 4.21. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kademe oranı değişimi ve sabit yalıtım kalınlığı için zamana bağlı ortalama hız grafiği



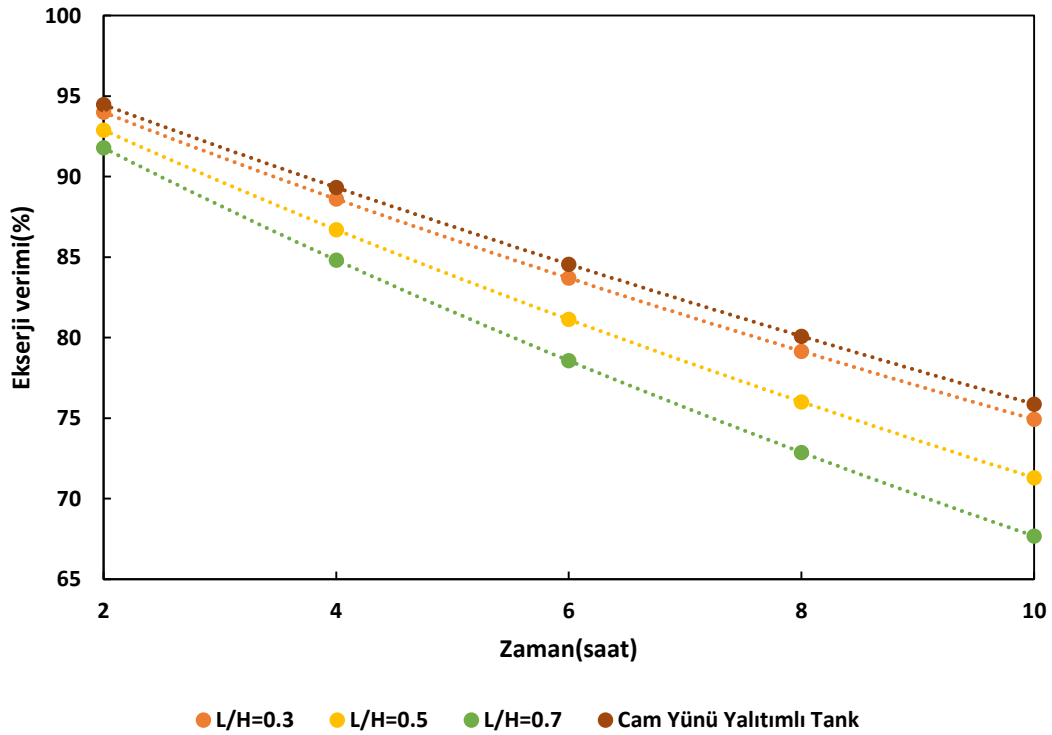
Şekil 4.22. Cam yünü-aerojel katmanlı yalıtım kademe oranı değişimine göre tank içerisindeki en yüksek su sıcaklık farkları

4.2.2.2. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yalıtım kademe oranı değişimine göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji ve ekserji verimleri

Cam yünü-aerojel katmanlı kademeli yalıtım geometrisi kullanımında da standart cam yünü yalıtımlı tanka göre sistemin enerji ve ekserji veriminde düşüş meydana gelmiştir. Verimlerdeki düşüşün en fazla olduğu koşul ise $L/H=0.7$ koşuludur. $L/H=0.7$ durumu için enerji ve ekserji verimlerinde sırası ile 1.5%-5.9% ve 2.9%-10.8% aralıklarında düşüş meydana gelmiştir (Şekil 4.23 ve 4.24). Enerji ve ekserji verimlerindeki bu düşüş yalnız cam yünü katmanlı kademeli yalıtım geometrisi kullanımına göre daha az seviyededir (Şekil 4.13, 4.14, 4.23 ve 4.24).



Şekil 4.23. Cam yünü-aerojel katmanlı yalıtım kademe oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri



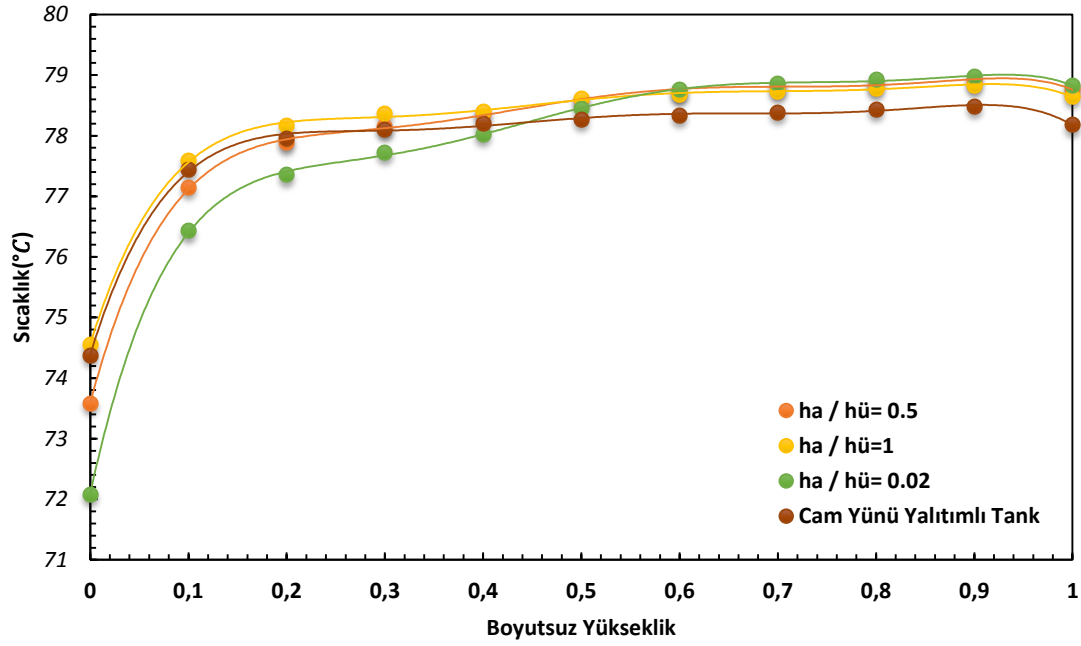
Şekil 4.24. Cam yünü-aerojel katmanlı yalıtım kademe oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda ekserji verimleri

4.3. Yalıtım Kalınlığı Oranı ($h_a / h_{\bar{u}}$) Değişimi İçin Analiz Sonuçları

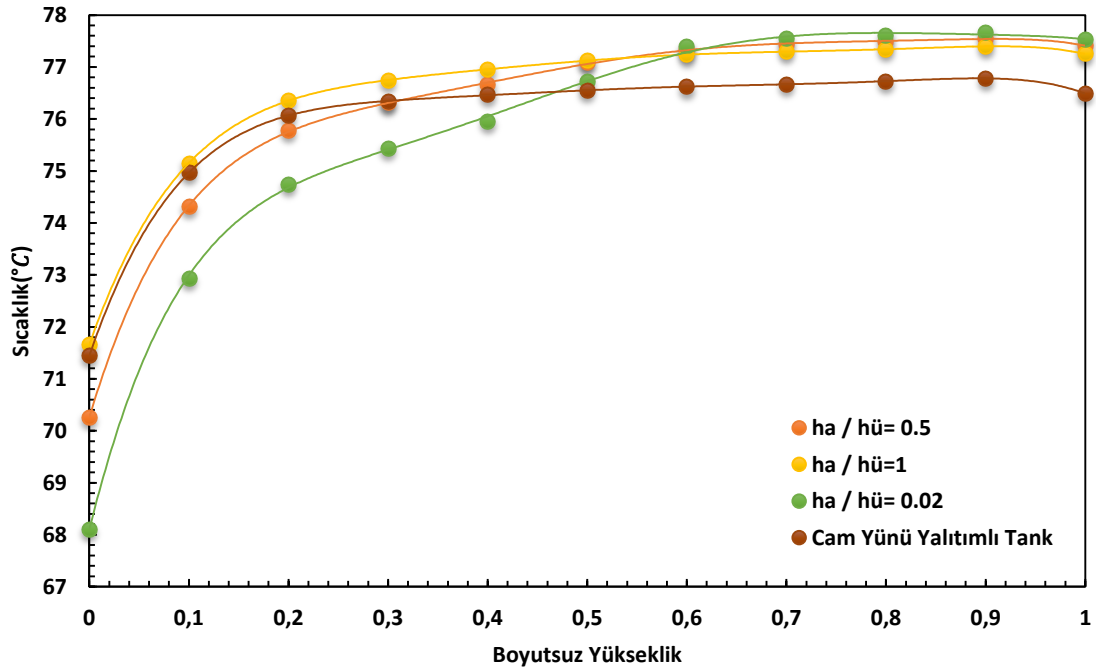
Yalıtım kalınlığının tank içerisindeki sudan dış ortama olan ısı kayıplarını önemli ölçüde değiştirmesi nedeni ile su sıcaklığının muhafaza edilebileceği süre ve tank içerisindeki ısı katmanlaşma oluşumu üzerine önemli etkileri olmaktadır. Bu nedenle, bu bölümde cam yünü-aerojel katmanlı kademeli yalıtım geometrisindeki yalıtım kalınlık oranı değişimlerinin su sıcaklıkları, doğal konveksiyon ve sistem verimi üzerine etkileri araştırılmış ve sonuçlar sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi ile karşılaştırılmıştır. Sayısal analizlerde $h_a/h_{\bar{u}}$ oranı tankın alt bölgesindeki yalıtım kalınlığının üst bölgesindeki yalıtım kalınlığına oranı şeklinde tanımlanmıştır. Analizler $h_a/h_{\bar{u}}$ oranının 0.02 ile 1 aralığındaki değerleri için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.3.1. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yalıtım kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için boyutsuz yükseklik değerlerine göre su sıcaklık dağılımı

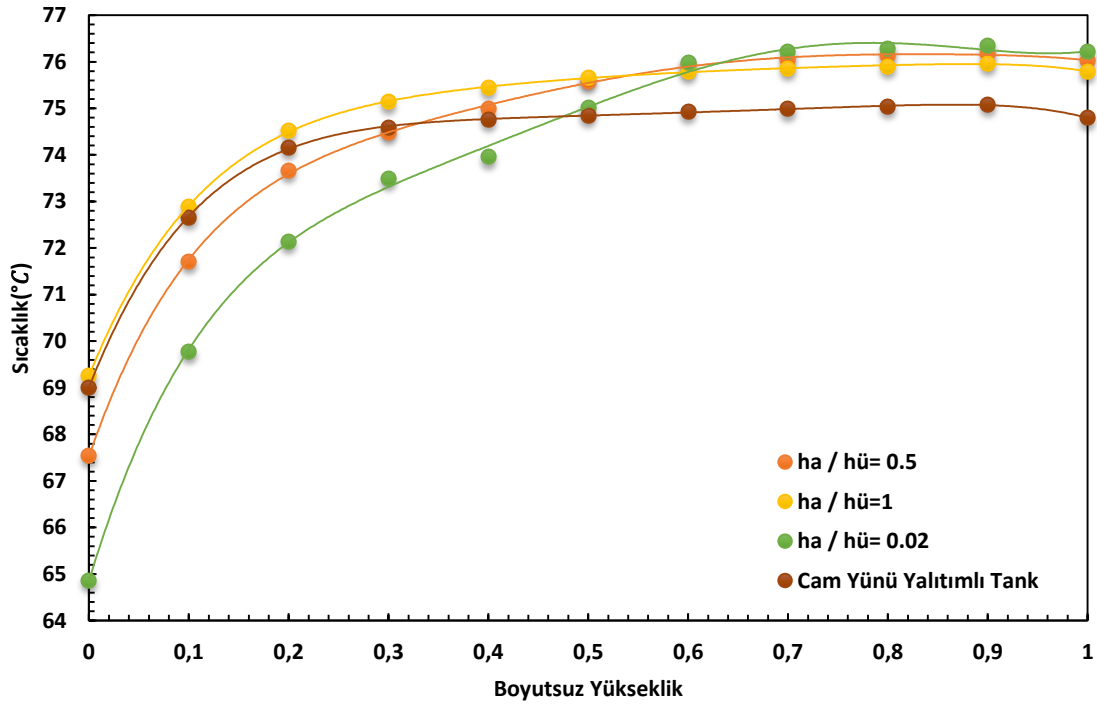
Şekil 4.25-4.29 ile verilen grafikler incelendiğinde, tüm 2'şer saatlik soğuma periyodları için $h_a/h_{\bar{u}}=1$ durumunda tank tabanındaki su sıcaklıklarının standart cam yünü yalıtımlı tank kullanılması durumundaki su sıcaklıkları ile yaklaşık aynı değeri aldığı gözlemlenmiştir. Tankların üst bölgesindeki su sıcaklıkları ise aerojel malzemesinin ısı iletkenlik değerinin düşük olması nedeni ile standart cam yünü yalıtımlı tanktaki su sıcaklıklarına göre tüm soğuma periyodlarında daha yüksek değerler almıştır. $h_a/h_{\bar{u}}$ oranının düşmesi ile birlikte tankın alt ve üst bölgesi arasındaki su sıcaklık farkı artmaktadır. Soğuma süresi arttıkça özellikle $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$ değeri için tankın üst bölgesindeki su daha uzun süre daha yüksek sıcaklıkta muhafaza edilebilmekte ve tank tabanındaki sıcaklıkta da en yüksek düşüş meydana gelmektedir. Isıl katmanlaşmanın $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$ koşulunda en yüksek olmasının nedeni tankın alt ve üst bölgesindeki suyun soğuma süreleri arasındaki farkın açılmasıyla birlikte doğal konveksiyon hareketinin azalmasıdır. Isıl katmanlaşma artışına en düşük katkı sağlanan durum ise $h_a/h_{\bar{u}}=1$ koşulu olmuştur.



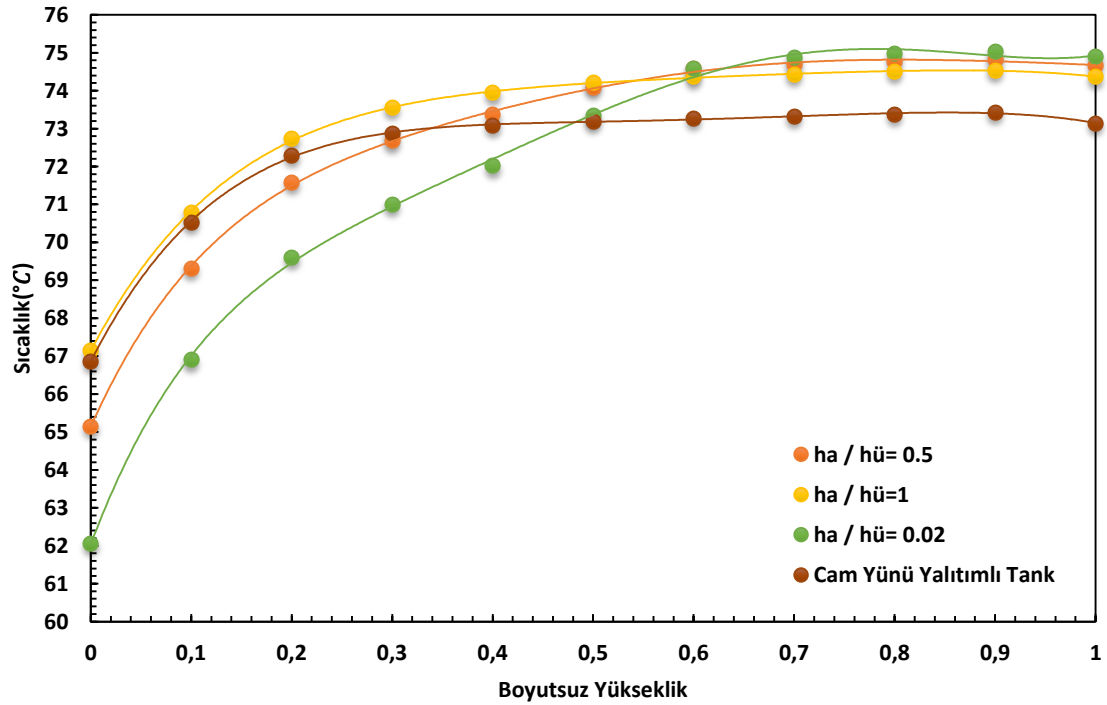
Şekil 4.25. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için 2 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımları ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$)



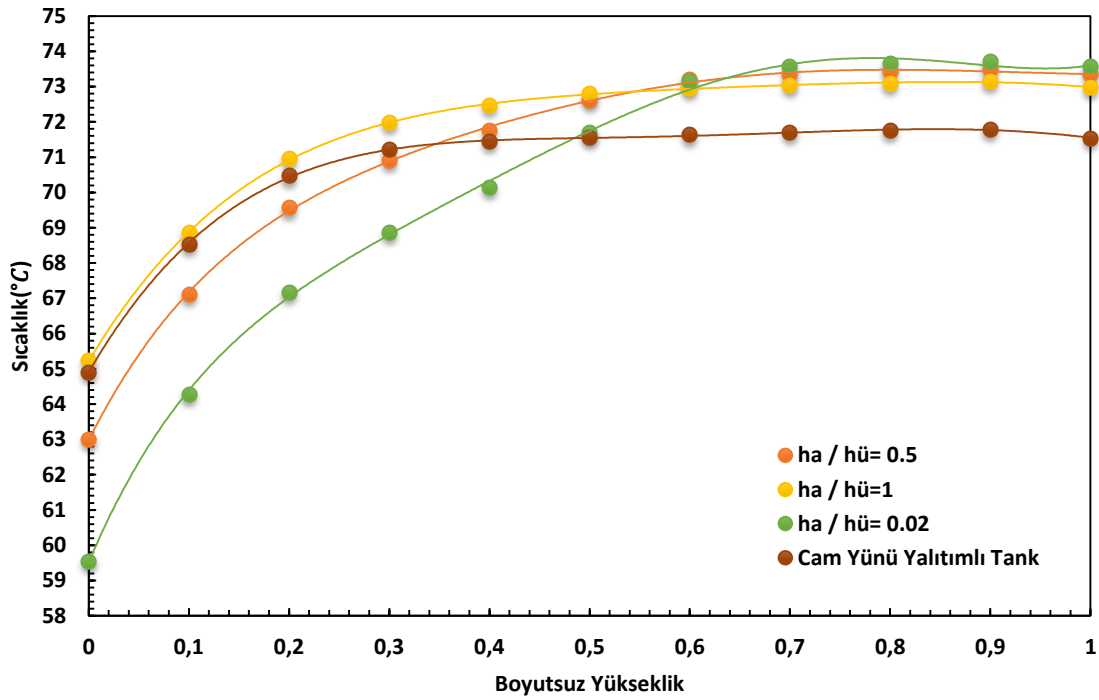
Şekil 4.26. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için 4 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımları ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$)



Şekil 4.27. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için 6 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımları ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$)



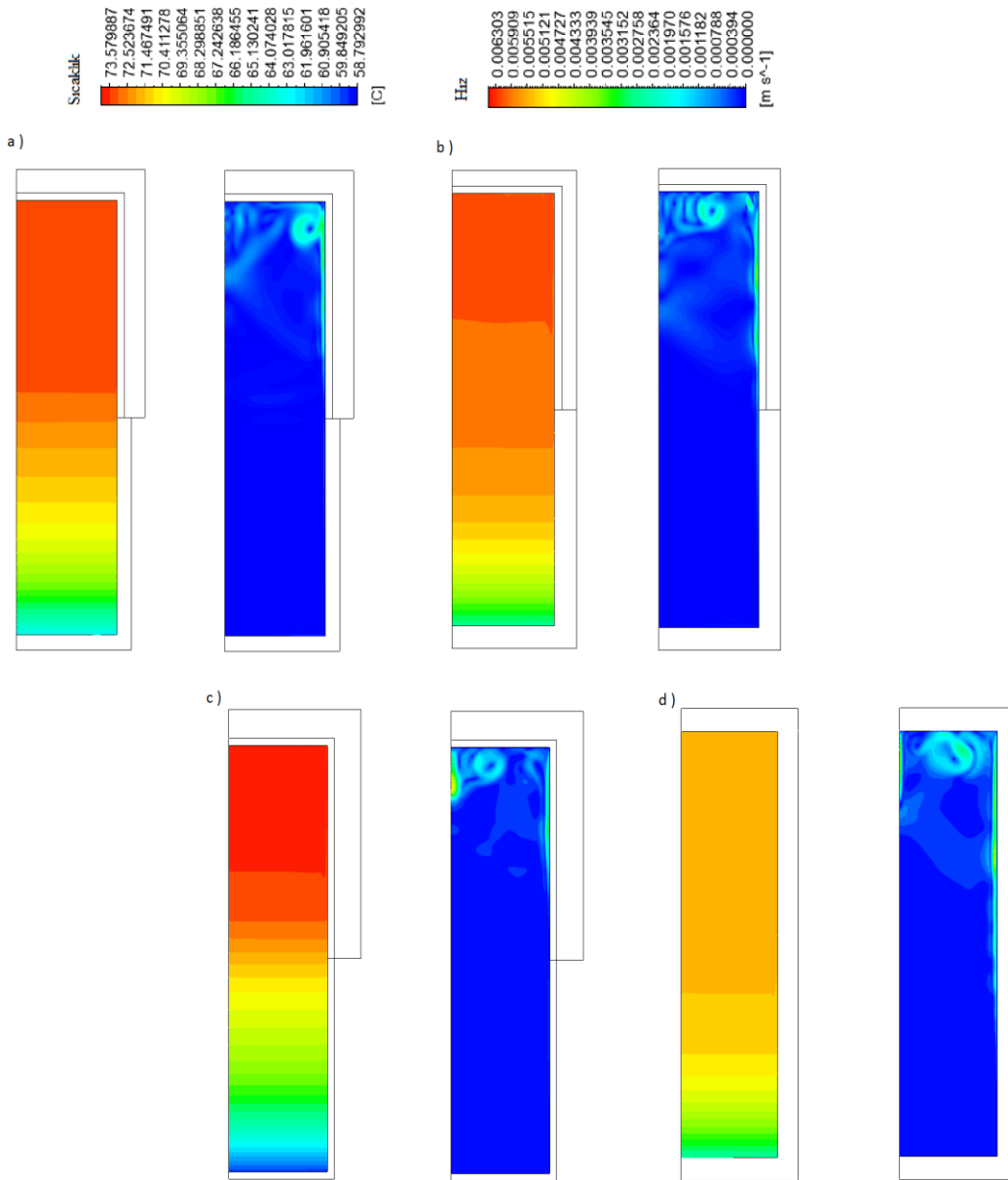
Şekil 4.28. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için 8 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımları ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$)



Şekil 4.29. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi için 10 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımları ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$)

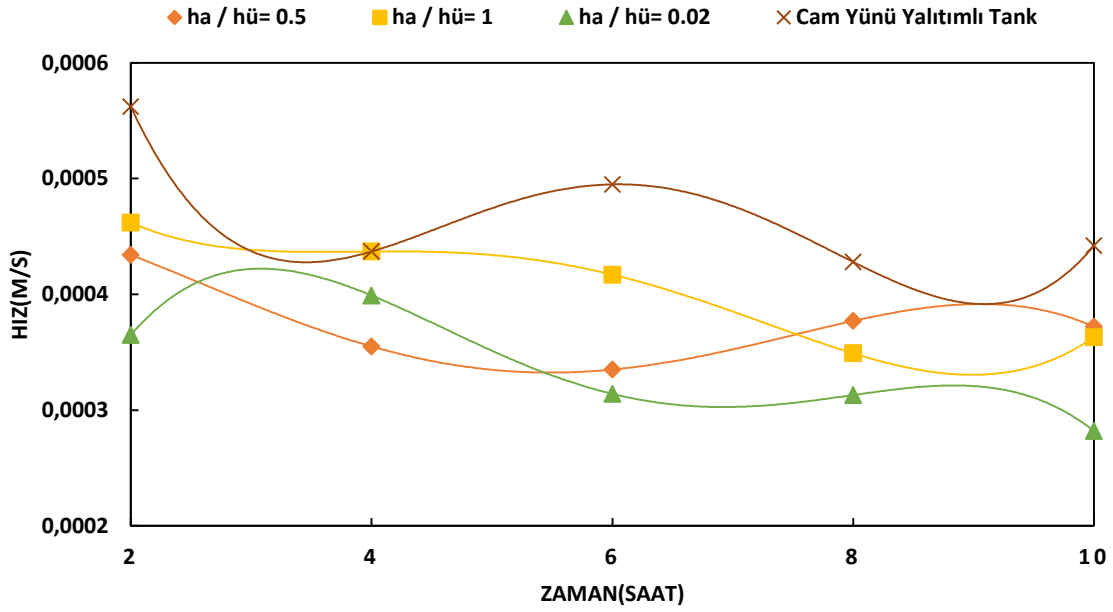
4.3.2. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimine göre 10 saatlik analiz sonucunda oluşan sıcaklık ve hız konturları

Kısım 4.3.1’de verilen su sıcaklık dağılımının nedeninin daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 4.30’de verilen sıcaklık ve hız kontörlerinin incelenmesi gerekmektedir. Şekil 4.30d’de görüldüğü gibi soğuma ile birlikte oluşan tank duvarındaki hız sınır tabakası tankın alt bölgelerine oldukça yakın noktada başlamıştır. Bu durum tankın alt ve üst bölgesindeki soğuk ve sıcak suyun daha fazla yer değiştirdiğini göstermektedir. Bu akışkan hareketine bağlı olarak 10 saatlik soğuma periyodu sonunda tank içerisinde oluşan sıcaklık gradyanı incelendiğinde su sıcaklığının diğer yalıtım geometrilerine göre daha düşük olduğu gözlemlenebilmektedir (Şekil 4.30d). Şekil 4.30a, 4.30b ve 4.30c deki hız ve sıcaklık kontörleri dikkate alındığında ısı katmanlaşmanın yani tank içerisindeki en yüksek sıcaklık farkının $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$ değerinde elde edildiği anlaşılmaktadır. $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$ değeri için sıcaklık farkının artmasında tank duvarlarında meydana gelen hidrodinamik sınır tabakanın tankın orta kısımlarına dahi ulaşmadan tankın üst bölgesinde sona ermesinin etkili olduğu Şekil 4.30c’deki hız kontörleri incelenerek gözlemlenebilir.

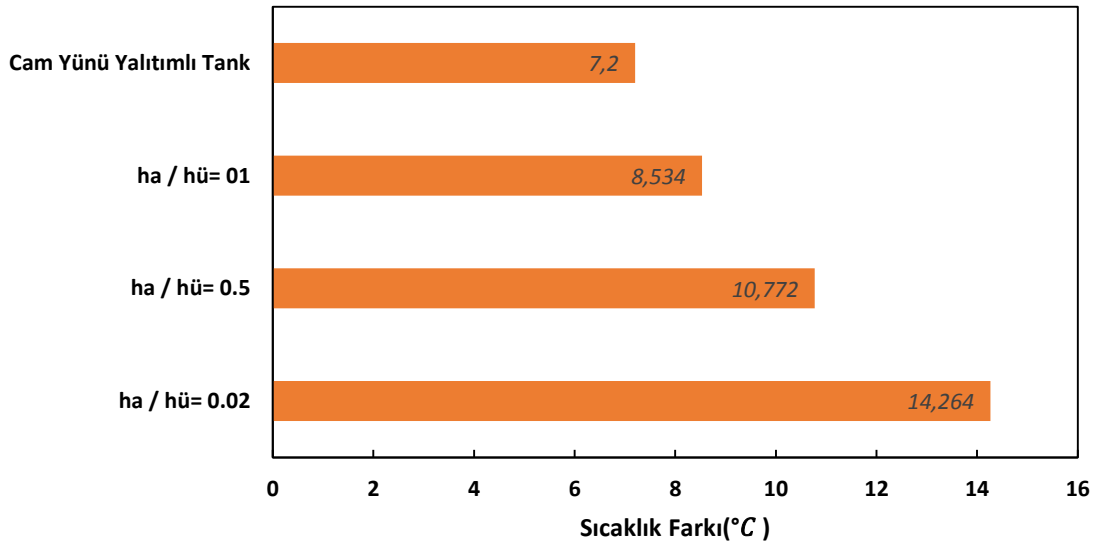


Şekil 4.30. Cam yünü-aerogel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi ve sabit kalınlıklı yalıtım için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri

Şekil 4.31'deki ortalama hız değerleri de Şekil 4.30'de verilen hız kontörlerine paralel olarak $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$ değerinde özellikle 6 saatlik soğuma periyodundan sonra en düşük ortalama akışkan hızı elde edildiğini ortaya koymaktadır. Sıcaklık kontörlerinde görülen tank içerisindeki sıcaklık farklarının karşılaştırılması da Şekil 4.32'de verilmiştir. Standart cam yünü yalıtımlı tank içerisindeki sıcaklık farkı kademeli yalıtım geometrisi kullanımı durumunda $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$ değeri için 7.2'den 14.26 yükselerek 98% oranında artış göstermiştir.



Şekil 4.31. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranı değişimi ve sabit yalıtım kalınlığı için zamana bağlı ortalama hız grafiği

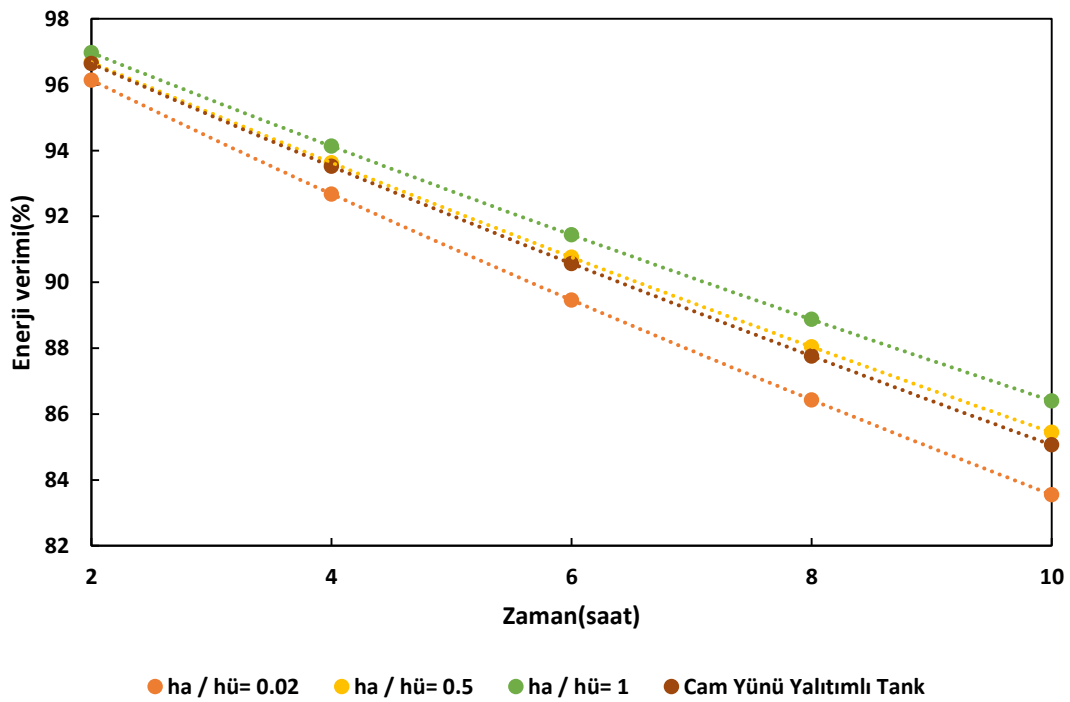


Şekil 4.32. Cam yünü-aerojel katmanlı yalıtım kalınlık oranı değişimine göre tank içerisindeki en yüksek su sıcaklık farkları

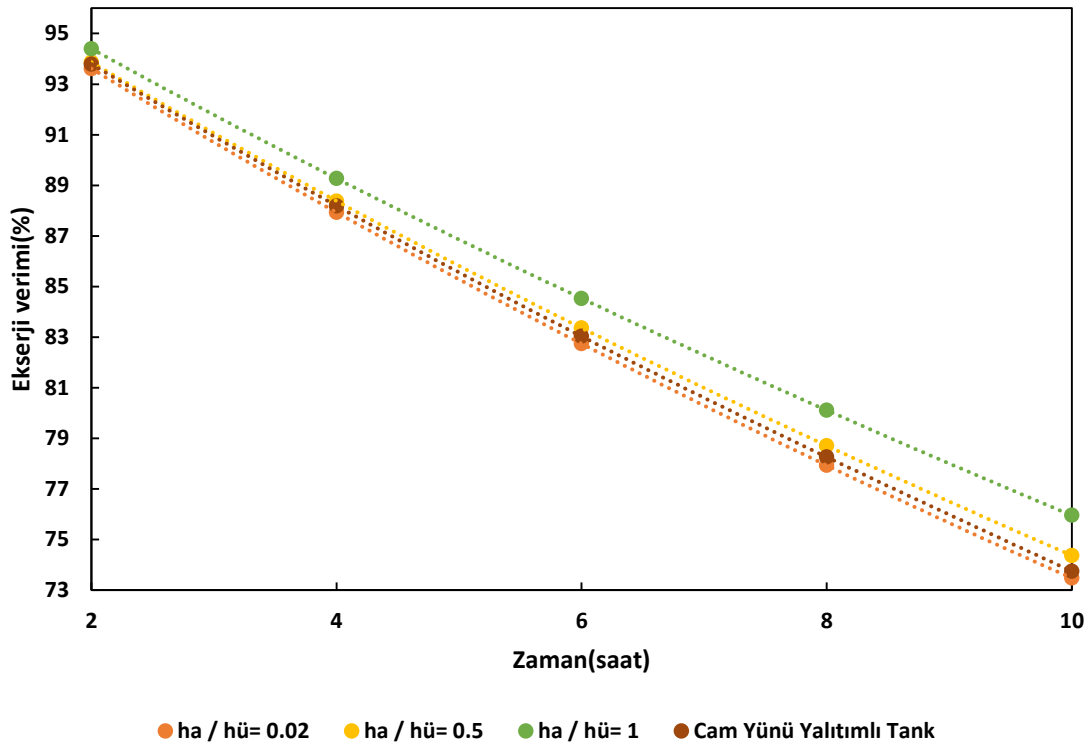
4.3.3. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yalıtım kalınlık oranı değişimine göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji ve ekserji verimleri

Şekil 4.33 ve 4.34’de h_a/h_u oranındaki değişimin sistemin enerji ve ekserji verimi üzerindeki etkisi görülmektedir. h_a/h_u değerinin 0.02’nin üzerinde olduğu durumlarda tank tabanındaki

su sıcaklıklarının standart cam yünü yalıtımlı tank tabanındaki su sıcaklıklarına oldukça yakın olması ve tankın üst bölgesindeki su sıcaklığının da aerjel malzemesinin ısı iletim değeri düşük olmasından dolayı standart cam yünü yalıtımlı tankın üst bölgesinde su sıcaklığına göre yüksek olması $h_a/h_{\bar{u}}=0.5$ ve $h_a/h_{\bar{u}}=1$ değeri için sistemin enerji ve ekserji veriminin artmasını sağlamıştır. Fakat $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$ değeri için diğer parametre değerlerine göre tankın üst bölgesindeki su sıcaklığı en yüksek değere ulaşmasına rağmen, tankın alt bölgesindeki su sıcaklığının önemli ölçüde düşmesi ortalama su sıcaklığını da düşürmüş ve böylece enerji ve ekserji veriminde standart cam yünü yalıtımlı duruma göre sırasıyla ortalama 1.31% ve 0.4% azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.33 ve 4.34). Analiz sonuçları kademeli yalıtım geometrisi kullanımı için yalıtım kalınlığı oranının değişiminin enerji ve ekserji verimi üzerine etkisinin oldukça düşük olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 4.33. Cam yünü-aerjel katmanlı yapıda yalıtım kalınlığı oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri



Şekil 4.34. Cam yünü-aerjel katmanlı yapıda yalıtım kalınlık oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri

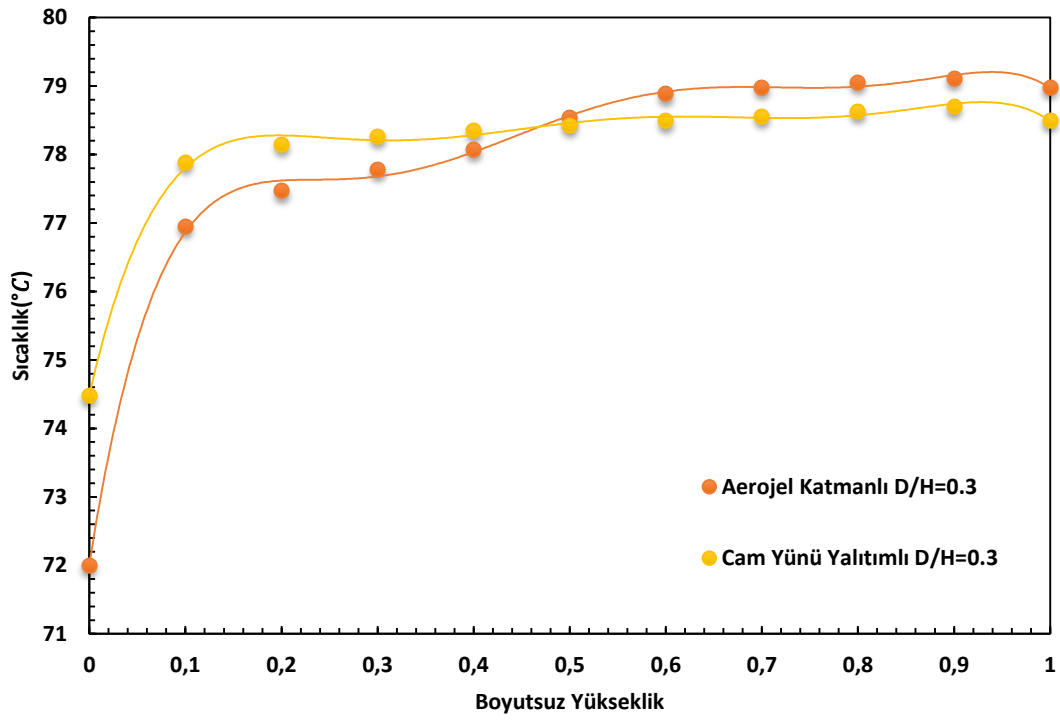
4.4. Tankın En/Boy Oranı (D/H) Değişimi İçin Analiz Sonuçları

Sıcak su tankının D/H oranı tankın dış yüzey alanını değiştirmesi nedeni ile sudan dış ortama olan ısı kayıplarını da değiştirmekte ve dolayısıyla soğumaya bağlı olarak tank içerisindeki ısı katmanlaşma oluşumunu da etkilemektedir. Ayrıca D/H oranına bağlı olarak tankın iç yüzeylerinde oluşan sınır tabaka uzunluğunu da etkilediğinden ısı katmanlaşma açısından incelenmesi gereken bir parametredir. D/H oranının 0.3, 0.5 ve 1 değerleri için sayısal analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir. D/H oranı hem sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi hem de kademeli yalıtım geometrisi kullanımında değiştiği için, tüm geometriler için D/H oranlarının aynı grafikte verilmesi sıcaklık değişimlerinin grafik üzerinde okunmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle belirli bir D/H oranı için sabit kalınlıklı ve kademeli yalıtım geometrileri kullanımındaki elde edilen bulguların karşılaştırıldığı grafikler ayrı ayrı verilmiştir.

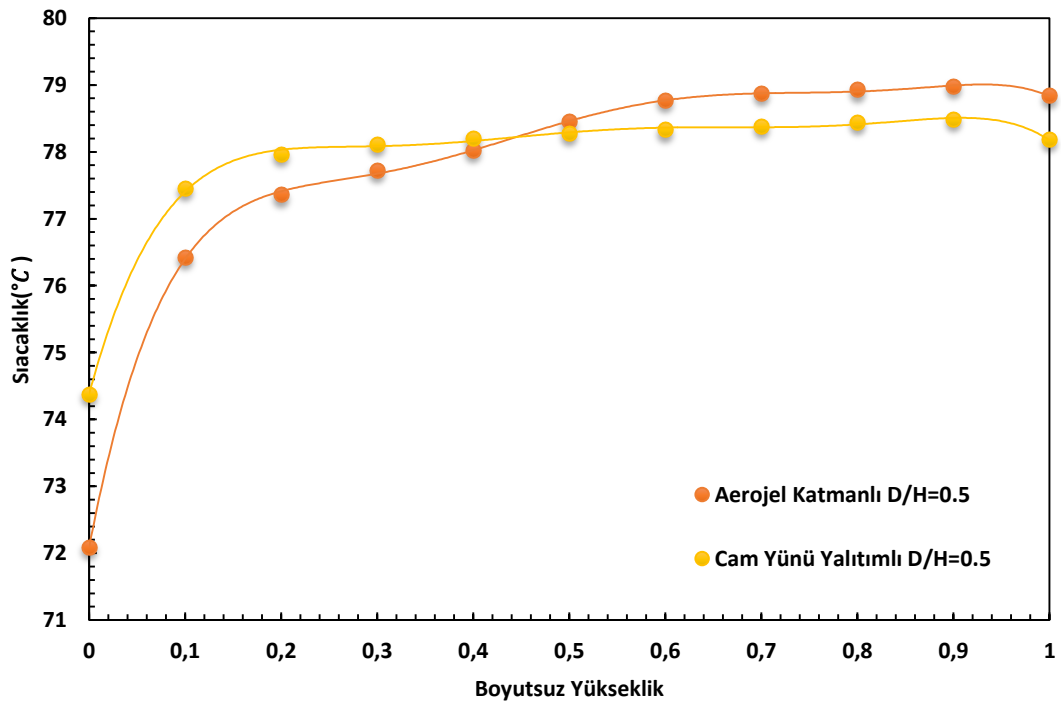
4.4.1. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yalıtım kullanılması durumunda tankın en/boy (d/h) değişimi için boyutsuz yükseklik değerlerine göre su sıcaklık dağılımı

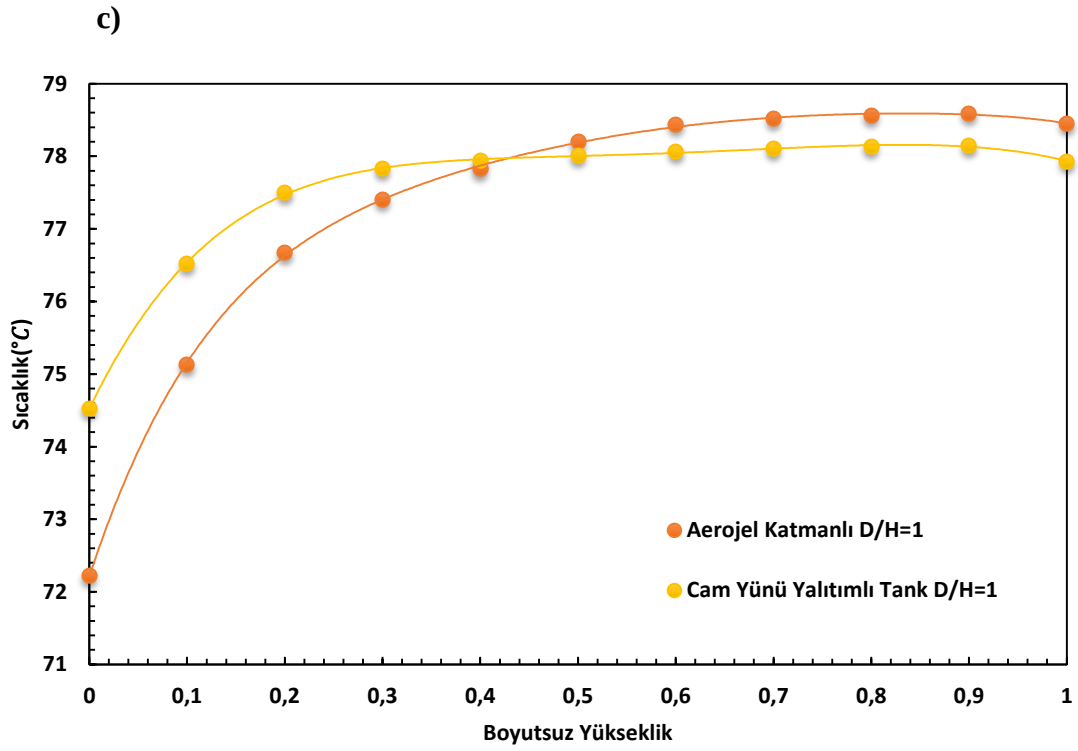
Şekil 4.35-4.39’da farklı soğuma periyodları için D/H değişimine bağlı olarak sabit kalınlıklı ve kademeli yalıtım geometrileri için tank eksenli boyunca oluşan sıcaklık dağılımlarının karşılaştırılması verilmiştir. 2 saatlik soğuma periyodu sonunda tüm D/H değerleri için kademeli yalıtım kullanımı ile sabit kalınlıklı yalıtım kullanımına göre tankın alt ve üst bölgesindeki sıcaklık değişimi yaklaşık aynı değerler almıştır (Şekil 4.36). İki yalıtım geometrisi kullanımı karşılaştırıldığında soğuma zamanının artması ile kademeli yalıtım kullanımı sonucunda tankın alt bölgesindeki su sıcaklığı daha da düşmeye başlamış, tank üst bölgesindeki su sıcaklıkları arasındaki fark da açılma eğilimine geçmiştir. 10 saatlik soğuma periyodunun sonunda ise kademeli yalıtım kullanımı sonucunda D/H=0.3 değeri için tank tabanında en fazla sıcaklık düşüşü elde edilmiştir (Şekil 4.39). Şekil 4.39’da tankın üst bölgesindeki sıcaklıklar incelendiğinde ise sabit kalınlıklı yalıtım kullanımına göre su sıcaklığının tüm D/H değerleri için daha uzun süre muhafaza edilebildiği anlaşılmaktadır. Tankın üst bölgesinde suyun yüksek sıcaklıkta en uzun süre muhafaza edilebildiği koşullar ise kademeli yalıtım için D/H=0.3 ve D/H=0.5 değerlerinde elde edilmiştir. Tank tabanındaki sıcaklıklar da göz önüne alındığında ısı katmanlaşmanın kademeli yalıtım geometrisi için D/H=0.3 değerinde en yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

a)

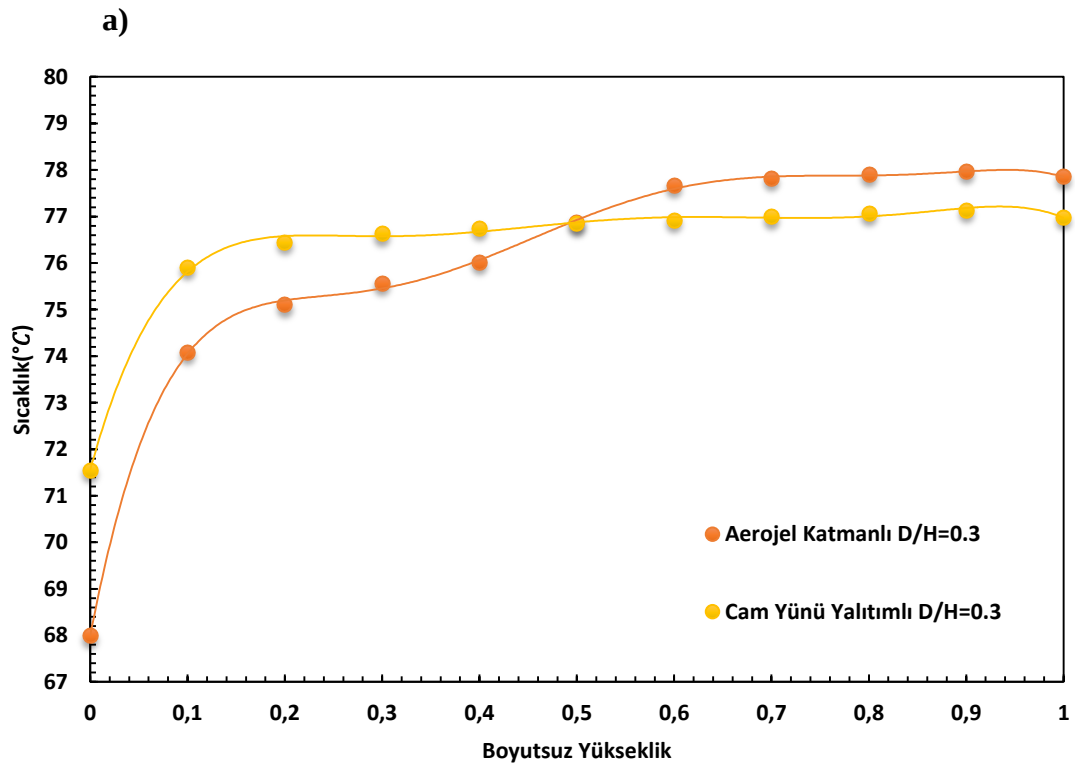


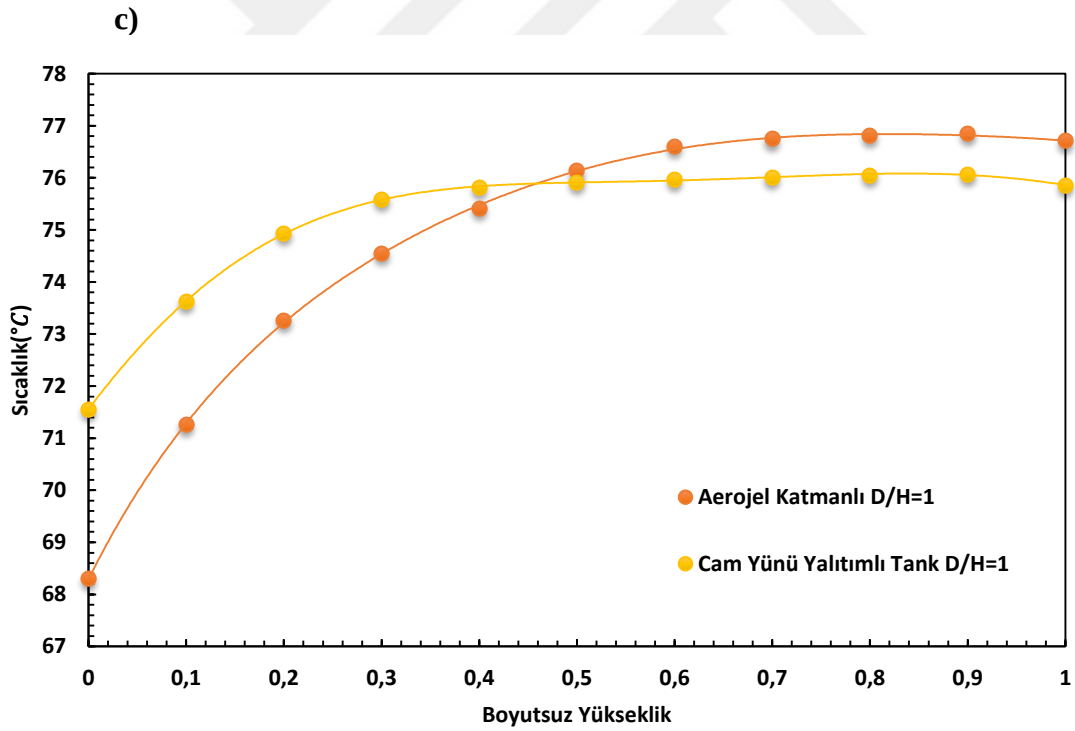
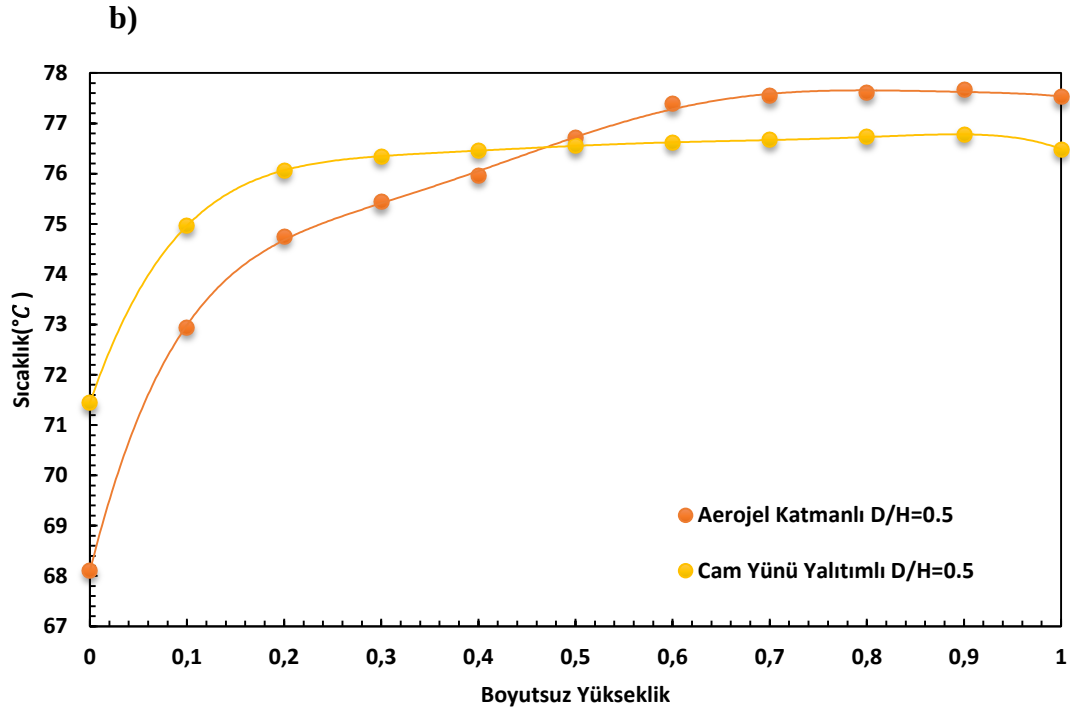
b)





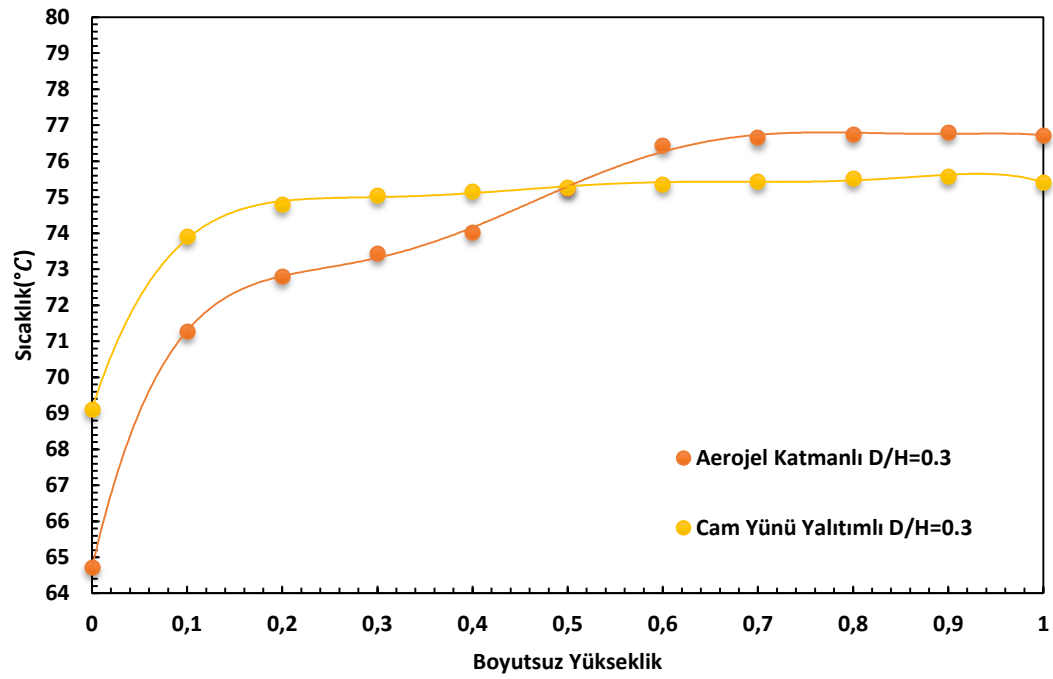
Şekil 4.35. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranı değişimi için 2 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($L/H=0.5$, $ha/hü=0.02$)



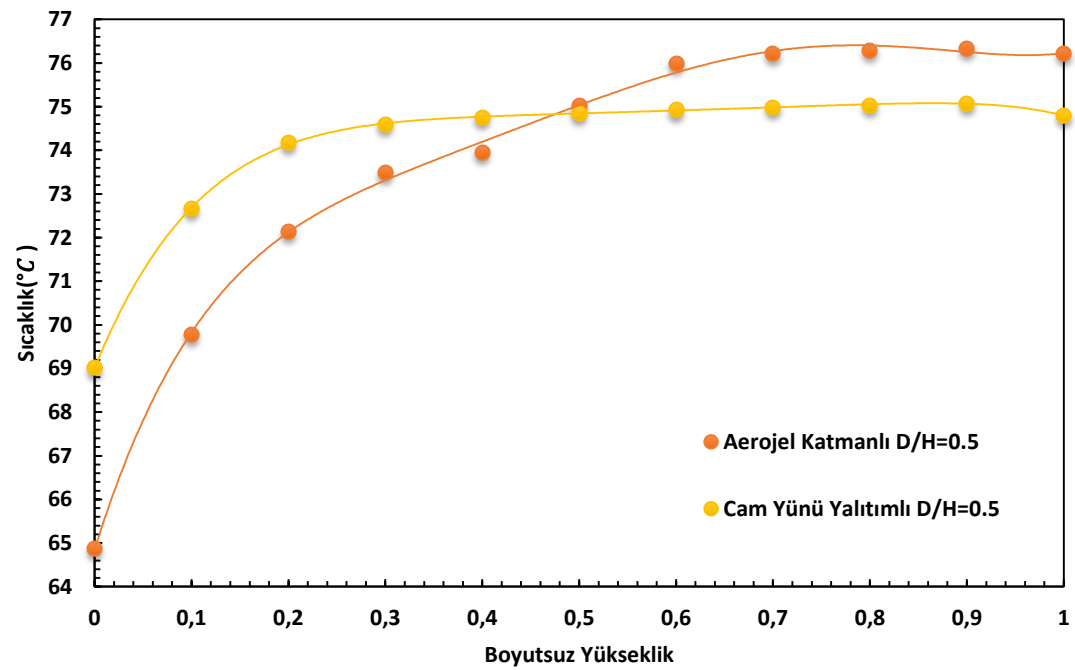


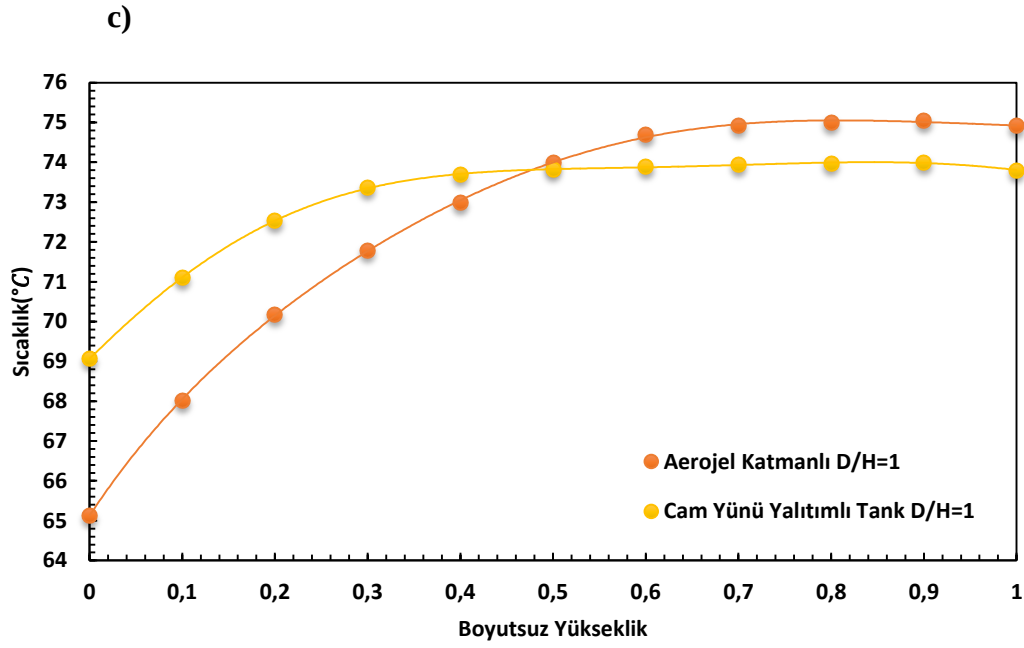
Şekil 4.36. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranı değişimi için 4 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($L/H=0.5$, $h_a/h_u=0.02$)

a)

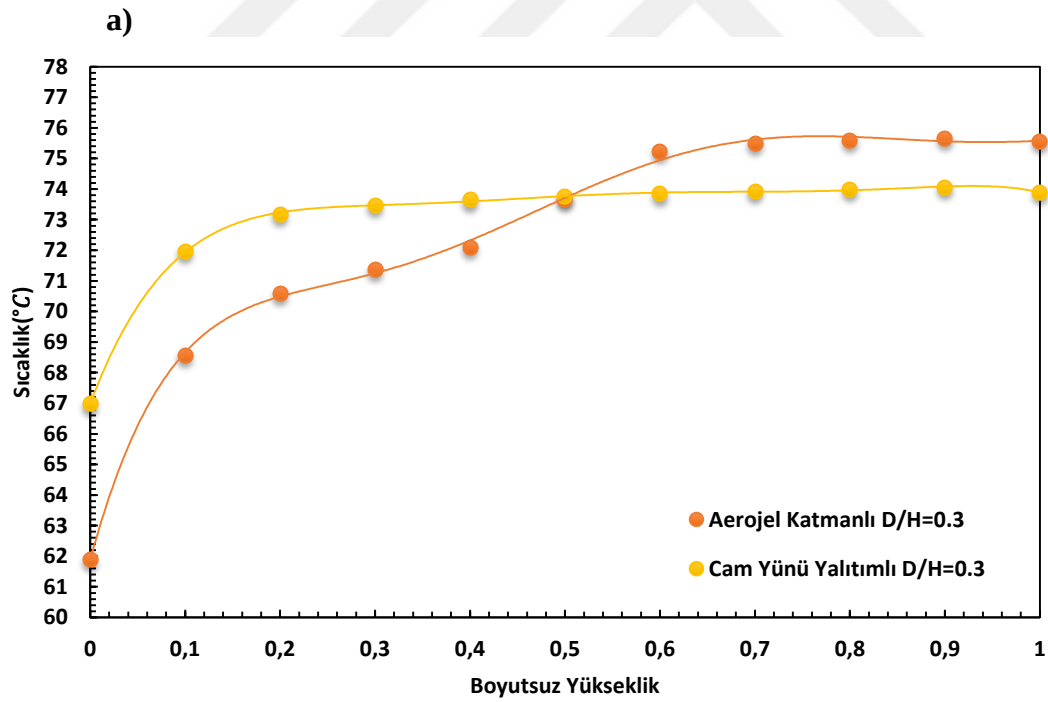


b)

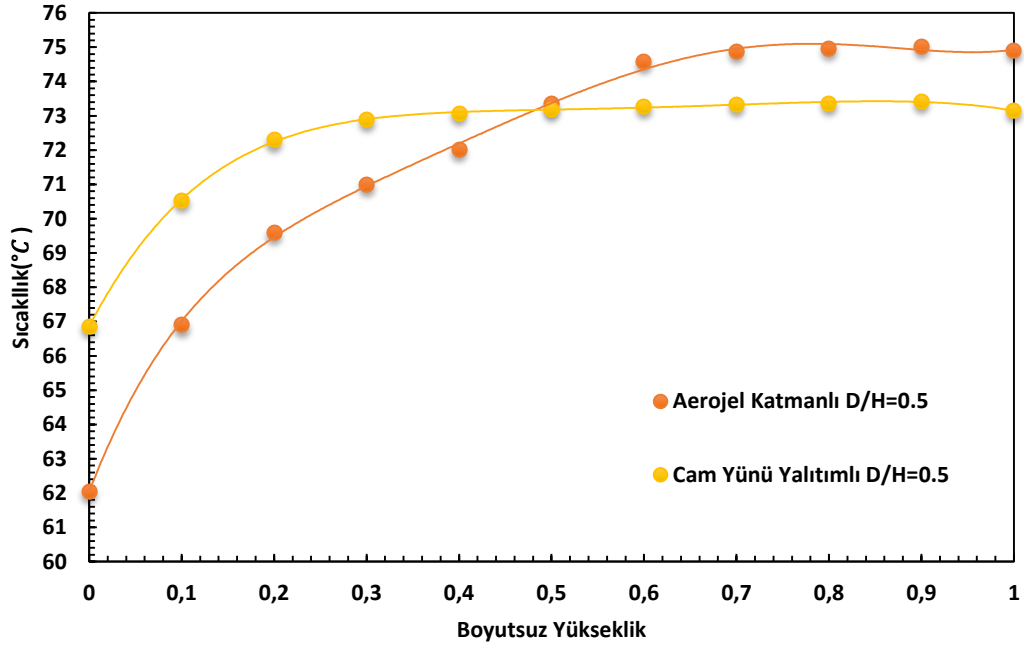




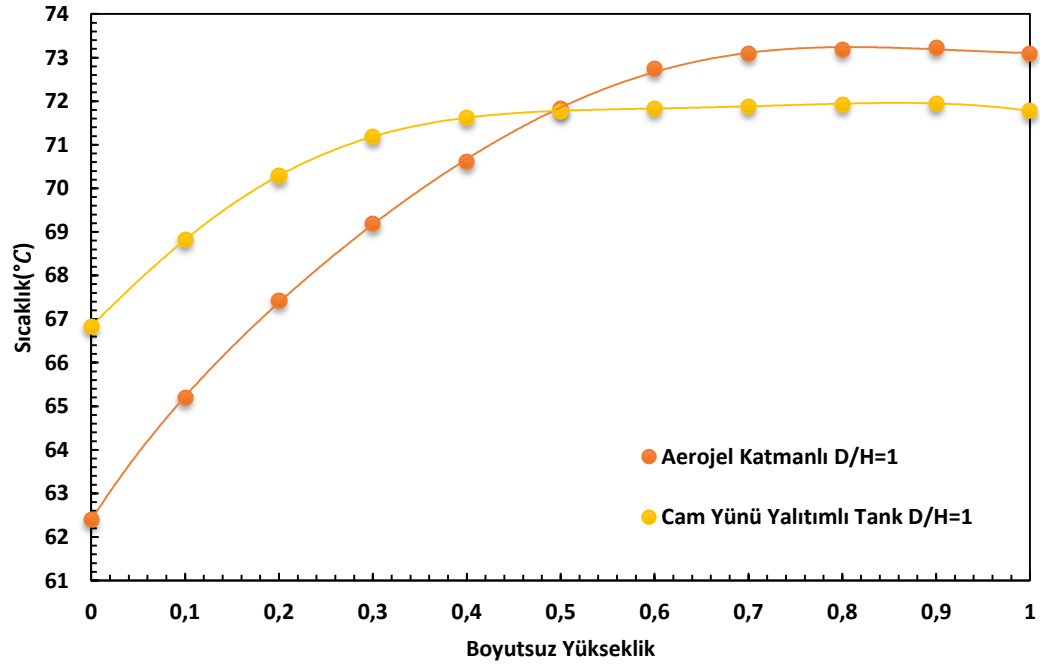
Şekil 4.37. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranı değişimi için 6 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($L/H=0.5$, $ha/hü=0.02$)



b)

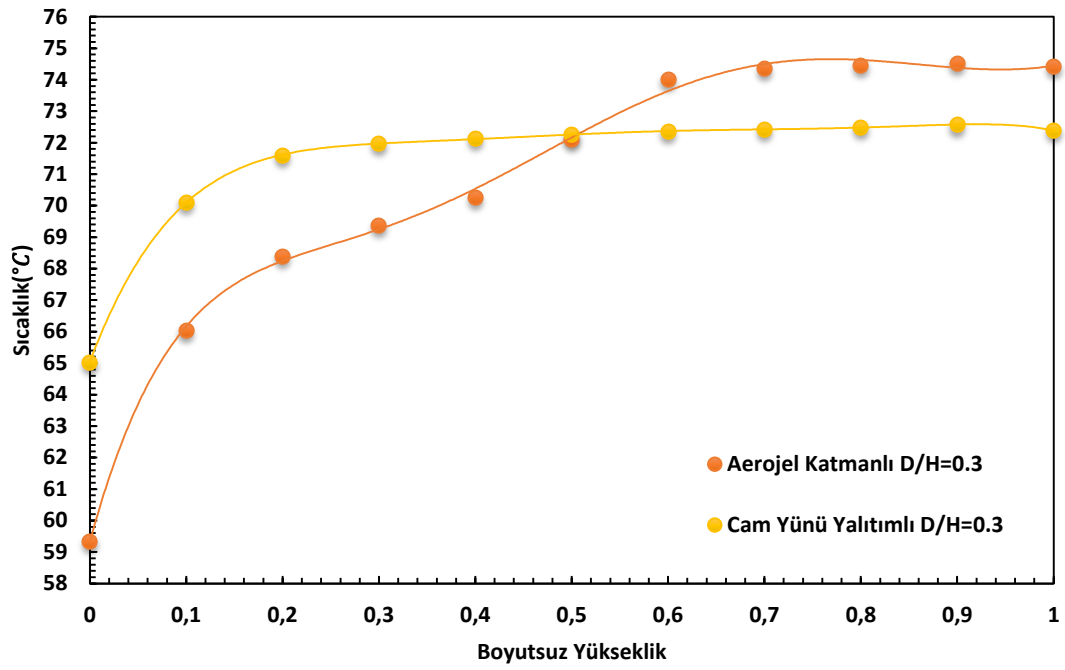


c)

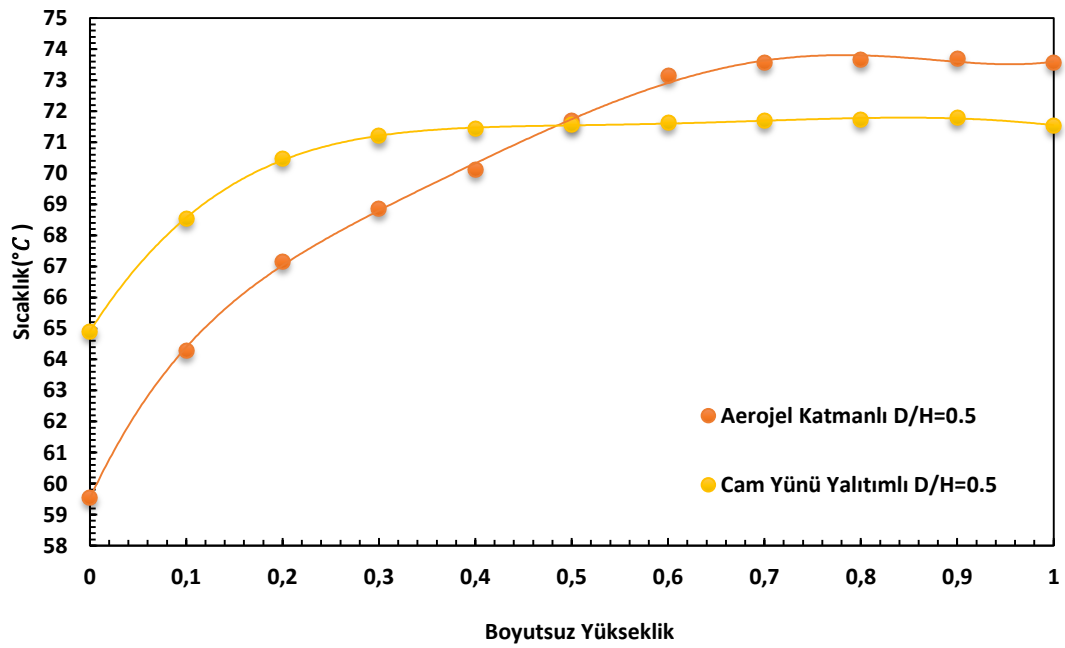


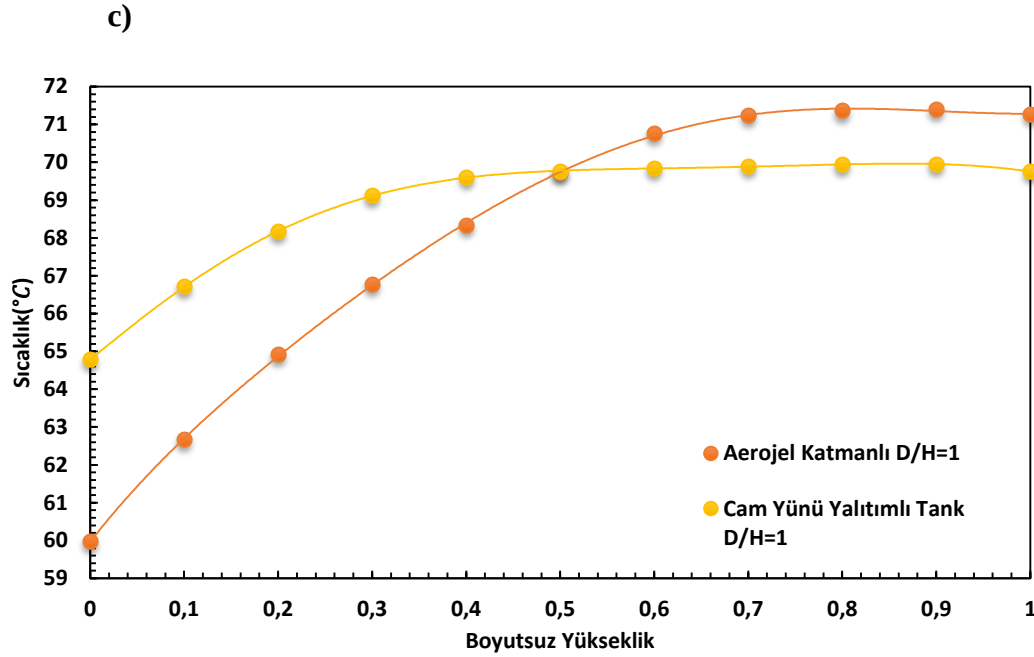
Şekil 4.38. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranı değişimi için 8 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($L/H=0.5$, $h_a/h_u=0.02$)

a)



b)



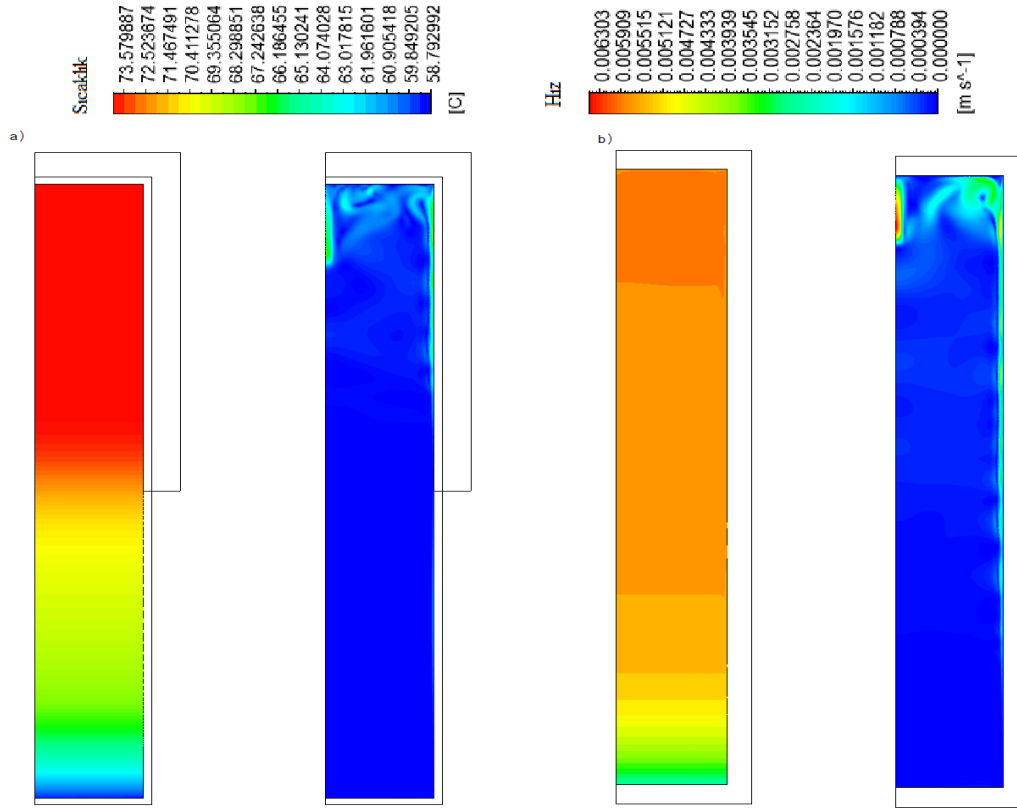


Şekil 4.39. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranı değişimi için 10 saatlik soğuma sonucuna elde edilen sıcaklık dağılımı ($L/H=0.5$, $ha/hü=0.02$)

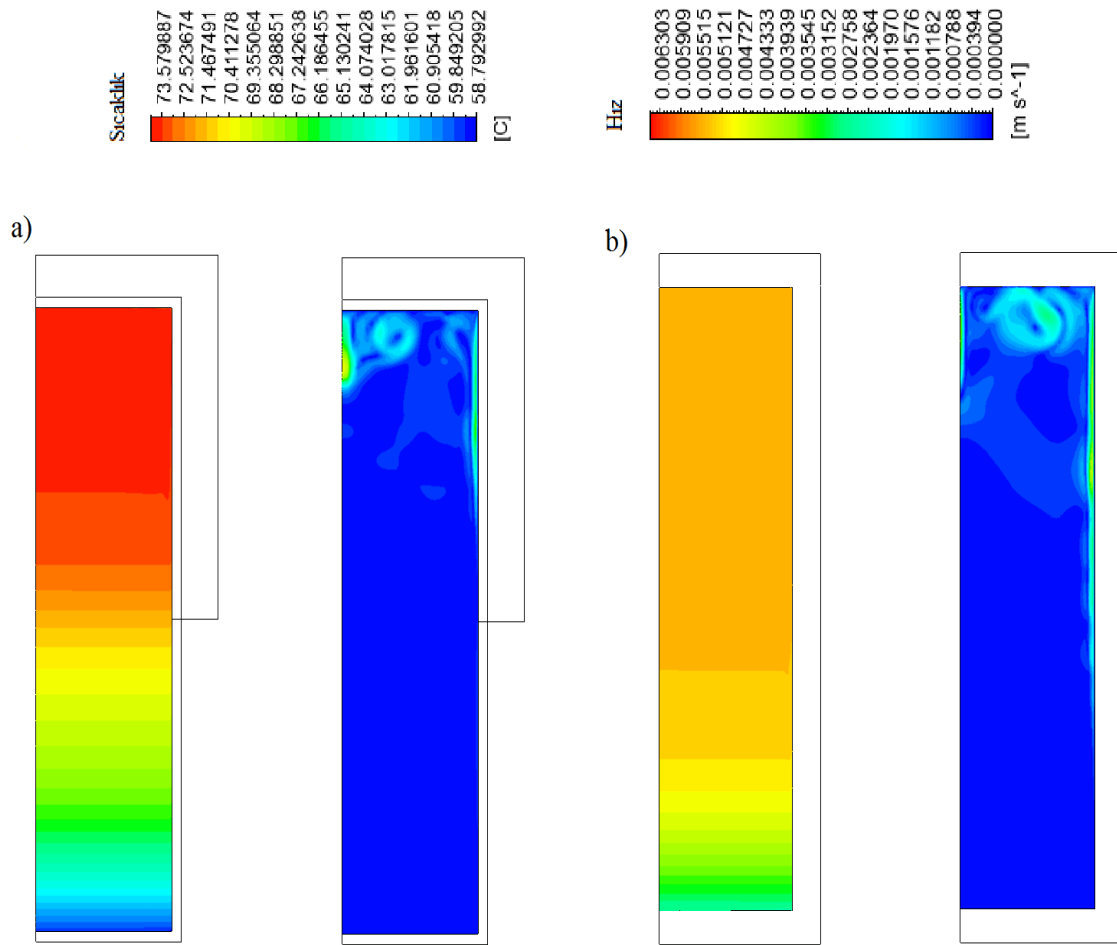
4.4.2. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yapıda en/boy oranı değişimine göre 10 saatlik analiz sonucunda oluşan sıcaklık ve hız konturları

Bir önceki bölümde tank içerisinde D/H oranına bağlı olarak değişen su sıcaklık dağılımlarının sebebinin daha iyi anlaşılabilmesi için tüm D/H oranları için sabit kalınlıklı ve kademeli yalıtım geometrileri kullanımı durumunda tank içerisinde oluşan hız ve sıcaklık kontörleri Şekil 4.40-4.42’de verilmiştir. Yalıtım geometrisine bağlı olarak verilen şekillerde soldaki resim sıcaklık kontörlerini, sağdaki resim ise hız kontörlerini göstermektedir. Şekil 4.40 incelendiğinde D/H=0.3 için kademeli yalıtım geometrisi kullanımı durumunda tank içerisindeki doğal konveksiyondan kaynaklanan akışkan hareketinin önemli ölçüde engellendiği görülmektedir. Sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi için hız sınır tabakasının oluşum noktasından da anlaşıldığı gibi doğal konveksiyondan kaynaklı akışkan hareketi tankın alt bölgesine yakın noktadan başlamış, böylece daha fazla sıcak ve soğuk su karışımı meydana gelmiştir. Bu durum tank tabanındaki suyun ısınmasına, tank üst bölgesindeki suyun soğumasına neden olmuştur (Şekil 4.40b). Kademeli yalıtım durumunda ise ısı katmanlaşma artışı sağlandığından tank üst bölgesindeki su belirlenen süre için daha yüksek sıcaklıkta tutulmuş (74°C), tankın alt bölgesindeki su sıcaklığında (58°C) ise düşüş meydana gelmiştir (Şekil 4.40a). Kademeli yalıtım kullanımı için D/H=0.5 ve D/H=1 değerlerinde de sabit kalınlıklı yalıtım kullanılması durumuna göre ısı katmanlaşmanın farklı oranlarda

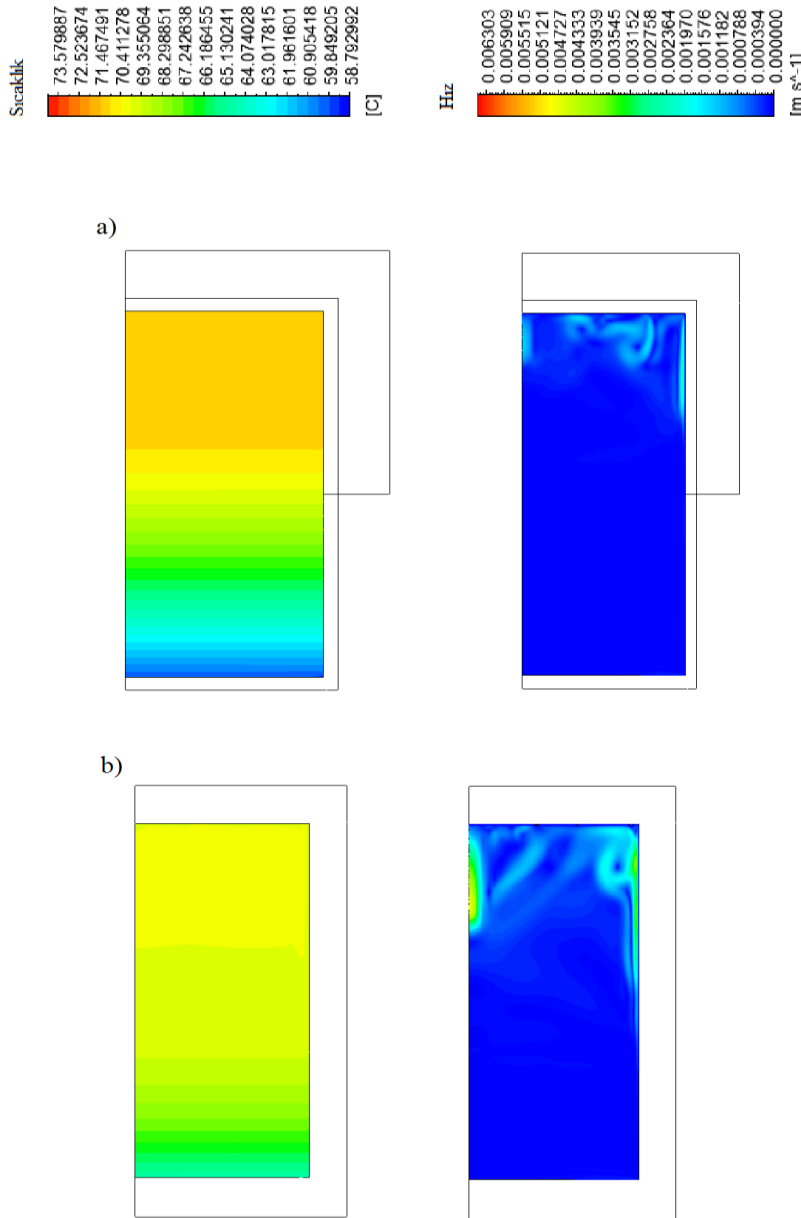
arttığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.41 ve 4.42). Fakat en yüksek ısı katmanlaşma daha öncede bahsedildiği gibi kademeli yalıtım kullanımı ile $D/H=0.3$ için elde edilmiştir.



Şekil 4.40. Cam yünü-aerojel katmanlı, kademeli ve sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda $D/H=0.3$ değerinde tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri



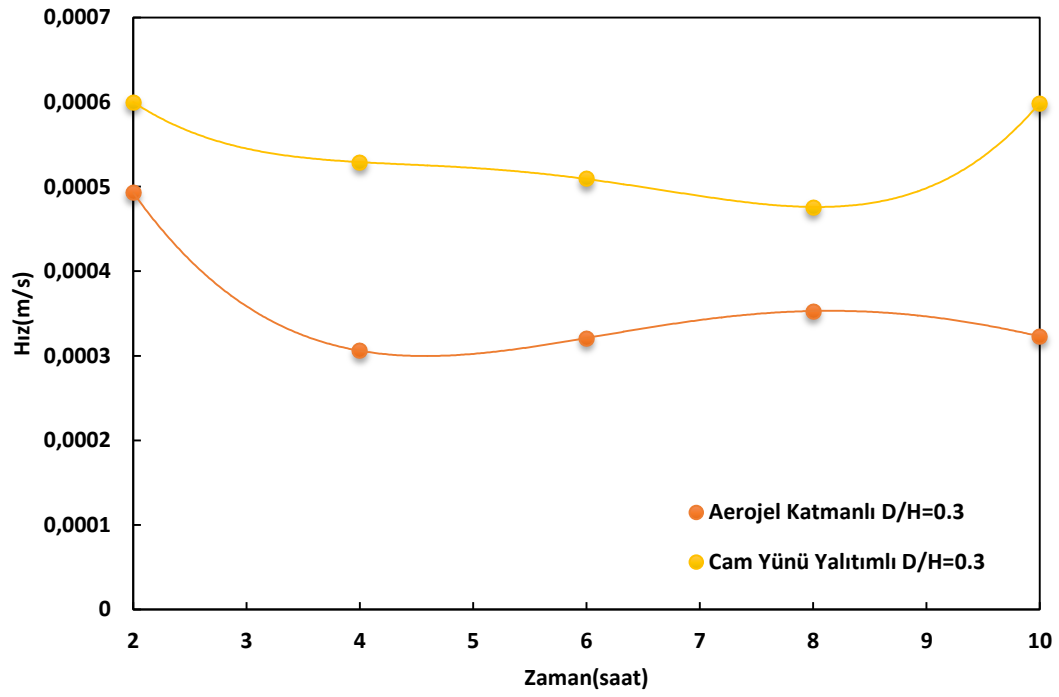
Şekil 4.41. Cam yünü-aerogel katmanlı, kademeli ve sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda $D/H=0.5$ değerinde tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri



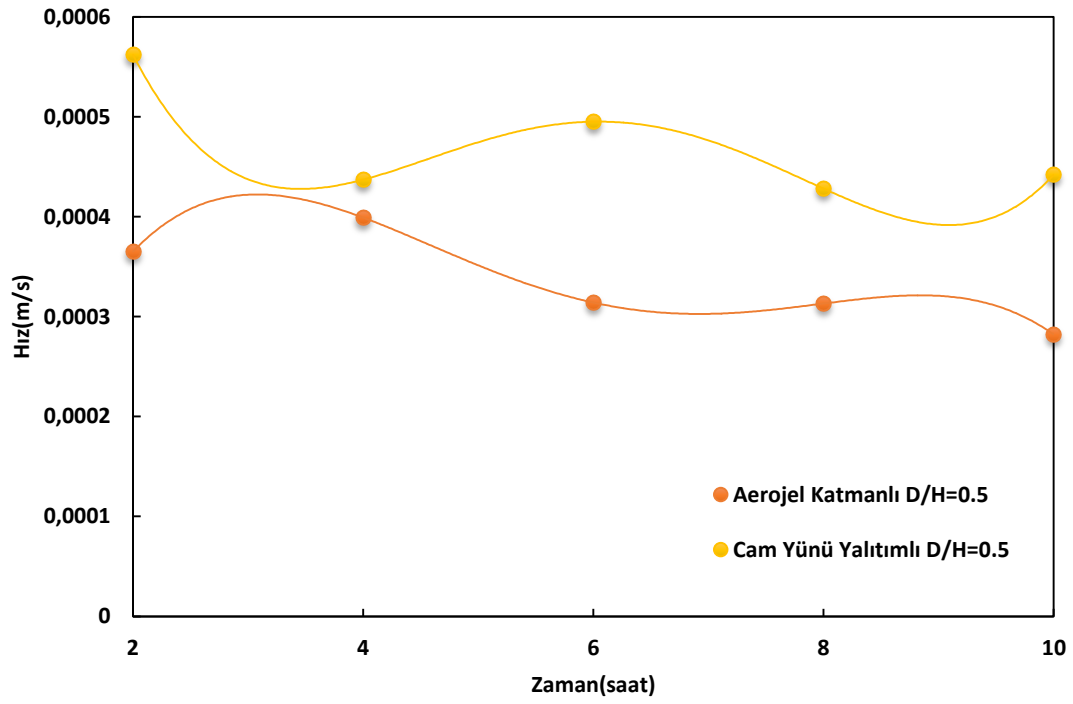
Şekil 4.42. Cam yünü-aerojel katmanlı, kademeli ve sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda $D/H=1$ değerinde tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri

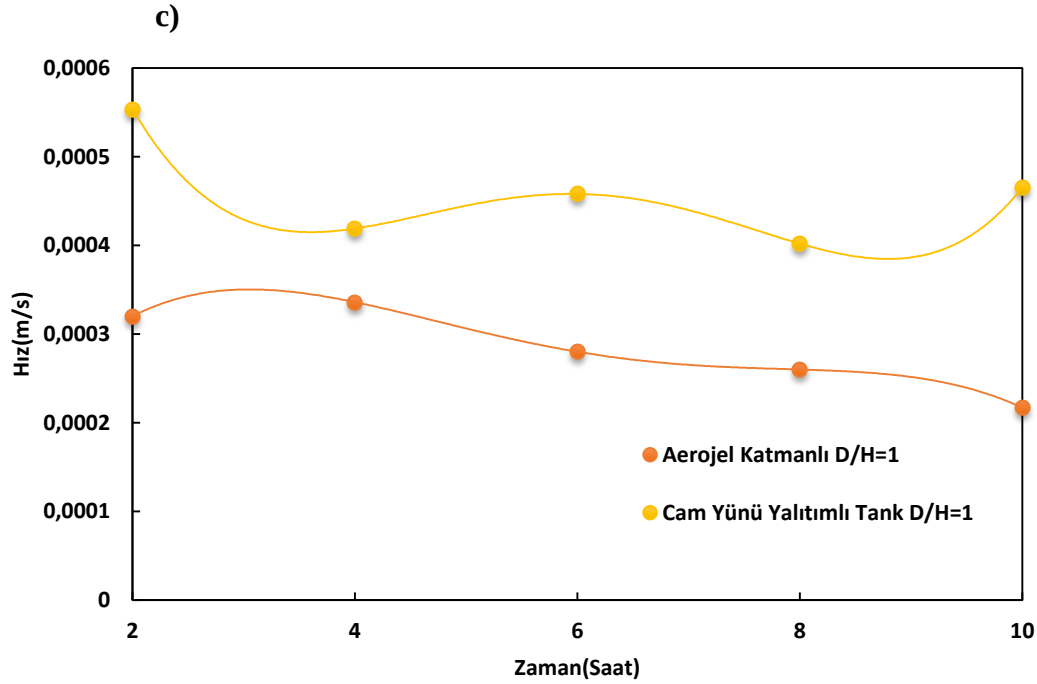
Şekil 4.43’de ise soğuma periyoduna bağlı olarak tank içerisindeki ortalama akışkan hızları görülebilir. Kademeli yalıtım geometrisi kullanımı durumunda tüm D/H değerleri için ortalama doğal konveksiyon kaynaklı ortalama akışkan hızları düşmüştür.

a)



b)

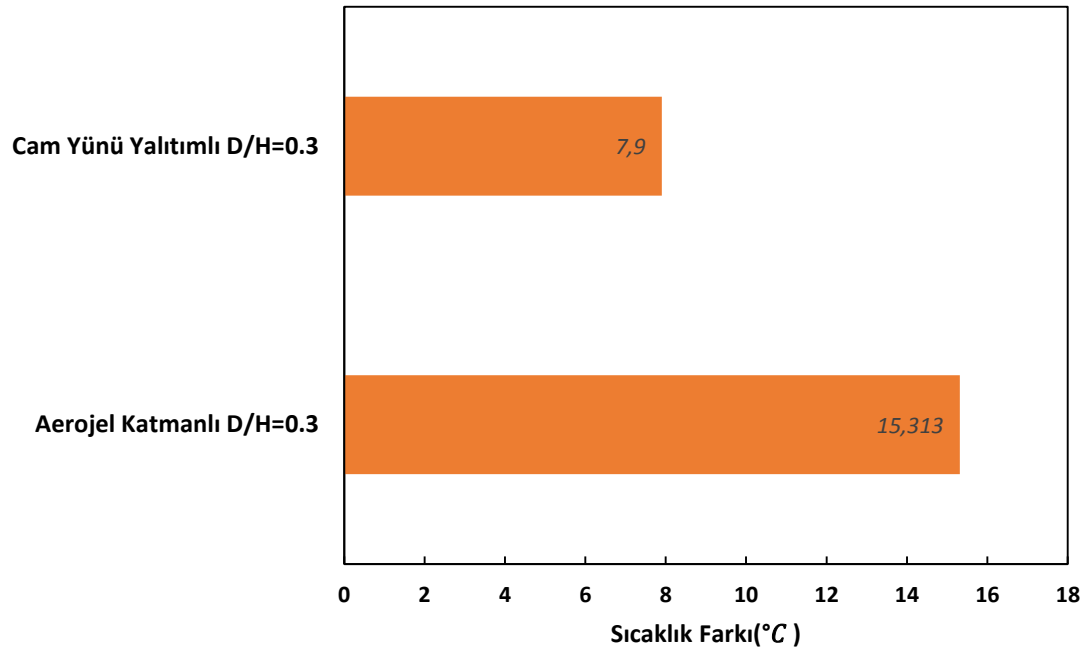




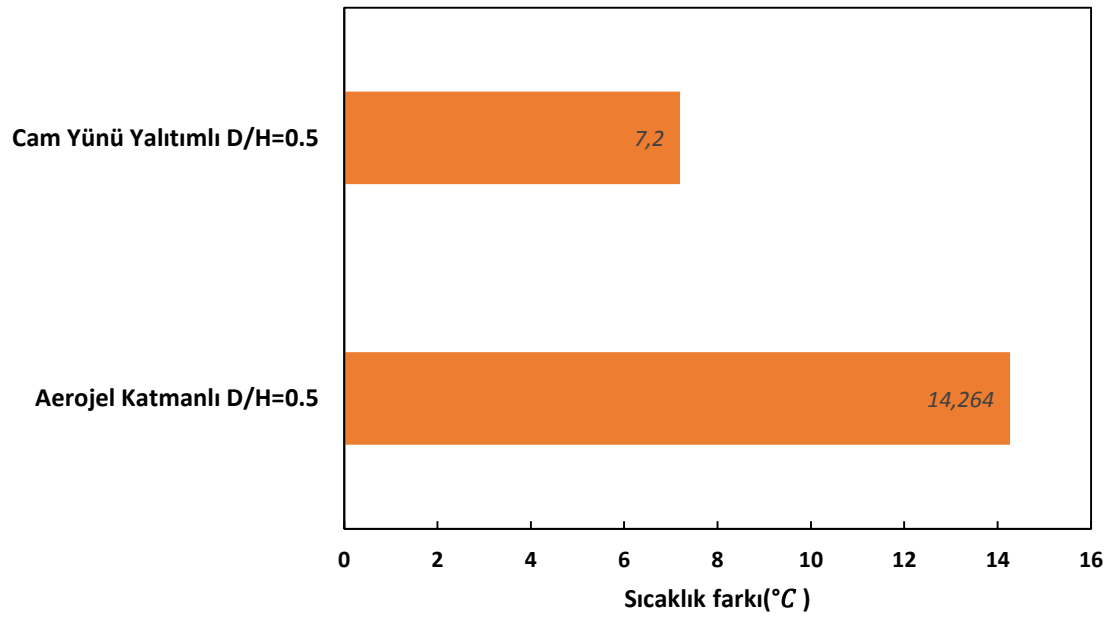
Şekil 4.43. Cam yünü-aerojel katmanlı, kademeli ve sabit yalıtım geometrileri için zamana bağlı ortalama hız grafikleri

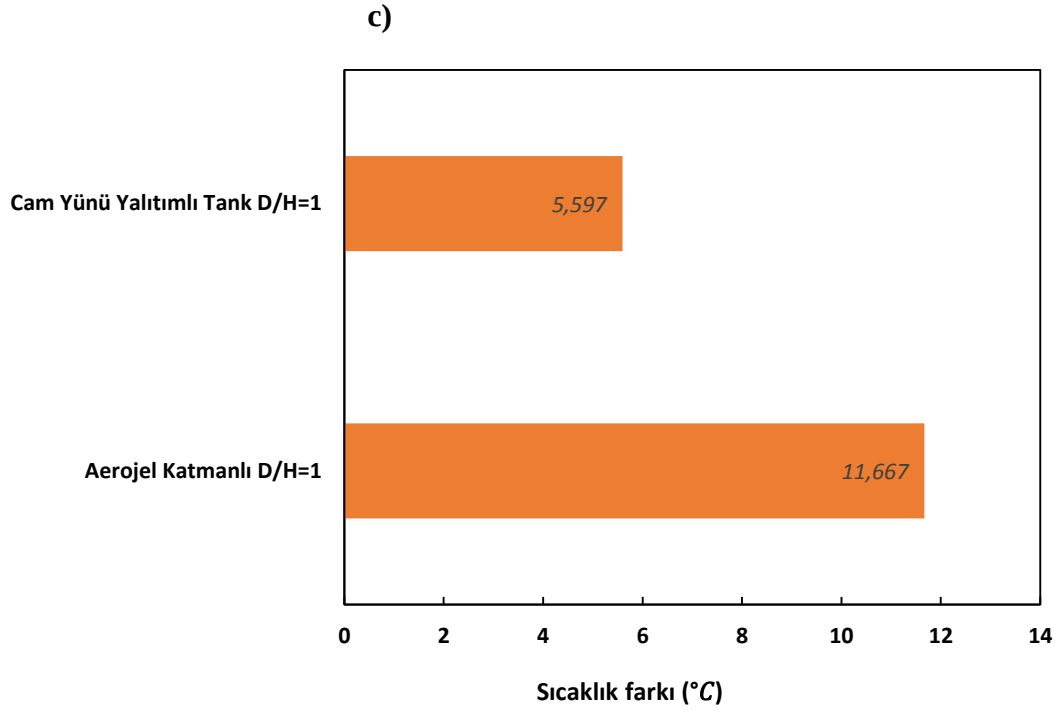
Sıcaklık kontörlerinden faydalanılarak D/H oranının değişimine bağlı olarak tank içerisindeki maksimum su sıcaklık farkları Şekil 4.44 ile verilmiştir. D/H=0.3 değeri için kademeli yalıtım kullanımı ile maksimum sıcaklık farkı 7.9°C'den 15.3°C'ye yükselerek 93.6% oranında artmıştır. Maksimum sıcaklık farkındaki artış D/H=0.5 ve D/H=1 için ise sırasıyla 98% ve 108% oranlarında gerçekleşmiştir. Sabit kalınlıklı yalıtım kullanımı durumuna göre maksimum su sıcaklığı farkındaki en yüksek artış D/H=1 değeri için gerçekleşmiş olsa da sıcaklık farkı değerlerine bakıldığında D/H=0.3 için en yüksek değer elde edilmiştir (15.3°C). Ayrıca sabit kalınlıklı yalıtım kullanımı durumu kendi içerisinde değerlendirildiğinde, D/H oranındaki artışın ısı katmanlaşmayı da artırdığı görülmektedir.

a)



b)

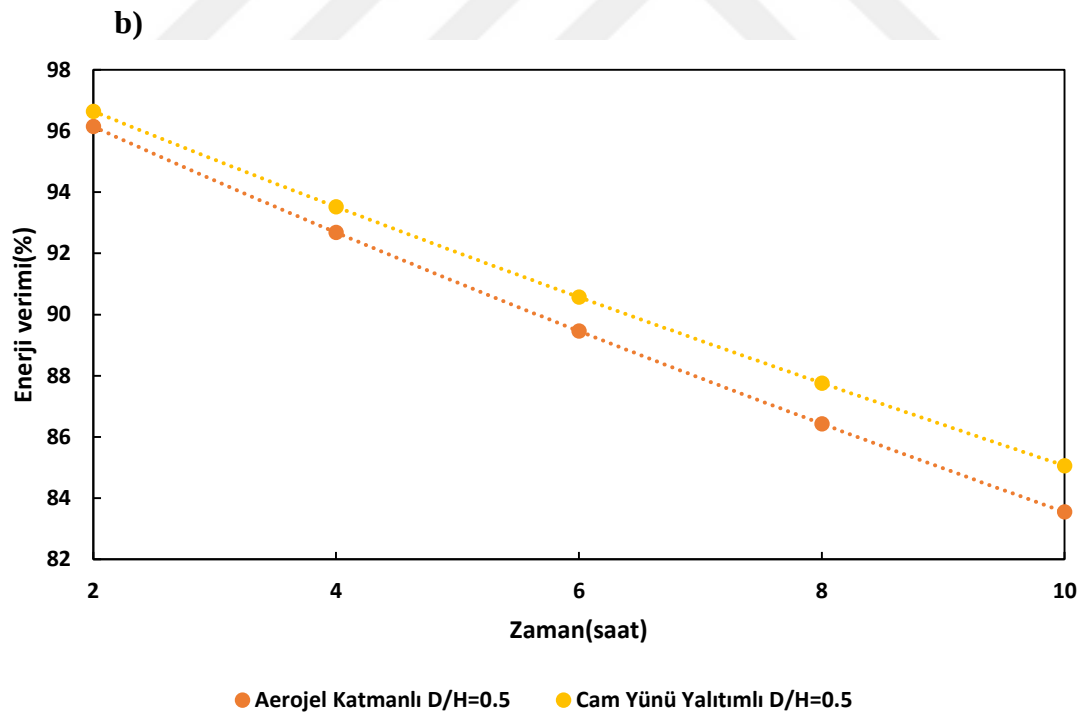
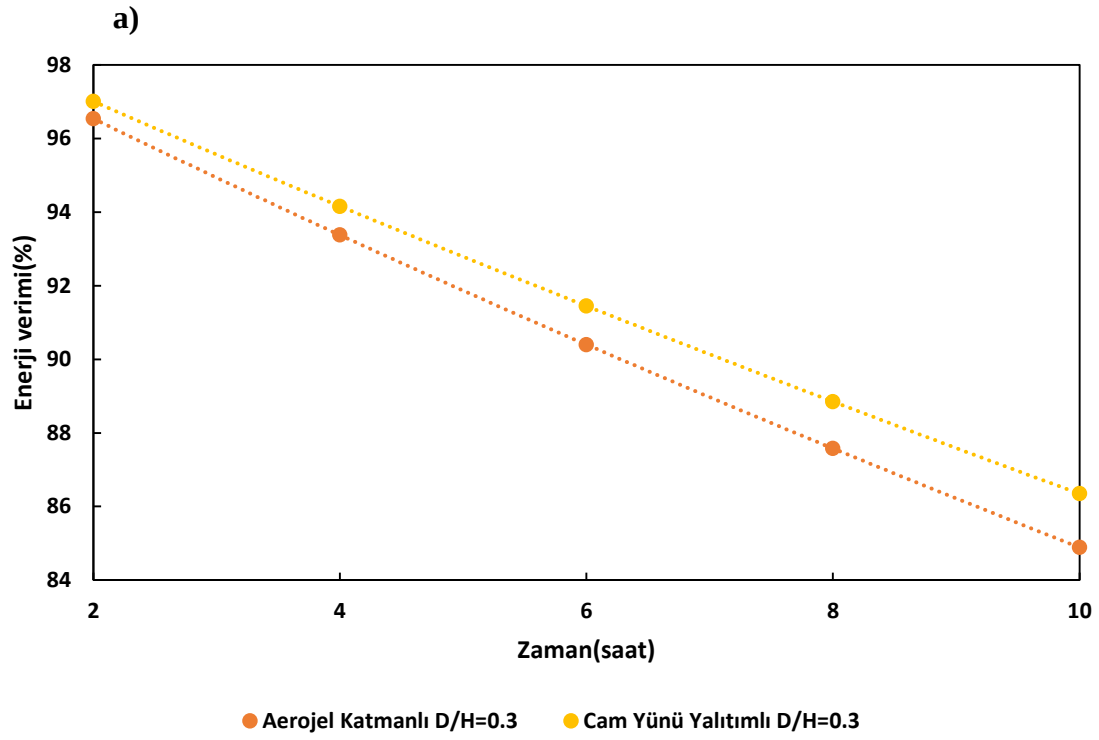


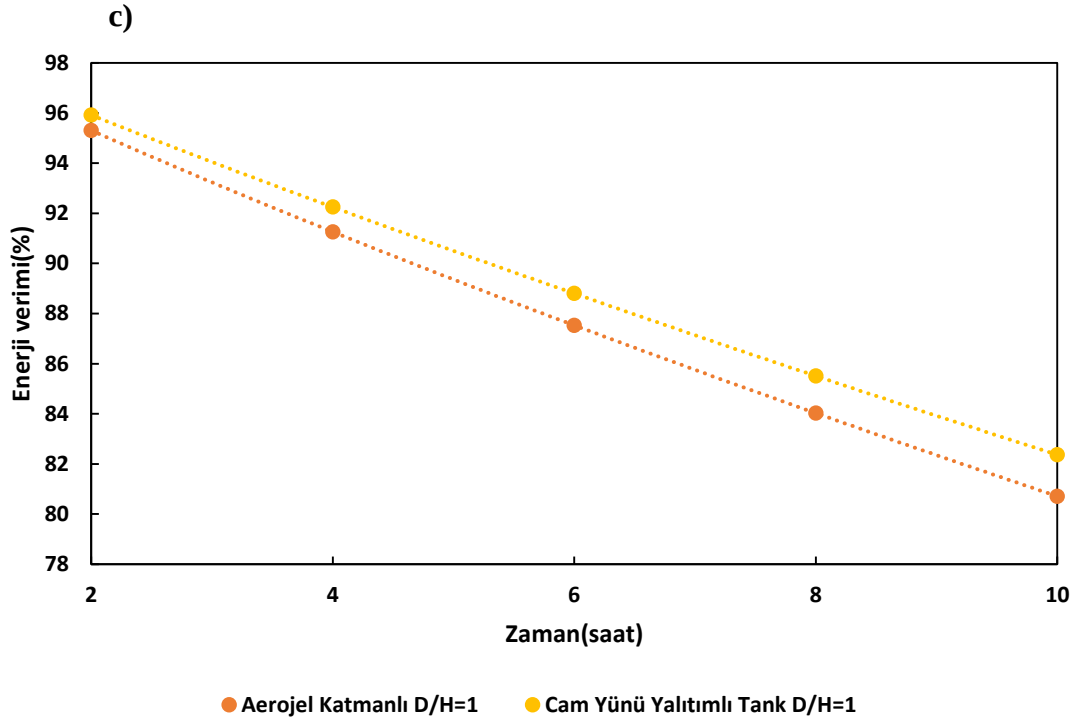


Şekil 4.44. Cam yünü-aerojel katmanlı yalıtım D/H oranı değişimine göre tank içerisindeki en yüksek su sıcaklık farkları

4.4.3. Cam Yünü-Aerojel katmanlı yapıda en/boy oranı değişimine göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji ve ekserji verimleri

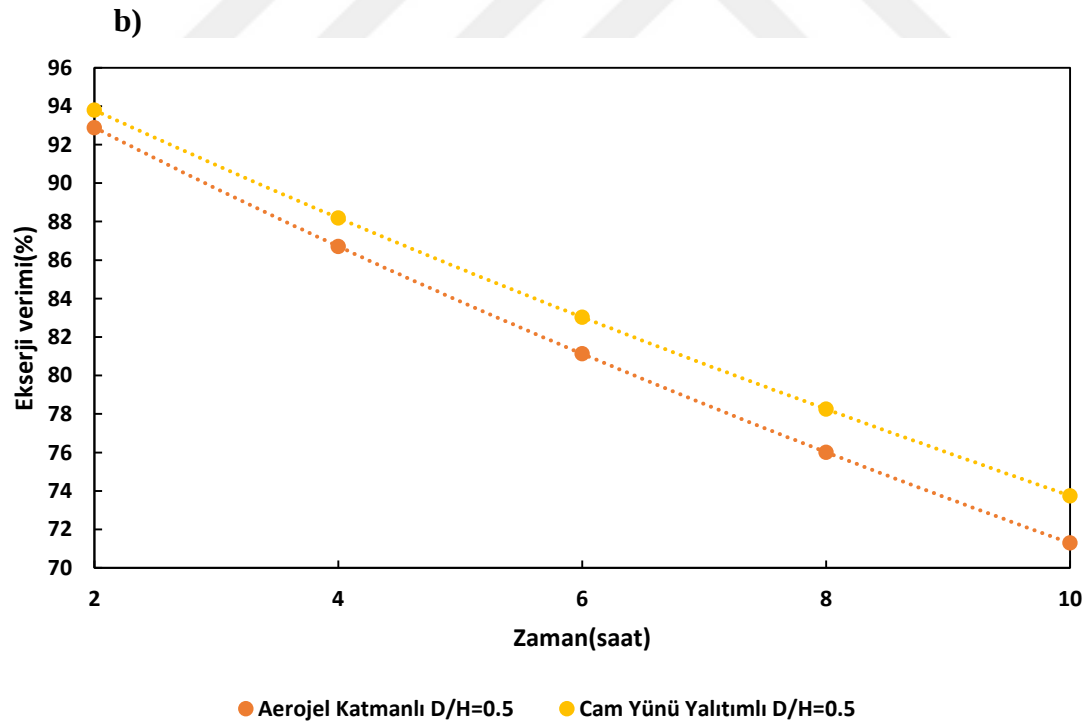
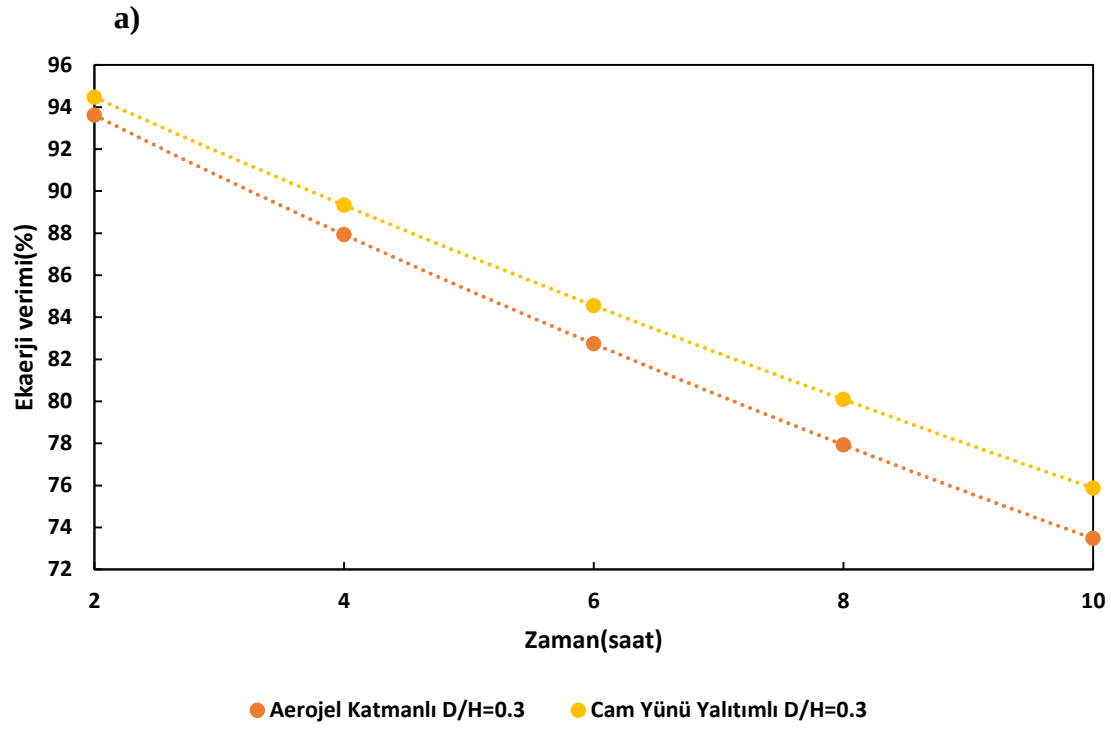
Diğer parametre değerlerinin değişiminde olduğu gibi kademeli yalıtım kullanımı ile sistemin enerji ve ekserji veriminde düşüş meydana gelmiştir. 2 saatlik soğuma periyodu için tüm D/H değerlerinde kademeli yalıtım kullanımı sonucu enerji verimindeki düşüş 0-0.5% arasında olacak şekilde değerler almıştır (Şekil 4.45). 10 saatlik soğuma periyodunun ardından ise enerji verimindeki en yüksek kayıp (1.9%) D/H=1 için gerçekleşmiştir (Şekil 4.45c).

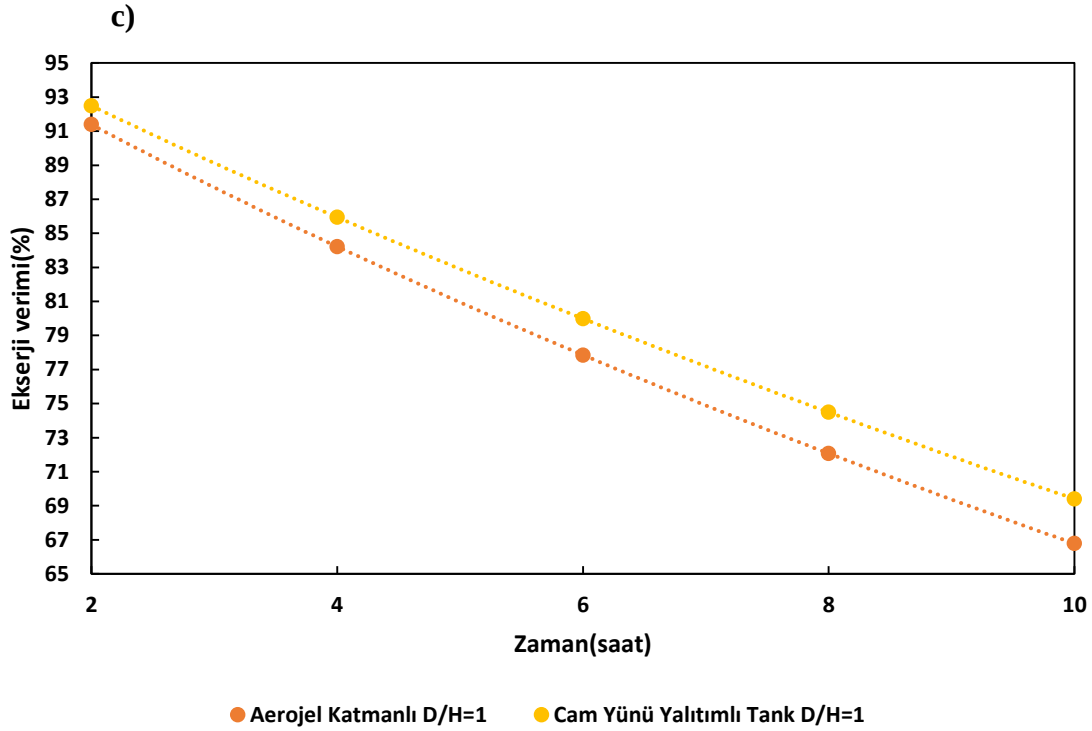




Şekil 4.45. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri

Sistemin ekserji veriminde de iki yalıtım geometrisi koşulunda da zamana bağlı olarak azalma meydana gelmiştir. Kademeli yalıtım kullanımı durumunda D/H oranına bağlı olarak 2 saatlik soğuma periyodu için 0.8% ile 1.2% arasında ekserji kaybı yaşanırken, 10 saatlik soğuma sonucunda bu kayıplar 3.2% ile 3.7% arasında değişmiştir. Enerji ve ekserji kayıplarındaki düşük oranlı değişimler farklı D/H oranları için kademeli yalıtım geometrisinin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.





Şekil 4.46. Cam yünü-aerojel katmanlı yapıda D/H oranına göre 10 saatlik soğuma periyodu sonunda ekserji verimleri

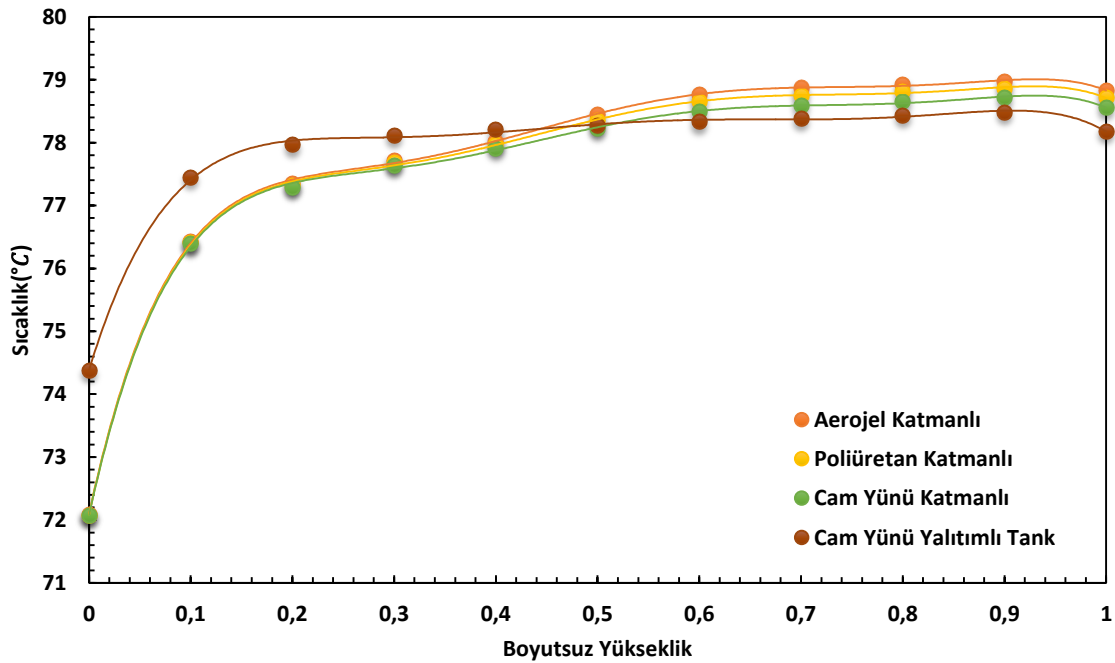
4.5. Farklı Yalıtım Katmanları İçin Analiz Sonuçları

Sayısal analizlerde cam yünü-aerojel, cam yünü-poliüretan köpük ve yalnızca cam yününden oluşan yalıtım katmanları kullanılmıştır. Yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerinin farklı oluşu tanktan olan ısı kayıplarını etkilemektedir. Isı kayıplarındaki değişim ise tank içerisindeki doğal konveksiyon kaynaklı akışkan hareketini ve ısı katmanlaşmayı etkilemektedir. Bu bölüme kadar diğer parametre değişimlerinin incelenmesinde cam yünü-aerojel yalıtım çifti kullanılmıştır. Bu bölümde ise yalıtım çifti değişiminin ısı katmanlaşma üzerine etkileri incelenmiştir. Böylece ısı katmanlaşma ve verimlilik açısından en uygun yalıtım çifti tespit edilmeye çalışılmıştır.

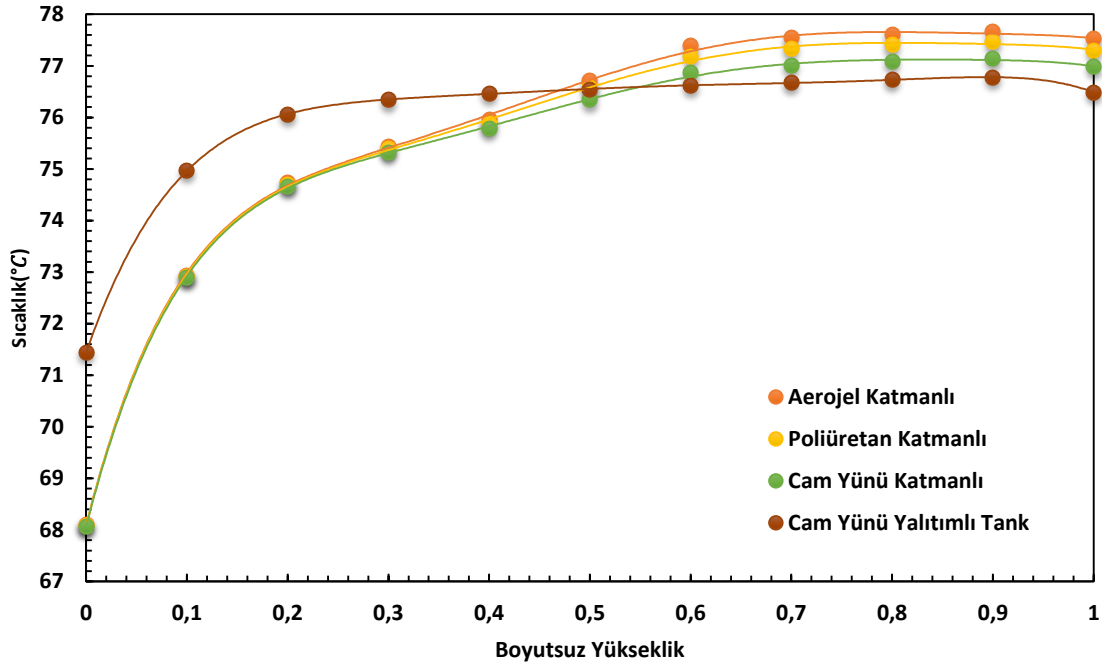
4.5.1. Yalıtım katmanı değişimi için boyutsuz yükseklik değerlerine göre su sıcaklık dağılımı

Tank geometrileri daha önceki analizlerde olduğu gibi akışkan bölgesi ekstenel yönde 10 eşit parçaya bölünmüş ve her bir parçadaki sıcaklık değerleri 2'şer saatlik aralıklarla ölçülerek Şekil 4.47-4.51 ile verilmiştir. Şekiller incelendiğinde tüm yalıtım çiftleri için ısı

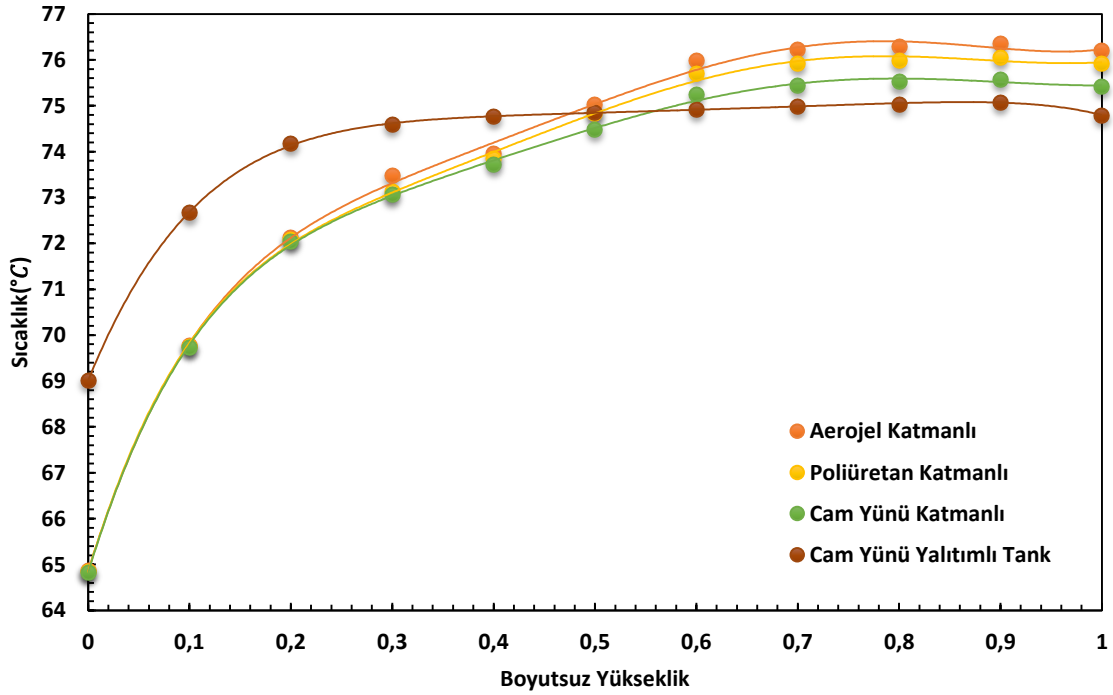
katmanlaşmanın belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Tankın alt bölgesindeki su sıcaklığı açısından tüm yalıtım katmanları çeşitleri yaklaşık aynı değerleri almıştır. Soğuma süresinin artması ile birlikte farklı yalıtım katmanlarına sahip kademeli yalıtım geometrisi kullanımında tank tabanındaki su sıcaklığı 3.1% ile 6% arasında düşmüştür. Tüm soğuma periyodu aralıkları için cam yünü-aerojel yalıtım çifti tankın üst bölgesindeki su sıcaklığının daha yüksek olmasını sağlamıştır. Üst bölgedeki su sıcaklığı bakımından ikinci sırada cam yünü-poliüretan köpük ve üçüncü sırada yalnız cam yünü yalıtım katmanı yer almaktadır. Sabit kalınlıklı yalıtım geometrisi şekillerde cam yünü yalıtımlı tank olarak isimlendirilmiştir. Cam yünü-aerojel yalıtım katmanı kullanımında 2 saatlik soğuma sonunda tank üst bölgesindeki su sıcaklığı 78.8°C iken, sabit kalınlıklı yalıtım kullanımında 78.18 °C'dir ve su sıcaklığında 0.83%'lik bir artış söz konusudur (Şekil 4.47). 10 saat sonunda ise cam yünü-aerojel yalıtım katmanı ile tankın üst bölgesindeki su sıcaklığı 73.6°C, sabit kalınlıklı yalıtım kullanımında ise 71.5°C değerini almıştır (Şekil 4.51). Sıcaklık değerleri, soğuma periyodunun artışı ile cam yünü-aerojel katmanlı, kademeli yalıtım kullanımının etkisinin arttığını ortaya koymuştur.



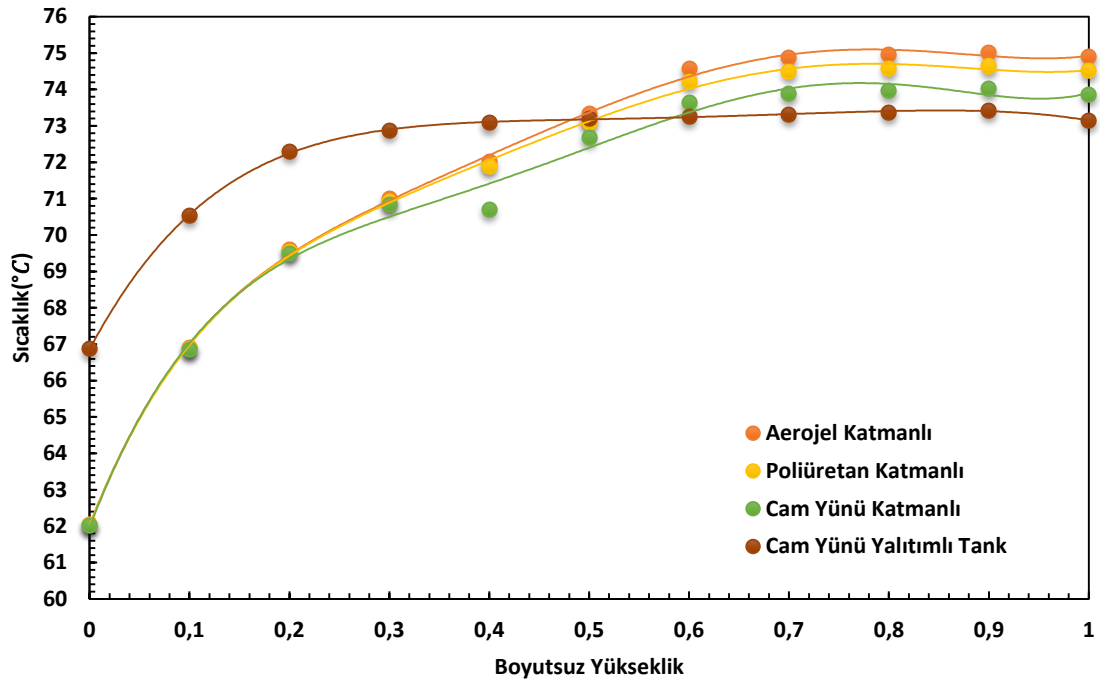
Şekil 4.47. Farklı yalıtım katmanları için 2 saatlik analiz sonucu boyutsuz yükseklikteki sıcaklık değeri ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$ ve $h_a/h_u=0.02$)



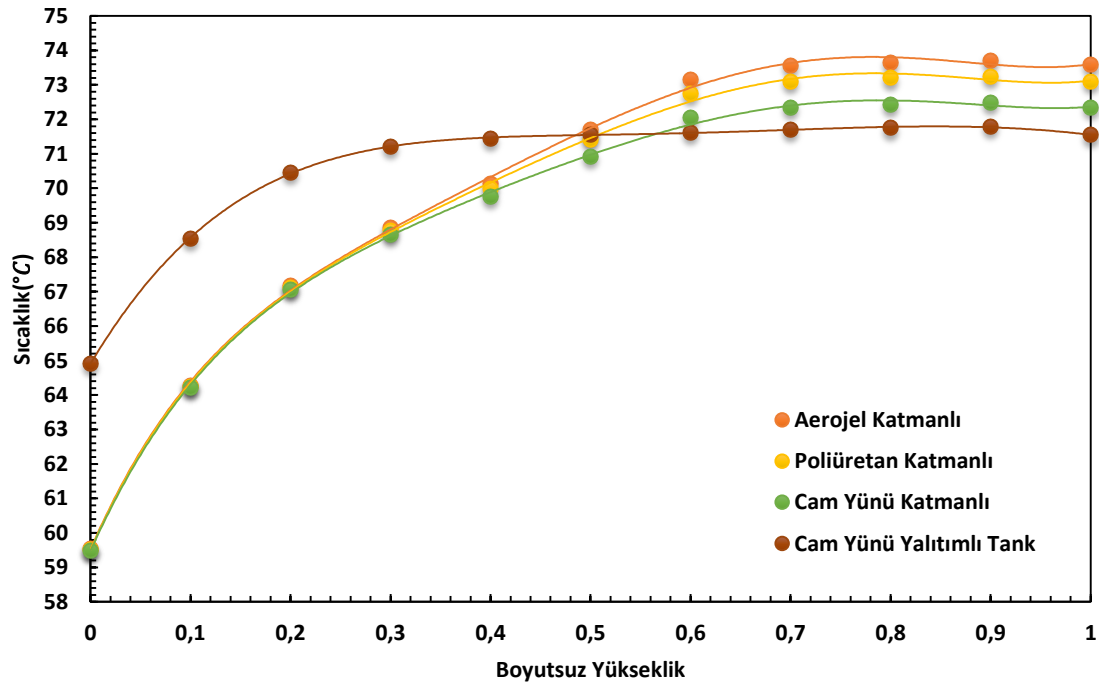
Şekil 4.48. Farklı yalıtım katmanları için 4 saatlik analiz sonucu boyutsuz yükseklikteki sıcaklık değeri ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$ ve $ha/hü=0.02$)



Şekil 4.49. Farklı yalıtım katmanları için 6 saatlik analiz sonucu boyutsuz yükseklikteki sıcaklık değeri ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$ ve $ha/hü=0.02$)



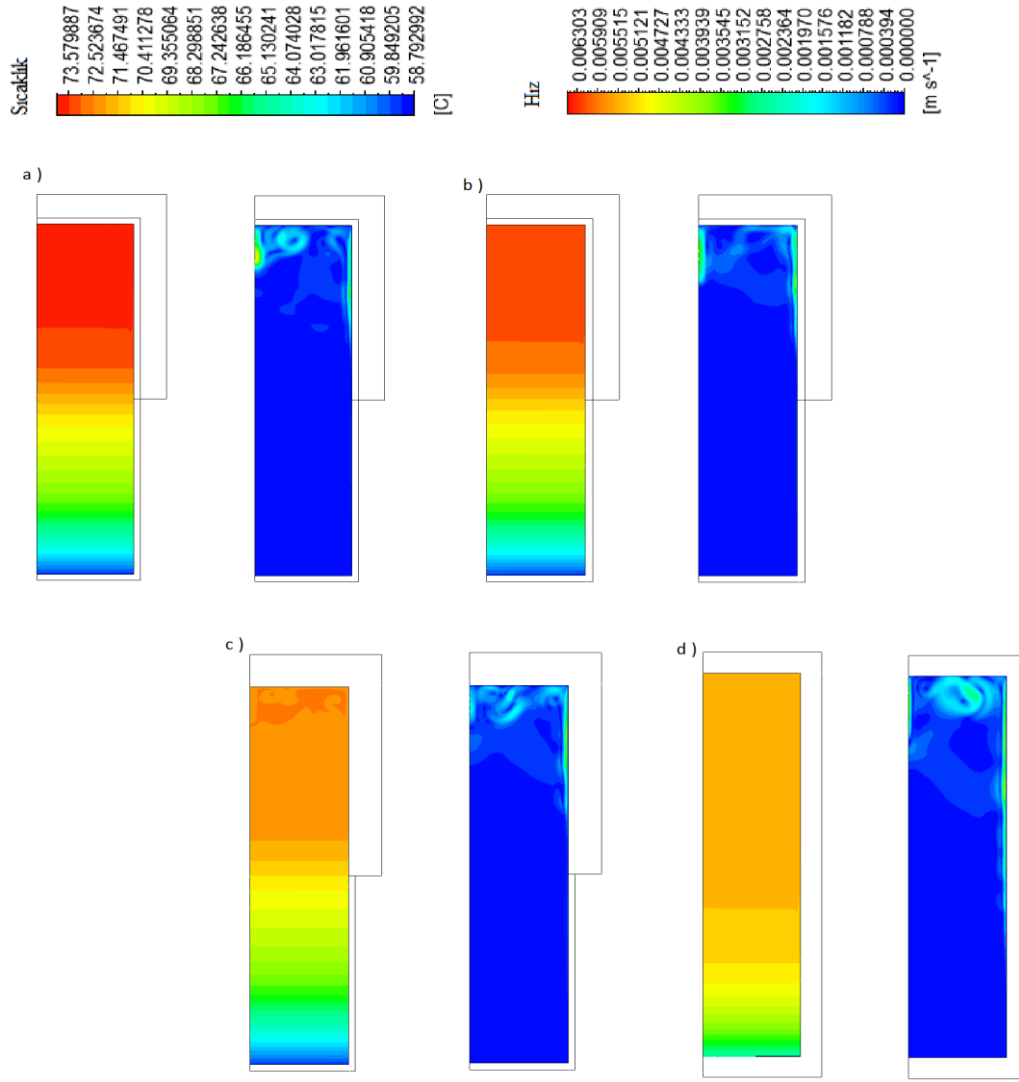
Şekil 4.50. Farklı yalıtım katmanları için 8 saatlik analiz sonucu boyutsuz yükseklikteki sıcaklık değeri ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$ ve $ha/hü=0.02$)



Şekil 4.51. Farklı yalıtım katmanları için 10 saatlik analiz sonucu boyutsuz yükseklikteki sıcaklık değeri ($D/H=0.5$, $L/H=0.5$ ve $ha/hü=0.02$)

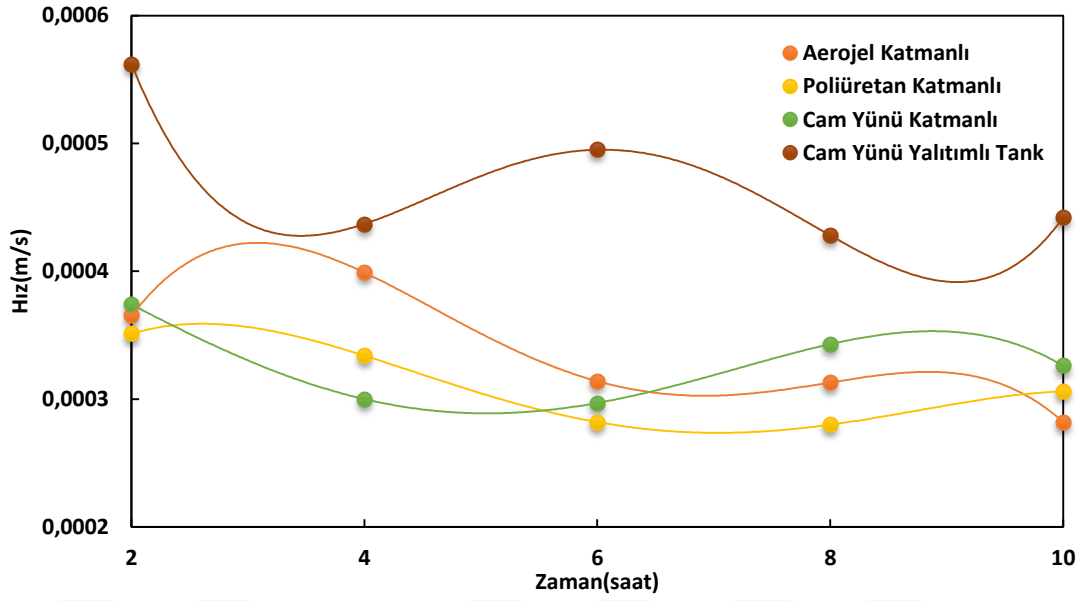
4.5.2. Farklı yalıtım için 10 saatlik analiz sonucu oluşan sıcaklık ve hız kontörleri

Şekil 4.52'deki hız ve sıcaklık kontörlerinden de görülebileceği gibi tank üst bölgesinde 10 saatlik soğuma neticesinde en yüksek su sıcaklığına cam yünü-aerojel yalıtım çiftinde ulaşılmıştır (Şekil 4.52a). Bu durum aerojel yalıtımın ısı iletkenlik değerin diğer yalıtım malzemelerinin ısı iletim değerlerinden düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.49'daki hız kontörleri incelendiğinde hidrodinamik hız sınır tabakasının başladığı nokta aynı zamanda soğuk ve sıcak su karışımını ifade eden doğal konveksiyonun da başlangıç noktasını göstermektedir. Kademeli yalıtım geometrisi için cam yünü-aerojel yalıtım katmanlı yapıda hız sınır tabakasının oluşumu yalnızca tankın üst bölgesinde meydana gelmiş, sabit kalınlıklı yalıtım kullanılması durumunda ise hız sınır tabakası tankın alt bölgesine yakın noktadan başlamıştır (Şekil 4.52a ve 4.52d). Bu durum tankın üst bölgesinin cam yünü-aerojel katmanlı yalıtım ile kaplanmasının doğal konveksiyondan kaynaklı akışkan hareketini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır. Kademeli yalıtım tüm yalıtım katmanları çeşitlerinde ısı katmanlaşmayı artırmış, en yüksek ısı katmanlaşma artışı ise cam yünü aerojel yalıtım çifti kullanımında meydana gelmiştir.



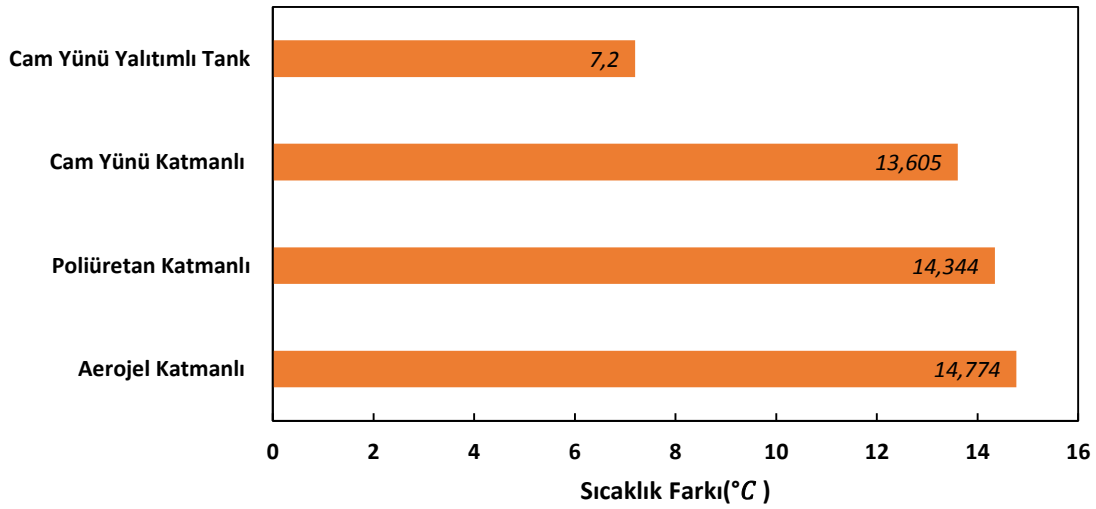
Şekil 4.52. Farklı yalıtım katmanları için 10 saatlik soğuma periyodu sonucunda tank akışkan bölgesinde oluşan sıcaklık ve hız kontörleri a) cam yünü-aerogel, b) cam yünü-poliüretan, c) cam yünü, d) sabit kalınlıklı yalıtım, cam yünü

Şekil 4.53 ile 2'şer saatlik soğuma periyodlarında tank içerisindeki doğal konveksiyon kaynaklı ortalama akışkan hızları verilmiştir. Kademeli yalıtım kullanımı ile akışkan hareketinin azaltıldığı şeklindeki sayısal verilerden açıkça görülmektedir. Yukarıda verilen hız kontörlerinde soğuk ve sıcak su karışımının en az olduğu durum cam yünü-aerogel katmanlı yalıtım kullanımı ile meydana gelmiş olsa da Şekil 4.53'de belirli soğuma periyodları için cam yünü-poliüretan köpük ve yalnız cam yünü yalıtım katmanı olan durumdaki ortalama akışkan hızlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun Şekil 4.52'de verilen hız kontörleri ile ters düştüğü düşünülmemelidir. Önemli olan nokta daha önce de bahsedildiği gibi hız sınır tabakasının oluşmaya başladığı konumdur.



Şekil 4.53. Farklı yalıtım katmanları için zamana bağlı ortalama hız grafiği

Isıl katmanlaşmadaki değişim Şekil 4.54’de verilen tank içerisinde oluşan maksimum su sıcaklık farkları ile daha net şekilde görülebilmektedir. En yüksek su sıcaklık farkı cam yünü-aerojel yalıtım katmanı için oluşmuştur (14.774 °C). İkinci sırada ise cam yünü-poliüretan köpük yalıtım çifti yer almıştır.

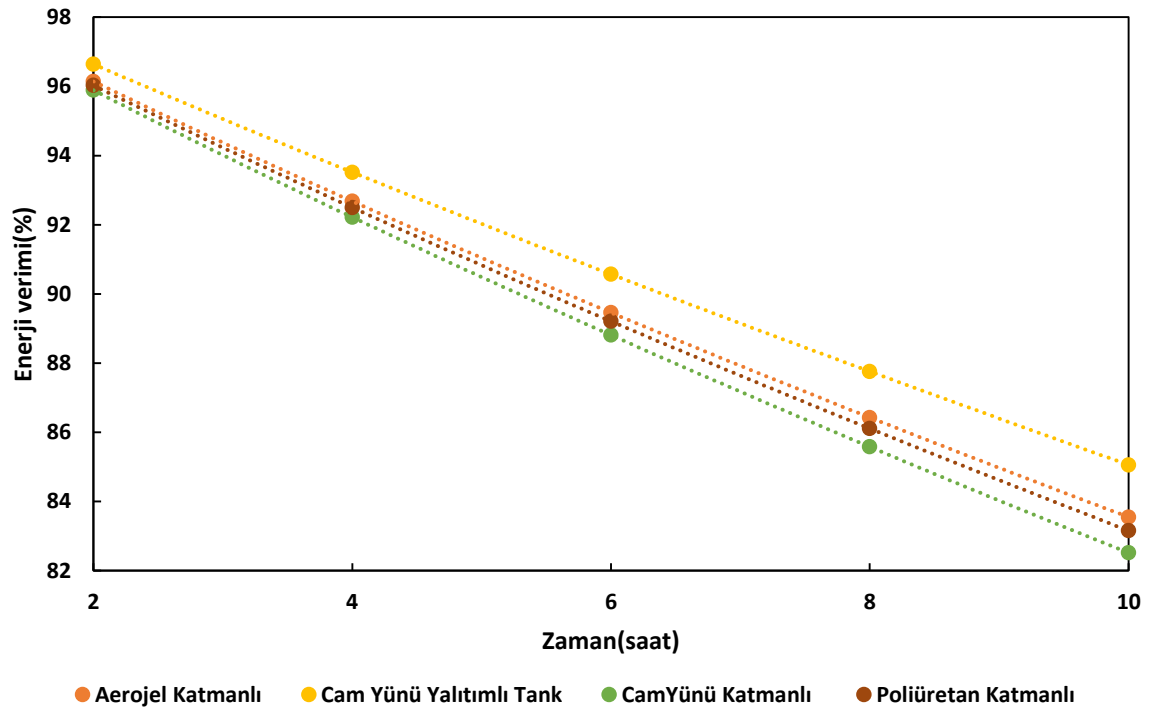


Şekil 4.54. Farklı yalıtım katmanları için tank içerisindeki en yüksek su sıcaklık farkları

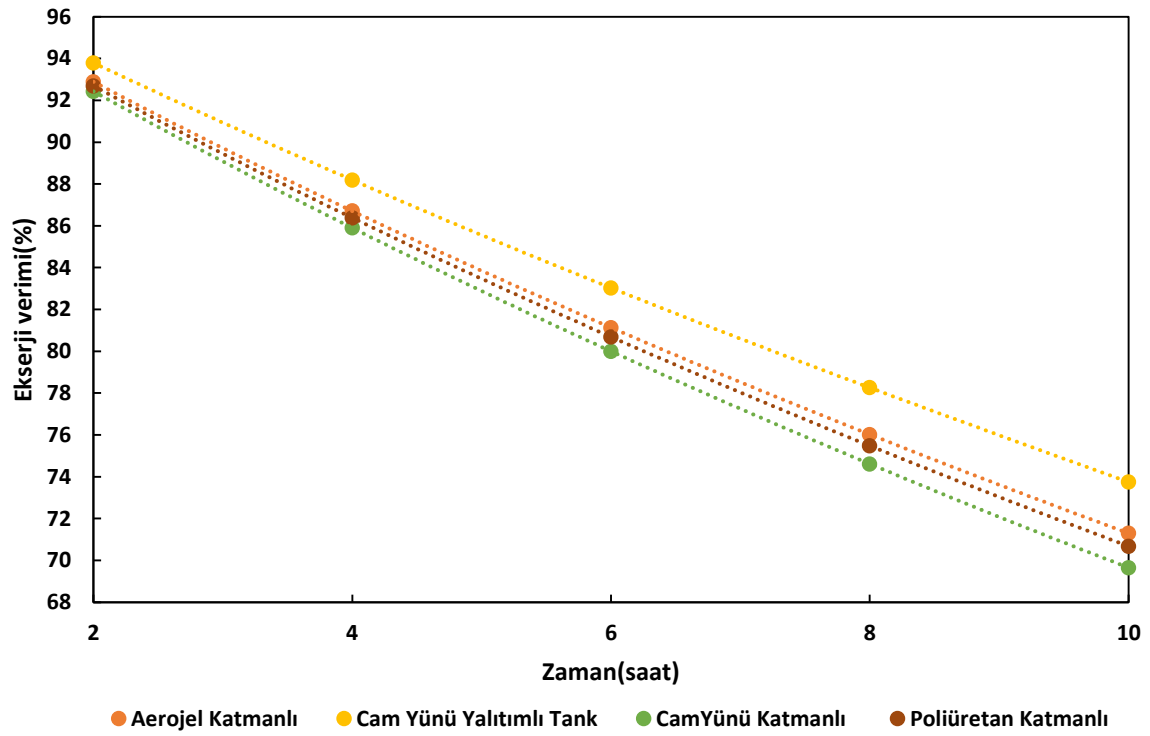
4.5.3. Farklı yalıtım katmanları için 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji ve ekserji verimleri

Kademeli yalıtım geometrisi kullanımı ile sistemin enerji ve ekserji veriminin düştüğü daha önceki bölümlerde de tartışılmıştı. Burada da farklı yalıtım katmanı kullanımının enerji ve ekserji verimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.55 incelendiğinde enerji verimindeki en yüksek kaybın kademeli yalıtımda yalnız cam yünü katmanı kullanılması ile meydana geldiği görülmektedir. En düşük enerji verimi kaybı ise cam yünü-aerojel yalıtım katmanı kullanımında oluşmuştur. 2 saatlik soğuma periyodunda kademeli yalıtım kullanımı ile sistemin enerji veriminde ortalama 0.6% düşüş meydana gelirken 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimindeki azalma 1.7% ile 3% arasında değişmiştir.

Şekil 4.56daki ekserji verimi değişimi için de enerji verimindeki değerlendirmelerin benzeri yapılabilir. Zamana bağlı olarak beklendiği gibi tüm yalıtım geometrileri ve yalıtım katmanları için sistemin ekserji veriminde düşüş meydana gelmiştir. Enerji verimindeki değişimlere paralel olarak, kademeli yalıtımda yalnız cam yünü katmanı kullanımında en yüksek, cam yünü-aerojel yalıtım katmanı kullanımında ise en düşük ekserji kayıpları elde edilmiştir. Farklı yalıtım katmanları kullanımı ile sabit kalınlıklı yalıtım kullanımına göre ekserji verimindeki düşüş 2 saatlik soğuma periyodunda 1.16% ile 1.4% arasında değişmiş, 10 saatlik soğuma sonucu ise 3.3% ile 5.6% arasında düşüş meydana gelmiştir. Enerji ve ekserji verimlerindeki kayıpların düşük oluşu farklı yalıtım katmanlı kademeli yalıtım geometrisinin pratikte uygulanabilme potansiyelinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.55. Farklı yalıtım katmanları için 10 saatlik soğuma periyodu sonunda enerji verimleri



Şekil 4.56. Farklı yalıtım katmanları için 10 saatlik soğuma periyodu sonunda ekserji verimleri

5. SONUÇLAR

Enerji depolama sistemleri enerji üretimi ve tüketimi arasındaki dengeyi sağlamakta ve gerekli olduğu zaman enerjinin kullanımına olanak sağlamaktadır. Sıcak su depolama tankları ısııl enerji depolama sistemleri arasında önemli bir rol oynamaktadır. Sıcak su tanklarında ısııl katmanlaşmanın artırılması suyun daha uzun süre yüksek sıcaklıkta tutulmasını ve sıcak suyun ısıtılmasında kullanılan ısı kaynağının enerjisinden daha verimli şekilde faydalanılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada ise farklı yalıtım geometrilerinin ve yalıtım katmanlarının ısııl katmanlaşma üzerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada düzgün dağılımlı ve kademeli yalıtım geometrilerinin ve farklı yalıtım malzemelerinin birlikte kullanımının ısııl katmanlaşma üzerine etkisi incelenmiştir. Sıcak su tankının yalıtılmasında cam yünü, poliüretan köpük ve aerjel olmak üzere üç farklı tip yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan yalıtım malzemeleri yalıtım kademe oranı, en/boy oranı, yalıtım kalınlığı oranı ve yalıtım çeşidi için 10 saatlik analizler ile içerisinde 80 °C sıcaklıktaki suyun soğumaya bırakılmasıyla tank içerisindeki akışkan sıcaklık dağılımı, sistemin enerji ve ekserji verimleri incelenmiştir. Yapılan sayısal çalışmadan elde veriler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Kademeli yalıtım geometrisinde yalıtım kademe oranının $L/H=0.3$ ile 0.7 arasında değiştirilmesi sonucunda tanktan dış ortama olan ısı kayıpları değişkenlik göstermiş ve bu durum tank içerisindeki ısııl katmanlaşma oluşumunu da etkilemiştir. $L/H=0.7$ değeri için su sıcaklığında ve sistemin ekserji veriminde önemli düşüşler meydana gelirken, $L/H=0.3$ değerinde ısı kayıpları azalmasına rağmen ısııl katmanlaşmanın da azaldığı gözlenmiştir. Sabit kalınlıklı yalıtım geometrisine göre $L/H=0.5$ oranına sahip kademeli yalıtım kullanılması ile en iyi ısııl katmanlaşma oluşumu elde edilmiştir.
2. Tankların en/boy (D/H) oranının azaltılması sabit kalınlıklı ve kademeli yalıtım geometrilerinin her ikisi için de ısııl katmanlaşmanın artmasını sağlamıştır. Ayrıca D/H oranı tanktan dış ortama olan ısı kayıplarını da etkilediğinden sistemin enerji ve ekserji verimini de değiştirmiştir. Kademeli yalıtım geometrisi için tüm D/H değerleri incelendiğinde $D/H=0.3$ değerinde ısııl katmanlaşma artışının en fazla olduğu görülmüştür. Kademeli yalıtım kullanımı ile $D/H=0.3$ değeri için tank içerisindeki su sıcaklığı farkı 93.6% oranında artmıştır.

3. Yalıtım kalınlığı oranı ($h_a/h_{\bar{u}}$) ısı katmanlaşmayı etkileyen önemli faktörlerden birisi olmuştur. Tankın alt ve üst bölgelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre $h_a/h_{\bar{u}}$ değerleri belirlenmiştir. $h_a/h_{\bar{u}}$ oranının düşmesi tankın alt bölgesinden olan ısı kayıplarını artırarak tankın alt bölgesindeki suyun üst bölgesindeki suya göre daha erken soğumasını sağlamış ve böylece doğal konveksiyon kaynaklı akışkan hareketi önemli ölçüde engellemiştir. Ayrıca düşük $h_a/h_{\bar{u}}$ oranı değerlerinde tankın üst bölgesindeki yalıtım kalınlaştığından su sıcaklığı daha uzun süre muhafaza edilebilmiştir. Üç farklı $h_a/h_{\bar{u}}$ değeri için ($h_a/h_{\bar{u}}=0.02, 0.5$ ve 1) en fazla ısı katmanlaşmanın $h_a/h_{\bar{u}}=0.02$ değerinde olduğu gözlemlenmiştir.
4. Sayısal analizlerde kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri tank içerisindeki su sıcaklık dağılımını, ısı katmanlaşmayı, sistemin enerji ve ekserji verimlerini belirli oranda etkilemiştir. Kullanılan yalıtım malzemelerinde arojel ve cam yünü yalıtım malzemeleri sırası ile en düşük ve en yüksek ısı iletkenlik değerine sahiptir. Tankın üst bölgesine düşük ısı iletkenliğe sahip yalıtım katmanı eklenmesi ile tank üst bölgesindeki su sıcaklığının daha uzun süre muhafaza edilebilmesi ve böylece ısı katmanlaşmanın artırılması sağlanmıştır. Cam yünü-arojel katmanlı kademeli yalıtım ısı katmanlaşma oluşumu açısından en uygun tercih olmuştur. Cam yünü-arojel katmanlı kademeli yalıtım kullanımı ile sabit kalınlıklı cam yünü yalıtım kullanımına göre tank içerisindeki su sıcaklık farkı 7.2°C 'den 14.77°C 'ye yükselmiştir.
5. Soğuma zamanının artışı ile tüm tank ve yalıtım geometrileri için sistemin enerji ve ekserji veriminde düşüş meydana gelmiştir. Ayrıca, kademeli yalıtım geometrisi kullanımı neticesinde tankın üst bölgesindeki yüksek su sıcaklığı daha uzun süre muhafaza edilebilmiş olsa da, tankın alt bölgesinde ince katmanlı yalıtım kullanılması ısı kaybını artırdığından alt bölgedeki su sıcaklığını düşürmüştür. Bu durum tank içerisindeki ortalama su sıcaklığının da düşmesine neden olmuştur. Böylece enerji ve ekserji hesaplamalarında kademeli yalıtım kullanımındaki tüm parametre değerlerinde sabit kalınlıklı yalıtıma sahip enerji depolamaya göre sistemin enerji ve ekserji veriminde azalma meydana gelmiştir. Kademeli yalıtım için L/H , D/H , $h_a/h_{\bar{u}}$ oranlarının tüm değerlerinde ve farklı yalıtım katmanları için enerji verimindeki kayıp yaklaşık 0.5% ile 6% arasında, ekserji verimindeki kayıp ise yaklaşık 2% ile 11%

arasında değişmiştir. Enerji ve ekserji verimindeki kayıplar dikkate alındığında belirli parametre değerleri için kademeli yalıtım geometrisine sahip sıcak su tankının pratikte kullanılabilme potansiyelinin yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıktaki kullanım suyunun tankın st bölgesinden temin edilmesi, tankın alt bölgesindeki düşük sıcaklıklı sudan kaynaklanan enerji ve ekserji verimi düşüşünün önerilen yalıtım geometrisine sahip tankın pratikte kullanılabilirliğine engel olmayacağı kanaatini de güçlendirmektedir.



KAYNAKLAR

- Bouhal, T., Fertahi, S., Agroaz, Y., El Rafiki, T., Kousksou, T., & Jamil, A. (2017). Numerical modeling and optimization of thermal stratification in solar hot water storage tanks for domestic applications: CFD study. *Solar Energy*, 147, 441-455.
- Abdelhak, O., Mihiri, H., & Bournot, P. (2015). CFD analysis of thermal stratification in domestic hot water storage tank during dynamic mode. In *Building. Tsinghua University Press*, 8(4), 421-429.
- Amrouche, S., Rekioua, D., Rekioua, T., & Bacha, S. (2016). Overview of energy storage in renewable energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(45), 20914-20927.
- Aneke, M., & Wang, M. (2016). Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review,. *Applied Energy*, 179, 350-377.
- Ateşoğlu, H. (2018). *Yatay Mantolu Sıcak Su Tanklarının Isıl Performansının Engeller Kullanılarak İyileştirilmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri .
- Bejan, A., & Lage, J. (1990). Dikey bir yüzey boyunca doğal taşınımındaki geçişte prandtl sayısının etkisi. *Isı Transfer Dergisi*, 112(3), 787-790.
- Brown, N., & Lai, F. (2011). Enhanced thermal stratification in a liquid storage tank with a porous manifold. *Solar Energy*, 85(7), 1409-1417.
- Castell, A., Medrano, M., Solé, C., & Cabeza, L. (2010). Dimensionless numbers used to characterize stratification in water tanks for discharging at low flow rates. *Renewable Energy*, 35(10), 2192-2199.
- Chung, J., Cho, S., Tae, C., & Yoo, H. (2008). The effect of diffuser configuration on thermal stratification in a rectangular storage tank. *Renewable Energy*, 33(10), 2236-2245.
- Dragsted, J., Furbo, S., Dannemand, M., & Bava, F. (2017). Thermal stratification built up in hot water tank with different inlet stratifiers. *Solar Energy*, 147, 414-425.
- Erdemir, D., & Altıntop, N. (2016). Improved thermal stratification with obstacles placed inside the vertical mantled hot water tanks. *Applied Thermal Engineering*, 100, 20-29.
- Eren, B., & Köksal, M. (2019). Termal Enerji Depolama Sistemlerinin Uygulanabilirliğinin İncelenmesi. *7nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Şanlıurfa, Türkiye.
- Fan, J., & Furbo, S. (2012). Thermal stratification in a hot water tank established by heat loss from the tank. *Solar Energy*, 86(11), 3460-3469.

- Gasque, M., Gonzales Altozano, P., Maurer, D., Moncho-Esteve, i., Gutiérrez-Colomer, R., Palau-Salvador, G., & García-Marib, E. (2015). Study of the influence of inner lining material on thermal stratification in a hot water storage tank. *Applied Thermal Engineering*, 75, 344-356.
- Gunjo, D., Mahanta, P., & Robi, P. (2017). CFD and experimental investigation of flat plate solar water heating system under steady state condition. *Renewable Energy*, 106, 24-36.
- Guo, H., Xu, Y., Zhang, Y., Liang, Q., Tang, H., Zhang, X., Zuo, Z., Chen, H. (2019). Off-design performance and an optimal operation strategy for the multistage compression process in adiabatic compressed air energy storage systems. *Applied Thermal Engineering*, 149, 262-274.
- Helwa, N., Mobarak, A., El-Sallak, M., & El-Ghetany, H. (1995). Effect hotwater consumption on temperature distribution in a horizontal solar water. *Applied Energy*, 52, 185-197.
- Hu, S., Yang, Z., Li, J., & Duan, Y. (2021). Thermo-economic analysis of the pumped thermal energy storage with thermal integration in different application scenarios. *Energy Conversion and Management*, 236, 14072.
- Işık, M. (2015). *Mantolu Sıcak Su Tanklarında Sıcaklık*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri .
- Jülch, V. (2016). Comparison of electricity storage options using levelized cost of storage (LCOS) method. *Applied Energy*, 183, 1594-1606.
- Kang, G.-U., & Chung, B.-J. (2010). Dikey bir boru içinde doğal taşınımın geçiş kriterleri üzerine deneysel çalışma. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(8), 1057-1063.
- Khalifa, A., Mustafa, A., & Khammas, F. (2011). Experimental study of temperature stratification in a thermal storage tank in the static mode for different aspect ratios. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6 (2), 53-60.
- Knudsen, S., Morrison, G., Behnia, M., & Furbo, S. (2005). Analysis of the flow structure and heat transfer in a vertical mantle heat exchanger. *Solar Energy*, 78(2), 281-289.
- Kulkarni, M., Deshmukh, D., & P. Shekhawat, D. (2019). Study Thermal Stratification Analysis of Solar Water Heating Systems. *International Journal of Management, Technology And Engineering*, 9(1), 1325-1330.
- Kurşun, B. (2018). Thermal stratification enhancement in cylindrical and rectangular hot water tanks with truncated cone and pyramid shaped insulation geometry. *Solar Energy*, 169, 512-525.
- Kurşun, B., & Ökten, K. (2017). Sıcak su tanklarında yalıtım kalınlığının ısı katmanlaşmaya etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1), 105-115 .

- Kurşun, B., & Ökten, K. (2018). Effect of rectangular hot water tank position and aspect ratio on thermal stratification enhancement. *Renewable Energy*, 116 (A), 639-646.
- Kurtuluş, G. (2019). *Mantolu sıcak su tanklarında konik engel yerleşiminin sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Lohse, R. (2015). Optimization of a stratification device for thermal storage tanks. *11. International Conference in Thermal Energy Storage*, Stockholm.
- Nield, D., & Bejan, A. (1992). *Convection in porous media, (Third edition)*. New York: Springer Science+Business Media, 35-36 .
- Njoku , H., Ekechukwu , O., & Onyegegbu , S. (2014). Analysis of stratified thermal storage systems: An overview. *Heat Mass Transfer Stoffuebertrag.*, 50 (7), 1017-1030.
- Papanicolaou, E., & Belessiotis, V. (2002). Yüksek Rayleigh sayılarında silindirik bir mahfaza içinde geçici doğal konveksiyon. *Uluslararası Isı ve Kütle Transferi Dergisi*, 45(7), 1425-1444.
- Rodríguez-Hidalgo, M., Rodríguez-Aumente, P., Lecuona, A., Legrand, M., & Ventas, R. (2012). Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: The optimum size of the storage tank. *Applied Energy*, 97, 897-906.
- Shobo, A., Mawire, A., & Okello, D. (2017). Experimental thermal stratification comparison of two storage systems. *Energy Procedia* 142, 3295-3300.
- Smushz , R. (2017). Numerical study of thermal stratification in hot water storage tank. *Progress in Computational Fluid Dynamics, An International Journal (PCFD)*, 17 (6), 368-375.
- Sparrow , E., & Gregg, J. (1956). Laminar free convection from a vertical plate with uniform surface heat flux in chemically reacting systems. *Trans ASME*, 45(2), 435-440.
- Wang, Z., Zhang, H., Dou, B., Huang, H., Wu, W., & Wang, Z. (2017). Experimental and numerical research of thermal stratification with a novel inlet in a dynamic hot water storage tank. *Renewable Energy*, 111, 353-371.
- Yang, Z., Chen, H., Wang, L., Sheng, Y., & Wang, Y. (2016). Comparative study of the influences of different water tank shapes on thermal energy storage capacity and thermal stratification. *Renewable Energy*, 85, 31-44.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Ümit BAYRAKTAR

Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)

1-) Bayraktar, Ü. Kurşun, B. (2022). Silindirik sıcak su depolama tanklarında farklı tip yalıtım malzemelerinin kullanılması ile ısı katmanlaşmanın artırılması. 7. Uluslararası Zeugma kongresi s. 119-132

