

BİR SOĞUK DEPOLAMA TANKI İÇERİSİNDEKİ SİLİNDİR POZİSYONLARININ BUZ OLUŞUMUNA ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Ahmet FERTELLİ
Ertan BUYRUK
Gökhan GÜNHAN

ÖZET

Bu çalışmada, içerisinde su bulunan dikdörtgenel bir soğu depolama tankına farklı pozisyonlarda yerleştirilen silindirlerin buz oluşumuna etkileri incelenmiştir. Bu amaçla FLUENT paket programı yardımıyla akış alanının sayısal çözümü zamana bağlı olarak elde edilerek, sıcaklık değişimi ve buz oluşumu görselleştirilmiştir. Tank içerisindeki su sıcaklığı 4 °C ve silindir yüzey sıcaklığı -10 °C kabul edilerek, farklı modeller için, A_b/A_s oranı (Buz alanı / kesit alanı) , sıcaklık dağılımı ve sıvı oranları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katılaşma, Enerji Depolama, Faz Değişimi

ABSTRACT

In the present study, it is aimed to compare the effect of position of cylinder placed in a rectangular ice storage tank filled with water. For this aim Fluent package program was used to solve the flow domain numerically and temperature distribution and ice formation depending on time were illustrated. Water temperature in the tank and cylinder surface temperature were assumed as 4 °C and -10 °C respectively and firstly ratio of A_b/A_s (Formed ice area/ Cross sectional area), temperature distribution and liquid fraction were determined for different geometries.

Key Words: Solidification, Energy Storage, Phase Change.

1. GİRİŞ

Binaların iklimlendirmesi yaz aylarında gündüz saatlerinde elektrik tüketimini pik konumuna getiren en önemli tüketimlerden biridir [1]. Elektrik üretimi talebe bağlı olup, genelde öğleden sonraları ve akşam saatlerinde pik yüklerde olup, gece periyodunda da daha düşük mertebelere düşer. Pik yüklerin olduğu saatlerde üretimin artırılması, tüketimin az olduğu saatlerde de üretimin düşürülmesi, yani tesislerin genelde düşük üretim kapasitelerinde elektrik üretimlerini gerçekleştirmesi beklenir [1]. Soğu depolama sistemleri, iklimlendirilen binanın enerji ihtiyacının elektrik talebinin maksimum olduğu zaman diliminden, minimum olduğu zaman dilimine kaydırmaktadır. Hem doğal enerji kaynaklarının kullanılabilirliği hem de verimli ve ucuz enerjinin elde edilebilmesi için en önemli alternatif sistemler arasında yer almaktadır. Soğu depolamalı sistemler de depolama ortamı genellikle su, buz veya faz değiştiren ötektik tuzlar olarak bilinen faz değişim malzemeleridir. Her bir ortamın birim hacim başına depoladıkları enerji miktarları birbirinden farklıdır. Buz depolamalı sistemler, suyun donma ve erime gizli ısısından faydalandıklarından küçük hacimlerde büyük miktarda ısı enerjisi depolayabilirler. Bu

sistemlerdeki depo kapasitesi, su depolamalı sistemlerde kullanılan depo kapasitesinin beşte veya altıda biri kadardır. Bu avantajından dolayı buz depolamalı sistemler, uygulamada çok tercih edilmektedir [2].

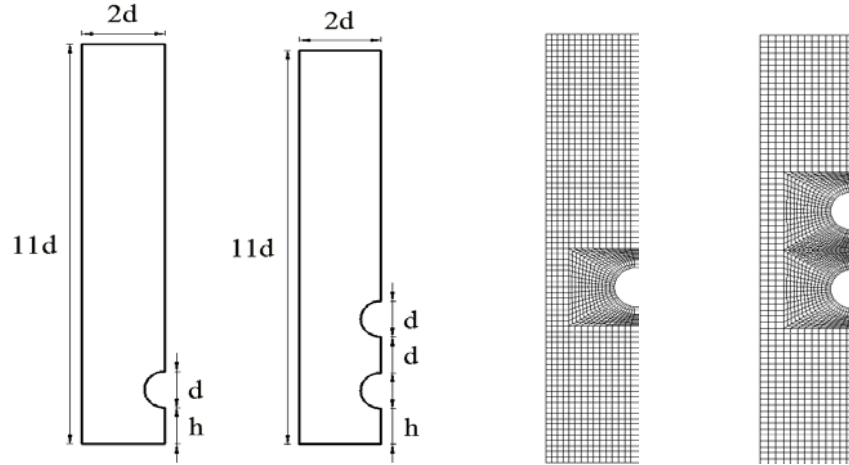
Suyun donma ve erime gizli ısısından faydalanan buz depolamalı sistemlerdeki en önemli problemlerden birisi şarj işlemi esnasında ısı transfer oranındaki azalmadır. Buz oluşumu sırasında zamanla artan buz kalınlığı ve borular üzerinde oluşan buzların birbiri ile çakışması ısı transferini etkileyen parametrelerdir. Suyun faz değişimi ve silindir üzerinde buz oluşum karakteristiklerini incelemek için çeşitli deneysel ve sayısal araştırmalar yapılmıştır. Bakır boru etrafındaki buz oluşumunun aksel yöndeki değişimi, farklı debi ve farklı su sıcaklıkları için deneysel olarak araştırılmıştır [3]. Bir soğu depolama tankında yatay bir boru etrafında oluşan faz değişimini ve farklı ısı transfer akışkanı sıcaklıklarının buz oluşumuna etkisini incelemek için, test tankı içerisinde farklı noktalarda sıcaklıkların ölçülmesiyle, suyun aşırı soğuma sıcaklığı ve zamanı tespit edilmiştir. Deney süresince boru etrafındaki buz kalınlığı farklı aksel pozisyonlarda ölçülmüş ve boru etrafındaki buz oluşumunu tespit edebilmek için bir matematik model oluşturulmuştur [4]. İç yüzeyi sabit sıcaklıkta tutulan radyal kanatlı bir boruda kanat parametreleri (kanat aralığı, kalınlığı, çapı) değiştirilerek ve farklı yüzey sıcaklıkları için faz değişimi ile enerji depolanmasını sayısal olarak elde edilmiştir [5]. Laurik asitin % 95'inin erimesi ve saf suyun katılması ile sayısal ve deneysel olarak incelenmiş, çift faz değişimli (erime-katılma) ısı transferi için sayısal model geliştirilmiştir [6].

Bu çalışmada, faz değişim malzemesi olarak su kullanılan ve içerisinde bir ve iki soğutucu silindir bulunan dikdörtgen şeklindeki bir tank içerisindeki faz değişimi ve buz oluşumu incelenmiştir. Farklı sayıdaki silindirler tankın alt, orta ve üst bölgesine yerleştirilmiştir. Başlangıç su sıcaklığının 4 °C ve soğutucu yüzey sıcaklığının -10°C olması durumunda doğal konveksiyon ile oluşan ısı transferi sonucundaki buz oluşumu incelenmiştir. Bu amaçla oluşturulan değişik geometriler için katılma dayalı sayısal çözümler FLUENT programı ile elde edilmiştir. Tüm düzenlemeler için tank içerisindeki faz değişim malzemesine ait sıcaklık dağılımları, sıvı oranları ve $A_{\text{buz}}/A_{\text{silindir}}$ oranının zamana göre değişimleri elde edilmiştir.

2. MODEL VE SAYISAL YÖNTEM

Çalışmada tank yüksekliği 11d ve tank genişliği 4d ($d = 0.0254\text{m}$) olarak belirlenmiştir. Tek silindir ve iki silindir için oluşturulan modeller Şekil 1'de gösterilmiştir. Tek silindir modellemelerinde, silindir $h = d$, $h = 2d$, $h = 4d$, $h = 6d$, $h = 8d$ ve $h = 9d$ olmak üzere tank tabanından h mesafesinde 6 farklı noktaya yerleştirilmiştir. İki silindir modellemelerinde ise $h = d$, $h = 2d$, $h = 6d$, $h = 8d$ olacak şekilde silindirler yerleştirilmiştir. Analizlerde silindir yüzey sıcaklığı sabit ve -10 °C, depo içerisindeki başlangıç su sıcaklığı 4 °C olarak alınmıştır. Akış alanı simetrik olduğundan modelleme işlemi tankın yarısı için yapılmıştır. Bu işlem, çözüm zamanın kısalmasını ve iyi uyumlulukta çözümler elde edilmesini kolaylaştırmaktadır. Yukarıda belirlenen modellere uygunluğu, kolay oluşturulabilmesi ve çözülebilmesi gibi avantajlarından dolayı ağ elemanı olarak dörtgenel eleman kullanılmıştır. 18000 – 20000 arasında elemandan oluşan ağ yapısının yeterli olacağı farklı eleman sayılarına (25000–75000) sahip çözümlerle karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Ağ yapısı oluşturulurken değişimin hızlı olması beklenen ve asıl inceleme alanı olan soğutucu silindir yakınındaki bölgelerde daha sık bir ağ yapısı oluşturularak çözümün hassasiyeti artırılmıştır. Kullanılan ağ yapısı oluşturulan modellerden biri için Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, çözümlerinin kolaylaştırılması amacıyla aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

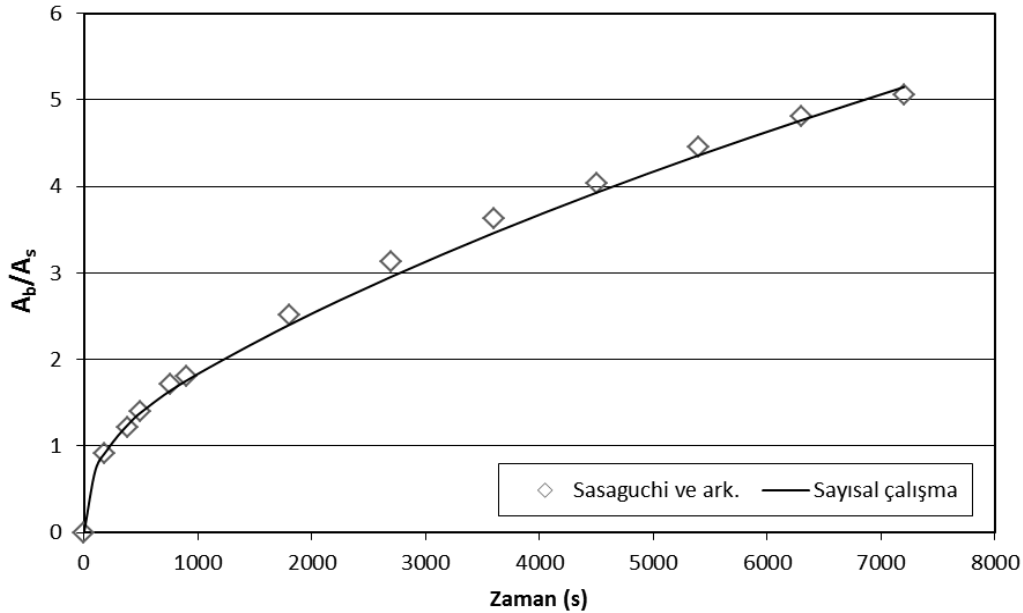
- i. Akış iki boyutlu, laminer ve sıkıştırılmazdır.
- ii. Tank içerisinde faz değişim malzemesi (FDM) olarak kullanılan su, Newtonsal bir akışkandır.
- iii. Isı iletim katsayısı k ve özgül ısı c , katı ve sıvılar için ayrı ayrı sabit değerler olarak alınmıştır ($k_s \neq k_k$, $c_s \neq c_k$)
- iv. Tank cidarları yalıtılmıştır.
- v. $t=0$ anında su (FDM) durağandır.
- vi. Silindir yüzeylerinde kaymama ($u=0$, $v=0$) prensibine dayalı duvar sınır koşulu geçerlidir.



Şekil 1. Tank Modeli ve Ağ Yapısı.

3. SAYISAL SONUÇLAR

Kullanılan sayısal yöntem ile elde edilen sonuçların doğruluğunu belirleyebilmek için, daha önce yapılmış bir çalışmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır [7]. Şekil 2'de katılma oranının (buz alanının (A_b) silindir kesit alanına (A_s) oranı A_b/A_s) zamanla değişimi referans çalışma ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmayla uyumlu olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlarda, tüm modeller için 900 s, 1800 s, 3600 s ve 7200 s için sıcaklık ve sıvı oranlarının dağılımları gösterilmektedir. Ayrıca farklı silindir düzenlemelerinin katılma oranlarının (A_b/A_s) zamanla değişimi de grafiksel olarak gösterilmiştir

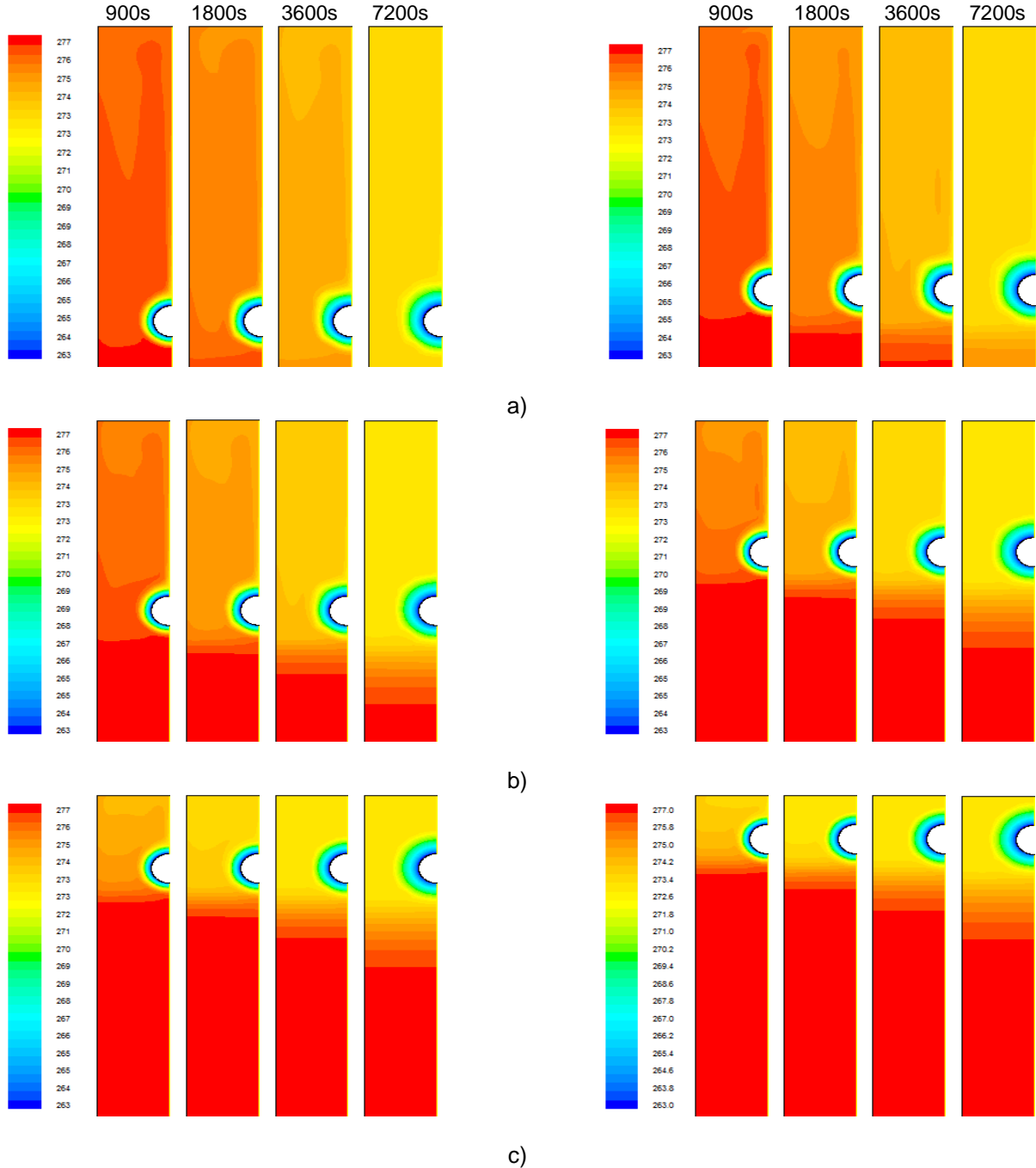


Şekil 2. Tek Silindir Etrafındaki Buz Oluşumunun Karşılaştırılması.

Soğu depolama tankı tabanından $h = d, 2d, 4d, 6d, 8d$ ve $9d$ mesafede yerleştirilen tek silindir için elde edilen sıcaklık dağılımları Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3a'da görüldüğü gibi silindirin $h = d$ pozisyonunda yerleştirilmesi durumunda ilk 900 saniyede buz oluşumu başlamış, silindir altındaki

alandaki su sıcaklığı 4 °C olurken, orta ve üst tarafta 2 °C sıcaklığına kadar azalmıştır. Silindir etrafında soğuyan suyun yukarı yönlü hareketi 1800 ve 3600. saniyede de devam etmekte, 7200. saniyede tankın tamamında su sıcaklığı 0 °C'ye kadar azaldığı görülmektedir.

Silindir 2d mesafesine getirildiğinde (Şekil 3a), silindir altında kalan sıcak su miktarının arttığı, 1800. saniyede tankın üst bölgesindeki su sıcaklığının 2.2 °C'ye kadar azaldığı görülmektedir. 3600. saniyede silindir, tankın üst tarafı ile birlikte alt tarafını da halen soğutmaya devam etmekte, 7200. saniyede tankın üst bölgesindeki su sıcaklığı 0 °C'ye kadar azalmaktadır.

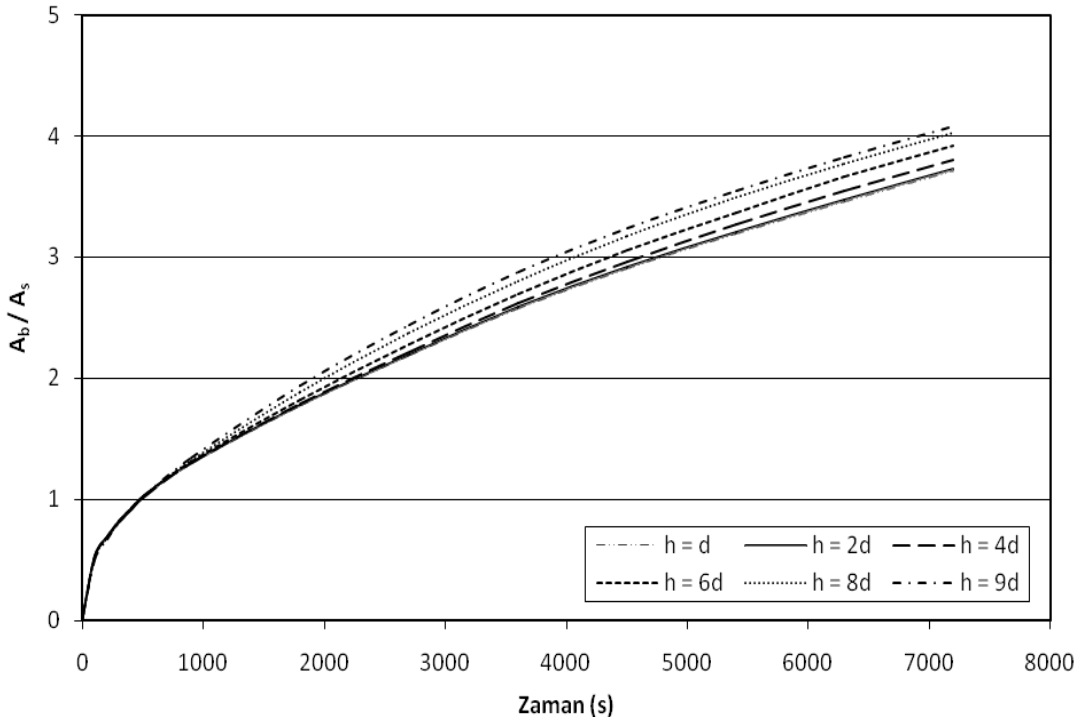


Şekil 3. Tek Silindirin Tankın Farklı Bölgelerine Yerleştirilmesi Durumu İçin Sıcaklık Dağılımı
a) $h=d$; $h=2d$ b) $h=4d$; $h=6d$ c) $h=8d$; $h=9d$

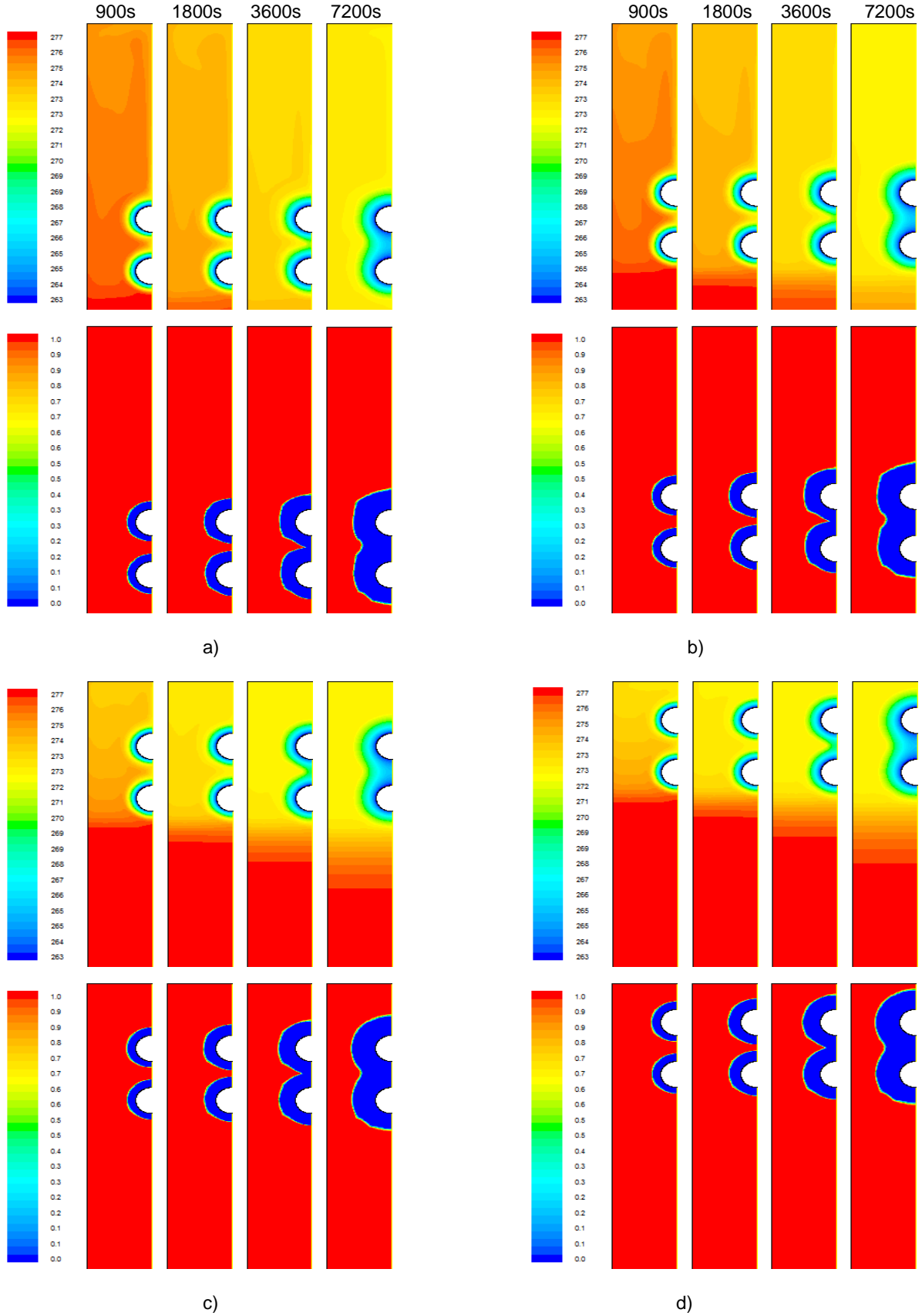
Şekil 3b'de $h=4d$ ve $h=6d$ olması durumunda elde edilen sıcaklık dağılımları gösterilmektedir. $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta maksimum yoğunlukta olan su, soğutucu silindir etrafında sıcaklığının azalmasıyla yoğunluk etkisinden dolayı tank içerisinde hareketlenmeye başlamıştır. Tank içerisinde ısıl katmanlaşma diğerlerine göre hızla oluşmakta ve sıcak su tankın alt bölgesinde toplanmaktadır. 1800. saniyede de yukarı yönlü akış hareketi devam etmekte, buz kalınlığı zamanla artmaktadır. 3600. saniyede akış hareketi çok zayıflamış ve 7200. saniyede tamamen sonlanmıştır. Silindirin tankın ortasına yerleştirilmesi durumunda ($h=6d$) ise tankın üst bölgesindeki su sıcaklığı ilk 900 saniyede $3.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmakta, 1800. saniyede $2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında olup 3600. saniyede ısıl katmanlaşma oluşup akış hareketi tamamen sonlanmıştır. 7200. s sonunda buz kalınlığı artmış ve silindir altından tabana doğru başlangıç sıcaklığına yakın sıcaklıkta su kütlesi bulunmaktadır.

Silindirin tankın üst bölgesine yerleştirilmesinde ($h=8d$ ve $h=9d$) elde edilen sonuçlar Şekil3c'de gösterilmiştir. İlk 900. saniyede silindirin üst kısmına doğru küçük bir yukarı yönlü akış hareketi mevcut olup, su sıcaklıkları sırasıyla $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Silindirin üst bölgeye yaklaşmasıyla ve yukarı yönlü soğuk akış hareketinin etkisiyle üst taraftaki suyun daha hızlı soğuduğu görülmektedir. 3600. saniyede suyun hareketsiz kaldığı ve ısıl katmanlaşmanın tamamlandığı gözlenmektedir. Her iki yerleşim durumunda da suyun tüm zamanlardaki ısıl katmanlaşması ve doğal konveksiyon hareketi hemen hemen aynı hareket değişimini göstermektedir.

Şekil 4'de tüm silindir pozisyonları için katılma oranlarının zamana bağlı değişimleri gösterilmiştir. Tüm modellemelerde buz kalınlığı zamanla artmaktadır. Silindirin tankın üst bölgesine yerleştirilmesi durumunda en yüksek katılma oranları elde edilmiştir. Silindir tankın alt bölgesine yerleştirildiğinde ($h=d$ ve $h=2d$) katılma oranlarının aynı olduğu görülmektedir. $h=4d$ olduğunda buz kalınlığı alttaki diğer pozisyonlara göre artmıştır. Silindirler tankın ortasına yerleştirildiğinde ($h=6d$), ısıl katmanlaşma erken tamamlanmakta ve daha çabuk soğuyan tankın üst bölgesinde buz oluşumu artmaktadır. Silindirlerin tankın üst bölgesine yerleştirilmesinde ($h=d$ ve $h=2d$ mesafeleri) katılma oranları artmaya devam etmekte ve tankın üst noktasına çıktıkça katılma oranlarının arttığı gözlenmektedir.



Şekil 4. Tank içerisindeki Farklı Silindir Pozisyonlarının Katılma Oranlarının Zamanla Değişimi.

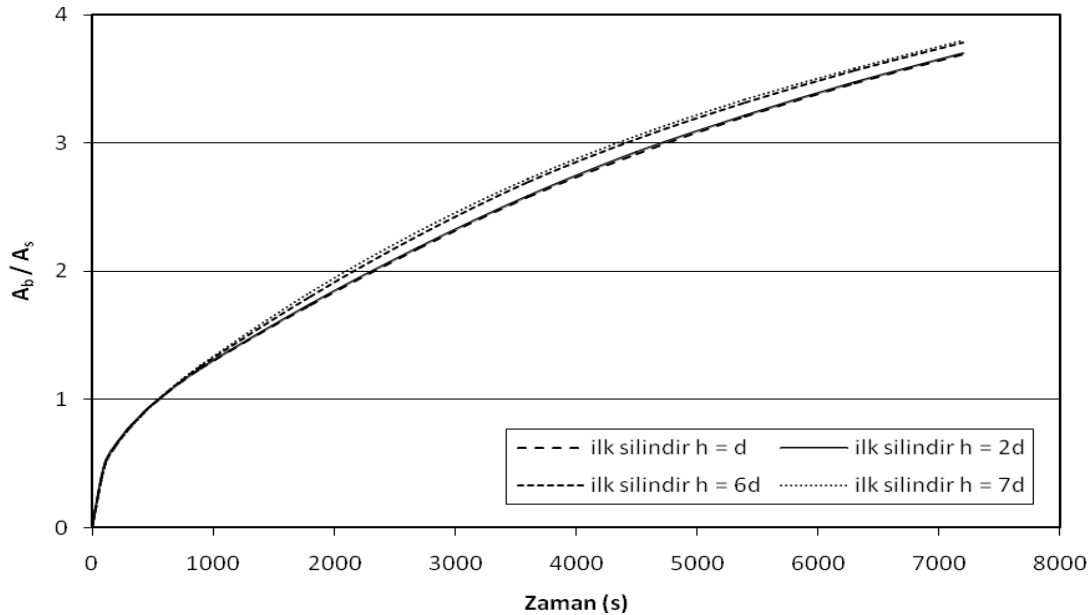


Şekil 5. İkili Silindir İçin Sıcaklık Dağılımları ve Sıvı Oranları. a) $h = d$ b) $h = 2d$ c) $h = 6d$ d) $h = 7d$

Şekil 5'de iki silindirin tankın tabanından $h= d, 2d, 6d$ ve $7d$ mesafesinde yerleştirilmesi durumunda elde edilen sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları gösterilmiştir. Şekil 5a'da görüldüğü gibi 900. saniyede silindir yüzeylerine yakın bölgedeki soğuk su, soğuk silindir yüzeyi ile çevresindeki sıcak su arasındaki sıcaklık farkından dolayı tankın üst bölgesine doğru hareketlenmektedir. Bu akış hareketi 1800. saniyede de devam etmekte ve silindirlere yakın bölgedeki ortalama su sıcaklığı $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak görülmektedir. Tankın üst bölgesi ile birlikte alt bölgesi de 3600. saniyede soğumaya devam etmekte ve 7200. saniyede tankın tamamında $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar azalmaktadır. Silindirlerin $h= 2d$ mesafesinde yerleştirilmesinde de (Şekil 5b) sıcaklık dağılımlarının ve akış hareketlerinin $h=d$ konumu ile yaklaşık değişimler gösterdiği görülmektedir. Zamanla buz kalınlıklarının arttığı, buz oluşumlarının dairesel ve simetrik olduğu, her iki durumda da 3600. saniyede silindirler üzerinde buz oluşumlarının birbiriyle temas başladığı görülmektedir. 7200. saniyede her iki buz oluşumu birleşmiş ve silindir arası mesafe tamamen buz ile kaplanmıştır.

Silindirler tankın üst bölgesine $h= 6d$ ve $h= 7d$ mesafelerinde yerleştirilmesi durumunda elde edilen sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları Şekil 5c ve 5d'de gösterilmektedir. Tank içerisindeki sıcak ve soğuk su katmaları ilk 900. saniyeden itibaren oluşmaya başlamış, yukarı yönlü akış hareketi silindirlerin bulunduğu nokta ile tankın üst bölgesi arasında sınırlı kalmıştır. Silindirlerin olduğu bölgedeki su sıcaklığı $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar azalmış ve 1800. saniyede $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Hem bu zamanda hem de 3600. saniyede silindirlerin alt tarafa yerleştirilmeleri durumlarına göre karşılaştırıldığında, oluşan buz kalınlıklarının daha fazla olduğu sıvı oranlarından da görülebilmektedir. Çok az bir değişim gösterse de $7d$ mesafesindeki sıcaklıkların $6d$ mesafesindeki sıcaklık değişimlerinden biraz daha az olduğu, ısı katmanlaşmaların aynı zamanlarda aynı şekilde oluştuğu eş sıcaklık eğrilerinden net olarak görülebilmektedir.

Tüm iki silindir pozisyonları için katılma oranlarının zamanla değişimi Şekil 6'da gösterilmektedir. Silindirlerin tankın alt bölgesine yerleştirilmesi durumunda oluşan buz miktarlarının her iki mesafe için de aynı olduğu ($h= d$ ve $h= 2d$), tankın üst bölgesine yerleştirilmesinde ise $h=6d$ pozisyonuna göre $h=7d$ için buz oluşumunun biraz daha fazla gerçekleştiği görülmektedir. Buz kalınlıkları zamanla artmakta, silindirlerin tankın üst noktasına yerleştirilmesinin daha fazla buz oluşumu gerçekleştirdiği görülmektedir.



Şekil 6. Tank İçerisindeki İki Silindir Pozisyonlarının Katılma Oranlarının Zamanla Değişimi.

SONUÇ

Bu çalışmada, bir soğu depolama tankı içerisinde bulunan tek ve iki silindirin tank içerisine farklı pozisyonlarda yerleştirilmesinin buz oluşumuna olan etkileri incelenmiştir. Sıcaklık dağılımları, sıvı oranları ve katılaşma oranları elde edilmiştir. Tankın alt bölgesinde farklı pozisyonlarda ($h=d$ ve $h=2d$) tek silindir yerleştirilmesi durumunda elde edilen katılaşma oranlarının tamamen aynı olduğu, silindirin tankın üst bölgesine yakın yerleştirilmesiyle ($h=8d$ ve $h=9d$) katılaşma oranlarının arttığı görülmektedir. Tank içerisindeki silindir sayısının iki olması ve tankın alt bölgesinde bulunması durumunda ($h=d$ ve $h=2d$) katılaşma oranlarının aynı olduğu, her iki silindirin üst bölgeye yakın yerleştirilmesi durumunda tek silindirde olduğu gibi en fazla katılaşma oranlarının elde edildiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] GÜNGÖR, A., “ Buz depolama teknolojileri ve iklimlendirme sistemlerinde uygulama potansiyeli ve enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi”, Tesilat Mühendisliği, Sayı:130, s. 5-20, 2012.
- [2] FERTELLİ, A., BÜYÜKALACA O., “Soğu depolamalı iklimlendirme sistemleri”, Soğutma Dünyası, Sayı:24, s. 29-35, 2004.
- [3] HABEEBULLAH B.A., “An experimental study on ice formation around horizontal long tubes”, International Journal of Refrigeration, Vol.30, No. 5, pp. 789-797, 2007.
- [4] FERTELLİ A., BÜYÜKALACA O., YILMAZ A., “Ice formation around a horizontal tube in a rectangular vessel”, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt. 29, Sayı. 2, s.75-87, 2009
- [5] EREK A. VE ACAR M.A., “Radyal kanatlı boru çevresinde faz değişimi ile enerji depolanması”, DEU Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 5, Sayı 2, s. 61-71 ,2003.
- [6] SCANLON T.J. VE STICKLAND M. T., “A numerical analysis of buoyancy-driven melting and freezing”, International Journal of Heat Mass Transfer, Vol. 47, 429-436. ,2003.
- [7] SASAGUCHI K., KUSANO K., VISKANTA R., “A numerical analysis of solid-liquid phase change heat transfer around a single and two horizontal, vertically spaced cylinders in a rectangular cavity”, Int.J. Heat Mass Transfer, Vol. 40, No. 6, pp. 1343-1354, 1997.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet FERTELLİ

1975 yılı Sivas doğumludur. 1998 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2001 yılında Cumhuriyet Üniversitesinde yüksek lisansını ve 2008 yılında Çukurova Üniversitesinde doktorasını tamamlamıştır. 1999-2009 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2009 yılından beri CÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır.

Ertan BUYRUK

1970 yılı Sivas doğumludur. 1991 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiş ve aynı yıl Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamıştır. 1992-1996 yılları arasında İngiltere Liverpool Üniversitesinde doktorasını tamamlamıştır. 1997 yılında Yrd. Doç. Dr., 2004 yılında Doçent ve 2009 yılında Profesörlük ünvanını almıştır.

Gökhan GÜNHAN

1989 yılı Sivas doğumludur. 2010 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2011 yılında aynı üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başlamış ve halen devam etmektedir.