



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

BİR BUZ DEPOLAMA TANKINDA SOĞUTUCU GEOMETRİSİNİN BUZ OLUŞUMUNA ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

**GÖKHAN GÜNHAN
AHMET FERTELLİ
ERTAN BUYRUK
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ**

BİR BUZ DEPOLAMA TANKINDA SOĞUTUCU GEOMETRİSİNİN BUZ OLUŞUMUNA ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Gökhan GÜNHAN
Ahmet FERTELLİ
Ertan BUYRUK

ÖZET

Bu çalışmada, içerisinde su bulunan dikdörtgensel ve bir soğu depolama tankına yerleştirilen silindirlerinin farklı geometrilerinin buz oluşumuna etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla FLUENT paket programı kullanılarak; akış alanının zamana bağlı sayısal çözümü yapılmıştır. Dikdörtgensel tank iki boyutlu olarak modellenmiş ve analizler, akış alanı simetrik olduğundan, tankın yarısı için yapılmıştır. Tank içerisindeki su sıcaklığı 0 °C, 4 °C ve 12 °C olarak alınıp, silindir yüzey sıcaklığı -10 °C kabul edilerek, farklı geometrilerdeki silindir modelleri için, A_b/A_s oranı (Buz alanı / kesit alanı), sıcaklık dağılımı, hız vektörleri ve sıvı oranları hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğu depolama, Faz değişimi, Doğal konveksiyon, Katılaşma.

ABSTRACT

In the present study, It is aimed to compare the effects of different geometries located in a rectangular ice storage tank, on ice formation. For this aim FLUENT packed program was used to solve the flow domain numerically depending on time. Rectangular tank was modelled in two dimensional and calculations were carried out on half of tank due to symmetry. Water temperatures were assumed in the tank as 0 °C, 4 °C and 12 °C, cylinder surface temperatures were also taken as -10 °C. Ratio of A_b/A_c (Formed ice area/Cross sectional area), temperature distribution, velocity vectors and liquid fraction were determined for different refrigerant geometries as circle, octagon, square, triangle 1 and triangle 2.

Key Words: Cold storage, Phase change, Natural convection, Solidification

1. GİRİŞ

Buz depolamalı sistemler, bina iklimlendirilmesinde elektrik enerjisinin ucuz olduğu gece saatlerinde buz depolayarak, gündüz saatlerinde oluşan pik ısı yüklerinin karşılanmasını sağlarlar [1]. Hem statik hem de dinamik olarak iki farklı şekilde tasarlanabilen bu sistemler küçük hacimde yüksek depolama kapasiteleri sunduğundan, soğu depolamalı sistemler içerisindeki en önemli sistemlerden birisidir.

Bu sistemlerde suyun faz değişimi ve silindir üzerinde buz oluşum karakteristiklerini incelemek için çeşitli deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. Suyun donma özellikleri, aşırı soğuma, çekirdekleşme ve dendritik buz oluşumu, 0 °C de konsantrik buz halkalarının gelişimi araştırılmıştır [2]. Ayrıca soğutma işleminin ilk evrelerinde su içerisinde oluşan doğal konveksiyon hareketleri ile 4 °C

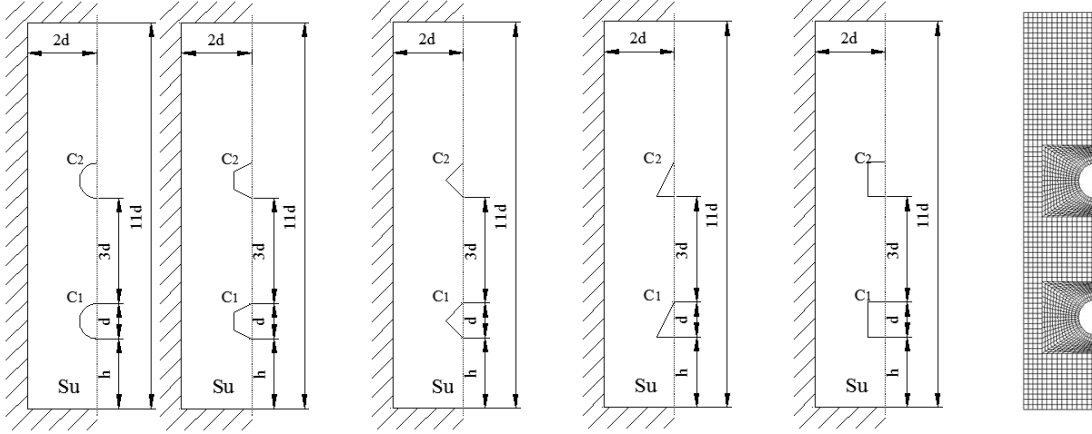
deki maksimum yoğunluktaki suyun taşınım hareketleri sonucu oluşturduğu ısıl katmanlaşma ve buz oluşum karakteristikleri de yapılan deneysel çalışmalarda incelenmiştir [3]. İçinde farklı sıcaklıklarda su bulunan dikdörtgenel bir tankta, düşey olarak yerleştirilmiş dört, altı ve sekiz yatay silindirin katılaşmaya olan etkilerini numerik olarak hesaplamıştır [4]. İç yüzeyi sabit sıcaklıkta olan radyal kanatlı bir boru etrafında farklı kanat parametreleri ve farklı yüzey sıcaklıklarında depolanan enerji ve katılaşma miktarı sayısal olarak incelenmiş, ayrıca deneysel olarak da bir gizli ısı depolama tankında farklı silindir malzemeleri ve çapları için elektronik buz kalınlık ölçüm metodu ile doğal katılaşma ve erime miktarları farklı sıcaklıklarda ölçülmüştür [5,6]. Farklı soğutucu akışkan sıcaklıklarının buz oluşumuna etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Dikdörtgen bir deney tankı içerisinde yatay bir boru etrafında buz oluşumu araştırılmış, farklı noktalarda sıcaklıkların ölçülmesiyle suyun aşırı soğuma sıcaklığı ve zamanı tespit edilmiş, deney süresince boru etrafındaki buz kalınlığı farklı eksenel pozisyonlarda ölçülüp boru etrafındaki buz oluşumunu tespit edebilmek için bir matematik model oluşturulmuştur [7].

Sunulan bu çalışmada dörtgenel bir buz depolama tankında farklı geometrik kesitlerdeki soğutucu silindirlerin sıvı-katı faz değişimi sırasındaki ısı transferi ile meydana gelen buz oluşumuna etkileri zamana bağlı olarak incelenmiş ve faz değişim malzemesini doğal konveksiyon hareketleri yorumlanmıştır. İçerisinde faz değişim malzemesi olarak su kullanılmıştır. Literatürde daha önce çalışılmamış şekilde, soğutucu akışkanın geçtiği silindirler daire, altıgen, kare, üçgen 1 ve üçgen 2 olmak üzere beş farklı kesitte ikili düzenlemede incelenmiş, Farklı su sıcaklıklarında tank içerisindeki doğal konveksiyon hareketleri gözlenmiştir. Doğal konveksiyona bağlı olarak katılaşmaya dayalı tüm sayısal çözümler FLUENT paket programı ile elde edilmiştir. Tüm düzenlemeler için tank içerisindeki faz değişim malzemesine ait sıcaklık dağılımları, sıvı oranları, hız vektörleri dört farklı zamanda anlık olarak gösterilmiş ve A_b/A_s katılaşma oranlarının değişimi zamana bağlı olarak elde edilmiştir.

2. MODEL VE SAYISAL YÖNTEM

Çalışmada kullanılan farklı modeller (daire, altıgen, üçgen 1, üçgen 2 ve kare) Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Tank yüksekliği 11d, tank genişliği 4d ($d=0.0254m$) olarak belirlenmiştir. Bu değerler literatürdeki değerlere benzerlik teşkil etmesi amacıyla seçilmiştir. Tank içerisindeki tüm soğutucu modelleri tankın tabanından 2d kadar yükseğe yerleştirilmiş olup, iki soğutucu silindiri modellerde silindirler arası düşey mesafe 4d olarak belirlenmiştir. Analizlerde depo içerisindeki başlangıç su sıcaklığı 0 °C, 4 °C ve 12 °C, silindir yüzey sıcaklığı sabit ve -10 °C olarak alınmıştır. Akış alanı simetrik olduğundan modelleme işlemi tankın yarısı için yapılmıştır. Bu işlem, çözüm zamanının kısılmasını ve iyi uyumlulukta çözümler elde edilmesini kolaylaştırmaktadır. 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:

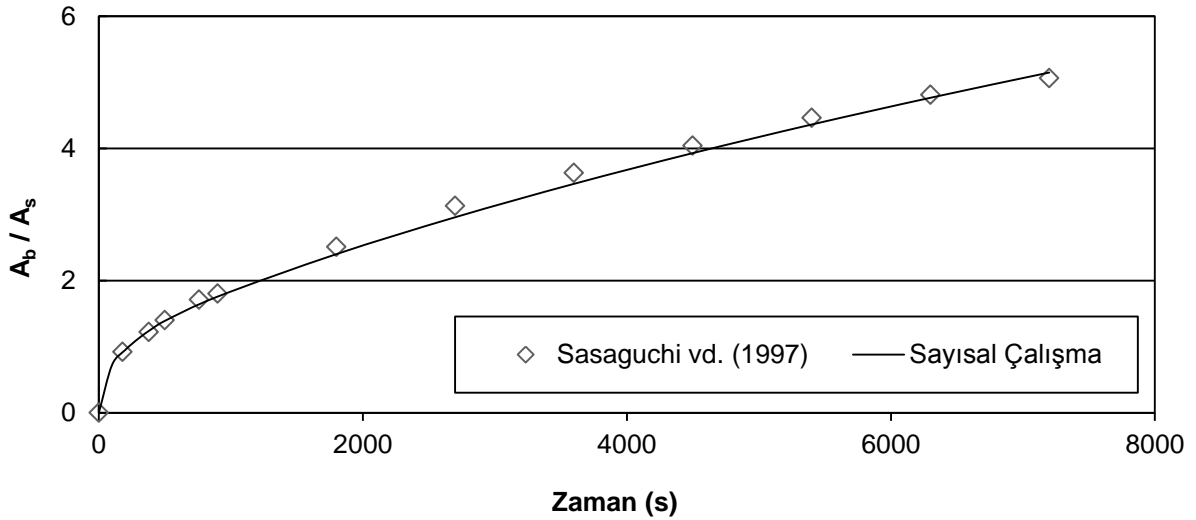
- i) Akış iki boyutlu, laminar ve sıkıştırılmazdır.
- ii) Tank içerisinde faz değişim malzemesi (FDM) olarak kullanılan su, Newtonsal bir akışkandır.
- iii) Isı iletim katsayısı k ve özgül ısı c , katı ve sıvılar için ayrı ayrı sabit değerler olarak alınmıştır ($k_s \neq k_k$, $c_s \neq c_k$)
- iv) Tank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



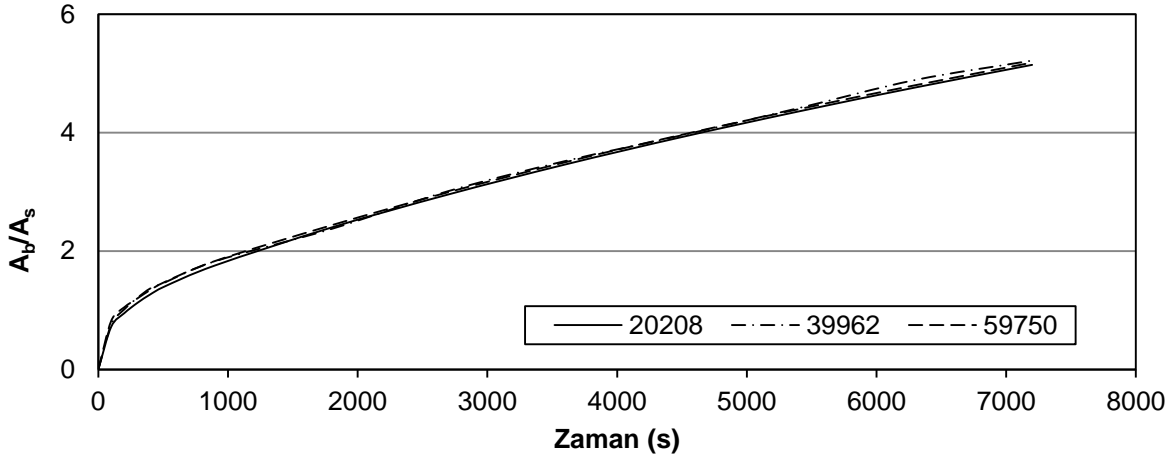
Şekil 1. İki silindirik farklı soğutucu geometrileri için oluşturulan modeller ve örnek ağ yapısı

2. SAYISAL SONUÇLAR

Kullanılan sayısal yöntem ile elde edilen sonuçların doğruluğunu belirleyebilmek için, daha önce yapılmış deneysel bir çalışmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır [8]. Zamana bağlı yapılan sayısal çözümler sonucunda, buz alanının (A_b) silindir yüzey alanına (A_s) oranı A_b/A_s elde edilerek, referans çalışma ile karşılaştırılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi, deneysel sonuçlarla sayısal çözümler karşılaştırıldığında, buz oluşumunun ilk zamanlarında katılma oranlarının tamamen aynı, ilerleyen katılma zamanları için ise oldukça yakın ve paralel olduğu görülmektedir. Mesh bağımsızlığı için yapılan çalışmada ise 20208, 39962 ve 59750 ağ elemanı kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiş ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Üç farklı ağ elemanı sayısı kıyaslandığında 20000 – 59750 arasında ağ elemanı sayısından bağımsız olduğu gözlenmektedir (Şekil 3).



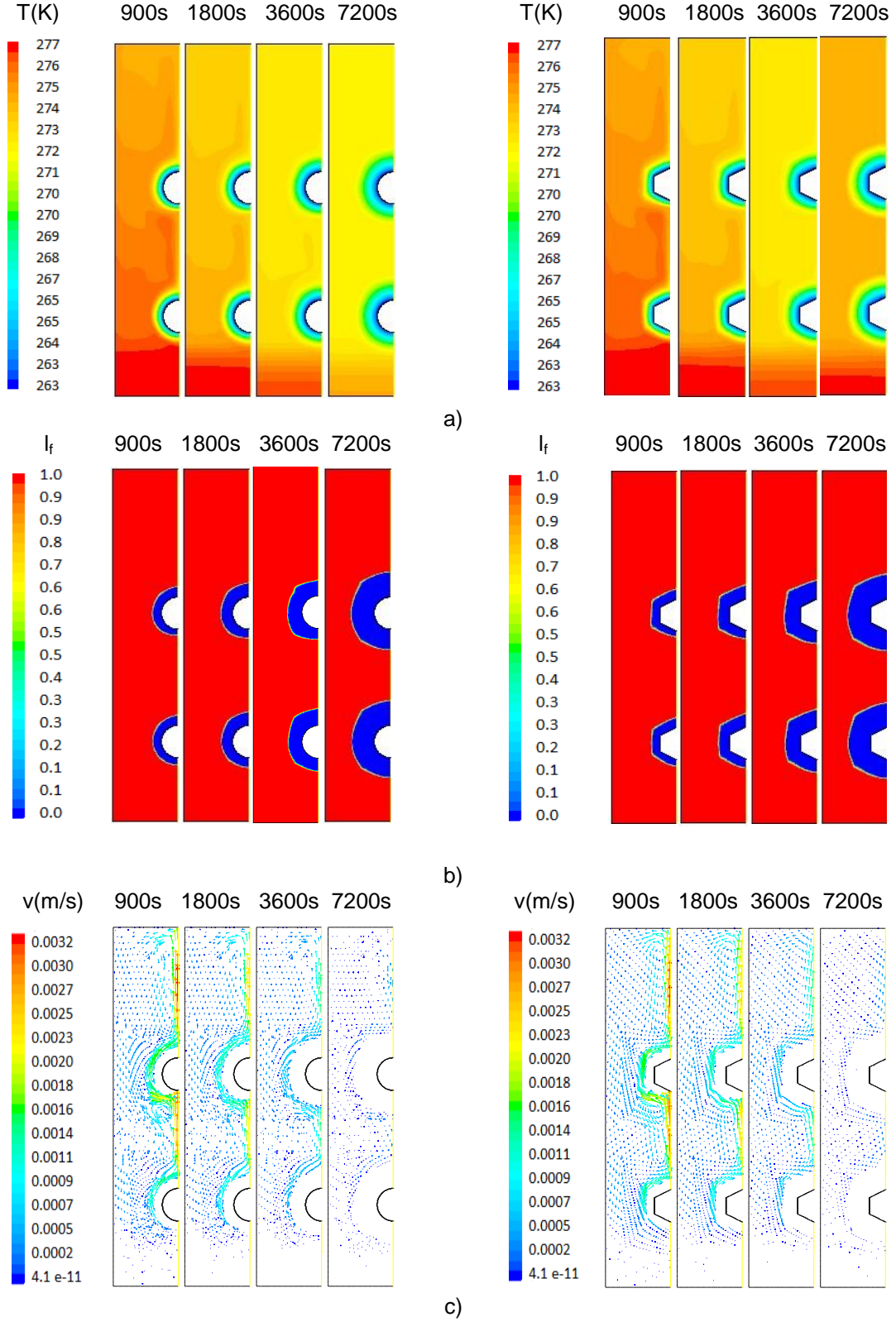
Şekil 2. Sayısal ve deneysel yöntemle elde edilen katılma oranlarının karşılaştırılması



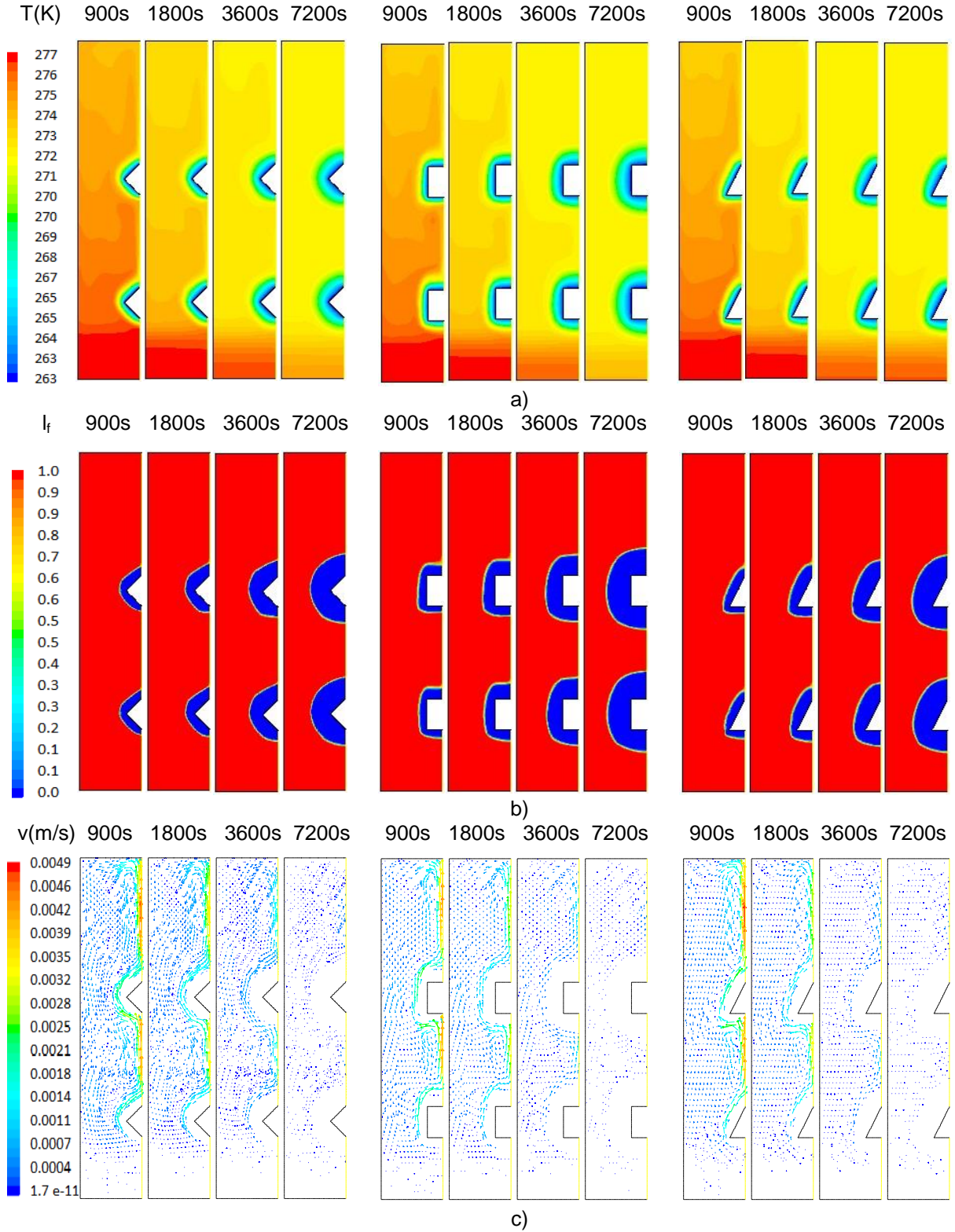
Şekil 3. Farklı sayıda ağ elemanlarının katılma oranlarına etkisinin karşılaştırılması

Tank içerisinde başlangıç su sıcaklığının $T_{su} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ olması durumunda daire ve altıgen kesitli soğutucular için sıcaklık dağılımları, sıvı oranları ve hız vektörleri Şekil 4'te gösterilmiştir. $t = 900 \text{ s}$ sonuna kadar tank içerisindeki su soğumaya başlamış, tankın tabanında ise başlangıçtaki $4 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığındaki su sabit olarak kalmıştır. Bu sıcaklıkta suyun maksimum yoğunluk değerine sahip olmasından dolayı silindirlerin yüzeyinden soğuyan su, yoğunluğunun azalması ile yukarı yönlü akış hareketine başlamıştır. C_1 silindirinden sıcaklığı azalarak yükselen su, üstteki silindire ulaşarak daha fazla soğumakta, bir yandan da üstteki silindir etrafındaki buz tabakasına temas ederek silindir altında girdap hareketleri oluşturmaktadır. Aynı zamanda C_2 silindirinde de soğuyan su, tankın üst bölgesine doğru hareketlenmekte ve tankın üst bölgesini daha hızlı bir şekilde soğutmaktadır. Silindirler arasında kalan bölgedeki su sıcaklığı yaklaşık $3 \text{ }^\circ\text{C}$ iken, tank cidarlarına doğru suyun daha soğuk olduğu ve ısıl katmanlaşmanın bu bölgede başladığı görülmektedir. $t = 3600 \text{ s}$ ve $t = 7200 \text{ s}$ 'de artık tank içerisindeki su durağanlaşmakta ve ısıl katmanlaşmanın tamamlanmasıyla tankın alt bölgelerinde iletim ile su sıcaklığı azalmaktadır. Sıvı oranları ve hız vektörleri incelendiğinde ilk $t = 1800 \text{ s}$ 'ye kadar tank içerisinde doğal konveksiyon hareketleri etkin bir rol oynarken ilerleyen zamanlarda silindirler etrafında ve tank boyunca hareketlerin zayıflayarak sonlandığı görülmektedir. $t = 900 \text{ s}$ 'den itibaren buz katmanları silindirlerin etrafında oluşmaya başlamakta ve silindirler arasındaki mesafenin fazla olmasından dolayı zamanla artan buz oluşumları birbirlerine temas etmemektedir. Buz oluşumları silindirler etrafında dairesel bir yapıda iken altıgen kesitli modelde, tek silindirde olduğu gibi soğutucu geometrisini takip ederek başlamış, $t = 7200 \text{ s}$ sonunda ise daha dairesel bir forma dönüşmüştür.

Şekil 5'de üçgen 1, kare ve üçgen 2 modelleri için $T_{su} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ başlangıç sıcaklığında sıcaklık dağılımları, sıvı oranları ve hız vektörleri gösterilmektedir. $t = 900 \text{ s}$ 'de her üç model için tank içerisindeki su soğumaya başlamış ve silindirler arasında daire ve altıgen modellerinde olduğu gibi yukarı yönlü bir akış hareketi gözlenmektedir. Üstteki silindire temas eden su, saat yönünün tersine doğru girdap oluşturarak tankın iç bölgelerine doğru yönlendirilmektedir. Sıvı oranlarından da görüldüğü üzere bu girdap hareketinin sonucu olarak, özellikle kare modelde belirgin bir şekilde buz oluşumunun yapısında farklılık görülmektedir. $t = 1800 \text{ s}$ sonunda kare modelin C_2 silindirinin alt kısmında buz oluşumunun asimetrik bir şekilde daha fazla olması da, C_1 silindirinden soğuyarak yükselen suyun burada yukarı yönlü hareketine devam edemeyip katılma sıcaklığına kadar soğuması ve hemen donmaya başlamasının sonucu olarak gerçekleşmektedir. Silindirlerden tankın üst bölgesine doğru en yüksek hızlara $t = 900 \text{ s}$ 'de ulaşmakta iken, $t = 3600 \text{ s}$ 'de akış hareketleri sonlanmıştır. Üçgen 1 modelinde ilk zamanlarda soğutucu kesitini takip eden buz oluşumu, tanktaki suyun sabit kalması ve $t = 7200 \text{ s}$ sonunda tankın neredeyse tamamının faz değişim sıcaklığına kadar soğuması sebebiyle daha düzgün bir formda devam etmektedir. Üçgen 2 modelinde ise aynı zamanda diğer modeller gibi dairesel bir şekilde buz oluşmamış, üst kısma doğru sivri bir yapıda buz tabakası gelişmiştir.



Şekil 4. $T_{su} = 4 \text{ °C}$ sıcaklıkta iki silindirik daire ve altgen geometriler için a) sıcaklık dağılımları b) katılma oranları c) hız vektörleri



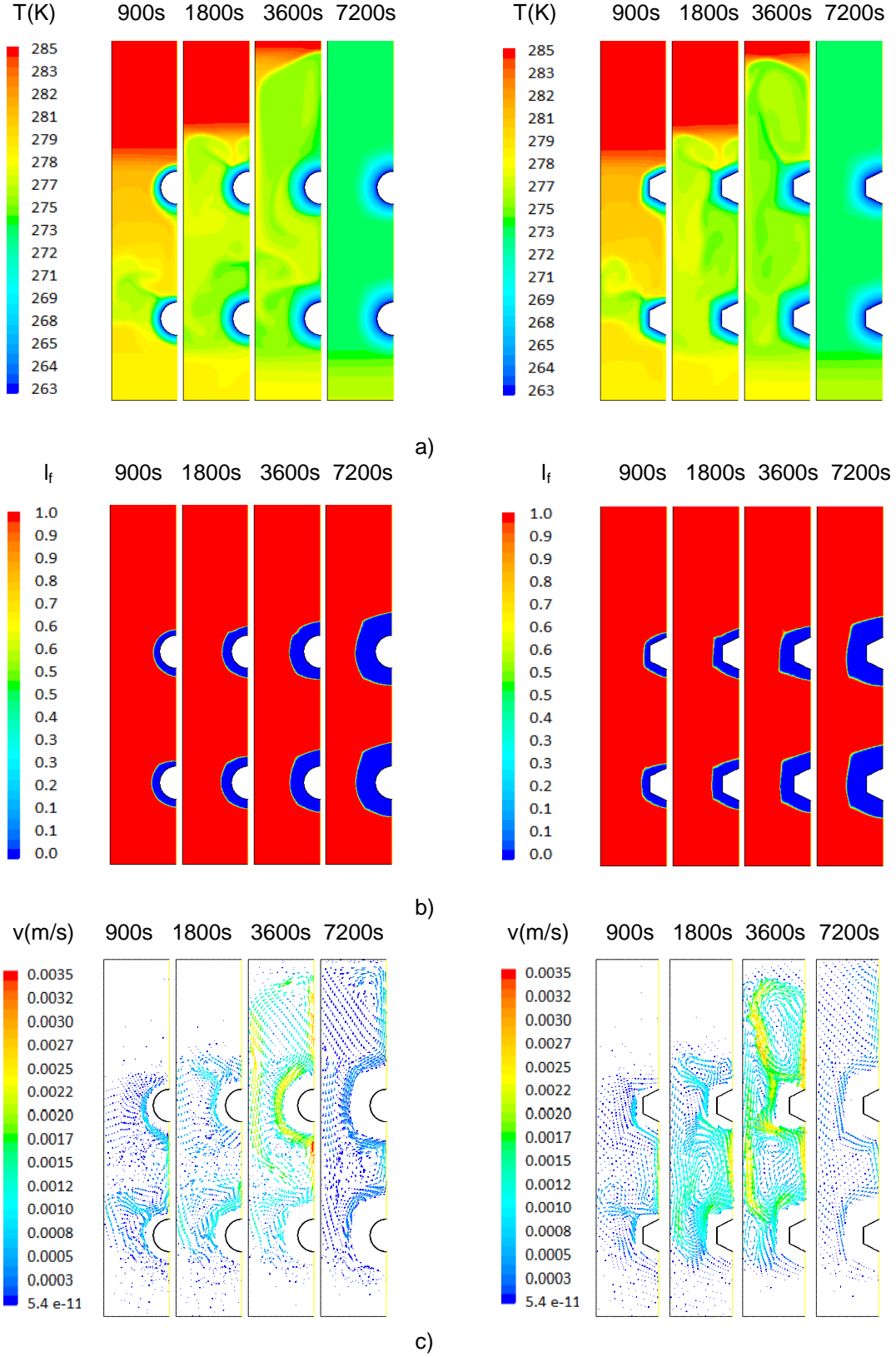
Şekil 5. $T_{su} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta iki silindir üçgen 1, kare ve üçgen 2 geometriler için a) sıcaklık dağılımları b) katlaşma oranları c) hız vektörleri

$T_{su} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ için daire ve altıgen geometrilerindeki soğutucu iki silindirli modellerde sıcaklık dağılımları, sıvı oranları ve hız vektörleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Burada sıcaklık dağılımlarında büyük farklar görülmekte ve doğal konveksiyon hareketleri daha etkili bir şekilde gerçekleşmektedir. Her iki

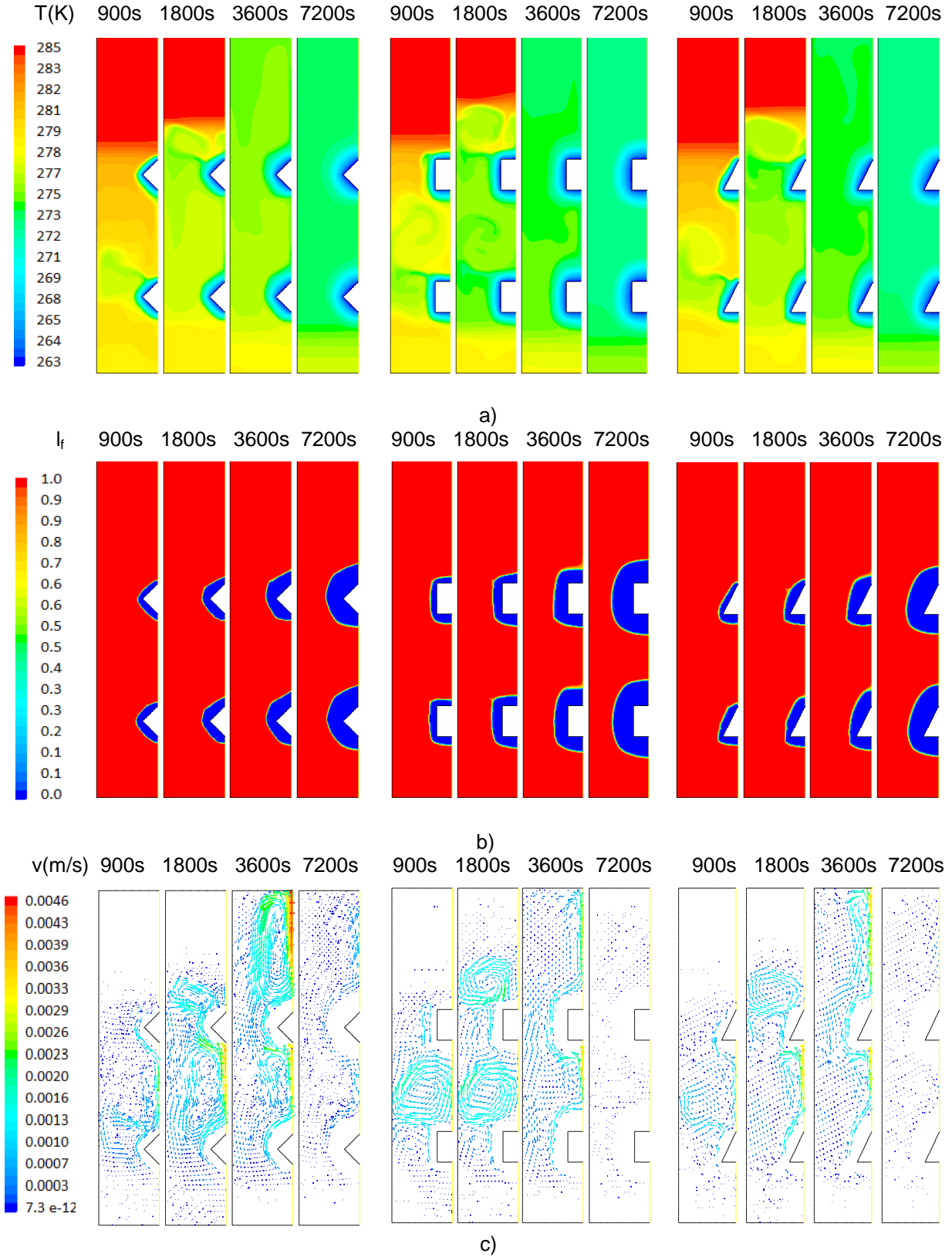
silindirinde sıcaklığı azalan su, etrafındaki sıcak su ve soğuk silindir yüzeyi arasındaki sıcaklık farkından dolayı yoğunluk etkisiyle tankın alt bölgelerine doğru hareketlenmektedir. Bu esnada tankın alt bölgelerinde 4 °C'de birikmiş olan su, soğumaya devam ederken, 4 °C'den daha az sıcaklığa ulaştığında silindir yüzeyini takip ederek ters akış hareketi yapmakta ve yukarı yönlü bir akış hareketine başlamaktadır. Soğuk su bir yandan katılma sıcaklığına ulaşmış silindir etrafında buz tabakası oluşturmaya başlarken, silindir yüzeyinden ayrılan soğuk su tank cidarlarına ulaştıktan sonra saat yönünde girdap oluşturarak üstteki silindire doğru yaklaşmaktadır. C₂ silindirinin alt bölgelerinde, soğutucu silindir yüzeyi ve su arasındaki sıcaklık farkı üst bölgelerine göre daha az olduğundan bu bölgede buz oluşumunun daha fazla olduğu görülmektedir. t= 1800 s sonunda her iki silindirin etrafında da yukarı yönlü akış hareketi görülmekte ve artık üstteki silindirin de etrafında da soğuyan su tank cidarlarına ulaşmış saat yönünde girdap oluşturmaya başlamaktadır. Tankın genel sıcaklık dağılımından da görüldüğü gibi tank tabanında 4 °C sıcaklıkta su bulunuyorken, tankın üst bölgelerinde ise başlangıçtaki gibi 12 °C 'de su bulunmaktadır. Silindirlerin bulunduğu bölgede ise su sıcaklığı yaklaşık 1 °C ye kadar azalmıştır. t= 3600 s sonunda doğal konveksiyon hareketleri daha da şiddetlenmiş ve iki silindir arasında kalan bölgede hız vektörleri en büyük değerlerini almaktadır. Daire kesitinde, soğutucu geometrisini takip ederek yukarı doğru yönelen akış hareketi, altıgen kesit geometrisinin sebebiyle tankın üst bölgesine değil tank duvarlarına doğru yönelmiştir. Bu esnada üstteki soğutucu silindir etrafında 1 °C - 2 °C sıcaklığındaki su etrafındaki daha sıcak olan su ile aralarındaki sıcaklık farkından dolayı oluşan yoğunluk etkisiyle tankın üst bölgesine doğru hareketlenmektedir.

t= 7200 s sonunda tankın tamamında su sıcaklığı katılma sıcaklığına kadar azalmış, doğal konveksiyon hareketleri sonlanmıştır. Sıvı oranlarından da görüldüğü gibi (Şekil 6) başlangıçta soğuk suyun alt tarafta toplanması sebebiyle buz oluşumları silindirlerin alt bölgelerinde daha fazla iken ilerleyen zamanlarda silindirler arasında kalan alandaki su hareketlerinden dolayı üst silindirde asimetric bir buz oluşumu gözlenmektedir. 7200 s sonunda ise silindir geometrisini takip eden katılma şekilleri, silindirlerin birbirilerine bakan kısımlarında su sıcaklığının faz değişim sıcaklığına daha yakın olmasından dolayı daha fazla buz oluşumu görülmektedir.

Şekil 7'de iki silindir düzenlemeleri için üçgen 1, kare ve üçgen 2 modellerinde T_{su}= 12 °C başlangıç sıcaklığındaki sıcaklık dağılımları, sıvı oranları ve hız vektörleri gösterilmektedir. t= 900 s'de tankın üst yarısında sıcak su başlangıçtaki sıcaklığında kalırken, alt kısmına doğru su sıcaklığı azalmakta ve tankın alt bölgesinde ise 4 °C - 5 °C sıcaklığındaki su bulunmaktadır. C₂ silindiri etrafında üç modelde de akış hareketi görülmemektedir. Alttaki silindir etrafındaki soğuk su, başlangıçta aşağı yönlü olan akış hareketi oluştururken, su sıcaklığı 4 °C'ye kadar azaldıktan sonra ters akış hareketi yaparak silindir yüzeylerinden üstteki soğutucu ve tank duvarlarına doğru yönelmektedir. Daha sıcak suyla karşılaşan soğuk su, tank cidarlarına çarparak saat yönünde girdap hareketi oluşturmaktadır. Kare modelde bu hareketler daha yoğun görünmekte iken üçgen 1 ve üçgen 2 modellerinde daha zayıf kalmaktadır. t= 1800 s'de üçgen 1 ve üçgen 2 modellerinde silindirler arasında kalan alanda oluşan girdap hareketi zayıflayıp yalnızca yukarı doğru bir akış hareketine dönüşürken, kare modelde ise su sıcaklığı azalarak aynı hareket devam etmektedir. Bu zamanda artık üstteki silindirin etrafında sıcaklığı azalan su, yoğunluğun etkisiyle yukarı yönlü hareketine başlamakta ve soğuk su, soğutucu silindir yüzeyinden ayrılarak tank duvarına doğru ilerlemektedir. Tankın üst kısmında hala sıcak su bulunduğundan girdap hareketinin t= 3600 saniyeye kadar devam ettiği görülmektedir. Tankın üst yarısı kare ve üçgen 2 modellerinde tamamen 1 °C sıcaklığa düşmekte ve sıcaklık farkından oluşan doğal konveksiyon hareketleri zayıflamaktadır. t= 7200 s sonunda kare, üçgen 1 ve üçgen 2 modellerinde ısı katmanlaşma tamamlanmış olup faz değişim sıcaklığındaki su durgun bir şekilde katılmaya devam etmektedir. Sıvı oranları incelendiğinde ilk zamanlardan başlayarak silindirler etrafında buz tabakaları oluşurken, silindirler arasında kalan bölgedeki akış hareketinin sonucu olarak asimetric bir katılma gözlenmektedir. Soğutucu geometrisini takip eden buz kalınlığı zamanla artmakta, üçgen 1 modelinde t= 7200 s sonucunda dairesel bir form almakta iken üçgen 2 kesitinde yukarı doğru basık bir şekilde oluştuğu gözlenmektedir.

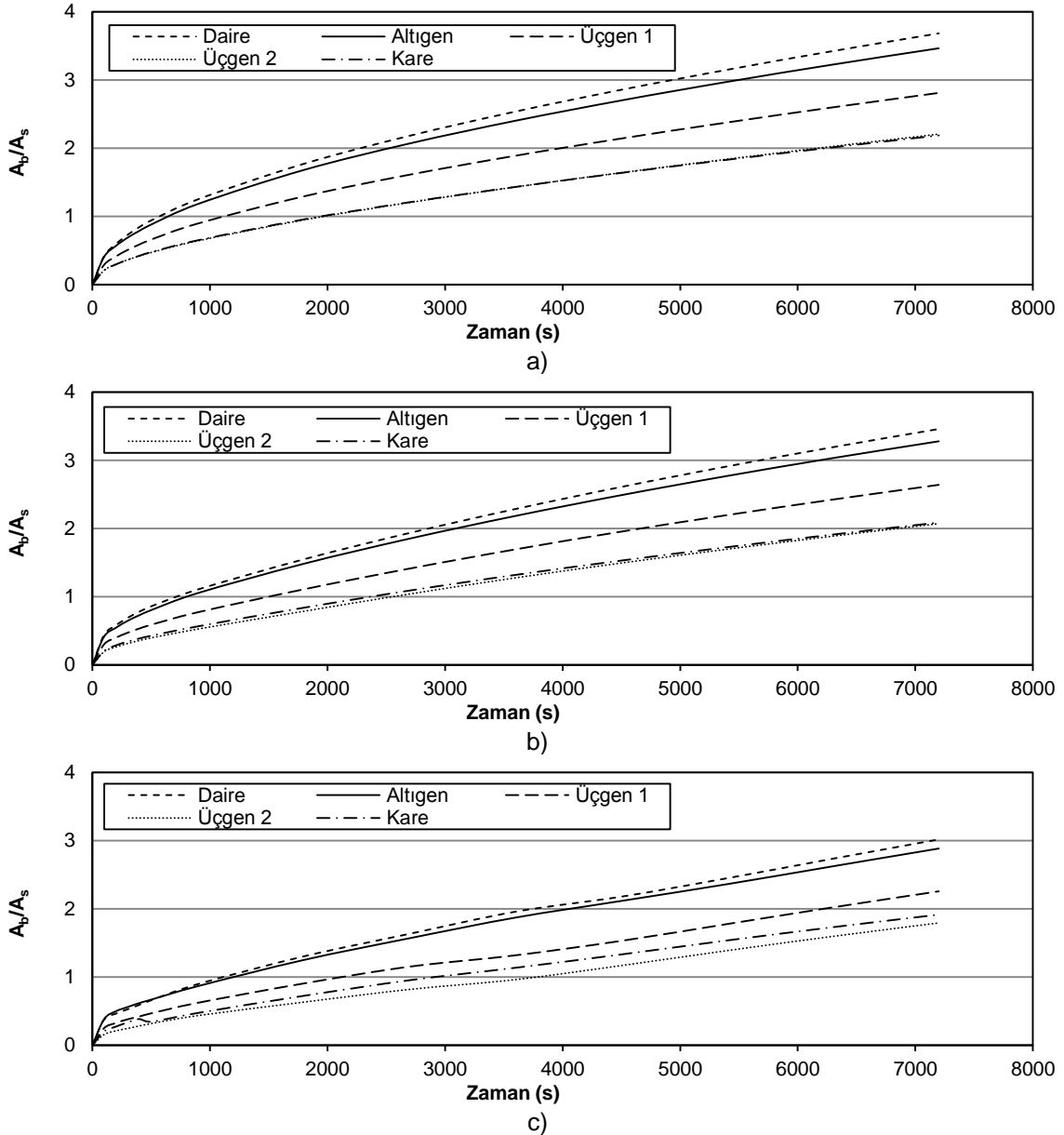


Şekil 6. $T_{su} = 12^\circ\text{C}$ sıcaklıkta iki silindir daire ve altıgen geometrileri için a) sıcaklık dağılımları b) katılma oranları c) hız vektörleri



Şekil 7. $T_{su} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta iki silindir üçgen 1, kare ve üçgen 2 geometrileri için a) sıcaklık dağılımları b) katılma oranları c) hız vektörleri

İki silindir için farklı soğutucu geometrilerinde katılma oranlarının (A_b/A_s) zamanla değişimi, farklı başlangıç su sıcaklıkları ($T_{su} = 0\text{ °C}$, 4 °C ve 12 °C) için Şekil 8’de gösterilmektedir. $T_{su} = 0\text{ °C}$ olduğu durumda akış hareketi gözlenmemiştir ve ilk saniyelerden itibaren buz oluşumu başlayıp zamanla katılma oranlarının arttığı görülmektedir. Su sıcaklığının hem 0 °C hem de 4 °C olması durumunda, en yüksek katılma oranı daire kesitli modelde görülmektedir. Başlangıçta su sıcaklığı $T_{su} = 12\text{ °C}$ ’de iken, tank içerisindeki suyun katılma sıcaklığına kadar azalması için geçen süre de göz önünde bulundurulduğunda diğer sıcaklıktaki oranlara göre daha düşük bir katılma oranı görülmektedir. En yüksek katılma daire kesitinde gerçekleşirken altıgen kesitli silindirlere katılma oranları daire modeline oldukça yakın olmakla beraber kare ve üçgen 2 modelleri arasındaki fark $T_{su} = 0\text{ °C}$ ve $T_{su} = 4\text{ °C}$ durumlarına göre daha da artmıştır.



Şekil 8. İki silindir için farklı soğutucu geometrilerine göre katılma oranlarının zamana bağlı değişimi
a) $T_{su} = 0\text{ °C}$ b) $T_{su} = 4\text{ °C}$ c) $T_{su} = 12\text{ °C}$

SONUÇ

Bu çalışmada, bir soğu depolama yöntemlerinden biri olan buz depolama yönteminde kullanılan bir soğu depolama tankı içerisinde faz değişimi ve doğal konveksiyon hareketleri incelenmiştir. Farklı kesit geometrilerinde soğutucu silindirin zamanla etrafında oluşan buz tabakası incelenmiş, tank boyunca sıcaklık dağılımları, sıvı oranları ve hız vektörleri de 900, 1800, 3600 ve 7200. saniyelerde görüntülenmiştir. Tüm sıcaklıklardaki katılma oranları incelendiğinde, buz oluşum miktarları azalan sıralamayla daire, altıgen, üçgen 1, kare ve üçgen 2 modellerinde gerçekleşmiştir. Başlangıç su sıcaklıklarının buz oluşumunda önemli bir etken olduğu, 0 °C su sıcaklığı için tank içerisinde hiçbir akış hareketinin oluşmadığı ve katılmanın, ilk zamanlardan itibaren hemen başladığı görülmüştür. Diğer farklı su sıcaklıklarının olması durumunda ise ($T_{su}= 4\text{ °C}$ ve $T_{su}= 12\text{ °C}$), suyun faz değişim sıcaklığında olması durumuna göre sırasıyla katılma oranlarında %6 ve %18 kadar azalma olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] GÜNGÖR, A., “Buz depolama teknolojileri ve iklimlendirme sistemlerinde uygulama potansiyeli ve enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi” Tesisat Mühendisliği, Sayı.130, s. 5-20, 2012.
- [2] AKYURT, M. ve ZAKİ, G. “Freezing phenomena in ice-water systems” Energy Conversation Management. Vol. 43 pp 1773-1789, 2001.
- [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] SHIH, Y. Ve CHOU, H., “Numerical study of solidification around staggered cylinders in a fixed space” Numerical Heat Transfer, Part A: Applications: An International Journal of Computation and Methodology, Vol. 48, No.3, pp 239-260, 2005.
- [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] EZAN, M. A., ÖZDOĞAN, M. Ve EREK, A., “Experimental study on charging and discharging periods of water in a latent heat storage unit” International Journal of Thermal Sciences, Vol. 50, pp 2208-2219, 2011.
- [7] FERTELLİ, A., BÜYÜKALACA, O. Ve YILMAZ, A., “Ice formation around a horizontal tube in a rectangular vessel” Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt. 29, Sayı. 2, s. 75-87, 2009.3399999
- [8] SASAGUCHI, K., KUSANO, K. ve 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” International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.40, No.6, pp 1343-1354, 1997.

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan GÜNHAN

1989 yılı Sivas doğumludur. 2010 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2014 yılında aynı Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimini tamamlamıştır. 2014 yılında aynı üniversitede doktora eğitimine başlamış ve halen devam etmektedir.

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 unvanını almıştır.