

Farklı soğutucu düzenlemeleri için bir soğu depolama tankının modellenmesi

Ahmet FERTELLİ^{*}, Ertan BUYRUK, Gökhan GÜNHAN

Cumhuriyet Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas

Özet

Birçok Avrupa ülkesinde ve Amerika'da elektrik tarifeleri günün saatlerine göre değişkenlik göstermektedir. Soğutma yükünün maksimum olduğu gündüz saatlerinde elektrik pahalı, soğutma ihtiyacının duyulmadığı gece saatlerinde ise daha ucuzdur. Bu durum soğu enerjisinin, gece saatlerinde depo edilip gündüz saatlerinde ise soğutma ihtiyacını karşılamak için kullanılması fikrini ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada, içerisinde su bulunan dikdörtgensel bir soğu depolama tankına yerleştirilen farklı geometrilerin, buz oluşumuna etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca tank içerisindeki faz değişim malzemesi olan suyun, başlangıçta farklı sıcaklıklarda olmasının da katılaşmaya olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla FLUENT paket programı kullanılarak; akış alanının zamana bağlı sayısal çözümü yapılmıştır. Dikdörtgensel tank iki boyutlu olarak modellenmiş ve akış alanı simetrik olduğundan, analizler tankın yarısı için yapılmıştır. Tank içerisindeki su sıcaklığı 0 °C ve 4 °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 ve sıvı oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlarda, tüm modeller için 900 s, 1800 s, 3600 s ve 7200 s deki sıcaklık ve sıvı oranlarının dağılımları incelenmiştir. Ayrıca farklı silindir düzenlemelerinin katılaşma oranlarının (A_b/A_s) zamanla değişimi de değerlendirilmiştir. Dairesel olan silindir, elips ve altıgen modellerinde katılaşma oranlarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmüş, üçgensel ve kare gibi keskin köşeli modellerde ise daha az buz oluşumu gözlenmiştir. Bununla beraber düzenlemelerin her birinde; su sıcaklığının 0 °C olması durumunda, katılaşma oranlarının daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katılaşma, Enerji depolama, Faz değişimi.

^{*}Yazışmaların yapılacağı yazar: Ahmet FERTELLİ, fertelli@cumhuriyet.edu.tr; Tel: (346) 219 10 10 (2429)

Modeling of a cold storage tank for different cooler arrangements

Extended abstract

For the past few decades, the world's energy supply has not been keeping up with increasing demand. Burgeoning countries undergoing industrial reform are consuming an increasing amount of crude oil, coal and electricity, which has increased overall energy prices to an unprecedented level (Sönmez et al., 2009).

Ice cool thermal energy storage systems are often classified as static or dynamic, according to the way ice is delivered to the storage tank. In dynamic systems, ice is produced outside the storage tank and removed from the ice-making surface continuously (Dinçer, 2002). In static systems, an ice-making pipe is installed in the storage tank where ice is formed and later melted. Ice-on-coil systems produce ice outside a coil. The ice may be melted using either an external melting system, which melts ice from the outer side, or an internal melting system (Dinçer, 2002). Habeebullah (2007) investigated growth rate of ice on the outside of cooled copper tubes. Ice formation around an isothermally cooled horizontal cylinder and effect of natural convection were studied by Cheng et al (1988). Fertelli et al. (2009) studied analytically and experimentally the solidification around the horizontal tube by considering a fully developed velocity profile in the tube. Experiments are performed to investigate the effects of different heat transfer fluid inlet temperatures on ice formation around the tube.

Finite volume method (FLUENT program) was used to solve solidification around cylinders placed in fixed volume as cylindrical, elliptical, hexagon, triangle, square geometry of cooled cylinder. Quadrilateral grid was used for simulation and finer grid distribution was used near cylinder surfaces. Grid spacing increases away from cylinder surfaces, with total of 20000 to 25000 elements. The following assumptions were made to simulate solidification around cylinders in a fixed space: i) Flow is two dimensional, laminar and incompressible; Water as a Newtonian fluid for phase changing material; ii) Unique thermal conductivities and specific heats (k_s , k_l , C_s , C_l) are considered for solid and liquid phases; and iii) Effects of viscous dissipation and radiation are ignored.

Validation studies of the present model shows that variations of area ratio (A_b / A_s) match with experimental data in entire time range for solidification around a single cylinder. To examine effect of different cooled cylinder geometries (cylindrical, elliptical, hexagon, triangle, square) in rectangular cavity on transient natural convection in water with density inversion, calculations were carried out for different initial water temperatures. All calculations were carried out under condition of transient natural convection in water with cooled tubes. Diameter of tubes was taken d ($d, 0.0254$ m), and tank heights was taken as $11d$. Water temperature in tank and cylinder surface temperature were assumed as 0°C , 4°C and -10°C respectively.

Natural convection is not observed at $T_i = 0^\circ\text{C}$ for all models and thermal stratification is not established in the storage tank. The water which was at 4°C temperatures in the beginning was observed to have reached different temperature values at different points of the tank at the $t = 900$ s. At the end of this period, phase change was observed in the tank and the ice layer on the cylinders was reached to a specific thickness. Thermal stratified region is established by warm water placing at the bottom of the tank and cold water placing at the top of the tank. This situation can also be seen from the temperature contours at the $t = 900$ s. At $t = 1800$ s and other durations, the cold water at the top was observed to be colder when the ice thickness was increased. More temperature decrements of accumulated water at the bottom were observed to have decreased more; and a different thermal layer was seen to have appeared in the following period. When the temperature distributions at the end of the $t = 3600$ s and 7200 s are analyzed, it can be seen that the water temperature has decreased up to 0°C at the whole part of the tank except the bottom part. For the solidification rate obtained for all models, in case the cylinders are cylindrical, elliptical and hexagonal, the model for the highest solidification rate is obtained in the case of cylindrical. It was found that when the cylinders are triangular and square models, the solidification is affected negatively and more formation of ice is seen for circular models.

Keywords: Solidification, Energy storage, Phase change

Giriş

Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıt rezervlerinin kullanımının artmasıyla birlikte, bu rezervlerin daha verimli ve daha dikkatli kullanımı için enerji tasarrufu önem kazanmıştır. Bir taraftan daha az maliyet ve daha az kaynak kullanımıyla daha çok enerji üretimi yönünde çalışmalar sürerken, diğer tarafta aynı miktar enerjile daha çok iş yapılması veya aynı miktar işin daha az enerji tüketilerek yapılması konusunda çeşitli çalışmalar yürütülmektedir (Kavak, 2005).

Gelişmiş ülkelerde elektrik enerjisi birim fiyatları için gün boyunca değişken tarifeler uygulanmaktadır. Elektrik enerjisi, özellikle soğutma yükünün maksimum olduğu gündüz saatlerinde pahalı, soğutma ekipmanlarının çalışmadığı gece saatlerinde ise ucuzdur. Bu durum soğutma için gerekli enerjinin, elektriğin ucuz olduğu gece saatlerinde depolanarak, gündüz saatlerinde kullanılması fikrinin ortaya atılmasına neden olmuştur.

Son yıllarda soğu depolama sistemleri hem doğal enerji kaynaklarının kullanılabilirliği hem de verimli ve ucuz enerjinin elde edilebilmesi için en önemli alternatif sistemler arasında yer almaktadır. Bu sistemlerde faz değişim malzemesi olarak genelde su ve ötektik tuzlar kullanılmaktadır (Fertelli ve Büyükalaca, 2004). 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 eksenel yöndeki değişimi, farklı debi ve farklı su sıcaklıkları için deneysel olarak araştırılmıştır (Habeebullah, 2007). Tank içerisine farklı noktalarda yerleştirilmiş bir boru etrafındaki buz oluşumu ve doğal konveksiyonun buz oluşumuna etkisi (Sönmez

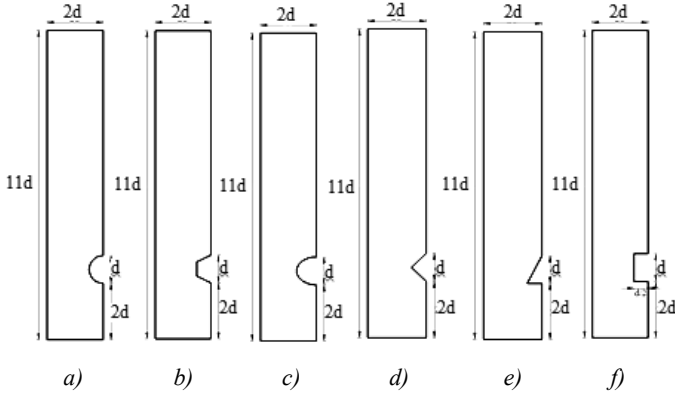
vd., 2007), farklı silindir düzenlemeleri için (4, 6 ve 8 silindir) sıcaklık dağılımı, buz oluşumu ve ısı akısının değişimi (Shih ve Chou, 2005) sayısal ve zamana bağlı olarak araştırılmıştır. Ayrıca iki yatay silindir etrafındaki katılaşma ve erime, silindirler arasındaki mesafenin katılaşma hızına etkisi deneysel olarak çalışılmıştır (Sasaguchi ve Viskanta, 1987). Kapsül içerisinde buz depolama sistemi hem deneysel hem de sayısal olarak çalışılmıştır. Yeni bir ısı transfer katsayısı modeli geliştirilmiş, Stefan sayısının ve kapsül çapının katılaşma üzerine olan etkileri incelenmiştir (Erek ve Dinçer, 2009). Bu çalışmada soğu enerjisi depolanmasında kullanılan yatay bir boru etrafında faz değişimi araştırılmıştır. Farklı ısı transfer akışkanı sıcaklıklarının buz oluşumuna etkisini incelemek için deneyler yapılmıştır. Test tankı içerisinde farklı noktalarda sıcaklıkların ölçülmesiyle, suyun aşırı soğuma sıcaklığı ve zamanı tespit edilmiştir. Deney süresince boru etrafındaki buz kalınlığı farklı eksenel pozisyonlarda ölçülmüş ve boru etrafındaki buz oluşumunu tespit edebilmek için bir matematik model oluşturulmuştur (Fertelli vd., 2009).

Sunulan bu çalışmada, bir soğu depolama tankı için farklı soğutucu düzenlemelerinin sıvı-katı faz değişimi sırasındaki ısı transferi ile meydana gelen buz oluşumuna etkileri zamana bağlı olarak incelenmiştir. İçinde faz değişim malzemesi olarak su bulunan dikdörtgenel bir soğu depolama tankı kullanılmıştır ve soğutucu akışkanın içinden aktığı borular soğu depolama tankı içerisine farklı düzenlemelerle yerleştirilmiştir. Başlangıç su sıcaklığının 0 °C ve 4 °C olması durumunda ve soğutucu yüzey sıcaklığı -10 °C sabit alınarak, doğal konveksiyon ile oluşan ısı transferi sonucundaki buz oluşumu incelenmiştir. Bu amaçla oluşturulan değişik geometriler için katılaşmaya dayalı sayısal çözümler FLUENT programı ile elde edilmiştir. Tüm düzenlemeler için tank içerisindeki faz değişim malzemesine ait sıcaklık dağılımları, sıvı oranları ve $A_{buz}/A_{silindir}$ oranının zamana göre değişimleri elde edilmiştir.

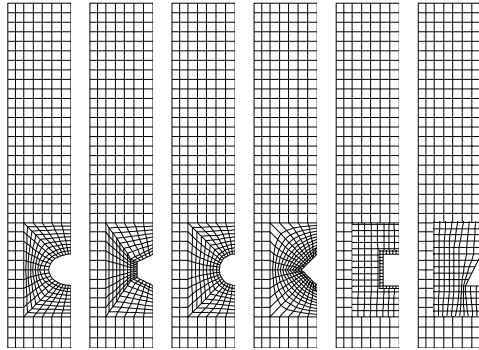
Model ve sayısal yöntem

Çalışmada kullanılan farklı modeller (silindir, elips, altıgen, üçgen 1, üçgen 2 ve kare) Şekil 1'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 alt bölgesine yerleştirilmiş olup, analizlerde depo içerisindeki başlangıç su sıcaklığı $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, silindirik yüzey sıcaklığı sabit ve $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak alınmıştır. Akış alanı simetrik olduğundan modelleme işlemi tankın yarısı için yapılmıştır.

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 silindirin yakınındaki bölgelerde daha sık bir ağ yapısı oluşturularak çözümün hassasiyeti artırılmıştır. Kullanılan ağ yapısı; oluşturulan modeller



Şekil 1. Silindirik modelleri: a) Daire b) Altıgen c) Elips d) Üçgen 1 e) Üçgen 2 f) Kare



Şekil 2. Model için oluşturulan ağ yapısı

Bu işlem, çözüm zamanının kısalmasını ve iyi uyumlulukta çözümler elde edilmesini kolaylaştırmaktadır. Yukarıda belirlenen

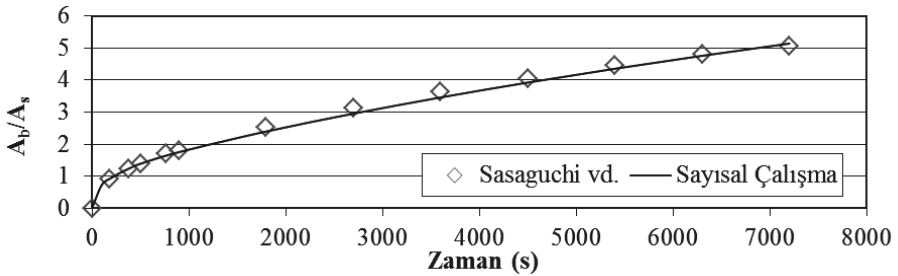
çin Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, çözümlerinin kolaylaştırılması amacıyla aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- 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.

Sayısal sonuçlar

Kullanılan sayısal yöntem ile elde edilen sonuçların doğruluğunu belirleyebilmek için, daha önce yapılmış bir çalışmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır (Sasaguchi vd., 1997). Zamana bağlı yapılan sayısal çözümler sonucunda, buz alanının (A_b) silindir kesit alanına (A_s) oranı A_b/A_s elde edilerek, referans çalışma ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3'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 görülmüştür. Elde edilen sonuçlarda, tüm modellemeler 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.

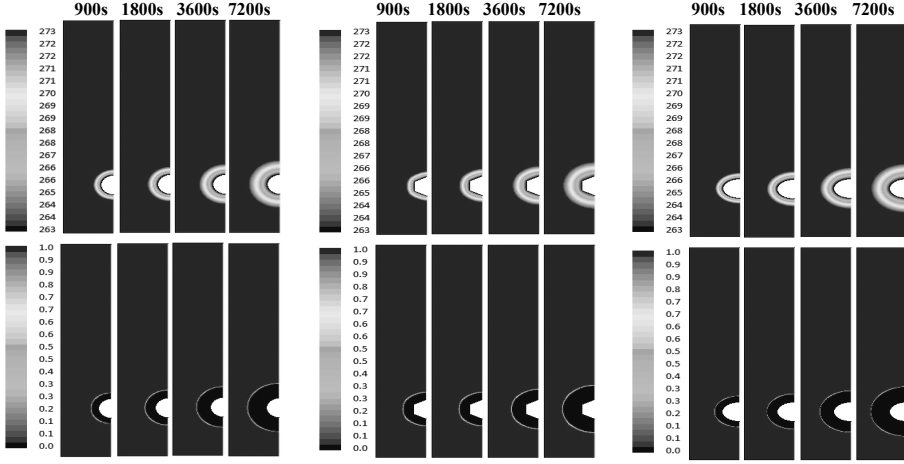
Enerji depolama tankına silindir, altıgen, elips soğutucular yerleştirilmesi durumunda tank içerisindeki başlangıç su sıcaklığı 0°C ve 4°C için elde edilen sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları Şekil 4'de gösterilmiştir. Tank içerisindeki su sıcaklığı 0°C olduğunda (Şekil 4a) sıcaklık dağılımlarında doğal konveksiyon hareketi tüm modeller için görünmemektedir. Faz değişim sıcaklığında olan soğuk su tankın tamamında aynı sıcaklıkta olup, ilk 900 s'de hızlı bir katılma başlamıştır. Sıvı oranlarından görüldüğü gibi her üç modelde de soğutucular üzerinde oluşan buz tabakası simetrik, dairesel ve zamanla artmaktadır. Su sıcaklığı 4°C olan tank modelleri incelendiğinde, su sıcaklığının 900s'de ısıl katmanlaşma ile tankın tüm bölgelerinde farklı değerlere ulaştığı gözlenmektedir. 4°C sıcaklıkta maksimum yoğunlukta olan su, soğutucu silindir etrafında sıcaklığın azalmasıyla yoğunluk etkisinden dolayı tank içerisinde hareketlenmeye başlamıştır (Şekil 4a). Silindir yüzeylerine yakın bölgelerde diğer alanlara göre daha soğuk olan suyun tankın yukarı bölgesine hareketinin sonucu olarak, tankın alt bölgesinden yukarı bölgesine doğru suyun ısıl katmanlaşması net olarak sıcaklık dağılımından görülebilmektedir. Sıcak suyun tankın alt bölgesine, daha soğuk olan suyun ise tankın üst bölgesine doğru hareketi 1800 s sonunda da devam etmektedir. 3600 s artık akış hareketi sonlanarak sıcak su tank içerisinde altta, soğuk su ise üstte toplanmıştır. Bu zamandan sonra tankın içerisinde diğer sıcak olan su katmanları soğumaya başlamıştır. 7200. saniyede silindir üzeri tamamen



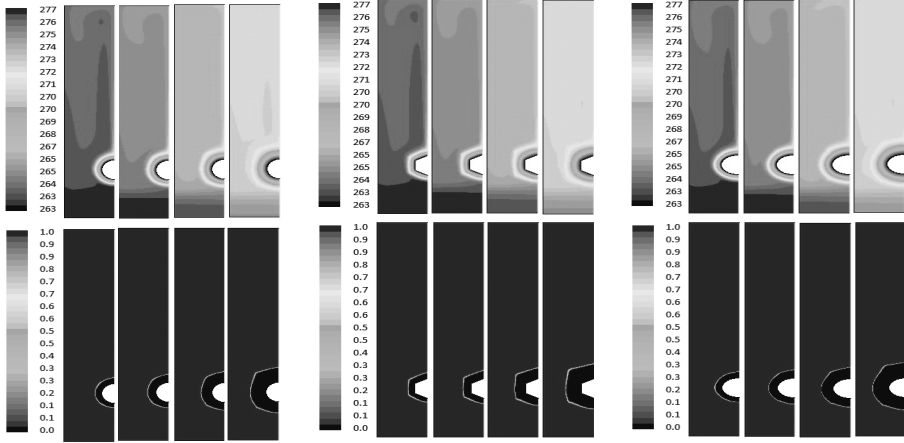
Şekil 3. Tek silindir etrafındaki buz oluşumunun karşılaştırılması

0 °C sıcaklığında iken, silindir altı su sıcaklığının yaklaşık 1 °C olduğu görülmektedir. Altıgen modellemede ise, silindirdeki ile benzer şekilde sıcaklık

incelendiğinde ise 900's'de her iki model için kesit etrafında simetrik bir buz oluşumu başlamış, zamanla birlikte buz kalınlığı artmıştır. 7200 s sonunda ise silindir üzerinde



a)



b)

Şekil 4. Silindir, altıgen ve elips modelleri için sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları a) 0 °C b) 4 °C

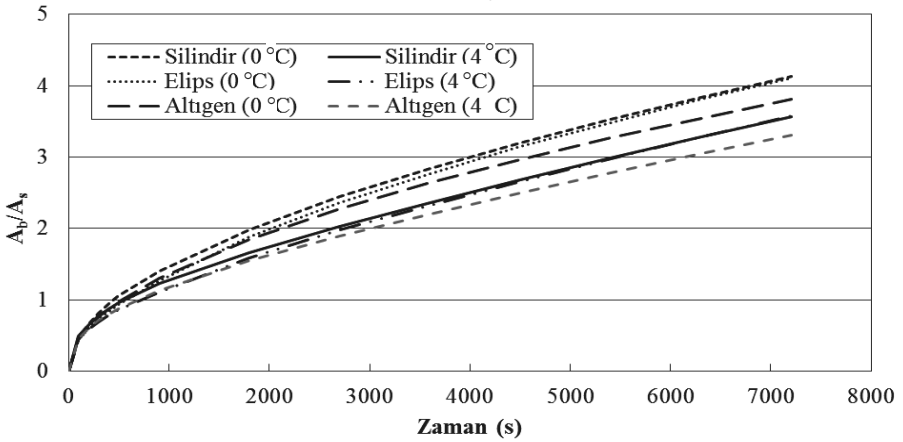
dağılımlarının oluştuğu görülmektedir. Suyun tüm zamanlardaki ısıl katmanlaşması ve doğal konveksiyon hareketi hemen hemen aynı hareket değişimini göstermektedir. Sıvı oranları

daha fazla olan buz kalınlığı, model kesit şeklini alarak oluşumunu tamamlamıştır.

Farklı soğutucu düzenlemeleri için bir soğu depolama tankının modellenmesi

Şekil 5’de silindir, altıgen ve elips modelleri için oluşan buz alanının soğutucu kesit alanına oranlarının zamana bağlı değişimleri gösterilmiştir. Tüm modellemelerde buz kalınlığı zamanla artmaktadır ve her iki başlangıç su sıcaklığı için de tüm modellemelerde birbirlerine yakın bir buz oluşumu görülmektedir. Özellikle silindir ve elips modelleri hemen hemen aynı miktarda buz oluştururken en az buz oluşumu altıgen modelde gerçekleşmektedir. 4 °C su sıcaklığında elips ve silindir modellerindeki buz oluşum miktarları tamamen aynı görülmektedir. Sıcaklığın

özellikle 1800.saniyeden sonra buz oluşumu dairesel ve simetrik şekilde oluşmaya başlamaktadır. Sıcaklığı 4 °C’ye artırıldığında (Şekil 6b), 900s’de sıcak ve soğuk su katmanlarının tankın alt ve üst bölgesinde toplanmaya başlamış ve aynı zamanda her üç kesit için de buz oluşumu başlamıştır. 4 °C’deki suyun yoğunluğu sıcaklığın azalması ile azalmaktadır. Diğer modellemelerde olduğu gibi, silindir yüzeyine yakın bölgedeki soğuk su, soğuk silindir yüzeyi ile çevresindeki sıcak su arasındaki sıcaklık farkından dolayı tankın üst bölgesine doğru hareketlenmektedir. Suyun



Şekil 5 . Farklı su sıcaklıklarında silindir, altıgen ve elips modelleri için katılma oranlarının karşılaştırılması

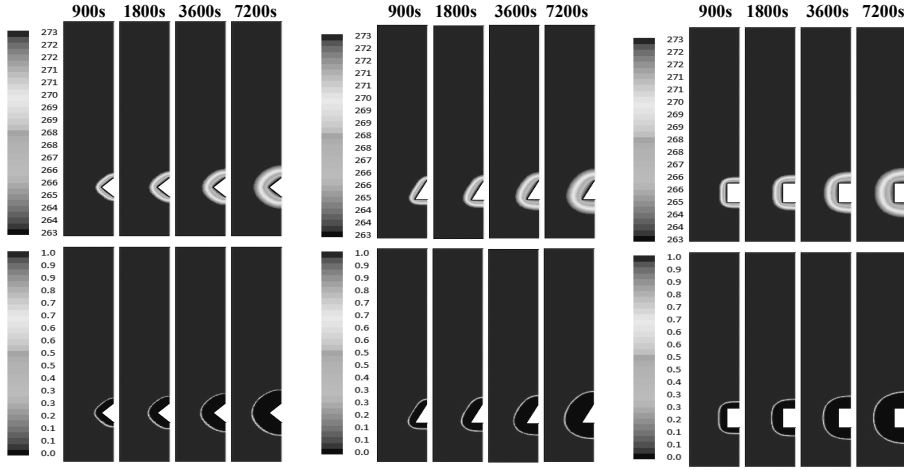
arttırılmasıyla buz oluşum miktarı yaklaşık olarak %13.6 azalmıştır.

0 °C ve 4 °C su sıcaklıkları için üçgen 1, üçgen 2 ve kare modellerinin tank içerisine yerleştirilmesi durumunda elde edilen sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları Şekil 6’da gösterilmiştir. Su sıcaklığının tank içerisinde 0 °C olması durumunda (Şekil 6a) herhangi bir ısıl katmanlaşma oluşmamaktadır. İlk 900s’den önce buz oluşumu başlamış, soğutucu etrafında soğutucu kesiti ile aynı şekli alarak zamanla kalınlaşmaktadır. İlerleyen zamanla birlikte

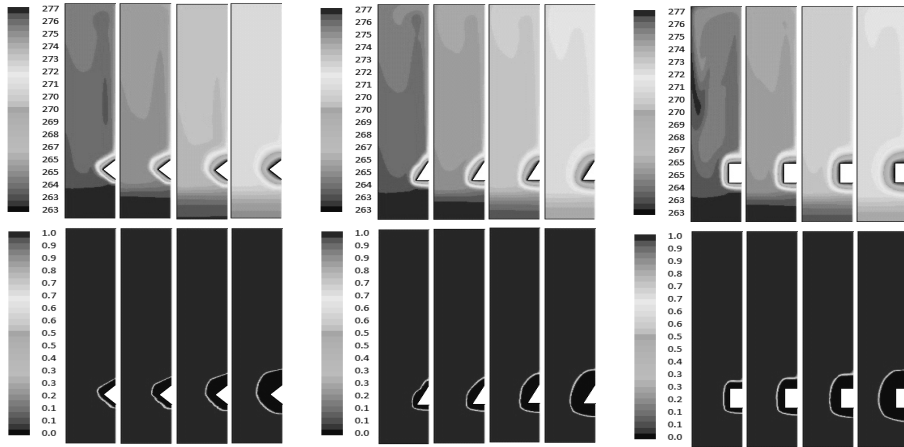
yukarı yönlü bu hareketi 1800 s ve 3600 s sonunda da devam etmektedir. Bu zaman diliminde tankın üst bölgesindeki su daha da soğumuş ve alt bölgesinde ise sıcak su toplanmaya devam etmektedir. Her üç model için de başlangıçtaki buz oluşumu kesit ile aynı şekilde oluşurken, özellikle 3600s’den sonra üçgen modeli üzerindeki buz oluşumu silindir şeklinde oluşmaya devam etmiştir. Bununla birlikte buz kalınlıkları da zamanla artmakta, üçgen etrafında düzensiz fakat kare etrafında daha simetrik bir buz oluşumu gözlenmektedir.

Tank içerisindeki su sıcaklığın 0 °C ve 4 °C olması durumunda üçgen 1, üçgen 2 ve kare için elde edilen buz miktarlarının zamanla değişimi Şekil 7’de gösterilmiştir. Her iki su sıcaklığında da sırasıyla en fazla buz oluşumu üçgen 1, üçgen 2 ve kare modellerinde olmaktadır. Katılaşmanın ilk zamanlarında üçgen modellerindeki buz oluşumu tamamen aynı iken, ilerleyen zamanlarda üçgen 2 modelinde daha az buz oluşumu gerçekleşmektedir. Burada

da üçgen modelleri birbirine çok yakın, kare modelinde ise en az buz miktarı oluşmuştur. Silindirik, elips ve altıgen modelleri ile karşılaştırıldığında kare, üçgen 1 ve üçgen 2 modellerinde her iki başlangıç su sıcaklığı için de doğal konveksiyon hareketinin etkisi nedeniyle daha az buz oluşumu gerçekleşmiştir. 4 °C su sıcaklığı için üçgen ve kare modellerinde %12 oranında daha az bu oluşumu gerçekleşmiştir.

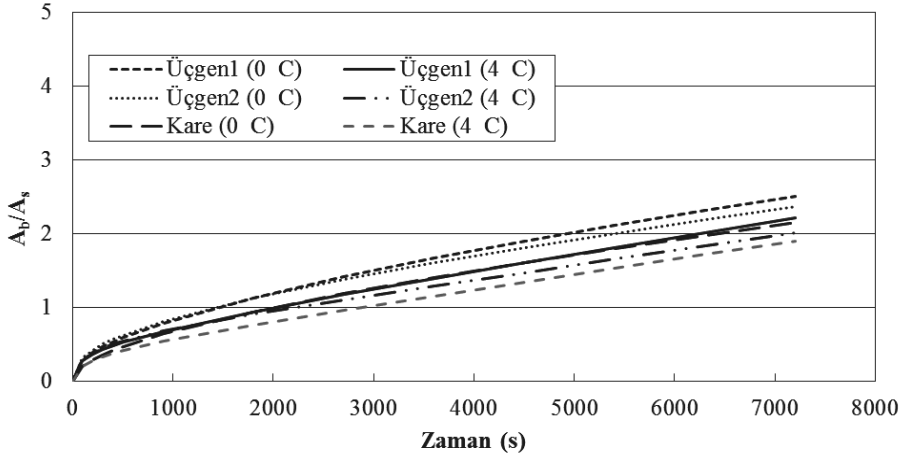


a)



b)

Şekil 6. Üçgen 1, Üçgen 2 ve kare modelleri için sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları
a) 0 °C b) 4 °C



Şekil 7. Farklı su sıcaklıklarında üçgen1, üçgen2 ve kare modelleri için katılma oranlarının karşılaştırılması

Sonuç

Bu çalışmada, farklı geometrilerin (silindir, altıgen, elips, kare ve üçgen) tank içerisine yerleştirmeleri durumunda katılma oranına olan etkileri incelenmiştir. Sonuçlardan sıcaklık dağılımları, sıvı oranları ve katılma miktarları elde edilmiştir. Silindir, elips ve altıgen modellerinde katılma oranlarının birbirleriyle çok yakın olduğu, üçgen ve kare modellere göre ise daha fazla katılma oranları elde edildiği görülmektedir. Ayrıca düzenlemelerin hepsinde su sıcaklığının 0 °C olması durumunda katılma oranının daha fazla olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

- Cheng, K.C., Inaba, H. ve Gılpin, R.R., (1988). Effects of natural convection on ice formation around an isothermally cooled horizontal cylinder, *Journal of Heat Transfer*, **110**, 931-937.
- Dinçer, I., (2002). On thermal energy storage systems and applications in buildings, *Energy and Buildings*, **34**, 377-388
- Erek, A. ve Dinçer, İ., (2009). Numerical heat transfer analysis of encapsulated ice thermal energy storage system with variable heat transfer

coefficient in downstream, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **5**, 851-859.

- Fertelli, A., Büyükcalaca, O. ve Yılmaz, A., (2009). Ice formation around a horizontal tube in rectangular vessel, *Journal of Thermal Science and Technology*, **29**, 2, 75-88.
- Fertelli, A., Büyükcalaca, O. ve Yılmaz, A., (2009). Ice formation around a horizontal tube in a rectangular vessel, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, **29**, 2, 75-87.
- Fertelli A. ve Büyükcalaca O., (2004). Soğu depolamalı iklimlendirme sistemleri, *Soğutma Dünyası*, **24**, 29-35.
- Habeebullah B.A., (2007). An experimental study on ice formation around horizontal long tubes, *International Journal of Refrigeration*, **30**, 5, 789-797.
- Hamoda, M.F., Abu Qdais, H.A. ve Newham, J., (1998). Evaluation of municipal solid waste composting kinetics, *Resources, Conservation and Recycling*, **23**, 4, 209-223.
- Kavak, K., (2005). Dünyada ve Türkiye'de enerji verimliliği ve Türk sanayinde enerji verimliliğinin incelenmesi, *Uzmanlık Tezi*.
- Sasaguchi, K., Kusano, K. ve Viskanta, R., (1997). 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*, **40**, 6, 1343-1354.

- Sasaguchi, K. ve Viskanta, R., (1987). An experimental study of simultaneous melting and solidification around two horizontal vertically spaced cylinders, *Experimental Heat Transfer*, **1**, 223-236.
- Shih, Y. ve Chou H., (2005). Numerical study of solidification around staggered cylinder in a fixed space, *Numerical Heat Transfer Part A*, **48**, 239-260.
- Sönmez N., Buyruk E., ve Fertelli, A. (2007). Buz oluşumuna silindir pozisyonunun etkisinin sayısal olarak incelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **22**, 2, 213-222.
- Sönmez, N., Buyruk, E. ve Fertelli, A., (2009). An Investigation of Ice Formation around Cylinders incooling Storage Tank, *Strojarstvo*, **51**, 5, 449-458.