

## Bir Enerji Depolama Tankının Farklı Konumlarının Erime Ve Katılaşma Sürecine Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Müjdat FIRAT<sup>1</sup>, Mutlu OKCU<sup>2</sup>, Yasin VAROL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü 23119 Merkez, Elazığ

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü 23119 Merkez, Elazığ,  
\*mujdatfirat@gmail.com

(Geliş/Received:15.06.2016; Kabul/Accepted:24.09.2016)

### Özet

Bu çalışmada, içinde Faz Değiştiren Maddenin (FDM) bulunduğu bir enerji depolama tankının dikey ve yatay konumlarının, FDM'nin erime ve katılaşma sürecine etkisi incelenmiştir. Ayrıca tankın sağ tarafına eklenen kanatçıkların katılaşma ve erime süreçlerine etkileri de incelenmiştir. Sayısal simülasyonlar ANSYS-Fluent 12.0 ticari paket programı kullanılarak yapılmıştır. Sayısal simülasyonda FDM olarak parafin mumu kullanılmıştır. Bu madde, gizli ısı depolama sistemlerinde sıklıkla kullanılan bir maddedir. Sistemin başlangıç sıcaklığı sabittir ve maddenin katılaşma ve erime noktaları için ayrı ayrı belirlenmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlara göre, faz değişim sürecinin sistemin geometrik yapısına, konumuna, ortamın termal şartlarına ve kullanılan malzemenin özelliklerine bağlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca geometri üzerine yerleştirilen kanatçıkların erime ve katılaşma sürecini oldukça hızlandırdığı da görülmüştür. Ayrıca tankın konumunun faz değişim sürecini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Erime, Katılaşma, Faz değiştiren madde (FDM), Enerji depolama

## A Numerical Investigation of Effect of Position of the Thermal Energy Storage Container for the Melting and Solidification Process

### Abstract

In this study, a numerical investigation was performed for the melting and solidification process in the different position of thermal energy storage container. The container is full filled with Phase Change Materials (PCM). In addition, the fins effects in the right side of the container were determined for the phase change process. Transient numerical simulations were performed by using ANSYS-Fluent 12.0 commercial software. For the numerical simulation, the paraffin wax was used as PCM. It usually has been used in the heat storage systems. The initial temperature of the system is uniform and few degrees above the melting and solidification temperature. According to the simulations results, the transient phase change process depends on PCM properties, thermal condition, positions of container and geometrical parameters of system. The results indicate that the presence of fins embedded in the container and the positions of the container significantly accelerates the melting process.

**Keywords:** Melting, Solidification, Phase Change Materials (PCM), Energy Storage

### 1. Giriş

Gün geçtikçe artan dünya nüfusu, buna bağlı olarak artan enerji talebi ve bu talebin karşılanması, ülkelerin en önemli problemi haline gelmiştir. Artan enerji talepleri ülkelerin siyasi ve stratejik hamlelerine yön verdiği bilinen bir durumdur. Bu manada, ülkeler kendi menfaatleri için bölgesel gerilimler çıkarmaktan bile çekinmemektedir. Hal böyleyken var olan enerji kaynakların bir sonu olması nedeniyle, gerek bilim dünyası gerekse ülke politikacıları farklı

kaynak arayışına ağırlık vermeye başlamıştır. Bu bağlamda, günümüzde hala birçok alanda kullanılan güneş enerjisi depolama sistemleri, farklı sistemler vasıtasıyla enerji üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Yeni enerji kaynağı bulma fikrinin yanında, mevcut enerji kaynaklarının daha etkin kullanılması da önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Yapılan çalışmada, FDM kullanılarak alternatif bir tasarım oluşturma ve enerji kullanım sürekliliği sağlama yöntemi olarak düşünülmüştür. Bunun yanında kullanılan tankın konumunun da

erime/katılaşma sürecine etkisi incelenmiştir. Faz Değiştiren Maddeler (FDM) elektronik aletlerden otomobil endüstrisine, binalardan ısı depolama sistemlerine farklı birçok alanında enerji depolamak ve sıcaklık değişimleri dengelemek için kullanılmaktadır. Son yıllarda birçok alanda alternatif soğutma ve ısıtma metodu olarak FDM kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir. Bu alanlara örnek olarak; elektronik aletlerin soğutulması, cep telefonları, bina yalıtımları, termal enerji depolama sistemleri ve güneş enerjisi depolama sistemleri gibi daha birçok örnek verilebilir [1-2-3]. FDM'lerin güneş enerjisinin verimin arttırmak ve ısı kaybının korunmasına katkıda bulunduğu sıklıkla ifade edilmiştir [4]. FDM'lerin ısı depolama kapasiteleri ve faz değişimi esnasındaki ısı enerjileri oldukça yüksektir. Fakat FDM'lerin çoğunun ısı iletkenlikleri oldukça düşüktür. Bu yüzden, FDM'lerin kullanıldığı gizli ısı depolama sistemi ve benzeri sistemlerde ısı iletkenliğini arttırmak için kanatçık gibi ısı transferi artırma teknikleri kullanmanın gerekliliği sıklıkla ifade edilmiştir [5-6]. Ayrıca yapılan incelemeler esnasında, FDM'lerin evsel kullanımda sıcak su elde edilmesi ve ısıtma yükünün azaltılması amacıyla da kullanılmakta olduğu görülmüştür [7]. Sönmez vd. [8] içerisinde FDM olarak su bulunan dikdörtgen geometriye sahip bir soğutma tankı üzerine farklı sayı ve konumda yerleştirilen yarım çember şekilli kanatçıkların katılaşma süreci üzerine etkisini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, kanatçıkların geometri üzerindeki konumunun ve sayısının ısı transferi hızını ve katılaşma oranını önemli ölçüde arttırdığı göstermiştir. Dubovsky vd. [9] dikey eksenli bir silindirde FDM'nin katılaşma sürecini sayısal olarak incelemişlerdir.

FDM olarak kullanılan madde parafindir. Çalışmada, kullanılan silindirik geometrinin farklı çaplarda kullanılması ve katılaşma sürecine etkisi ele alınmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçların katı yüzeyin eğrisel oluşumunun açık bir şekilde bulunduğunu ifade edilmiştir. Assis vd. [10] küresel bir kap içerisinde bulunan FDM'nin katılaşma sürecini sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. FDM olarak ticari maça birçok kez kullanılan parafin mumu kullanılmıştır. Hem sayısal hem deneysel çalışma için aynı zamanlarda elde edilen verileri bulunmuş ve grafiksel olarak ifade edilmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar kıyaslanmış ve elde

edilen verilerin paralel olduğunu savunmuşlardır. Shih vd. [11] dikey olarak konumlandırılan bir tankı model olarak alarak, sabit hacimde kademeli olarak model üzerine yerleştirilen silindirlerin etrafındaki katılaşma sürecini incelemişlerdir. Faz değiştiren madde olarak su kullanılmıştır. Geometri üzerine yerleştirilen silindirin sayısı ve model üzerindeki farklı konumlandırılmasının sonuçlar üzerinde etkisini analiz etmişlerdir. Ayrıca katılaşma boyunca ısı transferi karakterleri de belirlenmiştir. Mazman [12] gizli ısı depolama ve uygulamaları çerçevesinde deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışma üç başlık altında toplanmıştır. Birinci olarak organik FDM'nin aşırı soğuma göstermemesi özelliği ve FDM'nin ısı iletkenliğinin artırılarak çeşitli uygulamalar yapmıştır. Bu uygulamalarda değişik organik FDM'ler kullanılmıştır. İkinci aşamada FDM'nin ısı transfer hızını arttırmak için FDM'nin bulunduğu tank içerisinde değişik geometrik şekiller kullanılmıştır. En son olarak depo içerisinde FDM'ler deponun üst kısmında kullanılarak maddenin gizli ısı depolama özelliğinden yararlanılmıştır.

Konu ile ilgili hem sayısal hem deneysel birçok çalışma yapıldığı belirlenmiştir. Literatür araştırmalarında pek görülmeyen, depolama tankının konumunun da süreçler üzerine etkisinin de incelendiği bir çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada simülasyonlar, ANSYS-Fluent 12.0 ticari paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Sayısal simülasyonda FDM olarak kullanılan madde, gizli ısı depolama sistemlerinde sıklıkla kullanılan parafin mumudur. Elde edilen veriler grafikler halinde sunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada, içinde FDM olan bir enerji depolama tankının dikey ve yatay konumlarının, FDM'nin erime ve katılaşma sürecine etkisi incelenmiştir. Ayrıca dikey ve yatay olarak konumlandırılmış tankın sağ tarafına eklenen kanatçıkların katılaşma ve erime süreçlerine etkileri de incelenmiştir. Tüm analizler ANSYS-Fluent 12.0 ticari paket programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma Sonlu hacimler metoduna uygun olarak çözülmüştür. Bu şekilde farklı ağ yapıları ve kompleks geometriler rahatlıkla incelenmiştir. Çalışmada

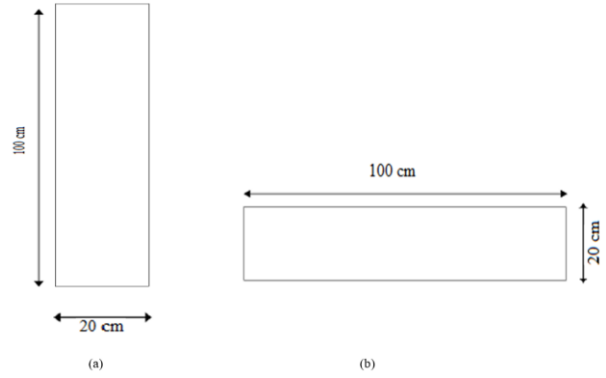
basınç düzeltme tabanına dayalı SIMPLEC algoritması ve birinci kademe ayrıştırma şeması kullanılmıştır. Kare biçimli ağ elamanlı kullanılan çalışmada elaman sayısı 3000, 12000, 50000 ve 160000 olarak seçilerek ön çalışmalar yapılmış ve en uygun sayı olan 50000 eleman ile çözümler gerçekleştirilmiştir[13]. Yapılan çalışma da amaç; gizli ısı depolama sistemlerinde kullanılan FDM'lerin düşük termal iletkenliklerinden kaynaklanan dezavantajı azaltmaktır. Bunun için belirlenen modelde farklı kanatçık sayılarında ve farklı model konumlarında, erime ve katılaşma süreçleri ayrı ayrı incelenmiştir. Sayısal simülasyonda FDM olarak kullanılan madde, gizli ısı depolama sistemlerinde sıklıkla kullanılan parafin mumudur ve termofiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kullanılan FDM' nin termofiziksel özellikleri

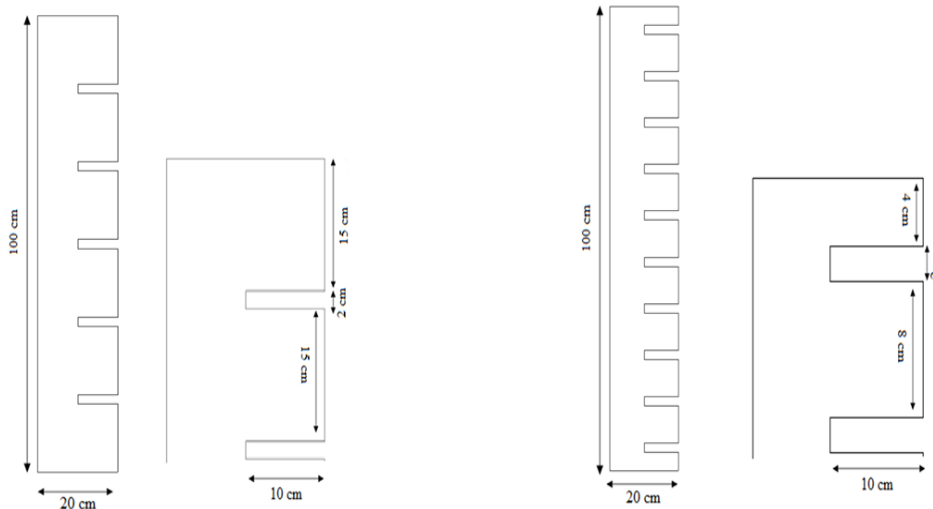
Erime aralığı	28-30 °C
Gizli ısı	179 kJ/kg
Katı halde ısı depolama kapasitesi	2400 J/kgK
Sıvı halde ısı depolama kapasitesi	1800 J/kgK
Katı halde termal iletkenlik	0.24 W/mK
Sıvı halde termal iletkenlik	0.15 W/mK
Katı halde sabit yoğunluk	870 kg/m <sup>3</sup>
Sıvı halde sabit yoğunluk	760 kg/m <sup>3</sup>
Volümetrik genişleme katsayısı	0.5*10 <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>

## 2.1. Çalışmada kullanılan modeller

Erime ve katılaşma sürecinin inceleneceği fiziksel model olarak kanatçıklı ve kanatçıksız yüzeylere sahip geometriler kullanılmıştır. Model geometrisinde kullanılan farklı kanatçık sayılarının erime ve katılaşma sürecine etkisi analiz edilmiştir. Şekil 2.1' de boyutları verilmiş model dikey ve yatay konumlarda ayrı ayrı analiz edilmiştir. Çalışmada, kullanılan model 100 cm yüksekliğinde ve 20 cm genişliğindedir. Kanatçıklı modelin boyutları ise; 5 kanatçıklı model için kanatçık genişliği 10 cm ve yüksekliği de 2 cm olarak alınmıştır. 10 kanatçıklı sistemde, kanatçık genişliği 10 cm ve kanatçık genişliği yine 2 cm olarak alınmıştır. Kanatçıklı ve kanatçıksız model boyutları Şekil 2.1- 2.2' te verilmiştir.



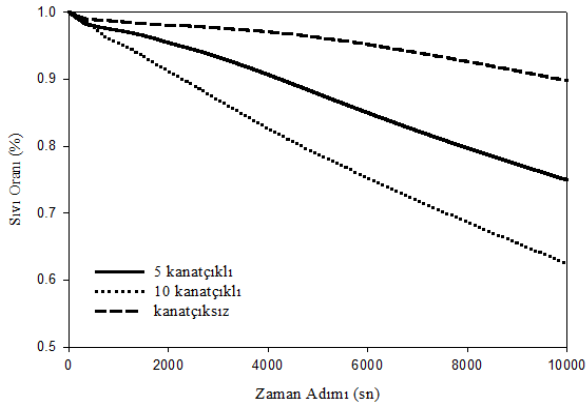
**Şekil 2.1.** Kanatçıksız modeller (a) dikey model, (b) yatay model



**Şekil 2.2.** Kanatçıklı modeller (a) 5 kanatçıklı model, (b) 10 kanatçıklı model

### 3.Sonuçlar

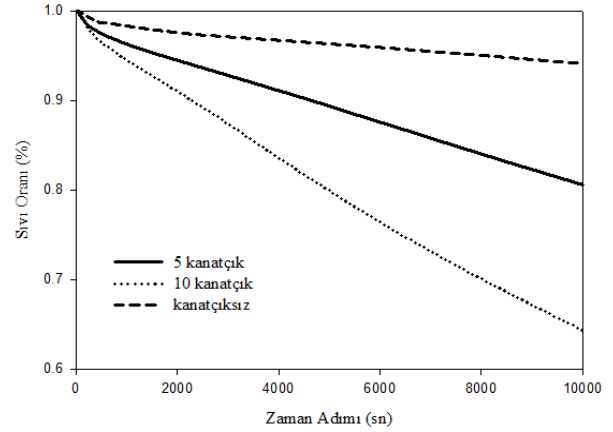
Çalışmada, kullanılan farklı modellerde erime ve katılma süreçleri analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen bazı veriler, kullanılan farklı modellerin kıyaslanması bakımından önemli ipuçları vermiştir. Bu verilerden biri olan sıvı oranı grafikleri katılma süreci için aşağıda ifade edilmiştir. Sıvı oranı, tank içerisinde sıvı halde bulunan FDM miktarını temsil etmektedir. Bu şekillerde sıvı oranının zamana bağlı değerleri sunulmuştur. Şekil 3.1 ve 3.2’ de yatay ve dikey modellerde katılma sürecinde zaman içerisindeki değişimini gösteren 10000 sn sonraki sıvı oranı grafikleri sunulmuştur. Model üzerinde kullanılan farklı sayıdaki kanatçıkların ve modellerin konumlarının sonuçlar üzerindeki etkilerini gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Yatay model için 10000 sn sonraki 5 kanatçıklı, 10 kanatçıklı ve kanatçiksiz modellerde katılma süreci sıvı oranı – zaman adımı grafiği

Şekil 3.1’ deki grafik sıvı oranının 10000 sn sonraki son durumunu göstermektedir. Grafikte de gösterildiği gibi, katılma sürecinde tüm modellerin sürecin başında yavaş ilerlediği fakat zamanla 10 kanatçıklı ve 5 kanatçıklı modellerde kanatçıkların etkisiyle katılma hızlarının arttığı gözlenmiştir. Sürecin başlarında iletim ısı transfer mekanizmasının etkin olduğu, süreç ilerledikçe taşınım etkin mekanizma olduğu belirlenmiştir.

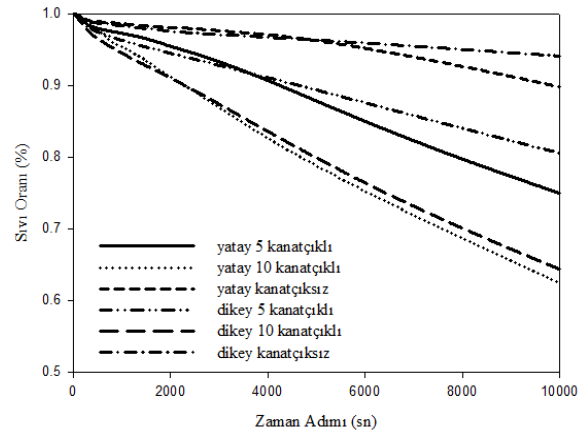
Ayrıca katılma FDM yoğunluğundan dolayı tank içerisinde aşağı yönde hareket etmektedir. Katılma sürecinin kanatçiksiz modelde ise çok daha yavaş ilerlediği belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Dikey model için 10000 sn sonraki 5 kanatçıklı, 10 kanatçıklı ve kanatçiksiz modellerde katılma süreci sıvı oranı – zaman adımı grafiği

Şekil 3.2.’ de dikey modelde katılma süreci için 10000 sn sonraki sıvı oranının zamanla değişimini içeren grafik sunulmuştur. Kanatçık sayısının, oluşturulan farklı modellerin katılma süreci üzerindeki etkisi net olarak görülmektedir.

Yukarıdaki grafiklerde de gösterildiği gibi katılma süreci yatay ve dikey olarak konumlandırılan modellerde incelenmiş ve elde edilen sıvı oranının zamana bağlı değişimini gösteren verilerin kullanılmasıyla oluşturulan grafiklerde ifade edilmiştir. Bu verilerden yola çıkarak, sıvı oranının ilerleyen zamanla birlikte değişimleri, farklı modeller için sunulmuştur.

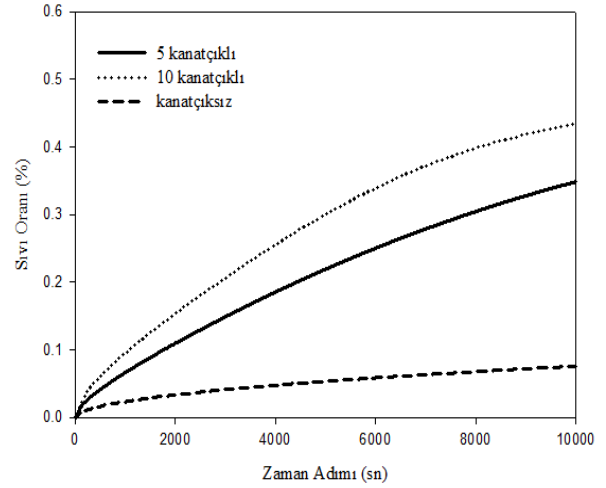


Şekil 3.3. Dikey ve yatay modeller için 10000 sn sonraki 5 kanatçıklı, 10 kanatçıklı ve kanatçiksiz modellerde katılma süreci sıvı oranı – zaman adımı grafiği

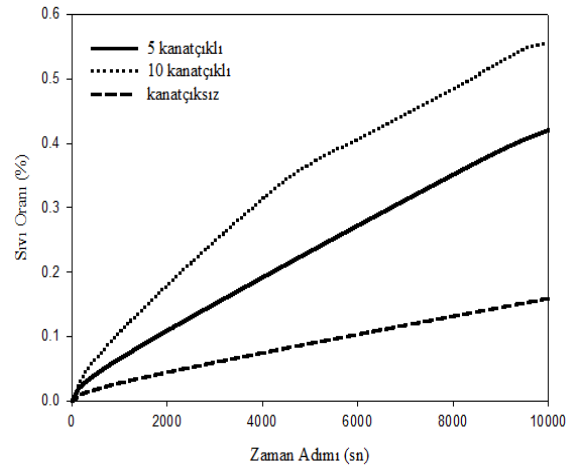
Bu farklı modellerdeki katılma hızlarının kıyaslanması sonucunda, katılma hızının en yüksek olduğu modelin 10 kanatçıklı model olduğu belirlenmiştir. Grafikten elde edilen verilere göre, kanatçık sayısının artması her iki modelde de katılma sürecini olumlu yönde etkilemiştir. Şekil 3.3’ de dikey ve yatay modeller için katılma sürecine ait sıvı oranı-zaman adımı grafiği sunulmuştur. Sürecin başlarında iletim ısı transfer mekanizmasının etkin olduğu, süreç ilerledikçe taşınım etkin mekanizma olduğundan daha önce bahsedilmiştir. Bu bağlamda katılan FDM kaldırma kuvveti etkisinden dolayı tank içerisinde aşağı yönde hareket etmektedir. Bu durum yatay modelde sürece çok daha olumlu yansımıştır. Yatay modeldeki katı FDM’nin hareket alanı dikey modele göre daha az olduğu için tank cidarı ile teması daha kısa zamanda sağlamakta ve artan katı FDM tank içerisindeki sıcaklığın azalmasına katkıda bulunmaktadır. Böylece dikey modele nazaran daha hızlı bir katılma süreci meydana gelmektedir. Bu sonuca göre; sürecin ilerlemesiyle yatay modellerdeki katılma hızları gitgide artmakta ve dikey modelde olduğundan daha hızlı ilerlemektedir. Grafikten de görüldüğü gibi yatay modellerin tümü dikey modellerdeki katılma hızlarını geçmektedir. Zamanla hızlar arasındaki farkın gittikçe arttığı yine grafikten gözlenebilmektedir.

Erime süreci üzerine yapılan incelemeler yatay ve dikey modeller için ayrı ayrı incelenmiş ve modeller üzerinde kullanılan kanatçık etkileri hakkında daha iyi yorum yapma şansı vereceğini düşünülen sıvı oranı grafikleri aşağıda sunulmuştur. Sırası ile yatay ve dikey modellerde 10000 sn sonraki sıvı oranı grafikleri ayrı ayrı verilir, daha sonra dikey ve yatay modeller arasındaki kıyaslamayı içeren grafikler sunulmuştur. Böylece kanatçık sayılarının ve modellerin konumlarının erime süreçleri üzerindeki etkileri analiz edilecektir.

Şekil 3.4 ve 3.5’ de dikey ve yatay modellerde erime sürecinin analizi için yapılan çözümler doğrultusunda elde edilen sıvı oranının zamanla değişimini gösteren grafikler sunulmuştur. Yatay ve dikey modellerin her ikisinde de erime sürecinde 5 kanatçıklı ve 10 kanatçıklı modellerin önemli rol oynadıkları ve sürece olumlu yönde etki ettikleri belirlenmiştir.

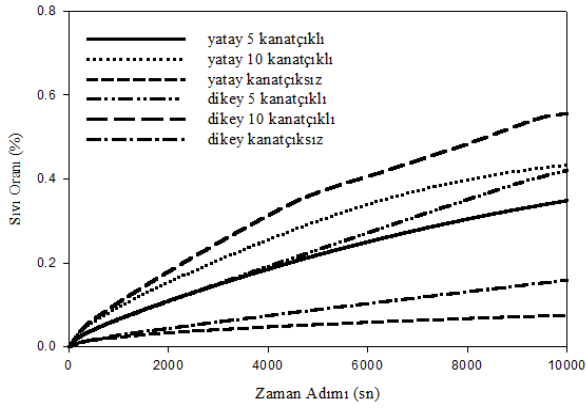


Şekil 3.4. Yatay model için 10000 sn sonraki 5 kanatçıklı, 10 kanatçıklı ve kanatçiksiz modellerde erime süreci sıvı oranı – zaman adımı grafiği



Şekil 3.5. Dikey model için 10000 sn sonraki 5 kanatçıklı, 10 kanatçıklı ve kanatçiksiz modellerde erime süreci sıvı oranı – zaman adımı grafiği

Şekil 3.4-3.6 arasında sırasıyla yatay modelde erime sürecinin zamanla değişim, dikey modelde erime sürecinin zamanla değişim ve dikey – yatay modellerde erime sürecinin zamanla değişim grafikleri sunulmuştur. Bu grafiklerde dikkat çekici nokta, katılma sürecindeki sıvı oranının incelenmesi sonucu ortaya çıkan yatay modelin dikey modele olan üstünlüğünün, erime sürecinde tam tersi olarak değişmesi ve dikey modeldeki erime hızının yatay modele nazaran çok daha iyi olmasıdır. Dikey modelde, eriyen FDM’nin tankın en altından başlayarak yukarı yönlü hareket halindedir.



**Şekil 3.6.** Yatay ve dikey modeller için 10000 sn sonraki 5 kanatçık, 10 kanatçık ve kanatçiksiz modellerde erime süreci sıvı oranı – zaman adımı grafiği

Erime sürecinde dikey modeldeki hareket alanının yatay modele göre daha fazla olması sürece olumlu katkı vermiştir. Yatay modelde ise sıvı FDM'nin hareket alanı daha az olduğundan dolayı sürecin diğer modele göre daha yavaş ilerlediği düşünülmektedir. Bunun sonucunda erime sürecinde, dikey modelin sürece verdiği olumlu etkinin yatay modele oranla daha iyi olduğu düşünülmektedir.

Erime ve katılaşma süreçlerinde sıvı oranının zamanla değişimini veren grafikler yukarıdaki şekillerde yukarıda sunulmuştur. Bu grafiklerin erime ve katılaşma süreçlerinde kanatçık etkilerini net olarak ifade ettiği düşünülmektedir. Ayrıca kullanılan tankın konumunun da süreçler üzerindeki etkisi açık bir şekilde görülmektedir. Erime ve katılaşma süreçlerinde 10 kanatçıklı modelin en etkin model olduğu görülmektedir. Zamanla kanatçık etkilerinin azalması sonucunda katılaşma hızı azalsa da, yinede sürece en olumlu etki yapan modelin 10 kanatçıklı model olduğu belirlenmiştir.

#### 4. Tartışma

Bu çalışmada, içinde Faz Değiştiren Maddenin (FDM) bulunduğu bir enerji depolama tankının dikey ve yatay konumlarının, FDM'nin erime ve katılaşma sürecine etkisi incelenmiştir. Ayrıca dikey ve yatay olarak konumlandırılmış tankın sağ tarafına eklenen kanatçıkların katılaşma ve erime süreçlerine etkileri de incelenmiştir. Sayısal simülasyonlar ANSYS-Fluent paket programı vasıtasıyla yapılmıştır.

- Her bir modelde kanatçık sayılarının erime/katılaşma sürecine olumlu katkı sağladığı belirlenmiştir.
- Isı depolama tanklarının yatay ve dikey olarak konumlandırılması erime/katılaşma sürecine önemli ölçüde etki ettiği gözlenmiştir.
- Sürec içerisinde değişen ısı transfer mekanizmalarının, erime/katılaşma süreçlerinde önemli bir rol oynadığı grafik sonuçlardan açık bir şekilde anlaşılmaktadır.
- Erime süreci için 10 kanatçıklı ve dikey modelin en uygun hal olduğu düşünülmektedir.
- Katılaşma süreci için 10 kanatçıklı ve yatay modelin en uygun hal olduğu düşünülmektedir.

Elde edilen verilerin ısı depolama tankları adına önemli değerlendirmeler oluşturduğu düşünülmektedir.

#### 5. Kaynaklar

1. Omari, K. E., Kousksou, T., Guer, Y. L., (2011). Impact of shape of container on natural convection and melting inside enclosures used for passive cooling of electronic devices, *Applied Thermal Engineering*, 31, 3022-3035.
2. Regin, A. F., Solanki, S.C., Saini, J. S., (2009). An analysis of a packed bed latent heat thermal energy store system using PCM capsules: Numerical investigation, *Renewable Energy*, 34, 1765-1773.
3. Konuklu, Y., Paksoy, Ö. H., (2011). Faz değiştiren maddeler ile binalarda enerji verimliliği, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
4. Pielichowska, K., Pielichowski, K., (2014). Phase change materials for thermal energy storage, *Progress in Materials Science*, 65, 67-123.
5. Lamberg, P., (2004). Approximate analytical model for two-phase solidification problem in a finned phase change material storage, *Applied Energy*, 77, 131-152.
6. Lacroix, M., Benmadda, M., (1997). Numerical simulation of natural convection dominated melting and solidification from a finned vertical wall, *Numerical Heat Transfer; Part A: Applications*, 31, 71-86.
7. Anuar, Sharif, M.,K., Al-Abidi, A., A., Mat, S., Sopian, K., Ruslan, M., H., Sulaiman, M.,Y., Rosli, M., A., M., (2015). Review of the application of phase change material for heating and domestic hot water systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 557-568.

- 8.** Sönmez, N., Fertelli, A., Buyruk, E., (2009). Numerical investigation for solidification around various cylinder geometries, *Journal of Science & Industrial Research*, 68, 122-129.
- 9.** Dubovsky, V., Assis, E., Kochavi, E., Ziskind, G., ve Letan, R., (2008). Study of solidification in vertical cylindrical shells, *Proceedings of the Fifth European Thermal Sciences Conference, Eindhoven, The Netherlands*.
- 10.** Assis, E., Ziskind, G., Letan, R., (2009). Numerical and experimental study of solidification in a spherical shell, *Journal of Heat Transfer*, 131, 024502-1.
- 11.** Shih, Y.H., Chou, H., (2005). Numerical study of solidification around staggered cylinders in a fixed space, *Numerical Heat Transfer*, 48, 239-260.
- 12.** Mazman, M., (2006). Gizli ısı depolaması ve uygulamaları, Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- 13.** Okcu, M., (2011) Faz değiştiren maddelerde katılaşma sürecinin sayısal olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.