

# EV TİPİ BİR BUZDOLABININ KARARLI DURUM ALTINDA SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Çağlar COŞKUN  
Gürcan DURMAZ  
Ünver ÖZKOL

## ÖZET

Bir buzdolabı, bilindiği gibi dört aşamalı bir termodinamik prensibe göre çalışır. Bu aşamalar sırasıyla; gaz halindeki soğutucu akışkanın sıkıştırılarak sıcaklık ve basıncının artırılması, yüksek basınçlı gazın yoğunlaştırılması, sıvı haldeki soğutucu akışkanın kısılma vanası ile basıncının düşürülmesi ve düşük basınçlı akışkanın, buzdolabının içerisindeki ısıyı alarak buharlaştırılması şeklindedir. Bu çevrimde buzdolabının verimini artırabilmenin yolu, birim soğutma başına düşen kompresör işini azaltmaktır. Buzdolabının verimini arttırmak, buzdolabının enerji sınıfının yükselmesini de sağlayabilir. Bunu yapmanın bir yolu, buzdolabı içerisindeki soğuk enerjiyi daha uzun süre muhafaza ederek kompresörün çalışma/durma sıklığını azaltmaktır. Çünkü dolap her durduğunda soğutucu akışkanın dağılımı bozulduğu için, her ilk çalışma esnasında tekrar denge sağlanana kadar verim çok düşmektedir. Bu soğuk enerjiyi daha uzun süre muhafaza edebilmek için duvar kalınlıklarını arttırmak etkin bir yöntem olsa da, buzdolabının iç hacminin azalması kullanıcılar açısından bir dezavantajdır. Bu projede, faz değişken malzemeler (FDM) kullanarak, ev tipi bir buzdolabı içerisindeki ısı kütlenin artırılması ve dolayısıyla soğuk enerjiyi uzun süre muhafaza ederek kompresörün çalışma/durma sıklığının azaltılması amaçlanmıştır. Buzdolabı iç hacminde FDM uyunabilecek ideal bölgelerin belirlenebilmesi için öncelikle buzdolabı iç yüzey sıcaklık dağılımlarının bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bahsedilen projenin birinci aşaması olan bu mevcut çalışmada, kısmi no-frost tipteki bir ev tipi buzdolabının, FLUENT hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) paket programı ile sıcaklık dağılımının çıkartılması ve bu sıcaklık dağılımının deneysel veriler ile doğrulanması amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ev Tipi Buzdolabı, Nümerik Analiz, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Faz Değişken Malzeme

## ABSTRACT

A refrigerator works with respect to a thermodynamic cycle including four steps. These steps, respectively, are as follows; increasing the pressure and temperature of a refrigerant fluid in gas state by compressing it, condensing the gas in high pressure in a condenser at constant pressure, decreasing the pressure of the refrigerant fluid in liquid state in a throttling valve and finally vaporizing the refrigerant fluid in an evaporator by absorbing the heat from the refrigerator cabin. To increase the efficiency of this cycle, the compressor work per unit cooling capacity should be reduced. Increasing the efficiency of a refrigerator may also result an increase of the energy class of the refrigerator. One way to do this is keeping the cold energy in refrigerator cabin further and decreasing the “stop/start” frequency of the compressor. Because, due to the maldistribution of coolant when the refrigerator stops, the efficiency decreases much at every start of the refrigerator until the balance of coolant is reestablished. Increasing the wall thicknesses of the refrigerator is an efficient way to keep this cold energy, however, a less internal volume is a disadvantage for the end users. This project aims to increase the total thermal mass of an household refrigerator by using phase change materials (PCMs), thus keeping the cold energy in cabin further and decreasing the stop/start frequency of the compressor. The temperature distribution on the walls of the refrigerator is needed to be known to

determine the ideal locations for PCMs. In this study, which is the first part of the project mentioned above, extraction of the temperature distribution of a partial no-frost type household refrigerator by the FLUENT commercial CFD code is aimed. The validation of results of the CFD analyses with experimental data is also conducted.

**Key Words:** Household Refrigerator; Numerical Analysis, Computational Fluid Dynamics, Phase Change Material

## 1. GİRİŞ

Sıcak ya da soğuk enerjinin daha sonra kullanılmak üzere depolanması termal enerji depolama yöntemleriyle olur. Bu yöntemler, duyulur ısı depolama, gizli ısı depolama ve kimyasal yöntemler olmak üzere temel olarak 3 şekildedir. Duyulur ısı depolamada, depolama ortamına verilen ısı lineer bir sıcaklık artışı sağlamaktadır. Bu yöntemde, depolanan enerjinin (Q), sıcaklık artışına oranı ( $\Delta T$ ) depolama ortamının ısı kapasitesini verir (C). [1]

$$Q=C\Delta T=mc\Delta T \quad (1)$$

Gizli ısı depolama yönteminde, depolama ortamının faz değişimi söz konusudur. Katı –sıvı hal değişimi, uygun malzeme kullanıldığında büyük miktarlarda enerji depolayabilir. Gizli ısı, günümüzde enerji depolamak için en etkin ve en verimli yöntemlerden birisi olarak kabul edilir. Tablo 1’de görülebileceği gibi, aynı malzemenin saklayabileceği gizli ısı, duyulur ısıya kıyasla çok daha fazladır. Örneğin, suyun 20°C sıcaklık aralığında depolayabileceği duyulur ısı, 0°C erime sıcaklığında depolayabileceği gizli ısıdan yaklaşık 3.5 kat daha azdır. [2]

**Tablo 1.** Farklı Isı Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırılması [2]

	MJ/m <sup>3</sup>	kJ/kg	Yorumlar
Duyulur Isı			
Granit	50	17	$\Delta T=20^\circ\text{C}$
Su	84	84	$\Delta T=20^\circ\text{C}$
Erime gizli ısı			
Su	306	330	
Parafinler	180	200	
Su Hidratları	300	200	
Tuzlar	600 - 1500	300 - 700	
Buharlaşma gizli ısı			
Su	2452	2450	

Saf malzemeler ve ötektik karışımlarda erime ve donma sırasında, depolama malzemesine ısı aktarılırken veya çekilirken sıcaklık hal değişim sıcaklığında sabit kalır. Hal değişimi tamamlandıktan sonraki ısı transferi duyulur ısı olarak depolanır. Hal değişimi sırasında depolanan gizli ısı, katı ve sıvı fazları arasındaki entalpi farkından hesaplanabilir. Katı-sıvı hal değişimi sırasındaki bu entalpi farkına erime ısıya ya da erime entalpi denir. ( $\Delta H$ ) [1]

$$Q=\Delta H=m\Delta h \quad (2)$$

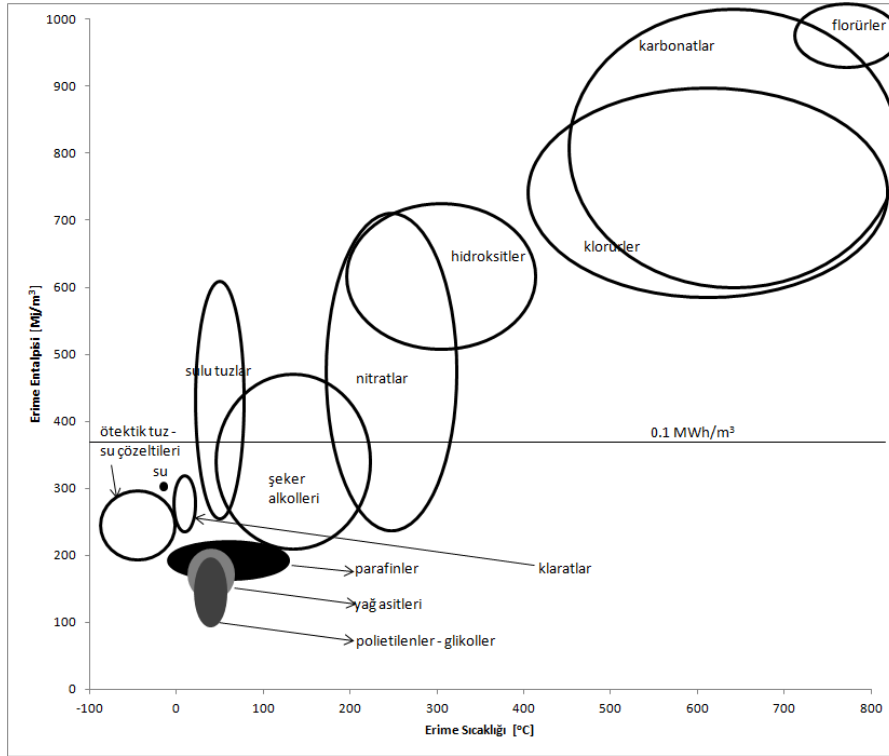
Katı-sıvı hal değişim sıcaklığında, sıcak ya da soğuk enerji depolamak için kullanılan malzemeler faz değişken malzeme (FDM) olarak adlandırılır. Faz değişken malzemeler (FDM), yüksek miktarlarda ısıyı dar bir sıcaklık aralığında depolayabilirler, yani malzemenin sıcaklığı çok fazla değişmeden ısı aktarmak veya ısı çekmek mümkündür. Dolayısıyla, yiyecek-içecek depolama, bina içi sıcaklığı gibi, sıcaklık dalgalanmalarının yüksek olmasının istenmediği alanlarda kullanılırlar.

Bir malzemenin FDM olarak kullanılabilmesi için sahip olması gereken gereksinimler şu şekilde sıralanabilir [3];

1. Yüksek bir erime ısısına ve ısı iletkenlik katsayısına sahip olması,
2. Minimum aşırı soğuma (subcooling) ile eşleşik bir şekilde erimesi ve donması,
3. Kimyasal olarak kararlı olması ve bulunduğu ortamlarla reaksiyona girmemesi,
4. Aşındırıcı özelliğinin olmaması,
5. Zehirli ve yanıcı olmaması,
6. Bulunduğu kaptaki gerilmelere neden olmaması için düşük buhar basıncına sahip olması,
7. Hal değişim esnasında az miktarda hacminin değişmesi.

Ayrıca bir FDM, uygulama alanına göre yüksek sayıda erime-donma döngüsüne dayanıklı olmalıdır. Bu döngülerin sayısı birden binlerce defaya kadar ulaşabilir. Örneğin, bir yangın durumunda aşırı ısıya karşı koruma sağlayan bir FDM yalnızca bir defa erime-donma döngüsüne uğrar. [2]

Farklı erime sıcaklığına sahip pek çok FDM piyasada mevcuttur ve bunlar çok farklı alanlarda kullanılabilir. Günümüzde faz değişken malzeme olarak kullanılan malzemeler; hidratlı tuzlar, parafinler, yağ asitleri, ötektik çözeltiler, organik ve organik olmayan bileşiklerdir. [3] Bu malzemelerin çalışma sıcaklıkları ve erime ısıları Şekil 1'de görülebilir.



Şekil 1. Farklı FDM'lerin Çalışma Sıcaklıkları ve Erime Isıları. [1]

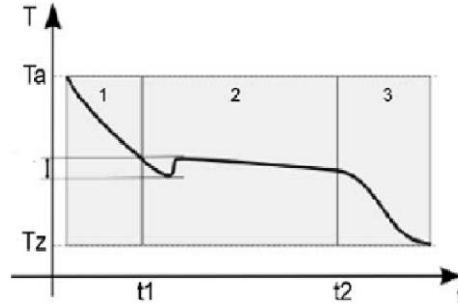
En çok bilinen faz değişken malzeme sudur. 0°C'nin altındaki sıcaklıklar için ise ötektik karışımdaki tuz-su çözeltileri kullanılır. 0°C'den 130°C'ye kadar ise genellikle parafin, yağ asitleri ve alkoller gibi malzemeler kullanılır. İnorganik malzemeler geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilir. Fakat bunların en büyük dezavantajları sahip oldukları düşük erime ısısı ve metallerde neden oldukları korozyondur. Ötektik tuz-su çözeltileri, düşük erime sıcaklıkları ile düşük sıcaklığa gereksinim duyulan uygulamalarda kullanılabilir, dolayısıyla ev tipi buzdolapları için en uygun malzeme olarak düşünülebilir. Tablo 2'de bazı ötektik tuz-su çözeltilerinin özellikleri vardır.

**Tablo 2.** Bazı Tuz – Su Çözeltileri ve Bunların Termal Özellikleri [1]

Malzeme	Erime Noktası (°C)	Karışım Oranı	Erime Entalpisi (kJ/kg)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> - H <sub>2</sub> O	-30,6	30,5% Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	131	1283 (sıvı)
				1251 (katı)
NaCl -H <sub>2</sub> O	-21,2	22,4% NaCl	222	1165 (sıvı)
				1108 (katı)
KCl - H <sub>2</sub> O	-10,7	19,5% KCl	283	1126 (sıvı)
				1105 (katı)
H <sub>2</sub> O	0		333	998 (sıvı)
				917 (katı)

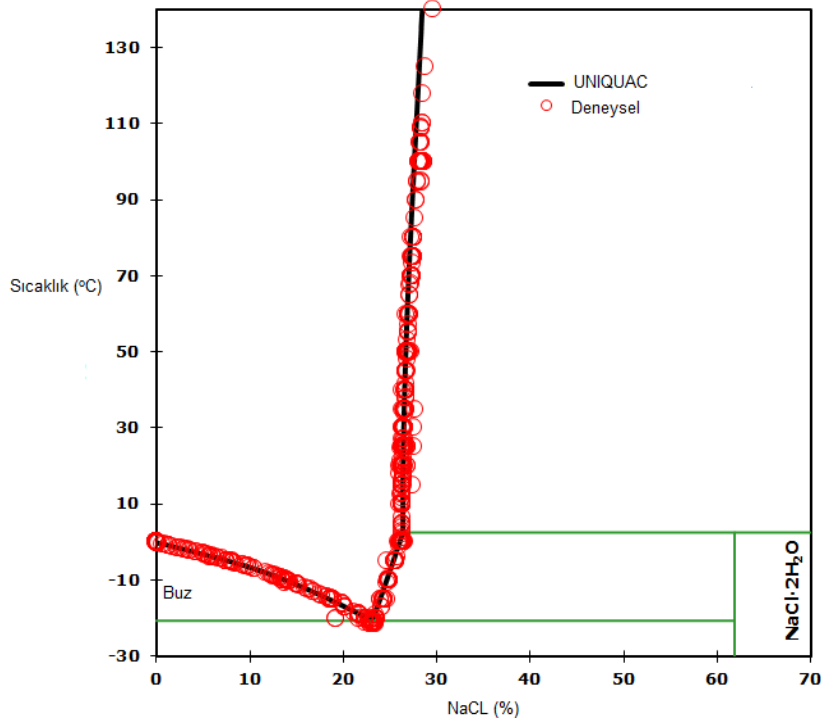
Pek çok FDM, soğuma esnasında faz değişim sıcaklığına erişildiği anda katılaşmaya başlamaz. Katılaşma, faz değişim sıcaklığının bir miktar daha altına düşüldüğünde başlar. Bu aşırı soğuma, (subcooling) denilen durum, moleküler enerji dengeleri ile ilgili olup, FDM kullanımını en çok zorlaştıran konulardan biridir. Bu durum, malzemenin depolayacağı gizli ısı kapasitesini düşürür ve dikkate alınmalıdır. [2] Tipik bir aşırı soğuma eğrisi Şekil 2'deki gibi görülür.

Aşırı soğumaya neden olan temel etken, sıvı haldeki malzeme faz değişim sıcaklığına kadar soğuduğunda katı kristallerinin oluşabilmesindeki zorluktur. Katı kristalleri oluşurken salmaları gereken ısı, gerekli yüzey enerjisinden az olduğunda sistem gerekli ısıyı salamaz ve hal değiştiremez. Oluşan katı kristallerinin yarıçapları çok küçük olduğundan dolayı salınan ısı yüzey enerjisinden daha küçük olabilir. Dolayısıyla, katı kristallerinin oluşabilmesi için gereken gerçek sıcaklık teorik donma sıcaklığından daha düşüktür. [1] Örneğin, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O hidratlı tuzunda, aşırı soğumaya karşı herhangi bir önlem alınmadığı takdirde oluşan aşırı soğuma 30°C'yi bulabilir. [3]

**Şekil 2.** Aşırı Soğuma. [2]

Aşırı soğuma için kullanılan en yaygın yöntem çeşitli çekirdeklenmeye yardımcı olan katkı maddeleri (nucleator) kullanarak heterojen çekirdeklenme sağlanması şeklindedir. Bu katkı maddeleri, katı FDM ile benzer çekirdek yapısına sahip malzemelerdir ve katı kristallerinin kendi yüzeylerinde oluşması ve büyümesine izin verecek yapıya sahiptir. Aşırı soğumayı, herhangi bir katkı maddesi kullanmadan aşmanın yolu, FDM'nin bir bölümünü lokal olarak çok soğuk tutarak sistemde sürekli bir miktar katı FDM tutmaktır. Bu lokal soğutma, peltier etkisi ya da "cold finger" denilen yöntemle yapılır. [1]

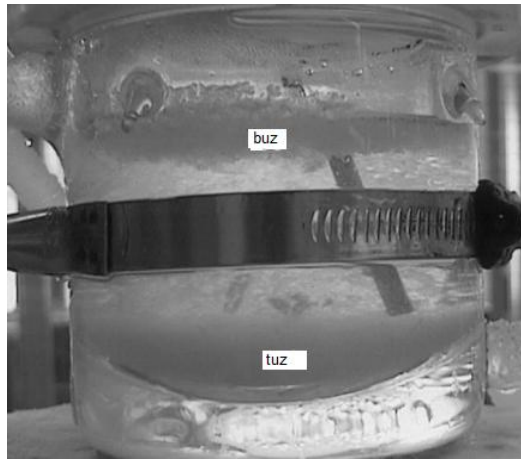
Saf bir malzemenin sıcaklığı donma noktasının altına kadar düşürülerek dondurulduğunda elde edilen donmuş malzemenin karışım oranı, faz değişim entalpisi, erime sıcaklığı gibi fiziksel özellikleri değişmez. Bu tip malzemeler, eşleşik eriyen malzemeler olarak adlandırılır. Malzeme birden fazla bileşen içerdiğinde elde edilen karışımın faz değişim davranışı daha farklı olur. Böyle bir karışımın faz değişimi, Şekil 3'deki gibi faz diyagramları ile açıklanır. Şekil 3'de görülen NaCl – H<sub>2</sub>O çözeltisinin faz diyagramında, %10 tuz ve %90 su içeren çözelti yaklaşık -10°C'nin üstündeki sıcaklıklarda homojen bir sıvı iken, -10°C'nin altına soğutulduğunda karışımdaki su donar ve çöker. Bu olaya faz ayrılması (phase separation) denir. FDM'lerin mühendislik uygulamalarında kullanımını zorlaştıran en önemli noktalardan biri de erime-donma döngüsünün doğurduğu faz ayrılması olayıdır. [1]



**Şekil 3.** NaCl – H<sub>2</sub>O Çözeltisinin Faz Diyagramı [4]

Birden çok bileşen içeren karışımların faz ayrılması olmaksızın hal değiştirebilmeleri için, her bileşenin tam olarak aynı anda hal değiştirmesi gerekmektedir. Bu da ancak ötektik nokta üzerinde olur. Ötektik noktadaki karışımlara, ötektik çözelti denir. Ötektik karışımlar, karışımdaki tüm bileşenlerin minimum sıcaklıkta ve aynı anda hal değiştirdiği karışımlardır. [1] Dolayısıyla, karışımdaki bileşenlerin hiçbiri hal değişimi esnasında diğerinden ayrılmaz ve karışımın termal özellikleri değişmez. Aynı saf malzemelerdeki gibi eşleşik bir şekilde hal değiştirirler. 0 derecenin altında kullanılan FDM'lerin ötektik tuz su çözeltileri arasından seçilmesinin nedeni budur.

FDM içerisinde karışım halinde bulunan birden fazla malzemenin, erime-donma döngüleri esnasında faz ayrılması ile karışımdan ayrılıp farklı fazlar oluşturmaları FDM'nin ısı depolama kapasitesini olumsuz etkiler. [1] Şekil 4'de, tuz-su çözeltisinden oluşan bir FDM'de oluşan faz ayrılmasının doğrudan sonuç görülebilir.



**Şekil 4.** Faz Ayrılması. [1]

Su – tuz çözeltilerinde iki farklı bileşen olduğundan dolayı faz ayrılması karşılaşılabilecek bir sorundur. Bunun önüne geçmek ve karışımın erime - donma döngü sayısını arttırmak için, karışımın ötektik bir karışım olması gerekmektedir. Şekil 3’de görülen, NaCl – H<sub>2</sub>O çözeltilerinin faz diyagramında, karışımdaki bileşenlerin aynı anda hal değiştirdiği nokta ve bu noktadaki tuz – su oranının yaklaşık %23 olduğu görülebilir.

Faz ayrılmasının önüne geçebilmek için “artificial mixing” yöntemi kullanılabilir. Bu, faz ayrılması ortaya çıkmaya başladıktan sonra, karışımı basit olarak karıştırmak şeklindedir. Bu yöntem, ekstra ekipman ihtiyacı doğuracağından dolayı pek çok uygulama için uygun değildir. Bir diğer yöntem ise, karışıma ekstra su veya seyreltilmiş bir karışım eklemek şeklindedir. Bu yöntemde, bir önceki yöntemdeki gibi ekipman ihtiyacının yanı sıra, karışıma ekstra su eklenmesinden dolayı, karışımın ısı depolama kapasitesinin düşmesi söz konusu olabilir. [1]

Faz ayrılması sorununu önlemek için kullanılacak en etkin yöntem, malzemedeki bileşenlerin ayrılacağı mesafeyi sınırlamak şeklindedir. Malzemeyi genişliği birkaç mm’i geçmeyen küçük kaplara yerleştirmek, faz ayrılmasını bir miktar engelleyebilir, ancak bu yeterli olmayabilir. Malzemedeki bileşenlerin ayrılacağı mesafeyi mikroskobik boyutlara indirebilmek için *jelleştirme* yöntemi uygulanır. [1]

Su – tuz çözeltileri kimyasal olarak stabildir, ancak metallerle birlikte kullanıldığında korozyon sorununa yol açabilir. Buhar basınçları ise düşüktür ve donma noktasına yaklaştıkça daha da düşer. [2] Piyasada bu tipte bulunan FDM’ler genelde plastik kaplar içerisinde satılmaktadır.

## 2. EV TİPİ BUZDOLAPLARINDA FAZ DEĞİŞKEN MALZEME UYGULANMASI

Bu bölümde, ev tipi buzdolaplarında faz değişken malzeme uygulanmasıyla alakalı yapılmış, deneysel ve nümerik çalışmaların bir literatür araştırması sunulmuştur.

2011 yılında, Çin Bilim ve Teknoloji Üniversitesi’nde yürütülmüş olan bir çalışmada, buzdolabının kondanser boruları üzerindeki sıcak enerjinin bir FDM ile depolanması amaçlanmıştır. Kondanser boruları üzerinde faz değişken malzeme uygulaması yapılmış, ve bu yeni buzdolabı, normal bir buzdolabı ile enerji verimliliği açısından kıyaslanmıştır. Yeni buzdolabında, kompresör çalışırken kondanserden atılan yoğunlaşma ısısının bir kısmı FDM içerisinde saklanmış ve kompresör durduğunda ise bu ısının dışarı atılması sağlanmıştır. Bu, kondanserden dışarıya olan ısı transferini önemli ölçüde arttırmış, kondanserde daha düşük bir yoğunlaşma sıcaklığı, evaporatörde ise daha yüksek bir buharlaşma sıcaklığı elde edilmiştir. Kullanılan FDM parafin, polietilen ve grafitin karışımından elde edilmiştir. Bu malzemenin faz değişim sıcaklığı ile, kondanserdeki yoğunlaşma sıcaklığı birbiriyle aynıdır. Yapılan testler sonucunda, yeni buzdolabının enerji verimliliği %12 civarı artırılmıştır. [5]

2009 yılında, Benjamin Gin ve Mohammed M. Farid tarafından yürütülmüş olan deneysel çalışmada, bir dondurucunun iç duvarlarına FDM paneller yerleştirilerek, dondurucu içerisindeki hava ve gıda sıcaklıklarının daha stabil hale gelmesi sağlanmıştır. Ayrıca, gıdalar üzerinde nem ve buzlanma analizleri de yapılmış ve FDM panelli dondurucuda gıdalardaki nem kaybının daha az olduğu saptanmıştır. Kullanılan FDM, -15.4°C’de eriyen, su ve amonyum klorür tuzunun (NH<sub>4</sub>Cl) ötektik bir karışımıdır ve bu malzeme 10 mm kalınlıklı alüminyum kaplar halinde dondurucunun iç duvarlarına yerleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, FDM’li dondurucudaki gıda sıcaklığı yaklaşık 5°C’lik bir sapma gösterirken, FDM’siz olanda bu sapma 13°C’ye kadar çıkmıştır. [6]

Benjamin Gin ve ark. tarafından yapılan 2009 tarihli bir çalışmada, buzdolabının iç duvarlarına yerleştirilen FDM paneller ile, defrost ve kapı açılması gibi dolabın ısı yükünün arttığı durumlarda iç sıcaklığın daha stabil olması amaçlanmıştır. Çalışmada, [6]’deki çalışmayla aynı, -15.4°C donma noktasına sahip bir FDM kullanılmıştır. Bu donma sıcaklığındaki FDM’nin kullanılması nedeni, FDM’nin donma noktasının dondurulmuş gıdaların saklanması gereken sıcaklık olan -18°C’ye yakın oluşudur. Çalışma sonucunda, FDM’li buzdolabının defrost ve kapı açılması gibi ısı yükleri karşısında, yaklaşık

%8 daha az enerji tükettiği, defrost esnasında FDM'li buzdolabındaki hava sıcaklığının 2.9°C, ürünlerin sıcaklığının ise 1°C daha az olduğu görülmüştür. [7]

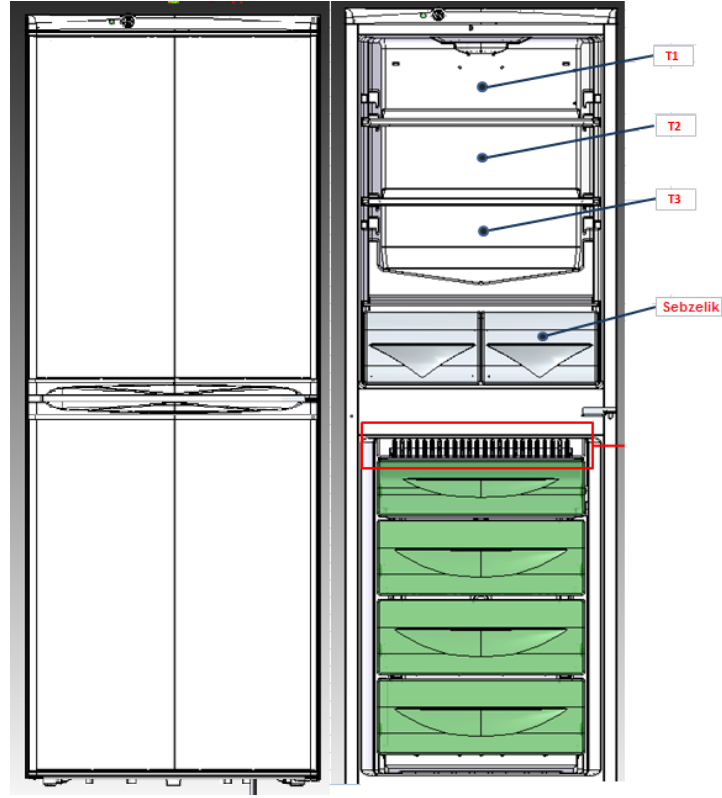
Pradip Subramaniam ve ark. tarafından yürütülen bir çalışmada ise, faz değişken malzeme uygulanmış bir buzdolabının soğutma performans katsayısı deneysel olarak incelenmiştir. Testler sonucunda, 1.56 olan performans katsayısı, FDM ısı alırken 2.0'ye, FDM ısı verirken ise 1.8'e çıkmıştır. [8]

K.Azzouz ve ark. tarafından 2005 ve 2008 yıllarında yapılan çalışmalarda, ev tipi bir buzdolabının evaporatörüne FDM dolu panel uygulamasıyla enerji verimliliğini yükseltmek üzerine matematiksel bir model hazırlanmıştır. [9][10] FDM'li ve FDM'siz dolaplar için diferansiyel denklemler kurulmuş ve bunlar nümerik olarak çözülmüştür. Modelde, -6°C ile 0°C aralığında faz değişim sıcaklığına sahip malzemeler FDM olarak kullanılmış ve FDM'nin faz değişim sıcaklığının performans katsayısı ve dolap içi sıcaklığına etkisi incelenmiştir. Malzeme buzdolabının kabininin arka yüzeyine yerleştirilmiştir. Çalışmada, FDM panelli buzdolabının minimum evaporatör sıcaklığının -19°C'den -7°C'e çıktığı, bunun sonucu olarak kompresörün daha az çalıştığı, dolayısıyla enerji tüketiminin azaldığı, buzdolabının performans katsayısının 1.09'dan 1.9'a çıktığı gözlemlenmiştir. Çalışmada, dolap içi hava sıcaklığının zamana göre değişiminin daha stabil olduğu gözlemlenmiştir.

2009 yılında, Azzouz ve ark. 2005 ve 2008 yıllarında yaptıkları nümerik çalışmayı deneysel olarak tekrarlamışlardır. Çalışmada, FDM olarak su ve -3°C donma sıcaklığında bir tuz-su ötektik çözeltisi kullanılmıştır. Çalışmada, FDM'nin buzdolabının kompresörünün çalışma süresinde 5-9 saat civarında azalış, performans katsayısında %10-30 civarı artış gözlemlenmiştir. FDM olarak ötektik çözelti kullanıldığında, sistemin ısı depolama kapasitesinin bir miktar düştüğü, ancak dolap içi sıcaklıkların daha düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. [11]

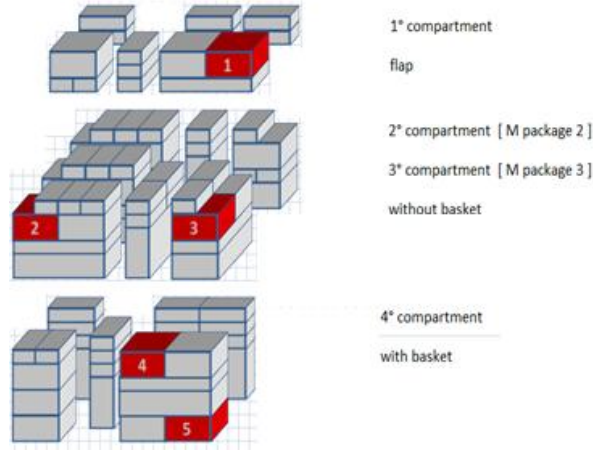
### 3. ÇÖZÜM, SICAKLIK DAĞILIMLARI VE FDM UYGULANABİLECEK BÖLGELER

Çalışmamızda, FDM uygulanacak olan kısmi no – frost ev tipi buzdolabındaki sıcaklık dağılımları, nümerik olarak kararlı durum için sayısal olarak incelenmiş ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler TSE 15502 standardına göre yapılmaktadır. Buzdolabı dondurucu bölgesine, bu bölgeye konulan gıda maddelerinin doğurduğu ısıl yükü temsil etmesi için termal özellikleri dana etine yakın olan termal yükler konmaktadır. Bu termal yüklerin merkezlerine yerleştirilen ısılıçiftler ile dondurucu bölgeden sıcaklık ölçümleri yapılmaktadır. Soğutucu hacimde yapılan sıcaklık ölçümleri, soğutucu hacmin raflarının ayırdığı bölmelerin tam ortalarına yerleştirilen 3 farklı ısılıçift ve sebzelik bölgesinin ortasına yerleştirilen 1 adet ısılıçift ile yapılmaktadır. Bu deneylerden elde edilen sıcaklık verileri, analizlerden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. 25°C ortam sıcaklığındaki analiz ve deney verilerinin uyduğu gözlemlendikten sonra analizler 16°C ve 43°C ortam sıcaklıkları için tekrarlanmıştır. Buzdolabının genel bir görüntüsü ve T1, T2 ve T3 noktaları, Şekil 5 üzerinde görülebilir.



**Şekil 5.** Buzdolabının Genel Görüntüsü ve Soğutucu Bölmedeki Sıcaklık Ölçümü Yapılan Noktalar.

Dondurucu bölgeye yerleştirilen termal kütleler, dondurucu bölgede bulunan çekmeceler içerisine yerleştirilmektedir. Bu kütlelerin yükleme planı Şekil 6'da verilmiştir. Ölçüm alınan termal kütleler ise kırmızı renk ile belirtilmiş ve numaralandırılmıştır.



**Şekil 6.** Dondurucu Bölgeye Yerleştirilen Termal Kütlelerin Yükleme Planı.

Kısmi no-frost buzdolabında, dondurucu bölgede lamelli evaporatör, soğutucu bölgede ise serpantin tipte evaporatör kullanılır. Dondurucu bölgede, evaporatörün lamelleri arasından bir fan yardımı ile soğutulmuş geçen hava, "multi – flow" kanalı ile dondurucu bölgeye dağıtılır ve emiş ızgarası ile tekrar evaporatör bölgesine geri döner. Soğutucu bölgede ise, hava serpantin tipte evaporatör üzerinden herhangi bir fan yardımı olmaksızın doğal taşınım yolu ile soğutucu bölge içerisinde dağılır. Dolayısıyla, en soğuk ve FDM uygulaması düşünülebilecek bölgeler, evaporatörün bulunduğu yerler ve lamelli evaporatörden çıkan havanın dondurucunun iç hacmine üflendiği yerlerdir.



Buzdolabındaki statik sıcaklık dağılımlarını görmek ve FDM yerleştirilebilecek en soğuk bölgeleri belirlemek amacıyla, ANSYS FLUENT yazılımı kullanılarak kararlı nümerik analizler, 16, 25, ve 43°C olmak üzere 3 farklı dış ortam sıcaklığı için gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde uygulanan varsayımlar aşağıdaki gibidir.

1. Buzdolabı içerisindeki akış sıkıştırılmaz ve kararlı bir akıştır.
2. Buzdolabı içerisinde doğal ve zorlanmış konveksiyon söz konusu olduğundan, Boussinesq yaklaşımı kullanılmıştır.
3. Havanın termal özellikleri sabittir.
4. Türbülans etkileri göz ardı edilemeyeceğinden dolayı, Spalart – Allmaras türbülans modeli uygulanmıştır.

Analizlerde, ANSYS FLUENT programı ile çözülen süreklilik, momentum ve enerji denklemleri 3, 4, 5, 6 ve 7. eşitliklerde verilmiştir.

Süreklilik:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Momentum Denklemleri:

$$x: u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

$$y: u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

$$z: u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - \rho \beta (T - T_0) g_z \quad (6)$$

Enerji Denklemi:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (7)$$

Türbülans etkilerini çözmek için kullanılan Spalart – Allmaras metodunda çözülen denklem 8. eşitlikte verilmiştir. [12]

Spalart – Allmaras:

$$\frac{\partial \hat{\nu}}{\partial t} + u_j \frac{\partial \hat{\nu}}{\partial x_j} = c_{b1}(1-f_{t2})\hat{S}\hat{\nu} - \left[ c_{w1}f_w - \frac{c_{b1}}{\kappa^2}f_{t2} \right] \left( \frac{\hat{\nu}}{d} \right)^2 + \frac{1}{\sigma} \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} \left( (\nu + \hat{\nu}) \frac{\partial \hat{\nu}}{\partial x_j} \right) + c_{b2} \frac{\partial \hat{\nu}}{\partial x_i} \frac{\partial \hat{\nu}}{\partial x_i} \right] \quad (8)$$

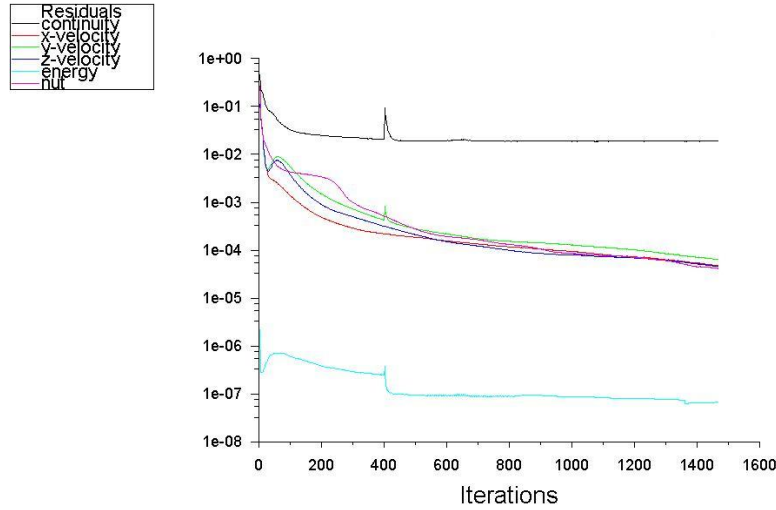
Buzdolaplarının kapıları ve gövdesi, en dıştan içeriye doğru paslanmaz çelik, poliüretan ve plastikten oluşmaktadır. Bu yapıyı oluşturan malzemelerin ve dondurucudaki termal kütlelerin termal özellikleri literatürden bulunarak malzemeler FLUENT içerisinde tanımlanmışlardır. Evaporatörler ve hot – gas sıcaklığı sınır şartlarının belirlenmesinde deneysel veriler, fanın basınç yükselmesi değerinin belirlenmesinde fan eğrisi, ortamdaki konveksiyon sıcaklığı ve katsayısının belirlenmesinde ise literatürde önceden belirlenen kullanılan değerler kullanılmıştır. Arka bölge, alt bölge ve kompresörün bulunduğu bölge için ortam sıcaklıkları, her dış ortam sıcaklığı için diğer bölgelerden 5°C daha yüksek alınmıştır. Kullanılan sınır şartları, Tablo 3'de görülebilir.

**Tablo 3.** Sınır Şartları

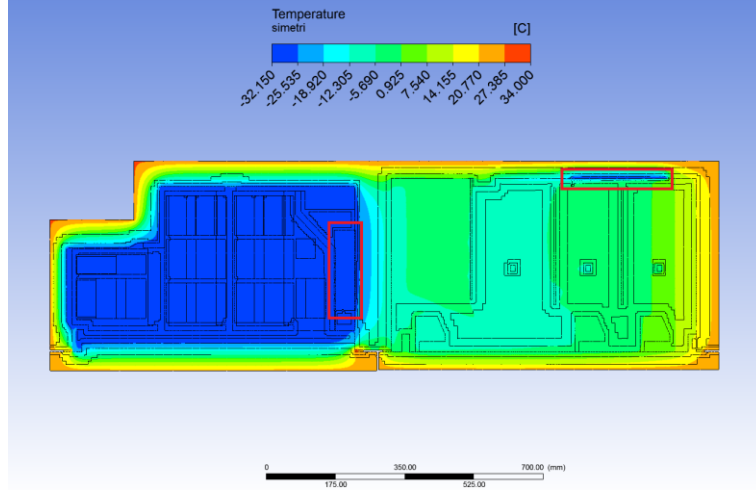
Ön, Yan ve Üst Yüzeyler	$h = 4.5, T = 16^{\circ}\text{C}, 25^{\circ}\text{C}, 43^{\circ}\text{C}$
Arka, Alt Yüzeyler ve Kompresörün Bulunduğu Bölge	$h = 4.5, T = 21^{\circ}\text{C}, 30^{\circ}\text{C}, 48^{\circ}\text{C}$
Evaporatör (Soğutucu) Sıcaklığı	$T = -32^{\circ}\text{C}$
Evaporatör (Dondurucu) Sıcaklığı	$T = -32^{\circ}\text{C}$
Fan	$\Delta P = 70 \text{ Pa}$
Hot Gas Borusu	$T = 34^{\circ}\text{C}$

Buzdolabının geometrisi oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğundan, çözüm ağındaki (mesh) hücre sayısını azaltmak amacıyla, buzdolaplarının geometrisi SolidWorks yazılımı ile basite indirgenerek yeniden çizilmiştir. Buzdolabının geometrisi yaklaşık olarak simetrik olduğundan dolayı yalnızca bir yarısı çizilmiş ve simetri kesiti için simetri sınır şartı kullanılmıştır. "Hexahedral" hücre yapısı kullanılarak oluşturulan çözüm ağındaki hücre sayısı yaklaşık 14 milyon adettir.

Çözümde, hızlar ve türbülans ile ilgili büyüklüklerin yakınsama değerlerinin  $10^{-3}$ , sıcaklığın yakınsama değerinin ise  $10^{-6}$  değerinin altında olması dikkate alınmıştır. Çözüm sonucunda  $25^{\circ}\text{C}$  dış ortam sıcaklığı için elde edilen yakınsama grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'de, sürekliliğin yakınsamasının diğerlerine göre daha büyük olduğu görülebilir. ( $5 \times 10^{-2}$  civarı) Ancak, yaklaşık 1400 iterasyon sonucunda ölçüm noktalarımızdaki sıcaklıklar stabil hale geldiğinden dolayı bu durum gözardı edilmiştir.

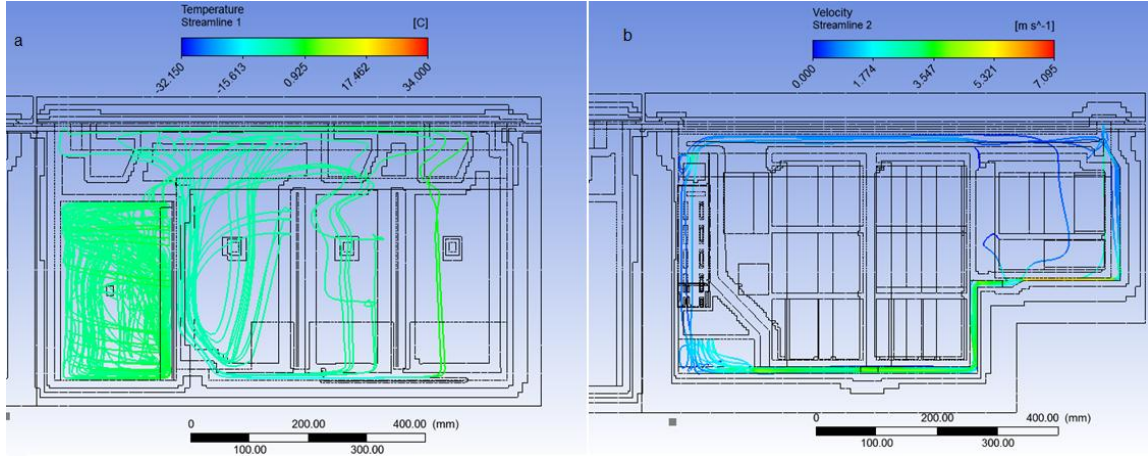
**Şekil 7.**  $25^{\circ}\text{C}$  Ortam Sıcaklığındaki Analiz İçin İçin Elde Ettiğimiz Yakınsama

Sıcaklığın yeterince düşük olduğu bölgelerin FDM uygulaması için uygun olduğu düşünülmektedir. Bu tipteki geniş alana sahip olan bölgeler aşağıda verilen şekillerde kırmızı çemberler ile belirtilmiş ve numaralandırılmıştır. Simetri yüzeyindeki sıcaklık dağılımı Şekil 8'de, dondurucu ve soğutucu bölmelerdeki hava akım çizgileri Şekil 9'da, dondurucu evaporatör ve seperatördeki sıcaklık dağılımları Şekil 10'da, dondurucu arka, sağ ve alt duvardaki sıcaklık dağılımları Şekil 11'de, soğutucu arka duvardaki sıcaklık dağılımı ise Şekil 12'de verilmiştir.



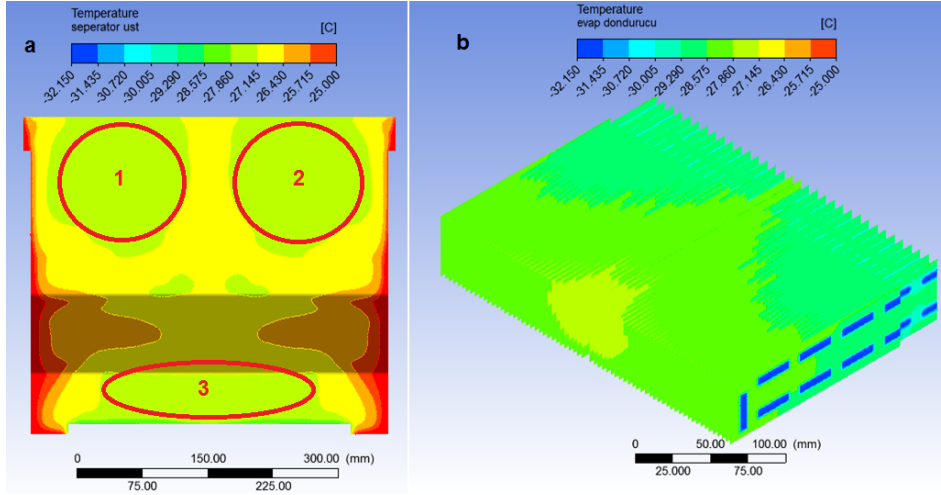
**Şekil 8.** Simetri Yüzeyindeki Sıcaklık Dağılımı

Şekil 8'de, sıcaklığı  $-32$  ile  $-25^{\circ}\text{C}$  arasında değişen bölme dondurucuya, sıcaklığı  $-12$  ile  $14^{\circ}\text{C}$  arası değişen bölge ise soğutucuya aittir. Bu buzdolabında, aynı kompresöre bağlı, birisi serpantin tipte, diğeri ise lamelli olmak üzere 2 adet evaporatör mevcuttur ve bu evaporatörlerin bulunduğu bölgeler kırmızı kutular ile Şekil 8'de belirtilmiştir. En soğuk bölgeler, evaporatör bölgeleri, seperatör, dondurucu arka duvar ve dondurucu evaporatöründen çıkan soğuk havanın çarptığı alt ve arka duvarlardır. Bu bölgelerin, FDM uygulanması için en uygun bölgeler oldukları düşünülmektedir.



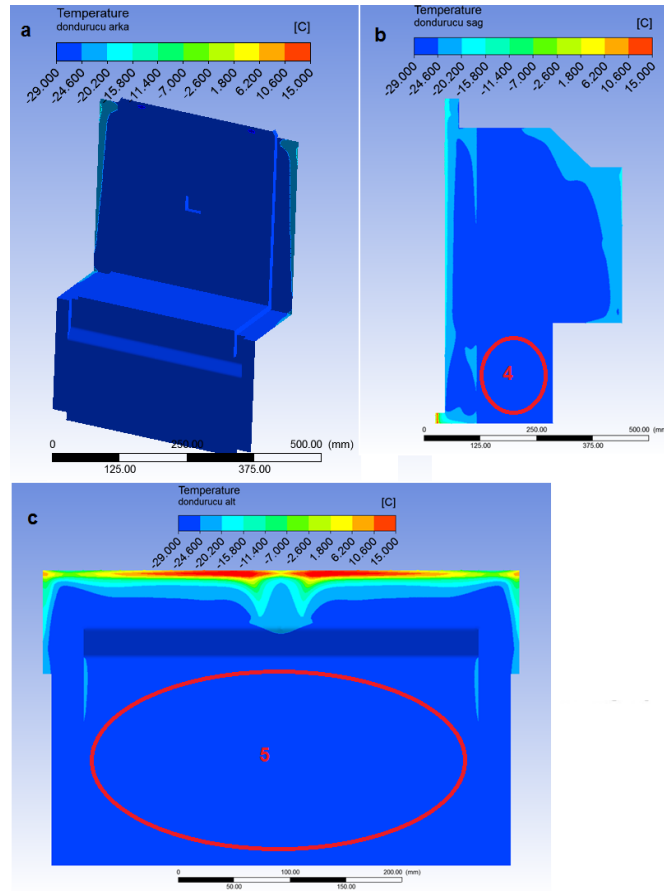
**Şekil 9. a – Soğutucu, b – Dondurucu Bölgelerdeki Akım Çizgileri**

Şekil 9'da dondurucu ve soğutucu bölgelerdeki akım çizgileri ayrı ayrı görülmektedir. Soğutucu bölgelerde, hava akışı tamamen doğal konveksiyonla gerçekleştiğinden dolayı hava hızları çok düşüktür. (en hızlı olduğu yerde yaklaşık  $0.2$  m/s). Ayrıca, Şekil 10'da görülebileceği gibi en yüksek ve en düşük sıcaklık arasındaki fark da çok yüksektir.



**Şekil 10. a** – Separatördeki, **b** – Evaporatör Lamellerindeki Sıcaklık Dağılımı

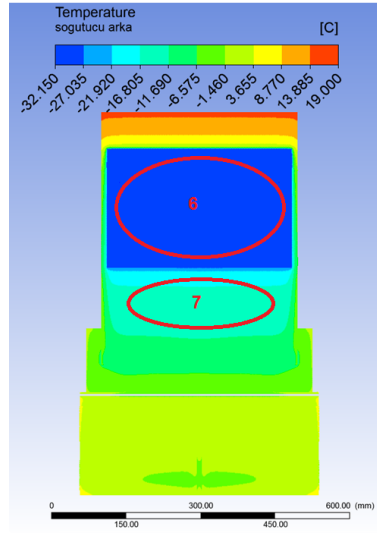
Şekil 10'da, dondurucu evaporatörü üzerindeki ve seperatör (evaporatörün altında bulunan alüminyum plaka) üzerindeki sıcaklık dağılımları verilmiştir. 1, 2 ve 3 ile belirtilen bölgelerde sıcaklıklar  $-27^{\circ}\text{C}$  ile  $-28^{\circ}\text{C}$  aralığındadır ve bu bölgeler FDM uygulanması için elverişli olabilir.



**Şekil 11. a** – Dondurucu Arka Duvar, **b** – Dondurucu Sağ Duvar, **c** – Dondurucu Alt Duvar.

Şekil 11'de, dondurucu arka, sağ ve alt duvardaki sıcaklık dağılımları görülmektedir. Dondurucu arka duvarında, soğuk havayı dağıtan multi – flow kanalı bulunduğu için sıcaklık oldukça düşüktür. Alt duvarda, ön yüzeye yakın bölgeler hot – gas borusu sıcaklığından etkilenmiştir, kalan bölgelerde

ise sıcaklık yaklaşık  $-29^{\circ}\text{C}$  ile  $-24^{\circ}\text{C}$  aralığındadır. 4 ve 5 ile belirtilen bölgelere, multi - flowdan çıkan hava temas ettiğinden dolayı sıcaklıkları oldukça düşüktür, dolayısıyla FDM uygulanması için uygun olabilir.



**Şekil 12.** Soğutucu Arka Duvardaki Sıcaklık Dağılımı

Şekil 12'de, soğutucu bölmenin arka duvarındaki sıcaklık dağılımı verilmiştir 6 ile belirtilen bölge soğutucu evaporatörünün bulunduğu bölgedir ve bu bölge FDM uygulanması için uygun olabilir. Bu bölgenin altında kalan ve 7 ile belirtilen bölgedeki sıcaklık  $-21$  ile  $-18^{\circ}\text{C}$  aralığındadır ve bu bölgeye de ayrı bir FDM uygulanabilir.

Tablo 4'de, soğutucu bölme içerisinde, önceden belirlenmiş T1, T2, T3 noktalarındaki ve sebzelikteki sıcaklıklarının ve de dondurucu bölmede bulunan termal kütle sıcaklıklarının deneysel verilerle karşılaştırması verilmiştir. Tablo 5 ve 6 da ise sırasıyla dondurucu ve soğutucu bölgelerdeki ısı transfer katsayıları verilmiştir.

Tablo 4'de görülebileceği gibi, T1 sıcaklığı ve termal kütlelerdeki hata payları 1 ile 2 derece arasındadır. T2, T3 ve sebzelik sıcaklıklarındaki hata payları ise 1 derecenin altındadır. Bu hata paylarının, nümerik analizlerde yapılan varsayımlar ve deneysel ölçümlerdeki bazı belirsizlikler göz önüne alındığında kabul edilebilir seviyede oldukları düşünülmektedir.

**Tablo 4.** Bazı Noktalardan Ölçülmüş Sıcaklıkların ve Termal Kütlelerin Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

	SOĞUTUCU SICAKLIKLARI				DONDURUCU SICAKLIKLARI				
	T1 ( $^{\circ}\text{C}$ )	T2 ( $^{\circ}\text{C}$ )	T3 ( $^{\circ}\text{C}$ )	Sebzelik ( $^{\circ}\text{C}$ )	M1	M2	M3	M4	M5
Deneysel	-2,25	-7,98	-10,64	-7,25	-29	-28	-29	-30	-30
Nümerik	-4	-8	-10	-7	-27,09	-27,3	-28,15	-28,07	-28,21
Hata	1,75	0,02	-0,64	-0,25	-2	-1	-1	-2	-2

**Tablo 5.** Dondurucu İç Duvar Ortalama Isı Transfer Katsayıları

	Alt Duvar	Üst Duvar	Ön Duvar	Arka Duvar	Sağ Duvar	Sol Duvar
Ortalama Hacimsel Sıcaklık (K)	245,65					
Yüzeyden Geçen Isı Miktarı (W)	1,29		2,33		2,81	2,81
Yüzeyden Geçen Isı Akısı ( $\text{W}/\text{m}^2$ )	24,29		14,26		12,77	12,77
Yüzey Sıcaklığı (K)	247,29		248,19		247,56	247,56
Isı Transfer Katsayısı ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )	14,81		5,61		6,69	6,69

**Tablo 6.** Soğutucu İç Duvar Ortalama Isı Transfer Katsayıları

	Alt Duvar	Üst Duvar	Ön Duvar	Arka Duvar	Sağ Duvar	Sol Duvar
Ortalama Hacimsel Sıcaklık (K)	270,05					
Yüzeyden Geçen Isı Miktarı (W)	-0,013	0,24	1,43	6,38	2,40	2,40
Yüzeyden Geçen Isı Akısı ( $W/m^2$ )	-0,13	2,75	5,39	50,00	7,68	7,68
Yüzey Sıcaklığı (K)	267,10	287,43	272,18	257,88	272,98	272,98
Isı Transfer Katsayısı ( $W/m^2K$ )	0,00	0,01	0,02	0,19	0,03	0,03

## SONUÇ

Kararlı analizlerin kısa bir özeti maddeler halinde aşağıdaki gibidir.

1. Kararlı analizler sonucunda elde edilmiş olan soğutucu ve dondurucu bölmelerin duvarlarındaki sıcaklık dağılımları çizdirilmiş ve FDM yerleştirilmesi için uygun olduğu düşünülen bölgeler tesbit edilmiş ve numaralandırılmıştır. Bu bölgeler, buzdolaplarının soğutucu ve dondurucu bölmelerindeki en soğuk, yani “soğuk depolama” için en uygun bölgeler olduklarından dolayı FDM için uygun oldukları düşünülmüştür. Ancak, bir bölgede depolanmış olan soğuk enerjinin buzdolabının içerisine aktarılabilir durumda olması gerekmektedir. Dolayısı ile, soğuyan ancak buzdolabının çalışma süresi boyunca soğuk kalan bölgeler FDM uygulanması için uygun olamaz. Bunun için, bu bölgelerin sıcaklıklarının zamana göre nasıl değiştiğinin bilinmesi gerekmektedir. Yapılacak olan zamana bağlı analizlerde bu bölgelerin sıcaklık zaman grafikleri elde edilecek ve FDM için uygun olup olmadıklarına karar verilecektir. Ayrıca, kondanser ve kompresör gibi sıcak kaynaklara yakın olan bölgelere yapılacak olan FDM uygulaması, bu bölgelerdeki izolasyonu kötü yönde etkileyecektir ve bu duruma karşı bir önlem alınmalıdır.
2. Kararlı sayısal analizler sonucunda elde edilen veriler, aynı şartlar altında yapılan kararlı deneyler ile çok yakın bir örtüşme göstermiştir. Termal yük paketlerindeki sıcaklıklar ortalama 1,5-2°C kadar daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun, buzdolabının alt yüzeyindeki ısı transferi katsayısının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
3. Buzdolabının soğutucu ve dondurucularının tüm iç duvarlarındaki ortalama konveksiyonlu ısı transfer katsayıları, dış ortamdan içeriye giren ısı miktarları ve akıları, dondurucu iç duvarları için Tablo 5’de, soğutucu iç duvarları için ise Tablo 6’da sunulmuştur. Tabloda boş bırakılan kutular olmasının nedeni, o bölgelerde uygun şekilde tanımlanmış bir yüzey olmadığından dolayı ölçüm alınamaması veya çıkan sonuçların mantıklı olmamasıdır.
4. Tablo 5 ve 6’da, dış ortamdan içeriye doğru giren ısılar + ile, içeriden dışarıya çıkan ısılar ise - ile işaretlendirilmiştir. Dondurucuya giren toplam ısı miktarı, dondurucudaki ortalama hava sıcaklığının daha düşük olmasından dolayı daha fazladır. Ayrıca, Tablo 5’e dikkat edilirse, dondurucu arka duvarındaki ısı akısının çok yüksek olduğu görülebilir. Bu duvarın dış yüzeyinde sıcak bir kaynak olan kondanser, iç yüzeyinde ise evaporatörden çıkan sıcaklığı çok düşük hava bulunmaktadır. Isı akısının çok yüksek çıkmasının nedeninin bu olduğu düşünülmektedir. Bu bölgeye yapılacak olan FDM uygulanması sonucunda düşecek olan izolasyon, bu ısı transferini daha da arttıracaktır ve bu durum ile ilgili önlem alınması gerekebilir. Aynı durum, Tablo 6’da soğutucu arka duvar için de söz konusudur. Bunun nedeni, arka duvara yerleştirilmiş olan serpantin evaporatörden dolayı arka duvarın ortalama sıcaklığının diğer soğutucu duvarlarına göre daha düşük olmasıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] HERALD MEHLING, LUISA F. CABEZA, Heat and cold storage with PCM, An up to date introduction into basics and applications, 2008.
- [2] FREDERIC KUZNIK, DAMIEN DAVID, KEVYN JOHANNES, JEAN-JACQUES ROUX. A review on phase change materials integrated in building walls. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 379–391.

- [3] MOHAMMED M. FARID, AMAR M. KHUDHAIR, SIDDIQUE ALI K. RAZACK, SAID AL-HALLAJ. A review on phase change energy storage: materials and applications. Energy Conversion and Management 45 (2004) 1597–1615.
- [4] Erişim tarihi: 03.09.2012. <http://www.phasediagram.dk/binary/>
- [5] WEN-LONG CHENG, BAO-JUN MEI, YI-NING LIU, YONG-HUA HUANG, XU-DONG YUAN. A novel household refrigerator with shape-stabilized FDM (Phase Change Material) heat storage condensers: An experimental investigation. Energy xxx (2011) 1e8
- [6] BENJAMIN GIN, MOHAMMED M. FARID. The use of FDM panels to improve storage condition of frozen food. Journal of Food Engineering 100 (2010) 372–376
- [7] B. GIN, M.M. FARID, P.K. BANSAL. Effect of door opening and defrost cycle on a freezer with phase change panels. Energy Conversion and Management 51 (2010) 2698–2706
- [8] PRAIP SUBRAMANIAM, CHETAN TULAPURKAR, RAMASAMY THIYAGARAJAN, G. THANGAMANI. Phase Change Materials For Domestic Refrigerators To Improve Food Quality And Prolong Compressor Off Time. International Refrigeration and Air Conditioning Conference. 2010
- [9] K. AZZOUZ, D. LEDUCQ, J. GUILPART, D GOBIN. Improving the energy efficiency of a vapor compression system using a phase change material. Second Conference on Phase Change Material & Slurry, Scientific Conference & Business Forum. 15 – 17 June 2005.
- [10] K. AZZOUZ, D. LEDUCQ, D GOBIN. Performance enhancement of a household refrigerator by addition of latent heat storage. International Journal of Refrigeration 31 (2008) 892–901
- [11] K. AZZOUZ, D. LEDUCQ, D GOBIN. Enhancing the performance of household refrigerators with latent heat storage: An experimental investigation. International Journal of Refrigeration 32 (2009) 1634–1644
- [12] Erişim tarihi: 03.09.2012 <http://turbmodels.larc.nasa.gov/spalart.html>

## ÖZGEÇMİŞ

### Çağlar COŞKUN

1987 yılı İzmir doğumludur. 2011 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Halen aynı üniversitenin Makina Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans eğitimini sürdürmekte ve Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Isı transferi, akışkanlar mekaniği ve sayısal analiz (CFD) konuları ile ilgilidir.

### Gürcan DURMAZ

1982 yılı İzmir doğumludur. 2005 yılında Celal Bayar Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünden 2009 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2007-2010 yılları arasında İZTEK AŞ. Firmasında Ar-Ge Mühendisi olarak, 2010-2011 yılları arası KLİMASAN AŞ. de Ar-Ge Soğutma Sistem Mühendisi olarak görev yapmış ve 2011 yılından beri İNDESIT Company Beyaz Eşya ve Tic. AŞ. de Inovasyon mühendisi olarak görev almaktadır. Isı transferi, akışkanlar mekaniği, sayısal analiz (CFD) ve katı modelleme konularında çalışmaktadır.

### Ünver ÖZKOL

1970 yılı İzmir doğumludur. 1991 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Illinois Institute of Technology, Chicago, ABD'den akışkanlar mekaniği ve ısı transferi konularında araştırma çalışmaları yürütmüş ve bu okuldan 1996 yılında Yüksek lisans ve 2002 yılında da doktor ünvanını almıştır. 2000-2001 yıllarında INTEL Corp.'de ve 2002-2006 yılları arasında da ASELSAN A.Ş.'de ısı transferi/tasarım mühendisi olarak görev yapmıştır. 2006 yılından itibaren İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde Yardımcı Doçent Dr. Olarak görev yapan Dr. Özkol'un yakın zamandaki çalışma konuları i- yüksek ısı akıllı soğutma teknikleri, ii- Gözenekli yapılar içinde akışlar, iii- Isı boruları ve iv- endüstriyel uygulamalarda sayısal çözümleme yöntemleri akış ve ısı transferi olarak özetlenebilir.