

**ENERJİ DEPOLAMALI YENİ NESİL BİR MOTOSİKLET
KASKI TASARIMI VE ISIL ANALİZİNİN YAPILMASI**

Çetin YAVUZ

**Yüksek Lisans Tezi
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ahmet KOCA**

EYLÜL - 2015

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ DEPOLAMALI YENİ NESİL BİR MOTOSİKLET KASKI TASARIMI VE ISIL
ANALİZİNİN YAPILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çetin YAVUZ

Enstitü No: 122134102

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: ...09.2015

Tezin Savunulduğu Tarih:09.2015

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet KOCA (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Yasin VAROL (F.Ü.)
Doç. Dr. Rasim BEHÇET (İ.Ü.)

EYLÜL - 2015

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının bütün aşamalarında bana destek verip yol gösteren, bilgilerini özenle paylaşıp yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Ahmet KOCA' ya ve tez konumu belirlemekle birlikte yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP' a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Almış olduğum yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerini ve tecrübelerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, büyük bir sabır ve anlayışla beni dinleyip her türlü problemin üstesinden gelmemde bana yardımcı olan, her daim yanımda olan değerli arkadaşım ve abim Mert GÜRTÜRK' e en içten ve en samimi teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda bu çalışma süreci boyunca yine bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen ve paylaşan değerli arkadaşım ve hocam Müfdat FIRAT' a en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu tez çalışması süreci boyunca her zaman yanımda olan bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli dostlarım Mehmet Cem Menteş, Halil İbrahim YAMAÇ, Ali TAŞKIRAN ve Gamze Pelin AKSOY' a teşekkürlerimi sunarım.

Gerek yüksek lisans gerekse hayatın bir çok anında her daim desteğini benden esirgemeyen, tecrübelerini ve bilgilerini benimle sürekli paylaşan değerli abim ve akrabam İlhami GÜRBÜZ' e en içten dileklerimi sunar ve teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatımın her anında hiçbir zaman desteklerini benden esirgemeyen, büyük bir sabır ve anlayışla bu süreçte yanımda olan ve beni dinleyen, maddi ve manevi bütün sıkıntılarında yanımda olan, beni teselli eden ve dualarını asla eksik etmeyen değerli ailem' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çetin YAVUZ
ELAZIĞ – 2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ I

İÇİNDEKİLER..... II

ÖZET.....IV

SUMMARY V

ŞEKİLLER LİSTESİ..... VI

TABLolar LİSTESİIX

SEMBOLLER LİSTESİ..... X

KISALTMALARXI

1. GİRİŞ..... 1

1.1. Literatür Araştırması 2

2. MATERYAL VE METOT..... 12

2.1. Termal Enerji ve Termal Enerji Depolama Yöntemleri (TED) 12

2.1.1. Duyulur Isı Depolama Yöntemi 14

2.1.2. Termokimyasal Isı Depolama Yöntemi 15

2.1.3. Gizli Isı Depolama Yöntemi..... 17

2.2. Faz Değiştiren Maddeler (FDM)..... 19

2.2.1. Termodinamik Kriterler 21

2.2.2. Fiziksel Kriterler..... 21

2.2.3. Kimyasal Kriterler 22

2.2.4. Ekonomik Kriterler..... 22

2.3. FDM' lerin Kullanım Ömürleri 24

2.4. Gizli Isı Depolama Sistemlerinin Analizi 24

2.4.1. Tam Analitik Çözümler..... 25

2.4.2. İntegral Metot 25

2.4.3. Hareketli Isı Kaynağı Yöntemi..... 25

2.4.4.	Pertürbasyon Yöntemi	25
2.4.5.	Sayısal Yöntemler	26
2.5.	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)	26
2.6.	Sonlu Hacimler Metodu	29
2.7.	Erime/Katılaşma ve FLUENT	30
2.8.	Erime ve Katılaşmanın Teorisi	30
2.9.	Sayısal Grid Oluşumu	31
2.10.	Grid Kalitesi	33
2.11.	Yönetici Denklemler	33
2.12.	Kask Tasarımının Tanıtılması	35
2.13.	Kask Tasarımının Ağ Yapısı	37
2.14.	Kaskın Sayısal Modellemesinde Kullanılan FDM' nin Termofiziksel Özellikleri	38
3.	BULGULAR	42
3.1.	FDM' lerin Erime Süreçlerinin İncelenmesi	44
3.1.1.	RT-27 FDM' sinin Erime Sürecinin İncelenmesi	45
3.1.2.	n-Octadecane FDM' sinin Erime Sürecinin İncelenmesi	52
3.1.3.	n-Nonadecane FDM' sinin Erime Sürecinin İncelenmesi	58
3.2.	Erime Süreci İçin Sıcaklık- Zaman Adımı Grafikleri	65
3.2.1.	RT-27' nin Sıcaklık-Zaman Adımı Grafiği	65
3.2.2.	n-Octadecane' nin Sıcaklık-Zaman Adımı Grafiği	66
3.2.3.	n-Nonadecane' nin Sıcaklık-Zaman Adımı Grafiği	68
3.2.4.	Sıcaklık Zaman Adımı Grafiklerinin Karşılaştırması	69
3.3.	Erime Süreci İçin Sıvı Oranı-Zaman Adımı Grafiği	71
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	72
5.	ÖNERİLER	73
	KAYNAKLAR	74
	ÖZGEÇMİŞ	79

ÖZET

Gelişen modern teknolojiler ve konfor odaklı yaşam tarzı nedeniyle günümüzde enerjinin tüketim oranı hızla artmaktadır. Ortaya çıkan bu enerji tüketim hızının karşılanabilmesi ve enerjinin daha verimli kullanılabilmesi için birçok çalışma yapılmaktadır.

Isı enerjisinin depolanarak sonradan kullanılması yıllardır bilim insanlarının ilgilendiği konuların başında gelmektedir. Bu amaçla çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de faz değişimi esnasında (genellikle katı-sıvı fazı) büyük oranda ısı enerjisi depolayabilen malzemelerin kullanılmasıdır. Faz değiştiren maddeler ısı enerjisinin depolanabilmesi ve daha verimli kullanılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte faz değiştiren maddeler günümüzde birçok alanda kullanılmakta ve kullanımı da gittikçe artmaktadır.

Bilindiği gibi dünya üzerinde motosiklet kullanımı oldukça fazladır. Fakat motosiklet sürücüleri yaz aylarında kask içerisinde meydana gelen sıcaklık artışından dolayı büyük sıkıntılar çekmektedir. Bununla birlikte meydana gelen bu sıcaklık artışı sürücünün dikkatinide olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum ise sürücünün sürüş sırasında kaza yapma riskini arttırmaktadır.

Bu çalışmada, motosiklet sürücülerinde var olan bu sorunu tanımlamak için yeni nesil bir motosiklet kaskı tasarlanmış ve tasarlanan bu kaskın iç kısmına FDM yerleştirilerek, FDM' lerin erime süreçlerinin sayısal analiz yapılmıştır. Kask tasarımı, tasarlanan kaskın ağ yapısının oluşturulması ve analiz süreci ANSYS FLUENT paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada FDM olarak üç adet parafin kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda FDM' lerin zamana bağlı olarak kask içerisinde meydana getirdiği sıcaklık değerleri ve zamanla değişen sıvı oranları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda çalışmada kullanılan FDM' ler arasında en iyi serinletme süresini n-Nonadecane' nin sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Gizli Isı Depolama, Sayısal Analiz, ANSYS FLUENT, Motosiklet Kaskı

SUMMARY

A NEW GENERATION MOTORCYCLE HELMET DESIGN OF ENERGY STORAGE AND MAKING THERMAL ANALYSIS

Due to developing modern technology and comfort-oriented lifestyle nowadays, consumption proportion of energy has increased rapidly. There have been many studies performed in order to use energy more efficiently and the emerging energy consumption rate to meet.

The storage of heat energy and later its using that is one of main issues of the interested scientists for many years. A variety of methods have been used for this purpose. One of these methods also, during phase change (usually a solid-liquid phase) largely is the use of materials having the heat energy storing. Phase change materials are of great importance, heat energy in terms of can be stored and its can be used more efficiently. However, phase change materials are used in many fields nowadays, and its use has increased more and more.

As is known, the use of motorcycles in the world is quite numerous. But, motorcycle riders attract in big trouble because of the temperatures increase occurring in helmets in summer. However, this occurring temperature increase also has affected negatively the driver's attention. In this case, the driver increases an accident risk during driving.

In this study, this problem existing for the motorcycle driver to solve has designed a new generation of motorcycle helmets, and placing PCM the into of this designed helmet, the numerical analysis of PCM's melting process has been made. The helmet design, the creation of a network of designed helmet and analysis process have carried out using ANSYS FLUENT software package. In the study, three types of paraffin were used as PCM. In the result of performed analysis, has been compared to temperature values caused in helmet depending on the time of PCM and the liquid rates changing with time. At result of this comparison, the best cooling among PCM's used in the study have been shown to be providing of n-Nonadecane.

Key Words: Latent Heat Storage, Numerical Analysis, ANSYS FLUENT, Motorcycle Helmet

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2. 1. Isı depolamasında uygulanan yöntemler [39]	13
Şekil 2. 2. Gizli ısı depolama maddelerinin sıcaklık entalpi değişimi. (a) izotermal hal değiştirme (b) sıcaklık aralığında hal değişimi [34].	18
Şekil 2. 3. Faz değiştiren maddelerin sınıflandırılması [34].	20
Şekil 2. 4. Grid bileşenleri [51].	32
Şekil 2. 5. Kask tasarımı	35
Şekil 2. 6. Kask malzemeleri	36
Şekil 2. 7. Tasarlanan ağ yapısı	37
Şekil 3. 1. FDM lerin sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması için kaskın orta bölgesinde belirlenen çizgi ve bu çizgi üzerine atanan ölçüm noktaları	42
Şekil 3. 2. FDM lerin sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması için fdm kesenin yan kısmına yakın bölgesinde belirlenen çizgi ve bu çizgi üzerine atanan ölçüm noktaları	43
Şekil 3. 3. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (1650. iterasyon) kask üzerindeki sıcaklık dağılımı	46
Şekil 3. 4. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (1650. iterasyon) FDM kesesi içerisindeki sıvı oranı	46
Şekil 3. 5. 5000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	47
Şekil 3. 6. 5000. iterasyon' daki sıvı oranı	47
Şekil 3. 7. 15000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	47
Şekil 3. 8. 15000. iterasyon' daki sıvı oranı	48
Şekil 3. 9. 25000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	48
Şekil 3. 10. 25000. iterasyon' daki sıvı oranı	48
Şekil 3. 11. 35000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	49
Şekil 3. 12. 35000. iterasyon' daki sıvı oranı	49
Şekil 3. 13. 45000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	49
Şekil 3. 14. 45000. iterasyon' daki sıvı oranı	50
Şekil 3. 15. 55000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	50
Şekil 3. 16. 55000. iterasyon' daki sıvı oranı	50
Şekil 3. 17. 64000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	51
Şekil 3. 18. 64000. iterasyon' daki sıvı oranı	51

Şekil 3. 19. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (1900. iterasyon) kask üzerindeki sıcaklık dağılımı	52
Şekil 3. 20. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (1900. iterasyon) FDM kesesi içerisindeki sıvı oranı.....	53
Şekil 3. 21. 5000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	53
Şekil 3. 22. 5000. iterasyon' daki sıvı oranı	53
Şekil 3. 23. 15000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	54
Şekil 3. 24. 15000. iterasyon' daki sıvı oranı	54
Şekil 3. 25. 25000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	54
Şekil 3. 26. 25000. iterasyon' daki sıvı oranı	55
Şekil 3. 27. 35000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	55
Şekil 3. 28. 35000. iterasyon' daki sıvı oranı	55
Şekil 3. 29. 45000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	56
Şekil 3. 30. 45000. iterasyon' daki sıvı oranı	56
Şekil 3. 31. 55000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	56
Şekil 3. 32. 55000. iterasyon' daki sıvı oranı	57
Şekil 3. 33. 64000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	57
Şekil 3. 34. 64000. iterasyon' daki sıvı oranı	57
Şekil 3. 35. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (2850. iterasyon) kask üzerindeki sıcaklık dağılımı	59
Şekil 3. 36. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (2850. iterasyon) FDM kesesi içerisindeki sıvı oranı.....	59
Şekil 3. 37. 5000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	59
Şekil 3. 38. 5000. iterasyon' daki sıvı oranı	60
Şekil 3. 39. 15000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	60
Şekil 3. 40. 15000. iterasyon' daki sıvı oranı	60
Şekil 3. 41. 25000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	61
Şekil 3. 42. 25000. iterasyon' daki sıvı oranı	61
Şekil 3. 43. 35000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	61
Şekil 3. 44. 35000. iterasyon' daki sıvı oranı	62
Şekil 3. 45. 45000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	62
Şekil 3. 46. 45000. iterasyon' daki sıvı oranı	62
Şekil 3. 47. 55000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	63

Şekil 3. 48. 55000. iterasyon' daki sıvı oranı	63
Şekil 3. 49. 64000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı	63
Şekil 3. 50. 64000. iterasyon' daki sıvı oranı	64
Şekil 3. 51. RT-27' nin sıcaklık-zaman adımı grafiği.....	65
Şekil 3. 52. n-Octadecanenin sıcaklık-zaman adımı grafiği.....	67
Şekil 3. 53. n-Nonadecanenin sıcaklık-zaman adımı grafiği.....	68
Şekil 3. 54. FDM' lerin karşılaştırıldığı sıcaklık-zaman adımı grafikleri.....	69
Şekil 3. 55. Yan çizgi ile FDM' lerin karşılaştırıldığı sıcaklık-zaman adımı grafikleri	70
Şekil 3. 56. FDM' lerin Sıvı Oranı-Zaman Adımı Grafiği.....	71

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2. 1. FDM' lerin dönüşüm sıcaklıkları [49].	23
Tablo 2. 2. Kask tasarımının boyutları	35
Tablo 2. 3. Kask malzemesinin termofiziksel özellikleri	36
Tablo 2. 4. Ağ yapısının genel özellikleri	38
Tablo 2. 5. RT-27 FDM' sinin termofiziksel özellikleri	39
Tablo 2. 6. n-Octadecane FDM' sinin termofiziksel özellikleri.....	39
Tablo 2. 7. n-Nonadecane FDM' sinin termofiziksel özellikleri.....	40
Tablo 3. 1. Çizgi ve çizgi üzerinde bulunan noktaların konumları	43
Tablo 3. 2. FDM' lerin ısı depolama kapasiteleri ve ısı genleşme katsayıları	70

SEMBOLLER LİSTESİ

c_p	: Sabit basınçta özgül ısı kapasitesi (kJ/kgK)
c_k, c_s	: Sabit basınçta katı ve sıvı özgül ısı kapasitesi (kJ/kgK)
H_E	: Erime gizli ısı (kJ/kg)
$\dot{m}$	: Kütlesel debi (kg/dk)
T_o	: Başlangıç sıcaklığı (°C)
T_e	: Erime sıcaklığı (°C)
T_s	: Son sıcaklığı (°C)
$\dot{Q}$	: Depolanan ısı (W)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
$\dot{v}$	: Hacimsel debi (m ³ /kg)
T_{ortam}	: Ortam sıcaklığı (°C)
V	: Hız (m/s)
t	: Zaman (s)
H	: Entalpi (kJ/kg)
h_{ref}	: Referans entalpi (kJ/kg)
T_{ref}	: Referans sıcaklık (°C)
S	: Momentum kaynak terimi
T_m	: Dönüşüm sıcaklığı (°C)
μ	: Dinamik viskozite
β	: Sıvı hacim oranı
$T_{katı}$	: Maddenin katılaşma sıcaklığı (°C)
$T_{sıvı}$	: Maddenin sıvılaşma sıcaklığı (°C)
$\vec{v}$	: Akış hızı

KISALTMALAR

DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
FDM	: Faz değiştiren maddeler
NPKFDM	: Nanoparçacık katkılı faz değiştiren maddeler
TED	: Termal enerji depolama
FDMDÜ	: Faz değiştiren madde depolama ünitesi
MFDM	: Mikrokapsüllü faz değiştiren madde
ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
EPS	: Expanded polystyrene
PF	: Dolgu köpüğü
CFD	: Computational Fluid Dynamics
HAD	: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

1. GİRİŞ

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç bütün dünya ülkelerinde artmaktadır ve bu dünya ülkeleri var olan bu sorunu çözme çabası içerisinde girmişlerdir. Bilindiği gibi yeryüzünde kullanılan enerjinin yaklaşık olarak %90' ı fosil kaynaklarından elde edilmektedir. Ancak dünya üzerindeki fosil kaynakları 50 yıl gibi kısa bir süre içerisinde tükenme tehlikesi vardır. Bu azalış ise dünyanın enerji ihtiyacının karşılanmasını güçleştirmektedir. Bu durum beraberinde, kullanımda olan enerjinin mevcut durumunu devam ettirmesi için yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan araştırmaların artmasını ve bu kaynakların etkin kullanımını getirmektedir. Bu da günümüzde, araştırmacıları yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan araştırmalara yoğunlaştırmıştır ve bu alanda yapılan çalışmalar son derece hızlı bir şekilde devam etmektedir.

Bilindiği gibi enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma için en önemli ihtiyaçlarından biridir. Bu nedenle enerjinin, ucuz, güvenilir, temiz ve elde edilmesi kolay olan bir enerji kaynağı olması istenmektedir. Buda beraberinde yenilenebilir enerji kaynakları ile daha etkin ve daha ucuz ısı depolama sistemlerinin geliştirilmesi için yoğun araştırmalar yapılmasını getirmektedir. Günümüzde ise bu amacı gerçekleştirmek için son derece yoğun araştırmalar yapılmaktadır.

Günümüzde nüfus, şehirleşme ve endüstrileşmenin hızlı bir şekilde artması enerjiye olan talebinde gün geçtikçe artmasına sebep olmaktadır. Ancak enerji üretimi, tüketimi karşılayacak şekilde yeterince artış göstermemektedir. Bundan dolayı, enerji güvenliğinin sağlanması için yenilenebilir enerji kaynakları ve var olan enerjiyi depolama teknikleri büyük önem taşımaktadır. Enerji depolama yöntemleri içerisinde uygun olan biri seçilerek enerji verimliliği artırılabilir. Bu durumda mevcut olan enerji daha verimli bir şekilde kullanılmış olur. Yıllardır Faz Değiştiren Maddeler (FDM) farklı ısı sistemlerinde ısı enerji depolama elemanı olarak kullanılmaktadır. FDM' ler, faz değişimi esnasında gizli ısıнын büyük bir miktarını depolarlar ve binalarda, güneş enerjisi sistemlerinde ve daha akla gelebilecek birçok ısı sistemde kullanılırlar.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanım alanına sahip olan ve en popüler olanları FDM' lerdir. Çünkü FDM' ler son derece geniş bir uygulama alanına sahiptirler ve kolayca uygulanabilirler. Enerji depolama sistemlerinin verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayan en önemli etken, belirli bir süre içerisinde mümkün olan en fazla

enerjinin depolanmasıdır. Başka bir şekilde ifade edilecek olursa, enerjinin fazla olduğu bir zamanda depolanarak ihtiyaç duyulduğu zamanda kullanıma sunulmasıdır.

1.1. Literatür Araştırması

Enerjinin depolanması ve daha verimli kullanılması açısından birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında FDM' lerin ısı depolama amaçlı kullanımıyla ilgili çok sayıda çalışmanın yer aldığı görülmüştür. Bunlar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

M. Hrairi vd. [1] motosiklet sürücülerinin, sürüş esnasında ve uzun yolculuklarda kask içerisindeki sıcak ortamdaki etkilenmemeleri için bir termoelektrik modül geliştirdiler. Araştırmacıların yaptıkları araştırmalara göre motosiklet kaskı içerisindeki sıcaklık 38 °C ye kadar çıkmaktadır. Bu nedenle, ortaya çıkan bu sıcaklık artışı sürücünün sürüş esnasında konsantre yeteneğini ciddi ölçüde etkilemektedir. Geliştirilen termoelektrik modüllü motosiklet kaskı, iç ve dış hava kanalları gibi alüminyum boru, soğutma odası, bir hava pompası gibi elektrikli fan, termoelektrik soğutma modülü, gömülü elektrik fan ile ısı teknesi ve lityum polimer bataryadan meydana getirilmiştir. Çift etkili boru, odanın iç ve dış kısmına beslenecek hava akışını güçlendirmek için kullanılmıştır.

Çift etkili alüminyum boru, dış ortamdaki kask içerisine gelecek hava akımı için bir geçiş yolu gibi çalışır. Alüminyum boru, direkt olarak termoelektrik modülün kurulduğu yer olan soğutma odasıyla bağlantılı olması amacıyla kaskın ön kısmına kurulmuştur. Soğutma odası, dışarıdan hava beslemesi yapılacağı için direkt olarak alüminyum boruyla bağlantılıdır.

Oda, soğutma amacı için gömülü bir termoelektrik soğutucuyla inşa edilmiştir. Ayrıca soğutulmuş hava için yeterince boşluk sağlamaktadır. Elektrikli fan, araştırmacılar tarafından yapılan sistemde çok önemli bir yere sahiptir. Fan, soğutma odasından kask içerisine, soğutulmuş hava transferi için bir pompa gibi çalışmaktadır. Elektrikli fan soğutma odasının tepesine kurulmuştur ve 40mm yüksekliğinde bir boyutta tasarlanmıştır.

Yapılan sistemde 12 V' lık DC fan, termoelektrik modül gibi benzer güç kaynağına sahiptir. Termoelektrik soğutma modülü, 31.5mm x 30mm boyutundadır. Araştırmacıların daha önce belirttiği gibi hem termoelektrik modül hem de iç elektrik fan, 12-15 V' luk DC

voltaj kullanılarak çalıştırılmıştır. Güç, kaskın arkasındaki küçük bir delik vasıtasıyla kaska bağlanan güç kabloları kullanılarak sağlanmıştır. Dişi/erkek fiş ve priz seyahat boyunca daha fazla konfor sağlamak için kaskın arka kısmına bağlanmıştır. Isı teknesinin fonksiyonu, termoelektrik modül tarafından üretilen ısıyı dağıtmaktır. Isı teknesinin bu tipi için kullanılan materyali (malzemesi), $k=170$ W/m termal iletkenlik, $n=2707$ kg/m³ yoğunluk ve $c=870$ J/Kg.K'lık bir öz ısıya sahip olan alüminyumdur. Sistemde ilk olarak fan, normal 9V' luk dc voltajlı kare batarya kullanan dış kaynak gücüyle sağlanmıştır. Daha sonra, yeni güç kaynaklarının gerekli olduğuna karar verilmiştir ve şarj edilebilir bataryanın kullanımı kabul edilmiştir. Sistemde kullanılan 2 adet şarj edilebilir 12 V' luk lityum polimer batarya ise kasktaki bileşenler tarafından ihtiyaç duyulan güçü karşılamak için kullanılmaktadır.

Daha sonra tasarlanan sistem, kask içerisine yerleştirilmiştir. Araştırmacılar tarafından yapılan sistemin simülasyonu ANSYS yazılımı kullanılarak, termal analizlere göre yapılmıştır.

Kasktaki sıcaklık değişimlerini ölçmek için 4 ısı çift kaskın farklı yerlerine yerleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, istenilen soğutma sıcaklığının, soğuk havanın odadan çıktığı yerdeki noktaya kadar ulaştığını göstermiştir. Yapılan deneyler, soğuk havanın boruya girdiğinde, borunun sıcaklığının değişmediğini bunun aksine aynı kaldığını göstermiştir. Bu problemin nedeni seçilen boru malzemesinin uygun olmamasından dolayı kaynaklanmış olabilir.

Daha sonra araştırmacılar tarafından yapılan bu sistem, bir motosiklet sürücüsüne giydirilerek alan testi yapılmıştır. Yapılan alan testi sonucunda, elde edilen parametreler ve sonuçlar aşağıda gösterildiği gibidir: sürüş hızı: 70km/h, kullanılan motosiklet: Yamaha Lagenda 110cc, atmosfer sıcaklığı: 40°C, testin süresi: 10 dakika ve kask içerisindeki sıcaklık: 25°C ve soğutma etkilerinin oranı: 4 dür. 1 den 5' e, 1 düşük olarak, 5 ise en iyi olarak kabul edilir.

Gao vd. [2] çalışmalarında, sıfırın altında bir çevre sıcaklığındaki (mesela kayak yapmak için sıcaklık, -4 °C) bir termal model üzerinde katılaşma süreci boyunca farklı faz değişim sıcaklıklarıyla FDM yeleklerin ısınma etkilerini araştırmışlardır. Isıtma/soğutma yeleği, polyester ve 21 tane FDM paket içeren ayrı ceplerden yapılmıştır. Ana içerikler,

sodyum sülfat içeren tuz karışımları, su ve ilavelerdir. Ayrıca yapılan bu çalışmanın patenti alınmıştır (Patent: PCT/SE 95/01309, 9404056-5). Bu çalışmada 3 FDM, sırasıyla gizli ısı seviyeleri 108.0, 126.0 ve 194.4 J/g olan 24, 28 ve 32 °C deki faz değişim sıcaklıklarıyla test edilmiştir. Kumaş ve tasarım üç yelek içinde aynı yapılmıştır. Giyim malzemesi ve FDM içeren her bir yeleğin toplam ağırlığı 2.2 kg dır. Testler başlatılmadan önce yelekler ısıtılmış ve FDM' ler 40 °C civarında eritilmiştir. Araştırmacılar 17 bölgeli ve sürekli 30 °C de yüzey sıcaklığına sahip bir termal modeli, kışın sıfırın altındaki oda şartlarındaki olası düşük deri sıcaklığını belirlemek için kullanmıştır. İklimsel oda hava sıcaklığı (T_{ortam}) -4 °C de ve hava hızı (V_{ortam}) bütün testler için 0.4 m/s de tutulmuştur. Araştırmacılar ısı kayıplarını, model yüzey sıcaklığını, model streç tulum yüzey sıcaklığını, ortam sıcaklığını ve FDM paketin iç ve dış yüzey sıcaklığını ve yeleğin dış yüzey sıcaklığını 10 saniye aralıklarla kaydetmiştir. Ayrıca her bir koşul iki kez ölçülmüştür ve ortalama değerler analizler için kullanılmıştır. Test boyunca model üzerine giydirilen giysi, bir Taiga streç tulum, Ullfrotte pantolon (200 g/m²), Ullfrote çorap (400 g/m²), spor ayakkabı, Hestra fleece Windstopper eldivenler ve başının üzerinde bir Taiga kapüşon içermektedir. Kışlık bir ceket test şartlarının bazılarında kullanılmıştır, başka bir deyişle kış aktivitelerindeki olası senaryoları simüle etmek için FDM yeleğin üstüne ve altına giydirilerek aşağıdaki 3 giysi kombinasyonu kullanılmıştır:

- 1) Streç tulum modeli + FDM yelek;
- 2) Streç tulum modeli + FDM yelek + kışlık ceket;
- 3) Streç tulum modeli + kışlık ceket + FDM yelek.

-4 °C deki ortam hava sıcaklığıyla modelin üstündeki streç tulum giyilen FDM yeleklerin ısıtma etkileri (T_{erime} =32, 28 ve 24 °C), gövde üzerindeki indirgenmiş ısı kaybı tarafından belirlenmiştir. Isıtma etkileri 3-4 saat civarında sürmüştür. En büyük ısıtma etkileri (bütün modelin üzerinde 6-10 W/m² 'e karşılık gelen gövde üzerinde 20-30 W/m²) ilk iki saat boyunca gözlemlenmiştir. Bu periyod boyunca gövde üzerindeki ısı kaybı 80-95 W/m² civarında ölçülmüştür. FDM kristalleşmesinin tamamlanmasıyla birlikte, gövde üzerindeki ısı kaybı 110 W/m² ye yükselmiştir. FDM olmadan aynı giysiyle, gövde üzerindeki ısı kaybı, 208 W/m² civarında olmuştur. Sonuçlar aynı zamanda, test edilen FDM yeleklerin arasında, daha yüksek erime ve katılaşma sıcaklığıyla yeleğin, yelek ve

çevre ve kristalleşmenin gizli ısıısının daha büyük bir miktarı arasındaki daha yüksek bir sıcaklık eğiminden dolayı daha büyük ve daha geniş bir ısıtma etkisine sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle araştırmacılar, 36-37 °C civarındaki bir faz değişim sıcaklığıyla bir FDM yeleğin, daha iyi ısınma etkilerine sahip olacağı varsayımını yapmışlardır.

Yukarıdaki ısıtma etkileri, sıfırın altında olan çevre şartlarındaki model üzerinde, erimiş FDM 'nin ($T_{erime} = 32\text{ °C}$) kristalleşme süreci boyunca sıcaklık değişimi tarafından desteklenmiştir (Şekil 3.13). Model yüzey sıcaklığı 30 °C de sabit tutuluyorken, ortam sıcaklığının -4 °C olduğu bir ortamda, FDM yelek yaklaşık 40 °C ye ısıtılmıştır. Yelekler model üzerine giydirildiğinde FDM nin iç ve dış yüzey sıcaklığı çabucak 32 °C nin altına düşmeye başlamıştır (yaklaşık 30 dakikada sırasıyla yaklaşık 30 ve 26 °C e kadar). Daha sonra FDM kristalleşmeye ve ısıyı serbest bırakmaya başlamıştır. Bu nedenle FDM yüzey sıcaklıkları, her biri model streç tulumun yüzey sıcaklığından daha yüksek olan bir seviyeye artmıştır. Kristalleşme 3-4 saat sonra bittiği zaman, FDM nin iç ve dış yüzey sıcaklıkları düzeltildi ve yaklaşık 22- 19 °C de dengede tutuldu. Bununla birlikte aynı zamanda ısıtma etkisi de tamamlandı. Bu sıcaklık değişimleri gövde üzerindeki azalan ısı kaybını açıklayabilir.

FDM yelek ($T_{erime} = 32\text{ °C}$) kışlık ceket üzerine giyildiğinde, gövde üzerindeki azalan ısı kaybı, ilk iki saatlik periyod boyunca yaklaşık 10-15 W/m² olmuştur. Bu, katılan FDM tarafından serbest bırakılan ısı çoğunlukla sıfırın altındaki çevrede kaybolduğu için kabul edilebilir.

FDM yelek ($T_{erime} = 32\text{ °C}$) kış ceketin altına giyildiği zaman, 5.5 saatlik periyod boyunca hiçbir ısıtma etkisi gözlemlenmemiştir. Araştırmacılar bunun nedeninin, FDM nin faz değişim sıcaklığı (32 °C) ve model yüzey sıcaklığı (32 °C) arasındaki küçük sıcaklık değişimi olduğunu söylemişlerdir.

Fok vd. [3] Araştırmacılar bu çalışmada, siyah bir kask kullanmıştır. Çünkü siyah olan beyaz olana göre daha fazla ısıyı emer. Şekil 3.15' de kask içerisine gömülü Faz Değişim Malzemesi Depolama Ünitesiyle (FDMDÜ) kaskın şematik diyagramı gösterilmiştir. FDMDÜ kesesi, ince alüminyum plakalardan yapılmıştır. Çalışmada kullanılan FDM, n-Octadecane dır. Bu malzeme sahip olduğu yüksek gizli ısı değeri,

zehirleyici olmaması ve düşük maliyetinden dolayı seçilmiştir. $54,5 \text{ cm}^3$ 'lük bir depolama kapasitesine sahip olan FDMDÜ, erime süreci boyunca FDM nin genişlemesine izin vermek için katı n-octadecane nin sadece 49 cm^3 ile doldurulmuştur. Bu küçük miktar başın üst kısmındaki serinletme (soğutma) performansını gözlemlemek için kullanılmıştır. Bir ısıtıcı, başın üst kısmından üretilen ısıyı modellemek için kullanılmıştır. Bu ısıtıcı FDMDÜ' nin altına takılmıştır. Isıtıcıdan üretilen ısı AC güç kaynağıyla ayarlanmıştır. Dört iç kanatçık, FDM ve ısı kaynağı arasındaki ısı transfer yüzey bölgesini arttırmak için FDMDÜ içine kurulmuştur. Karşılaştırma yapmak için boş bir FDMDÜ (FDM olmayan) başka bir benzer kaskın içerisine yerleştirilmiştir. İki kask arasındaki ağırlık farkı ise 0.05 kg dan daha azdır. Güneş radyasyonunu modellemek için bir ısı radyatörü kullanılmıştır. Bu radyatör 45° lik bir açıyla akış yönünde rüzgar tünelinin çatısına yerleştirilmiştir. Kaskın yüzeyine ulaşan ısı akısı 198 w/cm^2 civarında olmalıdır. Bir motosiklet kaskı güneşli bir günde 30°C de, bir sürücüye giydirilmiştir ve test şartları, kask yüzeyi üzerine farklı pozisyonlarda yerleştirilen ısı çiftler kullanımıyla zamanla artan sıcaklık dağılımı incelenerek doğrulanmıştır. Havanın durma ve durgun basıncı bir pitot-statik tüpüyle ölçülmüştür. 11 tane stratejik olarak yerleştirilmiş K-tipi ısı çiftler, ısıtıcı sıcaklığını, ortalama FDMDÜ sıcaklığını ve ortalama FDM sıcaklığını ve kask yüzeyindeki ortalama sıcaklığını belirlemek için kullanılmıştır. Bütün ısı çiftler 0.5°C 'lık bir hassasiyette ve bir data logger 'a bağlanılarak kalibre edilmiştir.

Deneylerin bir sonraki serisi, modellenen güneş radyasyonu, ısıtıcı gücü ve rüzgar hızı etkilerini araştırmak için FDM ile serinletilen kask üzerinde yapılmıştır. FDM üzerinde modellenen güneş radyasyonunun etkileri, radyatör açılıp kapatılarak araştırılmıştır.

Lachenbruch vd. [4] tarafından yapılan bir çalışmada vücut hareketlerinden kaynaklanan ağrı ve şişmeleri azaltmak için FDM kullanılarak ısıtma ve soğutma sağlayan bir ped geliştirilmiştir. Bu geliştirilen pedlerin soğutma için kullanılanlarının $15 - 27^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında çalıştığı belirtilmiştir.

Tan ve Fok [5], motosiklet sürücüsü için konforlu bir serinletme sağlamak, sürücünün başı tarafından üretilen ısıyı absorbe etmek ve depolamak için, FDM kullanarak bir kask serinletme sisteminin tasarımını sunmuştur. FDM bir kese içerisinde paketlenmiştir. Kask ve sürücünün başı arasına yerleştirilmiştir. Sürücünün başı tarafından üretilen ısı, sürücünün başının üzerinden yayılan bir ısı değiştirgeci vasıtasıyla iletilerek FDM' ye transfer edilmiştir. Sürücünün başındaki sıcaklık FDM sıcaklığının üzerine çıktığında FDM erimeye başlar. Bu nedenle sürücü bir rahatsızlıktan ve dikkatini etkileyecek olan başının üzerindeki sıcak çevre tehlikelerinden zarar görmez. FDM tamamen eridiği zaman 2 saat civarında bir serinleme konforu sağlayabilir. FDM keseden depo edilen ısı, FDM yeniden kullanılmadan önce, katılaşması için 15 dakika civarında suya daldırılarak şarj edilmek zorundadır. Tan ve Fok' un bu çalışması, FDM kask serinletme sistemi basit ve motosiklet sürücüsüne konforlu bir serinletme sağlamak için pratik bir çözüm sağlama potansiyeline sahiptir.

Nejman ve Grabowska [6], yapmış oldukları çalışmada, homojen mikro kapsüllü FDM (MFDM) ve bu FDM'lerin karışımlarıyla modifiye edilerek elde edilen örülmüş kumaşın, termoregülasyon özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir.

Purvis ve Cable [7], kaleci aktivitelerinde kalecinin kullandığı eldivenlerin termal konforunun artırılması için faz değiştiren madde uygulamasını içeren bir simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Farid ve Husian [8], gizli ısı depolama sistemleriyle ilgili olarak yapılan ilk çalışmalarda FDM olarak bal mumu ve parafinler kullanılmıştır. Daha sonra özellikle tuz hidratlar ile ilgili birçok uygulamalar yapılmıştır [9,10]. Son yıllarda yağ asitlerinin performansları FDM olarak iyi sonuç vermiştir [11,12]. Saf olarak kullanılan organik veya inorganik FDM' lerin birçoğunun depolama kapasiteleri düşük veya erime sıcaklıkları depolamaya uygun olmadığından birden fazla maddenin karışımından oluşan yeni FDM' lerin kullanıldığı çalışmalar günümüzde oldukça popülerdir. Bu çalışmalarda erime sıcaklığı ve depolama kapasiteleri daha iyi olan yeni FDM' ler elde edilemeye çalışılmıştır [13-15]. Choi [16], bu çalışmada iki veya üç farklı kimyasal maddenin farklı oranlardaki karışımlarını deneyerek daha uygun yeni bir FDM elde etmiştir. Nano teknoloji biliminin

son yıllarda gelişmesi ile birlikte, nano parçacıkların akışkan içerisine ilave edilerek, nano akışkan (NANOFLUID) olarak adlandırılan termal özellikleri saf akışkana göre daha yüksek yeni bir akışkan elde edilmektedir [16]. İlave edilen nano boyuttaki parçacıklar, akışkanlar mekaniği yönünden akışa ciddi bir dezavantaj getirmezken, termal özellikleri yüksek maliyet gerektirmeden iyileştirmektedir. Polimerlere veya çok bilinen akışkanlar içerisine nano boyutta parçacık ilave edilerek termal özellikleri daha iyi hale getirme metodu yeni sayılabilecek bir araştırma alanı olup, yapılan çalışmaların sayısı hızla artmaktadır. Metal tanecikler sayesinde, efektif termal iletkenlik normale oranla hızla artmaktadır. Çünkü tane boyutu küçüldükçe ısı iletim kapasitesi de artar [17]. Araştırmacılar sayısal analiz metodlarını kullanarak, FDM’ de erime ve katılaşma olaylarını modellemiştir [18]. Nano akışlarda ısı transferinde iyileşme olduğuna dair, özellikle nano akışta doğal taşınım ile ısı transferinin incelendiği birçok çalışma literatürde mevcuttur [19-22].

Yousef vd. [23] nano parçacık katkılı bir FDM’nin katılaşma sürecinde meydana gelen atık parçacık analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Khodadadi ve Hosseinzadeh [24], nanopartiküllerin dağılımı sayesinde faz değiştiren malzemelerin (FDM) geliştirilmiş işlevselliğinin incelendiği bir araştırma sunmuşlardır. Elde edilen nanopartikülle geliştirilmiş faz değiştiren malzemeler (NPKFDM), temel malzemelerle kıyaslandığında gelişmiş termal iletkenlik sergilediğini göstermişlerdir.

Fan ve Khodadadi [25], yapmış oldukları çalışmada, NPKFDM’ler geliştirmişlerdir. Bu FDM’ler ile nanopartikül süspansiyonlarının, deneysel bir araştırmasını yapmışlardır. Dhaidan vd. [26], iki dairesel silindir arasında biçimlenmiş halka şeklindeki bir boşluk içerisine nano parçacık katkılı faz değiştiren maddeler yerleştirmişlerdir. Bu malzemelerin erimesini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır.

Sarı [27] yaptığı çalışmada, stearik asit, palmitik asit, miristik asit ve laurik asit gibi farklı olan yağ asitlerini kullanarak FDM’nin gizli ısı ve erime sıcaklıklarını Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı ile belirlemişlerdir. DSC cihazı ile 0, 120, 560, 850 ve

1200 erime ve katılaşma gerçekleştirmiş ve sonuçlara göre erime/katılaşma aralığı 0.07 – 7.87 °C, ergime gizli ısısı -%1 – -%27.7’lik bir değişim meydana geldiğini bulmuştur.

Cedeño vd. [28], DSC cihazı ile saf yağ asitleri palmitik asit, stearik asit, oleik asit ve bunların ikili üçlü karışımlarının hazırlanması, erime sıcaklıkları ve gizli ısıları gibi termal özellikleri ile ilgili bir çalışma yapmışlardır.

Feldman vd. [29], farklı yağ asidi karışımları hazırlayarak bu karışımların ısı depolama açısından özelliklerini incelemiş ve yağ asitlerinin alan ısıtma için FDM olarak kullanılabileceklerini önermişlerdir. Bu çalışmada kullanılan yağ asidi karışımlarının (kaprik, laurik, palmitik ve stearik) erime aralıkları 30 °C’den 65 °C’ye, ergime gizli ısıları 153 j/g’dan 182 j/g’a kadar çeşitlilik göstermiştir.

Sönmez vd. [30], birbirinden farklı dikdörtgensel geometrilerde olan soğuk depolama tankının silindir bölgeleri etrafında meydana gelen katılaşma sürecinin analizini sayısal olarak gerçekleştirmişlerdir. Dikdörtgen şeklindeki soğuk depolama tankı su ile doludur. Silindirler ise bu soğuk depolama tankının belirli kısımlarına yerleştirilmiş ve katılaşma süreci incelenmiştir. Yapılan analiz ANSYS FLUENT paket programı tarafından gerçekleştirilmiş ve sonuçlar alınmıştır. Araştırmacılar tarafından yapılan bu çalışmada farklı geometrik yapılarda katılaşmanın meydana geldiği bölgedeki katılaşma oranını ciddi bir şekilde etkilediği sonucuna varmışlardır.

Sasaguchi vd. [31], soğuk depolama tankının iç kısmına dik konumda olacak şekilde silindir konumlandırmışlardır. Yerleştirilen bu silindirin bulunduğu konumun ve depoda bulunan suyun sıcaklık değerinin değiştirilmesiyle araştırmacılar katılaşma miktarının zamanda bağlı olarak değişimini incelemişlerdir. Bu çalışmada kullanılan FDM ise su olarak seçilmiştir.

Dubovsky vd. [32], çalışmalarında FDM’ nin katılaşma sürecini, dik eksenli bir silindirde incelemişlerdir. Bu inceleme sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan FDM parafin olarak seçilmiştir. Çalışmanın amacı silindir çaplarında yapılan oynamaların sonuçlar üzerine etkileridir. Geometrinin alt kısmı yalıtımlı olarak kabul edilmiştir.

Çalışmada ANSYS FLUENT paket programı kullanılmıştır. Ve sonuçlar bu program ile elde edilmiştir.

Assis vd. [33], çalışmalarında FDM' lerin katılma süreçlerini incelemişlerdir. Bu analiz küresel yapıda olan bir kabın iç kısmında, deneysel ve sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. FDM olarak parafin kullanmışlardır. Çalışmanın amacı ise kap kalınlığının değiştirilmesiyle analiz üzerinde meydana getirdiği etkilerdir. Bu çalışmada ANSYS FLUENT paket programı kullanılmıştır ve analiz sonucunda sayısal ile deneysel sonuçlar birbirleriyle uyum sağlamışlardır.

Başal [34], ısı eşanjörü şeklinde olan gizli ısı deposunun ısı davranışı üzerine sayısal bir çalışma ortaya koymuştur. Bu gizli ısı deposu üç borunun iç içe konulması sonucunda oluşan şekle benzemektedir. Çalışmalarının amacı, ısı transferi sağlayan akışkanın giriş sıcaklığının gizli ısı deposunun ısı depolama kapasitesi ile bu deponun şarj süresine etkilerinin incelenmesidir. Sayısal çalışmanın sonucunda ise maddeyi içerisinde bulunduran aralık kalınlığının artması sonucunda akışkanın kütsel debisinin gizli ısı deposunun performans parametresi üzerinde oluşan etkiyi azalttığı görülmüştür.

Ismail ve Henriquez [35], FDM' nin katılma sürecini incelemişlerdir. Bu inceleme küre şeklinde olan bir kap içerisinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar kullandıkları modeli benzer çalışmalar ve modellerle karşılaştırdıklarında daha iyi sonuçlar elde ettiklerini görmüşlerdir. Katılma süreci için FDM' nin ısı iletkenliğinin son derece önemli olduğunu görmüşlerdir.

Rabin ve Korin [36], çalışmalarında çok boyutlu olan ısı transfer problemlerini sayısal yöntem kullanmak yoluyla erime-katılma süreçlerini incelemişlerdir. Sonlu farklar yönteminin kullanılmasını öneren araştırmacılar katı, sıvı ve ara fazda FDM' yi analiz etmişlerdir. Ve elde ettikleri sonuçları literatürle karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda olumlu sonuçlar almışlardır. Buldukları sonuçların bu araştırmaya paralel olduğunu bulmuşlardır.

Sönmez [37], yaptığı çalışmada soğuk depolama tankı içerisine dairesel şekilde olan borular yerleştirmiştir. Çalışmasındaki amaç iki boyutlu olarak bu borular etrafındaki

katılma sürecini sayısal analizler ile incelemektir. Bu çalışmada Sönmez, ANSYS FLUENT paket programını kullanmıştır. Kullanılan FDM ise su olarak seçilmiştir. Çalışma daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Yapılan literatür araştırması sonucunda FDM' lerin motosiklet kaskında kullanımıyla ilgili sınırlı sayıda çalışmaların yer aldığı görülmüştür. Bu alanda yapılan çalışmalar genellikle deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Buda çalışmamızı gerçekleştirmemize neden olan en büyük etken olarak belirtilebilir. Her ne kadar deneysel çalışmalar yapılmış olsada, çalışmamızı gerçekleştirmemize neden olan diğer bir neden ise deneysel olarak elde edilmesi güç ve mümkün olmayan birçok parametrenin sayısal analizler ile daha net bir şekilde değerlendirilebilmesi ve kıyaslanabilmesidir. Bu nedenle yapılan bu çalışma ile bu alanda yapılan çalışmalara daha özgün ve gerçekçi bir yaklaşım yapılmış olacaktır.

Yapılan bu çalışmanın temel amacı ise belirli faz değiştiren maddelerin motosiklet kaskı içerisindeki erime süreçlerinin detaylı olarak incelenmesi ve birbirleriyle kıyaslanmasıdır. Çalışmada üç farklı FDM kullanılmıştır. Bunlar RT-27, n-Octadecane ve n-Nonadecane' dir.

Bu kapsamda, çalışmanın temel amacını gerçekleştirmek için bu faz değiştiren maddeler kullanılarak, ANSYS paket programı yardımıyla motosiklet kaskı tasarlanmış ve faz değiştiren maddelerin erime süreçleri ayrı ayrı detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda FDM' lerin erime süreçleri hakkında kıyaslama yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Dünya' nın nüfusu her geçen yıl artmaktadır. Bununla paralel olarak trafik sorunlarından dolayı motosiklet kullanımı da artış göstermektedir. Özellikle yaz aylarında motosiklet kaskının içerisindeki sıcaklık artışı sürücüyü büyük oranda rahatsız etmekte ve böylece sürüş dikkatini olumsuz olarak etkilemektedir. Buda beraberinde daha rahat sürüş konforu ve kask içerisinde serin bir ortam isteğini getirmektedir. Literatür araştırması sonucunda ise bu yönde sınırlı sayıda çalışma bulunmuştur. Buna paralel olarak yapılan çalışmalar doğrultusunda motosiklet kaskının serinletilmesine yönelik FDM' lerin kullanılmasında sayısal olarak yapılan analizlerin çok büyük oranda eksik kaldığı belirlenmiştir. Bunun sonucunda daha detaylı bir araştırma ve sayısal çalışma yapmak gerektiği anlaşılmıştır. Bilindiği gibi deneysel çalışmalar yüksek maliyet gerektirmektedir. Deney sürelerinde meydana gelen uzamalarda çalışmaları zor bir hale getirmektedir. Fakat sayısal analizler deneysel çalışmalara göre süre ve maliyet açısından daha uygulanabilir.

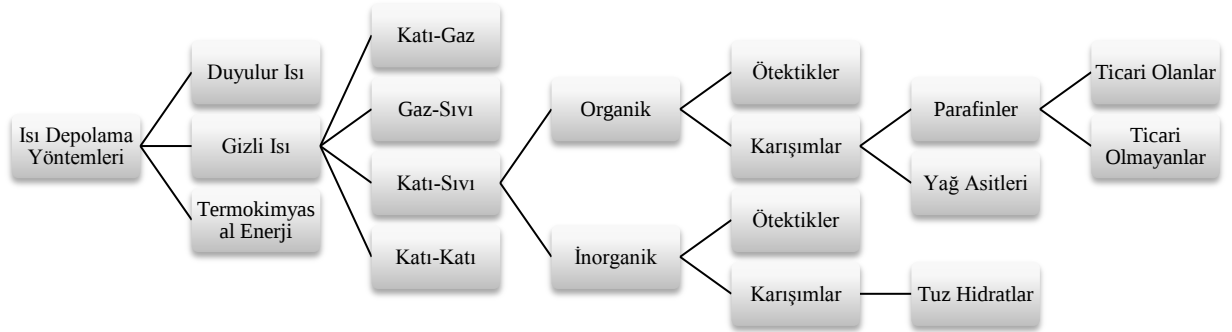
Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda çalışmalarda çok sayıda yazılım kullanıldığı görülmüştür ve genellikle araştırmacıların kendi yazdığı kodlarla birlikte bazı paket programlar daha çok kabul görmektedir. Kullanım alanı geniş olan bu hazır kodların başında ise bu çalışmada da kullanılmış olan ANSYS FLUENT paket programı gelmektedir.

2.1. Termal Enerji ve Termal Enerji Depolama Yöntemleri (TED)

Bir sistemin iş yapabilme kapasitesine enerji denir. Bu duruma göre ise iş yapan bir sistemin enerjisinde azalma meydana gelirken, iş alan sistemin ise enerjisinde artma meydana gelir. Sistem ile ortam arasında oluşan sıcaklık farkından ortaya çıkan enerji akışına ısı denir. Bir maddeyi meydana getiren atom veya moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı ise termal enerji olarak adlandırılmaktadır. Termal enerji, atomik veya moleküler titreşimler sonucunda meydana gelir ve bu enerjinin aktarımı sıcaklık farkından kaynaklanan ısı akışıyla gerçekleşir [38].

Termal enerjinin depolanabilmesi için genel olarak kullanılan yöntemler Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Katı-sıvı gizli ısı depolamadaki uygulamalar için organik ve inorganik

FDM'ler yaygın olarak kullanılmaktadır. Organik FDM' lerin dışındaki araştırmaların birçoğunda tuz hidratlar kullanılmıştır. Fakat diğer inorganik tuzların kullanıldığı çalışmalarda bulunmaktadır.



Şekil 2. 1. Isı depolamasında uygulanan yöntemler [39]

Termal enerji depolama sistemlerinin temelinde yatan prensipler 3 madde ile sıralanabilir. Bunlar, depolama sistemine enerji sağlanması, sağlanan bu enerjinin depolanması ve depolanmış olan bu enerjinin ihtiyaç olduğu zamanlarda kullanılmasıdır [40].

Isı enerjisinin depolanması genelde duyulur, gizli ve termokimyasal ısı depolama olmak üzere üçe ayrılır. Duyulur ısının depolanmasında enerji maddenin sıcaklığında meydana gelen değişim ile depolanırken, gizli ısı depolamada maddenin faz değiştirmesiyle depolanır[41].

2.1.1. Duyulur Isı Depolama Yöntemi

Duyulur ısı depolama yönteminde, ısı depolayan materyalin sıcaklığında meydana gelen değişiklik neticesinde ortaya çıkan ısıdan yararlanılmaktadır. Isı depolama yöntemi olarak, sıcaklığı arttırıldığı zaman duyulur ısı şeklinde ısı depolayabilen katı ve sıvı materyaller kullanılır. Duyulur ısı depolama materyallerinin birçoğu bol miktardadır ve ucuz olarak bulunmaktadır. En yaygın olarak kullanılan ısı enerji depolama sistemi ise duyulur ısı depolama sistemleridir. Ayrıca, bu materyallerden ısı depolamada yararlanılmak üzere geliştirilmiş olan mevcut teknoloji, etkin sistemlerin tasarlanması için son derece uygundur. Bundan dolayı, günümüzde birçok ısı depolama uygulamasında duyulur ısı depolama yönteminden faydalanılmaktadır [42]. Depolanabilecek ısı miktarı ise sıcaklıktaki değişim miktarına, ortamın ısı kapasitesine ve depolama materyalinin miktarına bağlıdır [43].

Depolanan ısı miktarı aşağıdaki denklemden hesaplanmaktadır;

$$\dot{Q} = \int_{T_o}^{T_s} \dot{m} c_p dT = \dot{m} c_p (T_s - T_o) \quad (1.1)$$

$\dot{Q}$: Depolanan ısı miktarı

ρ : Depolanan maddenin yoğunluğu (kg/m^3)

c_p : depolanan maddenin sabit basınçtaki özgül ısısı (kJ/kgK)

m : Depolanan maddenin kütlesi

T_s : Son sıcaklık

T_o : İlk sıcaklık

Verilen eşitlik belirli bir hacimdedir ve ΔT sıcaklık farkı sonucunda depolanacak ısı miktarı maddenin hacimsel özgül ısısı ($\rho \cdot c_p$) ile orantılıdır [44].

Bir ısı depolama sisteminin uygulanabilir olması,

- Gereksinim duyulan ısı miktarına
- Depolanabilecek atık veya fazla ısı miktarına
- Isı depolama yöntemine
- Elektrik enerjisi bedeline

- Isıtılacak yapının tipine
- Isı depolama için gerekli olan alana
- İşletme maliyetine bağlıdır [44].

Duyulur ısı depolama sisteminin etkinliği,

- Isı depolama materyalinin özgül ısısına
- Isı depolama materyalinin yoğunluğuna
- Isı depolama materyalinin termal iletkenliğine
- Isı depolama sıcaklığına
- Depolama materyali ve depo arasındaki buhar basıncına
- Yüksek sıcaklıklarda materyalin kararlılığına
- Sistemin maliyetine bağlıdır [44].

Duyulur ısı depolama yöntemiyle ısı depolamada yaygın olarak karşılaşılan dezavantajlar ise aşağıdaki gibidir [44].

- Isı depolama sürecinde, depolama sıcaklığı sürekli olarak yükseldiğinden çok fazla ısı kaybı oluşur.
- Isı geri kazanma sırasında, depolama sıcaklığı sürekli olarak azaldığından, sistemin termal etkinliği azalır.
- Isı depolama ortam sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta gerçekleştiğinden, ısı deposunun yalıtım gereksinimi nedeniyle sistem maliyeti artar.

2.1.2. Termokimyasal Isı Depolama Yöntemi

Kimyasal reaksiyon esnasında alınan veya verilen ısı olarak adlandırılır. Reaksiyon ısının enerji depolama için kullanılması yöntemine termokimyasal enerji depolama yöntemi adı verilmektedir. Termokimyasal depolama, ortam sıcaklığındaki bir kaynaktan endotermik reaksiyonla ısıtılan ve ekzotermik reaksiyonla ısıveren veya ekzotermik reaksiyonla yüksek sıcaklıkta istenen ortama verilen, tersinir reaksiyonlardan meydana gelir [45].

Isı enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülerek uzun süre depolanabilir. Termokimyasal ısı depolamada, ekzotermik olarak tepkimeye giren iki veya daha fazla kimyasal bileşikte, tersinir tepkimeler süresince, kimyasal bağlarda ısı depolanır. Depolama sisteminin

depolama kapasitesi sınırsızdır. Kimyasal bağların tersinir olarak ayrışma ve birleşme sırasında, ısı değeri yüksek olan kimyasal tepkimeler meydana geldiğinden dolayı ısı depolama kapasitesi yüksektir [42].

Termokimyasal ısı depolamada; reaksiyona giren bir AB kimyasal maddesi yüksek sıcaklıktaki ortamdan ısı alarak,



eşitlik 1.2’de gösterildiği gibi, tersinir bir tepkimeyle A ve B bileşenlerine ayrılır. Termokimyasal yöntemle ısı depolayan sistemler, gizli ısı depolama sistemlerine göre daha karmaşıktır. Sistemdeki bileşenlerin kendi aralarında olan etkileşimleri oldukça önemlidir. Yöntemin en önemli özelliği ise seçilen tepkimenin tersinir olmasıdır ve ikinci en önemli özelliği yan tepkimeler oluşmamasıdır [42].

Termokimyasal reaksiyonların avantajları;

- Isı, çevre sıcaklığına yakın olan sıcaklıklarda depolanabilir ve bu nedenle depolama tankının yalıtımı önemli bir problem oluşturmaz.
- Isı, özel kollektörler olmadan çevreden alınabilir ve böylece sistemin maliyetinde düşmeler meydana getirebilir.
- Enerji yükleme ve boşaltma sıcaklıkları sabit tutulabilir.
- Kimyasal reaksiyonlarla ısı depolama metodu, diğer depolama metotlarına göre daha büyük bir depo hacmi gerektirmektedir.
- Kimyasal reaksiyonla oluşan ısı, kayıplar olmadan depolanabilir ve kolayca transfer edilebilir. Mevcut sıcaklıkta uzun süre depolanabilir.
- Yüksek depolama enerji yoğunluklarına sahiptirler.

Termokimyasal reaksiyonların dezavantajları ise;

- Operasyon koşullarının çeşitliliğine bağlı olarak kimyasal bileşenleri ve reaksiyon kinetiğinin özelliklerinde belirsizlikler, zehirlilik ve yanabilirliktir.
- Termokimyasal enerji depolama sistemlerinde iki madde birbirinden ayrı tutulduğu için mevcut olan diğer depolama sistemlerinden daha pahalı ve karmaşıktır [42].

2.1.3. Gizli Isı Depolama Yöntemi

Isı depolama materyallerinin iç enerjilerinin önemli oranda değişmesi, bu materyallerin faz değiştirmesine sebep olur. Faz değiştirmesiyle ortaya çıkan ısıya ise gizli ısı denir. Bundan dolayı, ısı depolamak için belirli sıcaklıklarda erime, buharlaşma veya faz değişimlerine uğrayan ve ısı depolama kapasiteleri yüksek olan diğer materyallerden faydalanılır.

Bu ısı depolama yöntemi, ısı depolama kapasitesinin yüksek olması ve materyalin faz değişim sıcaklığının, sabit sıcaklıkta ısı depolamak için uygun olmasından dolayı, diğer ısı depolama yöntemlerine göre birçok istenen özelliğe sahiptir [42]. Depolama, katı-katı, katı-sıvı, katı-buhar ve sıvı-buhar dönüşümleri kullanılarak gerçekleştirilebilir [46]. Ancak, en çok tercih edilen yöntem katı-sıvıdır. Katıdan katıya faz değişimi geçiren FDM'lerin çok azı ısı enerjisi depolama uygulamaları için uygundur. Sıvı-gaz faz değişimi geçiren FDM'ler yüksek ısı depolama kapasitelerine sahip olmakla birlikte faz değiştirme sırasında büyük hacim değişimlerine maruz kalırlar. Dolayısıyla pratik uygulamalar için pek uygun değildir. Katı-sıvı faz değiştiren malzemeler ise oldukça yüksek ısı depolama kapasitelerine sahiptirler ve faz değişimi esnasında hacimlerinde büyük oranda değişimler meydana gelmez. Gizli ısı depolama sistemlerinde ise çoğunlukla bu tür FDM'ler kullanılmaktadır [47].

Maddenin gizli ısısı aşağıdaki denkleme göre hesaplanır;

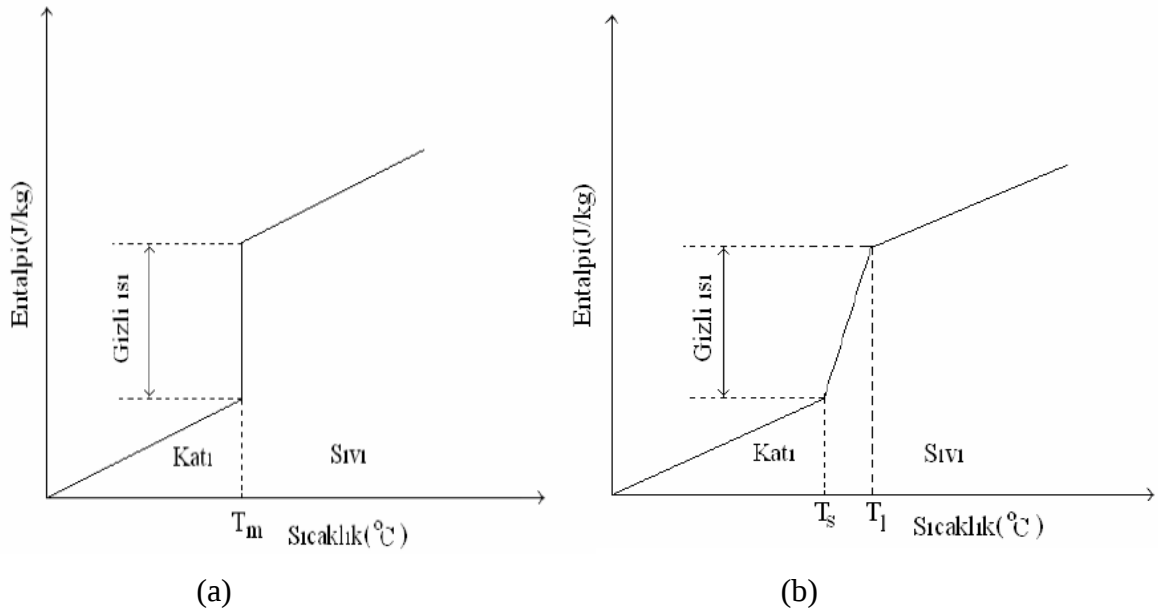
$$\dot{Q} = \int_{T_o}^{T_e} \dot{m} c_p dT + \dot{m} H_E + \int_{T_e}^{T_s} \dot{m} c_p dT = \dot{m} [H_E + c_k (T_e - T_i) + c_s (T_s - T_e)] \quad (1.3)$$

Eşitlik 1.3' de, c_k ve c_s (kJ/kgK) sırasıyla katı ve sıvı fazın sabit basınçtaki özgül ısıları; T_o (K) başlangıç sıcaklığı, T_e (K) erime sıcaklığı ve T_s (K) son sıcaklık ve H_E (kJ/kg) erime gizli ısıdır. Bu eşitlikteki birinci ve üçüncü terim FDM' nin duyulur ısısını, ikinci terim ise erime gizli ısısını ifade etmektedir [48].

Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi duyulur ısıya göre daha küçüktür. FDM'ler sabit bir sıcaklık aralığında depolama imkanı sağlar ve erime sıcaklığına bağlı olarakta hem ısıtma hem de soğutma amaçlı kullanılabilirler [29].

Gizli ısı depolama sistemlerinde kullanılan depolama maddelerine faz değiştiren maddeler denir. Gizli ısı depolama maddeleri enerjiyi, Şekil 2.2a’da gösterildiği gibi sabit bir T_m sıcaklığında veya Şekil 2.2b’deki gibi çok küçük bir $\Delta T = T_1 - T_2$ sıcaklık aralığında faz değiştirerek depolarlar. Saf maddeler sabit sıcaklıkta faz değiştirirken, karışımlar, alaşımlar ve saf olmayan maddeler belli bir sıcaklık aralığında faz değiştirirler. Dolayısıyla oluşan ara yüz iki fazlı olur. Ayrıca, duyulur ısı depolama sistemlerine göre çok daha yüksek miktarda enerji depolama yoğunluğuna sahiptirler [34].

Şekil 2.2’ de gizli ısı depolama maddelerinin sıcaklıkla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2. 2. Gizli ısı depolama maddelerinin sıcaklık entalpi değişimi. (a) izotermal hal değiştirme (b) sıcaklık aralığında hal değişimi [34].

Gizli ısı depolama yönteminin diğer ısı enerji depolama yöntemlerine göre üstün yönleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [47].

- Duyulur ısı depolamaya göre termal enerji depolama kapasitesi daha yüksektir ve ısı deposu hacmi daha küçüktür.
- FDM olarak kullanılan maddelerin birim kütlelerinin termal enerji depolama kapasiteleri daha yüksektir. Faz değiştirme sıcaklıkları ise sabit sıcaklıkta ısının depolanması ve geri kazanılması için uygundur.

Gizli ısı yoluyla termal enerji depolamanın avantajlarının yanında, bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir.

- FDM'lerin düşük ısı iletkenliği,
- Depolama sırasında meydana gelen yoğunluk değişimi,
- Uzun süreli kullanım sonucunda maddenin yapısında ortaya çıkan kararsızlıklar,
- Faz ayrılması ve aşırı soğuma

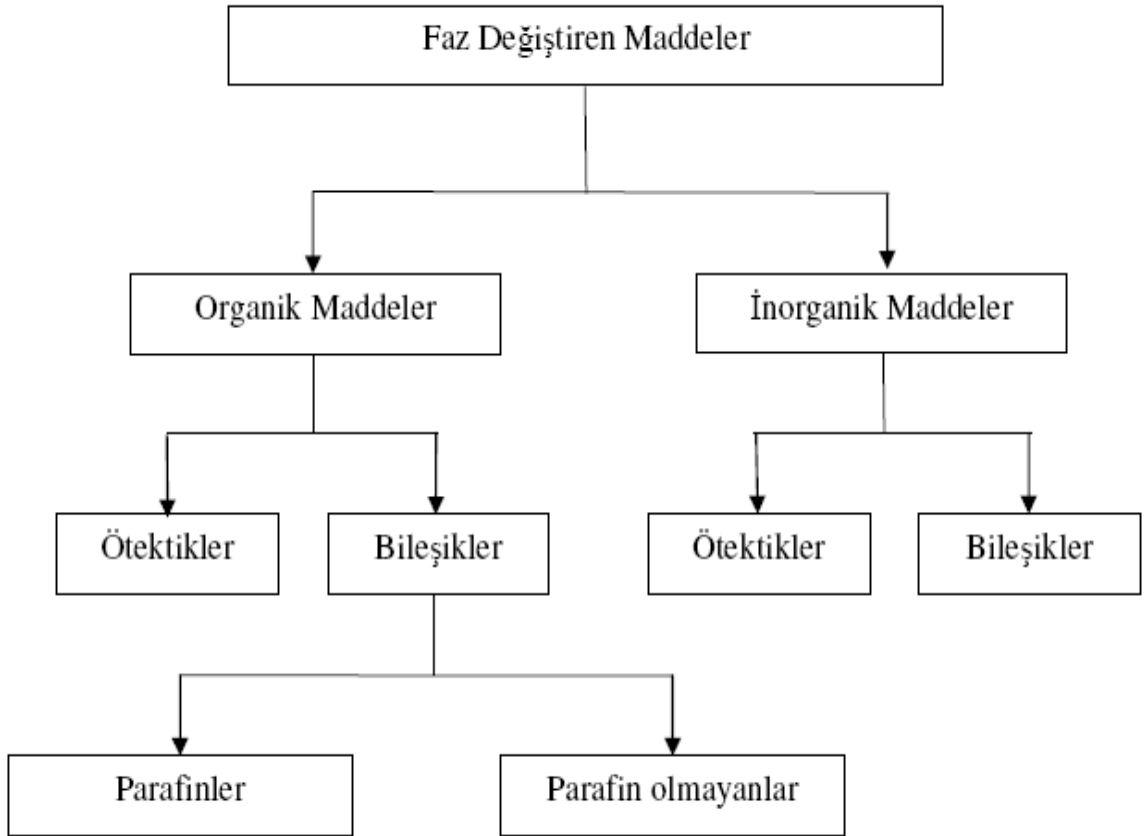
olarak ifade edilir [47].

2.2. Faz Değiştiren Maddeler (FDM)

Faz değiştiren maddeler (FDM) düşük erime-katılma sıcaklığı ve yüksek enerji depolama özelliklerine sahiptirler. Bu nedenle son yıllarda kullanım alanlarında büyük oranda artış meydana gelmiştir. Ortam içerisinde bulunan sıcaklıkta artış meydana geldiği zaman FDM' nin faz değişimi (katı-sıvı) gerçekleşir. Faz değişimi endotermik bir olay olduğu için bu sürede FDM ısıyı absorbe eder. Faz değiştirme sıcaklığına varıldığı zaman ise FDM erime sürecine başlar ve bu süreçte sıcaklık sabit kalır. Bu esnada (erime) madde enerjiyi gizli ısı olarak depolar [48].

FDM' nin faz değiştirmesi, belirli bir miktardaki ısıyı almasıyla gerçekleşir. Bu noktada gizli ısı, maddenin faz değiştirmesine sebep olan ısı olarak adlandırılır.

Bir maddenin FDM olarak kullanılması için gerekli temel koşullar bulunmaktadır. Faz değişimi esnasındaki sabitlik ve hacminde az miktarda bir değişiklik meydana gelmesi bu temel koşullar arasında yer almaktadır [49]. Daha öncede açıklandığı gibi maddeden alınan veya maddeye verilen ısıya gizli ısı veya faz değişim ısısı adı verilmektedir. Katı-sıvı faz dönüşümünün kullanıldığı ısı depolama uygulamaları için çok sayıda organik ve organik olmayan FDM' ler bulunmaktadır [49]. Bu sınıflandırılma aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



şekil 2. 3. Faz değiştiren maddelerin sınıflandırılması [34].

FDM'ler çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptirler. Bu kullanım alanlarından aşağıda bahsedilmiştir. FDM'lerin kullanım alanları;

- Güneş enerjisinin termal depolanmasında,
- Biyoklimatik binalarda pasif depolamada,
- Soğutma: buz bankası ve aşırı güc ihtiyacını azaltma uygulamalarında,
- Isıtma ve temiz su ihtiyacında,
- Emniyet: bilgisayar ya da elektrik sistemlerinin bulunduğu odalarda sabit sıcaklığın sürdürölmesinde,
- Gıdaların ısı korunması: taşıma, dondurma, pazarlama vb. gibi alanlarda,
- Gıda endüstrisi: şarap ve süt üretimi, seracılık vb.

- Elektronik parçaların termal korumasında
- Tıbbi uygulamalar: kan taşınması, ameliyat masası vb.
- Motor soğutma (elektrik ve içten yanmalı) cihazlarda,
- Araçlarda termal konforda,
- Ekzotermik kimyasal reaksiyonlarda ani sıcaklık yükselmelerini engellenmesinde,
- Uzay araçlarının termal sistemlerinde
- Güneş enerji panelleri gibi alanlarda rahatlıkla kullanılmaktadır.

Bir faz değiştiren maddede aranan özellikler; termodinamiksel, fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikler olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir [49]:

2.2.1. Termodinamik Kriterler

- Erime noktası, istenen çalışma sıcaklığı aralığında olmalıdır.
- Birim kütleinin depoladığı gizli ısı miktarı yüksek olmalıdır.
- Yoğunluğu yüksek olmalıdır.
- Özgül ısısı yüksek olmalı, böylece ilave bir duyulur ısıнын depolanması sağlanmış olur.
- Isı yükleme ve boşatma esnasında sıcaklık gradientlerinin düşük olması için ısı iletkenliği yüksek olmalıdır.
- Erime anında katı ve sıvı fazlar bileşim bakımından aynı olmalı, yani uygun bir erime özelliği göstermelidir.
- Faz geçiş esnasında hacimdeki değişimler küçük olmalıdır.

2.2.2. Fiziksel Kriterler

Donma esnasında aşırı soğuma göstermemelidir. Erimiş madde kendi donma noktasında kristalleşmelidir. Bunu sağlamak için çekirdekleşme ve kristalleşmenin büyüme hızları yüksek olmalıdır. Aşırı soğumayı önlemek için ortama çekirdekleştirici veya soğuk bir cisim ilave edilmelidir.

2.2.3. Kimyasal Kriterler

- Kimyasal olarak kararlı olmalıdır.
- Sistemin ekonomik ömrü boyunca kimyasal yapı bozulmamalıdır.
- Yapı malzemelerini korozyona uğratmamalıdır.
- Madde yanıcı, zehirleyici ve patlayıcı olmamalıdır.

2.2.4. Ekonomik Kriterler

- Madde kolay ve bol bulunmalıdır.
- Ucuz olmalıdır.

Duyulur ısı maddelerinden farklı olarak, faz değiştiren maddeler belirli sıcaklık aralığında işlem görürler. Bunun için FDM' nin erime sıcaklığı ile sistemin işlem sıcaklığı denk olmalıdır. Tek bir FDM tüm uygulamalarda kullanılamaz. Bunun yerine değişik sıcaklık aralıklarında farklı FDM' ler kullanılmalıdır. Düşük erime noktalarına sahip FDM' ler yüzey ısıtma ve soğutması için uygundur. Endüstriyel uygulamalarda daha yüksek erime noktasına sahip FDM' lere ihtiyaç duyulur. FDM'ye uygun ısı depolama maddesinin seçiminde bazı kriterler vardır. Bunlar [50];

- Yüksek Depolama Kapasitesi: FDM, birim hacim başına yüksek erime ısısına, birim ağırlık başına yüksek erime ısısına ve yüksek duyulur ısıya sahip olmalıdır.
- Sıcaklık Geçişi: Erime noktası kullanılacak ortam için uygun aralıkta olmalıdır.
- Geçiş İşlemi: İşlem tamamıyla tersinir ve yalnızca sıcaklığa bağlı olmalıdır.
- Isı iletkenliği: Isı iletkenliği her iki fazda değişken ısının ilave edilmesine yardımcı olmak için yüksek olmalıdır.
- Güvenirlik: Faz değişim işlemi herhangi bir azalma olmaksızın dönüşümlü olmalıdır.
- Yoğunluk: Maddelerin yoğunluğu, tüm fazlarda yüksek olmalıdır.
- Basınç: İşlem sıcaklıklarında, buhar basıncı düşük olmalıdır.
- Kararlılık: Madde kimyasal olarak kararlı olmalı, aşındırıcı olmamalı, zehirli ve yanıcı olmamalıdır.

- Hacim Değişimi: Hacim değişimi katılaşmayla ihmal edilir olmalıdır.
- Aşırı Soğutma: Az aşırı soğutma ve yüksek kristal büyüme oranı sahip olmalıdır.

Uygulamalarda, kullanılacak FDM seçimi oldukça önemlidir. Bu durumda en önemli parametrelerden biride FDM' nin dönüşüm sıcaklığıdır. Bazı FDM' lerin kullanıldığı uygulamalar faz değişim sıcaklıklarına göre Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2. 1. FDM' lerin dönüşüm sıcaklıkları [49].

Faz değişim sıcaklığı (°C)	Uygulamalar
$5 \leq T_m \leq 25$	Genellikle iklimlendirme amaçlı olarak binalarda kullanılmaktadırlar. Geceleri katılaşmakta olan bu maddeler gündüzleri ise ortamda bulunan ısıyı absorbe etmektedirler. Ve böylece ortam soğutulmuş olur.
$25 \leq T_m \leq 30$	Uygulamanın amacı, binaların gün içerisinde meydana gelen ortam sıcaklığından etkilenmemesidir. Bunu sağlayabilmek içinde bina duvarlarına emdirilmektedirler.
$40 \leq T_m \leq 60$	Gece ve gündüz ortam ısıtma uygulamaları için hava bazlı ısı depolama sistemlerinde kullanılmaktadırlar.
$55 \leq T_m \leq 70$	Konutlarda kullanılan suyun daha önceden ısıtılmasını sağlamak için kullanılmaktadırlar.
$60 \leq T_m \leq 95$	Suyun kullanıldığı gizli ısı depolama sistemlerinde ısı transfer akışkanı olarak kullanılmaktadırlar.
$25 < T_m$	Faz değiştiren maddenin, elektrik enerjisinden faydalanılarak eritilmesi ve daha sonra bulunulan ortamın ısının arttırılması uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Bu uygulama genellikle elektrik ihtiyacının düşük olduğu zamanlarda yapılmaktadır.
$90 < T_m$	Soğurmalı soğutma sistemleri gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılırlar.
$0 < T_m$	Süt ve gıda endüstrisi, rafineriler, laboratuvarlar, ilaç ve kimya sanayisinde kullanılmaktadırlar.

2.3. FDM' lerin Kullanım Ömürleri

FDM' lerin ömürleri, kullanılan FDM' lerin ısıl çevrimleri sonucunda faz değişim sıcaklığı ve gizli ısı depolama kapasitesilerinin süreç zarfında kararlı kalabilme miktarlarıyla ilgili bir durumdur. Isıl çevrim, FDM' nin erime ve donma işlemlerinde meydana gelen tekrarlanma olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde FDM' lerin kullanım ömürleri laboratuarlarda test edilmektedir. Laboratuvar testleri ısıl çevrim sayıları baz alınarak yapılmaktadır. Örneğin, tuz hidratlarının uzun dönemlik kararlılıklarının belirlenebilmesi için en az 1000-2000 çevrimden oluşan laboratuvar testlerinin yapılması önerilmektedir. Organik FDM' lerin kullanım ömürleri inorganik FDM' lere göre daha uzundur. Bunun nedeni daha yüksek kimyasal kararlılığa sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu duruma, organik bir FDM olan parafin ile organik olmayan bir FDM örnek olarak gösterilecek olursa, parafinin kullanıldığı ısı depolama sistemlerinin ömürleri yaklaşık olarak 2000 çevrim sürerken organik olmayan FDM' nin ise yaklaşık olarak 1000 çevrim sürmektedir [34].

Bu çalışmada yapılacak olan analiz geçmişte ve günümüzde yapılmış olan birçok çalışma incelenerek ve dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Gizli ısı depolama sisteminin analizlerinin yapılabilmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu noktada bize düşen ise bu yöntemler arasından çalışma sistemimiz ve şartlarımıza en uygun olanını belirlemektir.

2.4. Gizli Isı Depolama Sistemlerinin Analizi

Literatürde genellikle, erime-katılaşma içeren ısı transferi problemleri sınır veya Stefan problemleri olarak isimlendirilir. Bu tür problemlerde katı-sıvı ara yüzü yer değiştirir. Katı-sıvı ara yüzü hareketli uç olarak da adlandırılmaktadır. Bu yer değiştirme ise ortamdan alınan veya ortama bırakılan ısıya bağlıdır. Ancak bu tür problemlerde katı-sıvı ara yüzünün yerinin daha önceden bilinmemesi problemin çözümünü zorlaştırmaktadır.

Hareketli sınır problemlerinin çözümlerinde kullanılmakta olan bazı çözüm yöntemleri bulunmaktadır[49]. Bunlar; Tam analitik çözüm, integral metodu, hareketli ısı kaynağı yöntemi, pertürbasyon yöntemi ve sayısal yöntemlerdir. Bu yöntemler hakkında gerekli olan bilgiler aşağıda sunulmuştur.

2.4.1. Tam Analitik Çözümler

Hareketli sınır problemleri yapılarından kaynaklanan sebeplerden dolayı lineer değildirler. Bundan dolayı hareketli sınır problemlerinin tam analitik çözümleri sadece idealize edilmiş yarı sonsuz veya sonsuz ortamlar için, basit sınır ve başlangıç koşulları altında yapılabilmektedirler [34].

2.4.2. İntegral Metot

Bu yöntem Polhlhausen ve Von Karman' ın sınır tabaka denklem analizlerine dayanmaktadır. Uygun sonuç verdiği problemler ise tek boyutlu faz değişim problemleridir. Bu yöntem ile elde edilen integral denkleminin çözüm aşamasına girebilmesi için problemin geometrisine uygun olacak bir sıcaklık profili seçilmelidir. İki boyutlu problemlerde uygulama alanı bulabilmesi için ise var olan diğer çözüm yöntemleri ile beraber kullanılması gereklidir [34].

2.4.3. Hareketli Isı Kaynağı Yöntemi

Bu yöntemde problemin çözümü için faz değişimi esnasında ortama aktarılan veya ortamdan alınan ısıya sanki hareketli olan bir ısı kaynağı sebep oluyormuş gibi düşünülmelidir. Bu parametrenin etkisiyle problem zamana bağlı bir faz değişim problemi olmaktan çıkıp hareketli bir ısı kaynağı içeren zamana bağlı bir ısı iletimi problemi haline gelmektedir. Bunun sonucunda katı, sıvı fazlarla birlikte ara yüzey içinde geçerli hale gelen tek bir diferansiyel denklem oluşur.

Bu denklemin integral dönüşüm tekniği veya Green fonksiyonu yöntemiyle çözümü ve ara yüzey koşulunun sağlanması sonucu ara yüzeyin konumunu veren bir integral denklem elde edilir. Bazı basit problemler için bu denklem analitik olarak çözülmektedir. Bunun yanı sıra genellikle yarı analitik veya sayısal yöntemlerin kullanılması gerekliliğide doğmaktadır [34].

2.4.4. Pertürbasyon Yöntemi

Pertürnasyon, faz değişim problemleri için Stefan sayısı olarak adlandırılmaktadır. Pertürbasyon yönteminde sıcaklık dağılımı ve ara yüzey diferansiyel denklemleri bir pertürbasyon parametresi içerecek biçimde boyutsuz bir şekle getirilir. Bahsedilen bu denklemler ise bu parametre ışığında seriye açılır.

Yapılan bu işlem süresince bağımsız olan değişkenler ara yüzeyi hareketsiz hale getiren yeni bir ortama aktarılır [34].

2.4.5. Sayısal Yöntemler

Analitik çözümler, faz değişim problemleri için sınırlı koşullar altında elde edilirler. Faz değişim problemlerinin çözümünde ise daha çok sayısal yöntemler tercih edilir. Bahsi geçen sayısal yöntemler iki grup içerisinde toplanılır. Bunlar, ara yüz izleme ve bölge sabitleştirme yöntemleridir. İlk grupta bulunan sayısal yöntemlerde tek bağımlı değişken olarak sıcaklık alınır. Enerjinin korunumu denklemi ise katı ve sıvı fazlar için ayrı ayrı yazılır. Bilindiği gibi katı-sıvı ara yüzünün ve sıcaklık dağılımının her zaman adımında izlenmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı çok boyutlu problemlerin çözümünde bu yöntemlerin uygulanabilmesi epeyce zordur. Ancak sonraki grupta bulunan sayısal yöntemlerde ara yüzde meydana gelen değişimin her zaman adımında izlenmesine gerek yoktur ve çok boyutlu problemlere uygulanması oldukça kolaydır. Bahsi geçen bu grupta kullanılan en yaygın yöntem entalpi yöntemidir. Bu yöntemde entalpi sıcaklığa bağlı bir değişken olarak tanımlanır. Böylelikle enerji denklemi katı, sıvı bölge ve ara yüz için uygulanabilir hale getirilir. Bu noktada problem sabit olan bir bölgede çözülüyormuş gibi hareket edilebilir. Faz değişiminin hem sabit sıcaklıkta hem de bir sıcaklık aralığında meydana geldiği problemlerin analizinde bu yöntem uygulanabilir [34]. Bu yöntemin bilinen en büyük avantajı faz değiştiren maddelerin yanı sıra herhangi bir madde içinde kullanılabilmesidir. Entalpi fonksiyosu DSC ölçümlerinin sonuçlarına göre belirlenir.

2.5. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

CFD (Computational Fluid Dynamics) veya Türkçe kullanışı ile HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği), temel olarak akışkan davranışının etkili olduğu problemlerin, sayısal metot ve algoritmalar ile bilgisayar üzerinde çözülerek analiz edildiği, akışkanlar

mekaniğinin bir koludur. Karmaşık geometriler, viskozite, sıcaklık farkları vb. etmenler klasik akışkanlar mekaniğinin temel denklemlerine uygulandığı zaman çözüm çok zor, hatta çoğunlukla imkânsızdır.

Klasik akışkanlar mekaniğinde ancak düz levhalar ve dairesel kesitli borular gibi idealize edilmiş olan basit geometrilerde sonuca ulaşılabilir. Geriye kalan gerçek problemlerin tamamına yakınında sonuç elde edebilmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin kullanılması gerekmektedir. Bunun için akışın bulunduğu bölge, akışa ait temel diferansiyel denklemlerin çözüldüğü küçük düzgün elemanlardan ve noktalardan meydana gelen ağ yapılarına ayrılır. Ayrılan bu ağ yapılarından iterasyonlar ile adım adım bütün çözüme varılır.

CFD genelde aşağıdaki alanlarda işlem yapabilme imkânı sağlar.

- Turbomakinalar
- Sabit yoğunluklu ve sıkıştırılabilir akışkanlar
- Kararlı rejim veya zamana bağlı akışkan davranışları
- Basınç, hız ve sıcaklık dağılımları
- Tek ve çok fazlı akışlar
- Isı transferi
- Tanecik ve duman dağılımları [51].

Son yıllarda ve günümüzde yapılan birçok çalışmada CFD kullanım alanında bu çalışmalara paralel olarak artmıştır. CFD' nin kullanım alanlarının artmasına sebep olan birçok avantaj sıralanabilir. Bu avantajlardan bazıları şu şekildedir:

- Sayısal simülasyonların CFD yazılımları ile yapılması sonucunda, elde edilen sonuçlar ve deneyin sanal ortamı elimizin altında bulunur. Bu duruma bir örnek verilecek olursa; basınç verileri elde edilmek istenilen basit bir deneyin hız ölçümünün yapılabilmesi için tekrar kurgulanması gerekmektedir. Fakat CFD ile bu ve bunun gibi birçok parametreye ait olan bilgiler de çözüm içerisinde yer almaktadır.
- Normal deneylerde kullanılmakta olan ölçüm cihazları ve sensörlerin sınırlı olmasının yanı sıra sürecide uzatmaktadır. Fakat CFD ile analiz yapılması sonucunda,

kullanılan sayısal ağ elemanı kadar hatta daha fazla ölçüm elemanı bulunmaktadır. En önemlisi veri dağılımları gradyenler olarak çok geniş bir alanda görülebilir.

- Bilindiği gibi geleneksel ölçüm yöntemleri ile akış özelliklerini akışı bozmadan incelemek mümkün değildir. Ancak CFD ile bu olumsuzluk ortadan kalkar. Örneğin; hız ölçümü yapmak için akış içerisinde bir pitot tüpü yerleştirilir. Bu durum gerçekte doğal akışı bozmaktadır. Bunun yanı sıra bir pompanın performans ölçümü yapılırken debimetre ve manometre gibi cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlarda akışın doğal davranışlarını olumsuz yönde etkilemekte ve bozmaktadır. Fakat CFD’ de yapılan bir analiz, ölçüm, hesaplama vb. durumlarda her bir sayısal ağ elemanı başlı başına bir ölçüm noktasıdır. Bu nedenle yukarıda anlatılan cihazların etkileri gibi bir durum söz konusu değildir ve bu cihazların oluşturduğu etkilerden bağımsız olan verilen elde edilir.
- CFD’ nin bize sağladığı avantajlardan bir diğeri de tehlikeli veya ulaşılması çok güç olan bölgelerdeki akışkanın davranışlarını inceleyebilmemizdir.
- Aslında CFD bilgisayarda bulunan esnek bir deney laboratuvarı olarak adlandırılabilir. Doğrudan CAD verisi ile çalışabilir. Tasarım veya analiz yapmak isteyen kişilere sanal prototip oluşturma ve oluşturulan bu prototipler üzerinde deney yapma imkanı tanır. Buradaki en önemli etken CFD’ nin kullanımının bize zaman da ve maliyette büyük avantajlar sağlamasıdır [52].

FDM’ ler ile ilgili sayısal ve deneysel olarak pek çok çalışma yapılmıştır. Bilindiği gibi yapılan deneylerden sonuçların elde edilmesi sürecinde epeyce zorluk bulunmaktadır. Ayrıca deneyin yapılışı esnasında oluşan sıkıntıların yanı sıra doğa şartları, maddi olarak meydana getirdiği zorluklar, özellikle süreç içerisinde meydana gelen büyük orandaki zaman sıkıntısı vb. durumlarda zorluklar arasında sıralanabilir. Bütün bu meydana gelen sıkıntılar ise bu alanda çalışma yapan kişileri ve araştırmacıları sayısal çalışmalara yönlendirmekte ve bu durum araştırmacılar tarafından daha çekici görülmektedir. Ancak matematiksel olarak çözülemeyen problemler ve yukarıda da bahsedildiği şekilde deneysel çalışmalarda da meydana geldiği gibi çok fazla zaman kaybına neden olacak birçok zor problem karşımıza çıkmaktadır. İşte bu noktada ise HAD yazılımları devreye girmektedir. Bu teknik birçok alanda etkili olan bir tekniktir. HAD kodları, Fortran, Pascal ve C++ gibi yazılım kodlarıyla kodlanabilir. Bunun yanı sıra FLUENT, FIRE, KIVA, VECTIS ve STAR- CD gibi ticari olan yazılımlarla da yapılabilir. Bu yazılımlardan biri olan

FLUENT sayılabilecek birçok problemin çözümünde kullanıcıya büyük oranda kolaylık göstermektedir. Bu çalışmada yapılan motosiklet kaskında serinletme sağlamak amaçlı kask içerisine yerleştirilen FDM' lerde erime analizinin çözümünde de, ANSYS FLUENT' in HAD yazılımları içerisinde en doğru sonuçlara sahip olan yazılım olduğu literatür araştırmaları sonucunda tespit edilmiştir.

FLUENT sonlu hacim formülasyonunu kullanır. Denklemleri ise sayısal olarak çözer ve matematiksel denklemlere dönüştürerek de yapılan çözümün daha çabuk elde edilmesi olanağını sağlar.

Sonlu hacim yöntemi çözümü yapılacak geometriyi parçalara bölen, daha sonra bu parçaların her biri için ayrı ayrı çözüm yaparak yapılan bu çözümleri birleştiren bir çözüm yöntemi olarak ifade edilebilir.

2.6. Sonlu Hacimler Metodu

Sonlu hacimler yönteminde asıl amaç çözümü yapılacak olan geometrinin belirli hacimlere bölmek daha sonra bölünen bu parçaları ayrı ayrı ele alarak çözüm yapmak ve yapılan bu çözümlerin tekrar birleştirilerek var olan problemin genel çözümüne ulaşmaktır.

Bu yöntem korunum denklemlerini sayısal şekilde çözülmesi mümkün olan cebirsel denklem sistemlerine dönüştürür. Bunun için ise kontrol hacim esasına dayanan bir teknik kullanır. Bu teknik ile ayrık eşitlikler elde edilir. Bu eşitliklerin elde edilmesinin amacı ise kontrol hacmini sağlamaktır. Daha sonra ayrık eşitlikler doğrusallaştırılır. Bu doğrusallaştırma sonucu doğrusal olan denklem sistemleri elde edilir. Elde edilen bu denklem sistemlerinin zamana bağlı çözümünün yapılması ile basınç, sıcaklık ve hız gibi değişkenler daha önceden verilen yakınsaklık değerini sağlayıncaya kadar güncellenir.

Sonlu hacimler yöntemi ile problemin çözülmesi işleminde aşağıda verilen adımlar kullanılmaktadır.

- Çalışma yapılacak bölgenin, ağ programları ile sayısal analize uygun ağ yapıları oluşturulması ve daha sonra oluşturulan bu ağ yapılarının belirli hacimlere bölünmesi.
- Sırasıyla momentum, süreklilik denklemlerinin çözümlerinin yapılması ve bununla birlikte enerji gibi istenilen diğer denklemlerin çözümünün yapılması

- Çözülen denklem veya denklem takımlarının daha doğru değerlere yükseltilmesi için iteratif çözücünün kullanılması
- Yakınsaklığın kontrolü ve son olarak çözümün sonuçlandırılıp elde edilmesi [37]

2.7. Erime/Katılaşma ve FLUENT

FLUENT, sabit olan bir sıcaklık dağılımında meydana gelen erime/katılaşma' nın bulunduğu akışkan problemlerinin analizlerinde kullanılabilmektedir. FLUENT erime-katılaşmayı, entalpi-gözeneklilik formülasyonunu kullanmak suretiyle modellemektedir.

FLUENT ile erime-katılaşma için aşağıda bahsi geçen durumlar sağlanmaktadır.

- Saf metaller ve alaşımların erime ve katılaşmalarının hesaplanması.
- Katılaşmış veya katı halde bulunan madde ve duvarlar arasındaki ısı etki direncinin modellenmesi
- Erime-katılaşma ile geçiş türlerinin modellenmesi
- Sürekli döküm süreci veya süreçlerinin modellenmesi
- Erime-katılaşma ile ilgili birçok parametrenin incelenebilmesi (sıvı bölümler, sıcaklık değerlerinin kontrolü, çekme hızları vs.)

Bu modellemeler çok geniş bir alanda hesaplamaların yapılması için FLUENT' e olanak sağlar.

Ancak model oluşturmada birtakım kısıtlamaların meydana gelmesi söz konusudur. Bu kısıtlamalar ifade edilecek olursa,

- Erime-katılaşma modelinin yalnızca ayrık çözücü ile kullanılabılır olması ve oluşturulan erime-katılaşma modelinin sıkıştırılabilen akışlar için kullanımının söz konusu olmaması
- Çok fazla sayıda bulunan modellerden yalnızca VOF' nin kullanılabilmesi
- Bazı difüzyonların istisna olması ile birlikte katı ve sıvı maddeler için ayrı olarak madde özelliklerinin belirlenememesi [53].

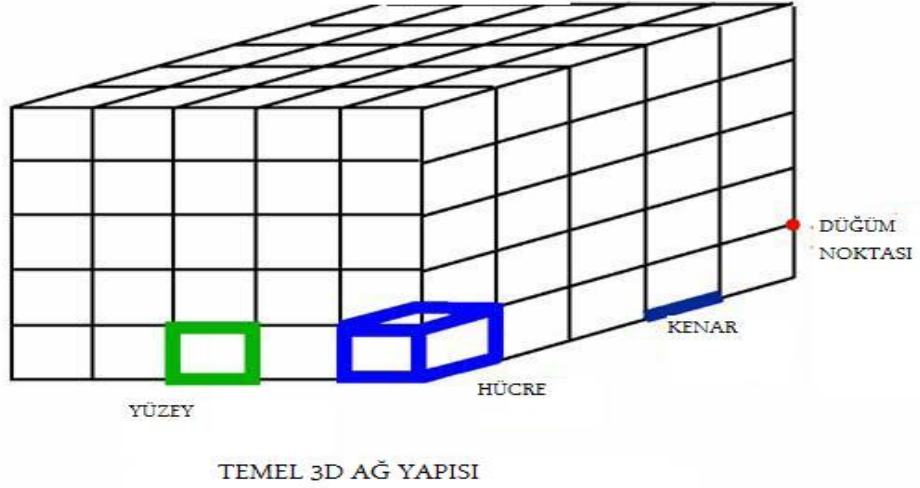
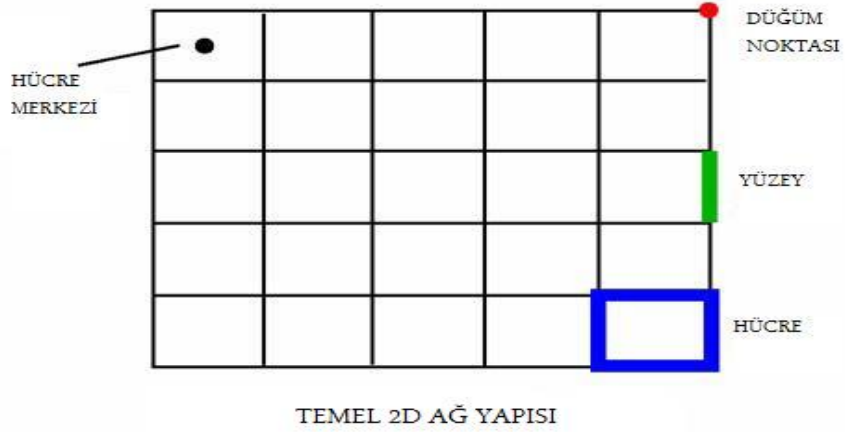
2.8. Erime ve Katılaşmanın Teorisi

FLUENT’ te erime ve katılaşma sürecinin modellenebilmesi için entalpi-gözeneklilik tekniği kullanılmaktadır. Bu teknik ile erimenin meydana geldiği ara yüz tam olarak izlenmemektedir. Bunun yerine madde sıvı haldeyken hücre hacmini gösterebilen sıvı oranı diye adlandırılmış olan bir nicelik, işlemin bulunduğu alanda her hücre ile ilişkilendirilmektedir. Sıvı oranı hesabı her iterasyondaki entalpi dengesine bağlı olarak değişir. Eğer sıvı oranı 0-1 arasında ise bölge lapa bölge olarak adlandırılır. Lapa bölgenin modellenebilmesi için lapa bölge gözenekliliğinin 1 den 0’ a azaldığı ortamda olması gerekir. Gözeneklilik sıfıra ulaştığında madde tamamen katılaşmış demektir. Hızların sıfıra düşme sebebi de budur.

Ağ yapısı, yapılacak sayısal çalışma sonuçlarını doğrudan etkileyecektir. Düzenlemelerin etkin bir şekilde kontrolü çözümlerin hassasiyetini arttıracak ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır [53].

2.9. Sayısal Grid Oluşumu

Fiziksel yüzeyler, HAD çalışmalarında yapılan hesaplamalarda alt hücrelere bölünmektedir. Oluşturulan bölmeler denklemleri çözümünde başlangıç noktaları olarak kullanılır. Silindirik, dik veya sorunun geometrik yapısına uygun koordinatlarda ağ yapısı oluşturulabilir. Ağ çizgileri ile koordinat eksenini uyuşturulduktan sonra ağ yapısı oluşturmak için geometriye uyarlanır. Ağ yapısındaki çizgilerin kesiştiği noktalara düğüm adı verilir. Hücreler bu düğümler ile belirlenir. Düğüm noktaları, hücre sınırları ve hücre merkezi her bir hücre için belirleyici faktörlerdir.



Şekil 2. 4. Grid bileşenleri [51].

HAD uygulamalarında grid noktaları kullanılmaktadır. Grid noktaları Sayısal çalışmalarda çalışılan alanı belirli noktalarla ayırmak için kullanılır. Bu noktalar ayırma noktaları olarak da isimlendirilebilir. Noktalar kullanılarak yüzey koordinatlar boyunca uygun bir şekilde bölünmüş olur. İki ve üç boyutlu çalışmalarda karışık geometrilere çözüm kolaylığı sağlamak ve daha hassas sonuçlar elde edebilmek için sıkıştırılmış grid ya da düzensiz ağ yapısı kullanılabilir. Sıkıştırılmış grid yapısında noktalar aynı uzaklıkta değildir. Noktalar çözüm için ihtiyaç duyulan aralıklara konumlandırılır.

2.10. Grid Kalitesi

Grid kalitesi, nümerik analizlerde çözümün uygunluk ve doğruluk değerleri için önemlidir. Düğüm noktalarının dağılımı, düzgünlüğü ve yoğunluğu ağ yapısı kalitesini belirler. Sınır hücreler arasındaki büyük boyutsal farklılıklar çözüm sonuçlarındaki hata oranının artmasına sebebiyet verecektir. Çalışma üç boyutlu veya iki boyutlu olsa da karmaşık bölgelerin grid kalitesi çözümü etkileyen parametrelerdendir [51].

Problem çözümünde hassas ve doğru sonuçlar elde edebilmek için grid düzenekleri probleme uygun bir şekilde oluşturulmalıdır.

2.11. Yönetici Denklemler

Bütün HAD uygulamalarında temel yönetici denklemler olarak akışkanlar dinamiğinin süreklilik, momentum ve enerji denklemleri kullanılır. Temel fizik kurallarına bağlı olacak şekilde bu denklemler farklı biçimlerde türetilmektedir. Problem uygun çözümler böylelikle geliştirilir.

FLUENT paket programında kullanılan denklemler:

Süreklilik denklemi,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (2.1)$$

Burada; ρ yoğunluğu, V hız vektörünü (u,v), t zamanı ifade etmektedir.

Enerjinin korunumu denklemi,

$$H = h + \Delta H \quad (2.2)$$

$$h = h_{ref} + \int_{T_{ref}}^T c_p dT \quad (2.3)$$

$$T < T_{katılaşma} \quad \text{ise} \quad \beta = 0 \quad (2.4)$$

$$T < T_{sıvılaşma} \quad \text{ise} \quad \beta = 1 \quad (2.5)$$

$$T_{\text{katılaşma}} < T < T_{\text{sıvılaşma}} \quad \text{ise} \quad \beta = \frac{T - T_{\text{katı}}}{T_{\text{sıvı}} - T_{\text{katı}}} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} H) = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (2.7)$$

Burada; H maddenin entalpisi, ρ yoğunluk, $\vec{v}$ hız vektörü.

Momentum denklemi,

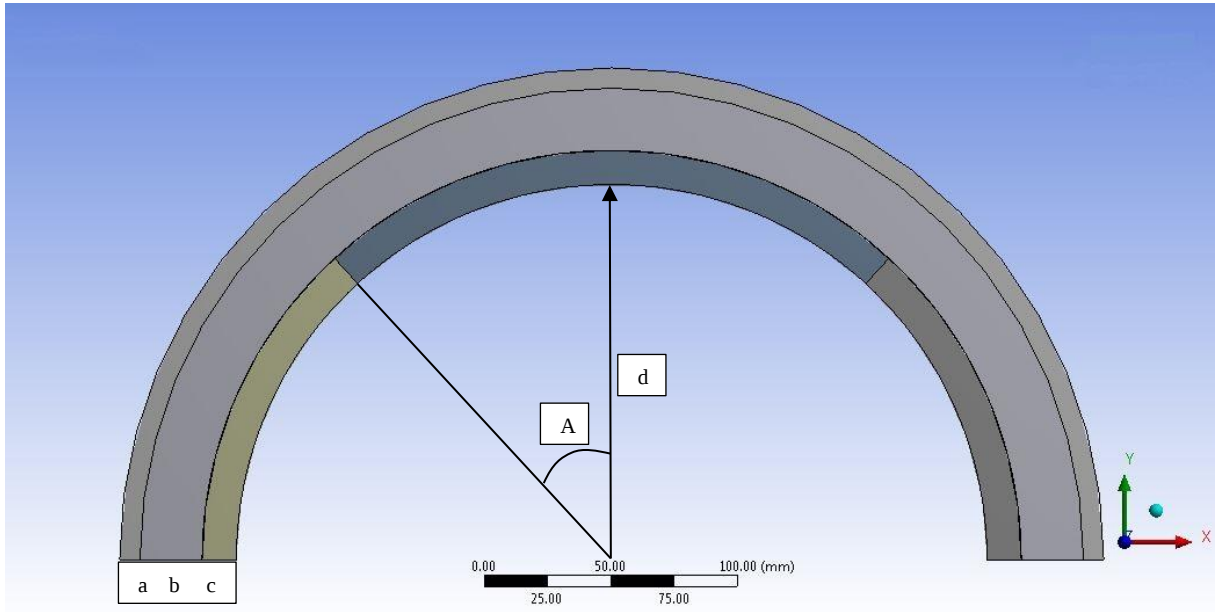
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i + S_i \quad (2.8)$$

$$A_{\text{lapa}} = \frac{(1 - \beta)^2 C}{(\beta^3 + \varepsilon)} \quad S = A_{\text{lapa}} * \vec{v} \quad (2.9)$$

Burada β sıvı hacim oranıdır, ε sıfır ile bölünmesini engellemek için 0.001'den küçük bir sayıdır, $\vec{v}$ hız vektörü, A_{lapa} porozite fonksiyonu ve C lapa bölge sabitidir [53].

2.12. Kask Tasarımının Tanıtılması

FDM' lerin kask içerisindeki erime süreçlerinin incelenmesi amacıyla ANSYS paket programında bir geometri hazırlanmıştır. Bu kısım analizin başlangıç adımını oluşturmaktadır. Çünkü daha sonraki adımlara geçebilmek için öncelikle analizi yapılacak olan model veya geometri tasarlanmalıdır. Hazırlanan ve çalışmada kullanılan bu geometri, standart motosiklet kaskı boyutlarına uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Fakat analiz için kaskın üst yarısı dikkate alınarak geometri oluşturulmuştur. Bunun sebebi ise asıl önemli olan parametrenin FDM' nin bulunduğu kısmın ve bu kısmın kaskı kullanan kişinin baş bölgesine gelecek olan bölgeye etkisidir. Tasarlanan geometri şekil 2.5' de gösterilmiştir ve bu geometrinin boyutları ise tablo 2.2' de verilmiştir.

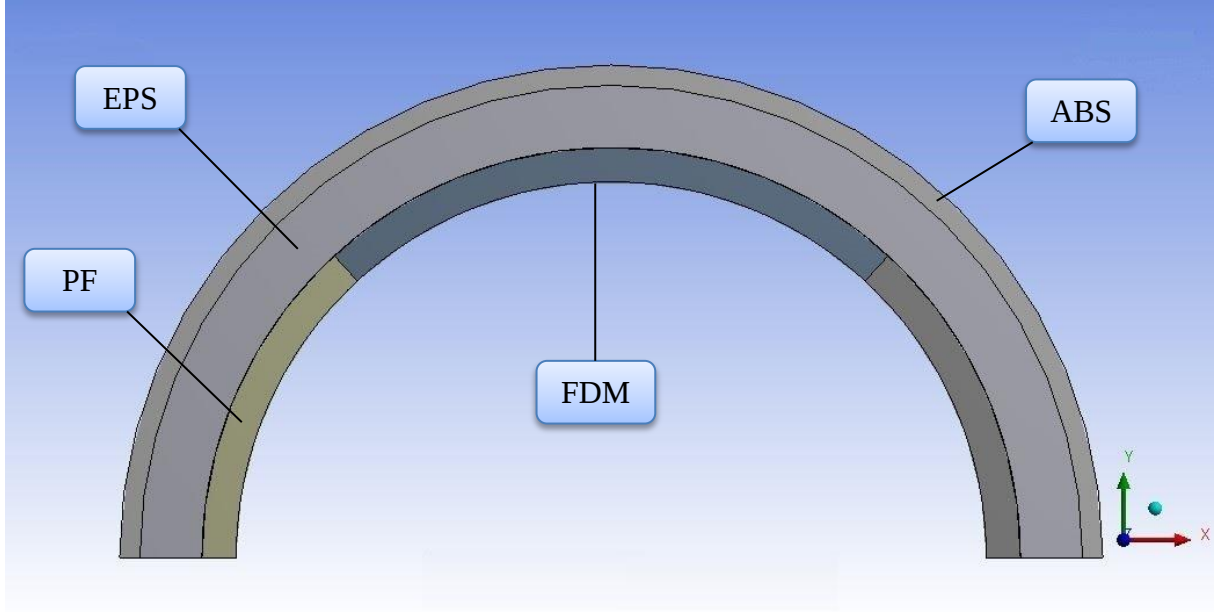


Şekil 2. 5. Kask tasarımı

Tablo 2. 2. Kask tasarımının boyutları

a	8 mm
b	24.5 mm
c	13.5 mm
d	148 mm
A	42.606 °

Kask materyalinde bulunan malzemeler ve analizde kullanılan FDM' lerin özellikleri FLUENT' ile ağ yapısının tasarlanacağı bölümde tanıtılacaktır. Ancak kask yapısındaki ağ yapısının anlatılacağı bölüme geçmeden önce bu özelliklerin bu bölümde verilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 2. 6. Kask malzemeleri

Şekil 2.6' da görüldüğü üzere motosiklet kaskının en üst yapısı bir termoplastik türevidir akrilonitril bütadien stiren (ABS), orta kısım expanded polystyrene (EPS) ve en iç kısmı ise dolgu köpüğü (PF) olarak adlandırılan yapı malzemelerinden oluşmaktadır. FDM' nin bulunduğu kısım ise PF bölgelerinin orta kısmına yerleştirilmiştir.

Analizde kullanılan kask malzemesinin özellikleri tablo 2.3' de gösterilmiştir.

Tablo 2. 3. Kask malzemesinin termofiziksel özellikleri

Kask malzeme isimleri	ABS	EPS	PF
Termal iletkenlik	0.45 W/mK	0.04 W/mK	0.033 W/mK
Isı depolama kapasitesi	1470 j/kgK	1500 j/kgK	1500 j/kgK
Yoğunluk	$1.05 \cdot 10^{-6}$ kg/m ³	30 kg/m ³	15 kg/m ³

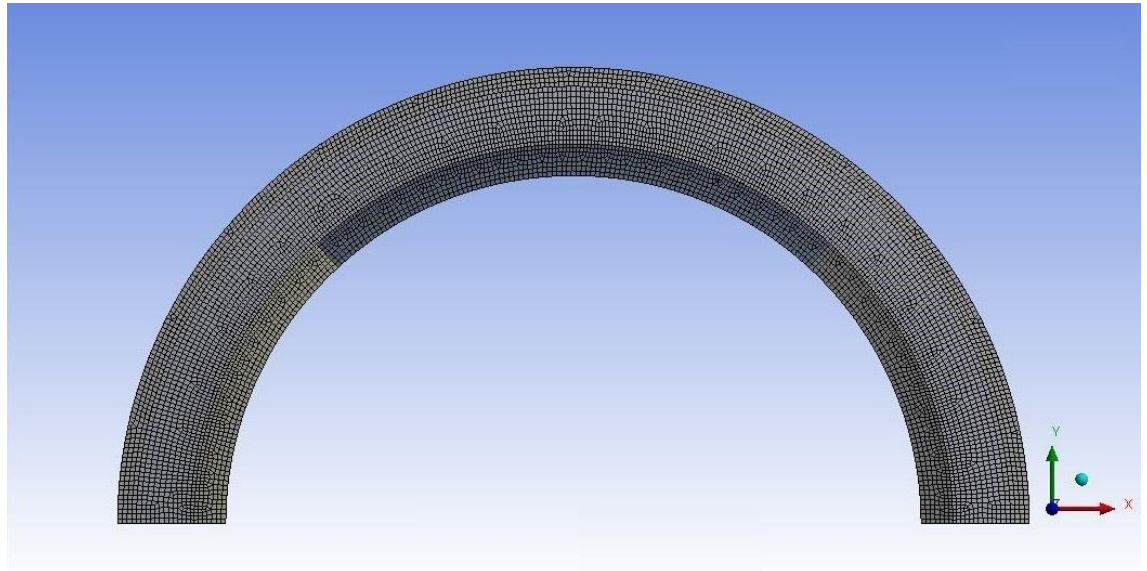
Kaskın geometrik olarak tasarımı FLUENT’ te gerçekleştirildikten sonra ise analiz için en önemli parametre olan ağ yapısının tasarlanması adımına geçilmiştir.

2.13. Kask Tasarımının Ağ Yapısı

Ağ yapısı analizin doğru bir şekilde çözülmesindeki en önemli parametredir. Literatür araştırmalarında da ağ yapısının problemin çözümü için son derece önemli olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada kare şeklinde ağ yapısı kullanılmıştır. Çünkü FLUENT tarafından kullanılan diğer ağ yapıları daha çok karmaşık geometrilerin analizleri için tercih edilmektedir. Yapılan analiz iki boyutlu olarak gerçekleştirildiği için diğer ağ yapıları tercih edilmemiştir.

Öncelikle çalışmanın bir sonraki adımında ağ yapısından kaynaklı bir hata ile karşılaşılması için bu bölümde, tasarlanacak ağ yapısının düzgün bir şekilde geometriye atanması çok önemlidir. Yapılan çalışmada bu ve bu gibi uyarılar dikkate alınarak ağ yapısı oluşturulmuştur. Çalışma için hazırlanan ağ yapısı şekil 2.7’ de verilmiştir.



Şekil 2. 7. Tasarlanan ağ yapısı

Geometriye atanan ağ yapısının doğruluğunun kontrolü ortogonal kalite ile belirlenir. Ortogonal kalite bize ağ yapısının minimum, maksimum ve ortalama değerlerini verir. Oluşturulan ağ yapısı boyutunun ortalama değeri 1' e ne kadar yakın olursa o kadar kaliteli ağ yapısı oluşturulmuş demektir. Bu çalışmada oluşturulan ağ yapısının genel özellikleri ise tablo 2.4' de verilmiştir.

Tablo 2. 4. Ağ yapısının genel özellikleri

Ağ sayısı	7567
Eleman sayısı	6638
En küçük ağ yapısı boyutu	0.8326
En büyük ağ yapısı boyutu	0.9999
Ortalama ağ yapısı boyutu	0.9929

Tabloda verilen değerler bu çalışmada kullanılan ağ yapısının analiz için son derece uygun olduğunu göstermekte ve doğrulamaktadır.

Çalışmamız için uygun olan ağ yapısı seçildikten ve oluşturulduktan sonra kask malzemelerinin ve kullanılan FDM' lerin termofiziksel özelliklerinin programa tanıtılma adımına geçilmiştir. Bu adım çözüm adımı olarak da adlandırılabilir. Bu adımda malzeme özellikleri, sınır şartları başlangıç şartları vb. gibi özellikler geometriye tanıtılmaktadır. Aynı zamanda analiz sürecinin tamamlanması sonucunda FLUENT' ten, istenen sonuçlar (sıcaklık, erime/katılaşma, hız vb.) elde edilebilmektedir.

2.14. Kaskın Sayısal Modellemesinde Kullanılan FDM' nin Termofiziksel Özellikleri

Bu çalışmada FDM olarak parafinler kullanılmıştır. Parafinler petrol türevleridirler ve genellikle C_nH_{2n+2} şeklinde olan ve alkanlar olarak adlandırılan önemli bir bileşen içermektedirler. Parafinlerin erime sıcaklıkları ise yapılarında bulunan karbon atomu sayısı ile orantılıdır. Karbon atomu sayısı arttıkça erime sıcaklıkları artar. Alkan zincirinin uzunluğuna göre parafinler n-parafin veya izo-parafin şeklinde olmaktadır.

Çalışmada kullanılan FDM' lerin termofiziksel özellikleri tablo 2.5, tablo 2.6 ve tablo 2.7' de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 2. 5. RT-27 FDM' sinin termofiziksel özellikleri

Erime aralığı	301-303 K
Gizli ısı	179 kJ/kg
Katı halde Isı depolama kapasitesi	1800 J/kgK
Sıvı halde ısı depolama kapasitesi	2400 J/kg/K
Katı halde termal iletkenlik	0.24 W/mK
Sıvı halde termal iletkenlik	0.15 W/mk
Katı halde sabit yoğunluk	870 kg/m ³
Sıvı halde sabit yoğunluk	760 kg/m ³
Sıvı halde dinamik viskozite	3.42x10 ⁻³ kg/ms

Tablo 2. 6. n-Octadecane FDM' sinin termofiziksel özellikleri

Erime aralığı	301.2-303 K
Gizli ısı	243 kJ/kg
Katı halde Isı depolama kapasitesi	1900 J/kgK
Sıvı halde ısı depolama kapasitesi	2220 J/kg/K
Katı halde termal iletkenlik	0.35 W/mK
Sıvı halde termal iletkenlik	0.149 W/mk
Katı halde sabit yoğunluk	814 kg/m ³
Sıvı halde sabit yoğunluk	774 kg/m ³
Sıvı halde dinamik viskozite	2.68x10 ⁻³ kg/ms

Tablo 2. 7. n-Nonadecane FDM' sinin termofiziksel özellikleri

Erime aralığı	305-307 K
Gizli ısı	222 kJ/kg
Katı halde Isı depolama kapasitesi	1920 J/kgK
Sıvı halde ısı depolama kapasitesi	2300 J/kg/K
Katı halde termal iletkenlik	0.21 W/mK
Sıvı halde termal iletkenlik	0.1507 W/mk
Katı halde sabit yoğunluk	912 kg/m ³
Sıvı halde sabit yoğunluk	769 kg/m ³
Sıvı halde dinamik viskozite	3.91*10 ⁻³ kg/ms

Bu çalışmada izlenen adımlar şu şekilde ifade edilmiştir.

- Çalışmada kullanılacak motosiklet kaskı geometrisi ANSYS paket programında hazırlanmıştır.
- Hazırlanan kask modeli için belirlenen ağ yapısı ANSYS FLUENT programında yapılmış ve gözden geçirilerek doğruluğu test edilmiştir.
- Çalışmada kullanılacak olan denklemler ve çalışmanın sınır şartları ANSYS FLUENT programında belirlenmiştir.
- Daha sonrasında ise analiz için gerekli olan başlangıç şartları belirlenmiş, kask malzemeleri ve kullanılan FDM' lerin özellikleri tanıtılmış ve devamında analizin gerçekleştirilmesi için iterasyona başlanılmıştır.

Analizin çözümünde aşağıda belirtilen kabuller yapılmıştır.

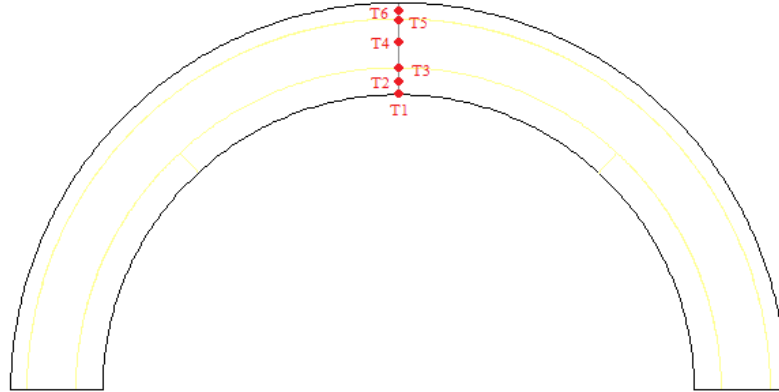
- Akış iki boyutlu ve laminardır.
- Sıvı faz Newtonian olarak kabul edilmiştir.
- Kullanılan FDM' lerin yoğunlukları ρ , ısı iletim katsayıları k ve özgül ısıları c katı ve sıvı faz için ayrı ayrı ele alınmıştır.
- Kask malzemelerinin yoğunlukları ρ , ısı iletim katsayıları k ve özgül ısıları c ele alınmıştır.
- Kullanılan modelin alt cidarları yalıtılmıştır.

- FDM' ler $T=0$ anında durgun haldedirler.
- Yapılan analizde, yüzeylerin kaymama sınır koşulu ($u=0, v=0$) sıfır olarak kabul edilmiştir.

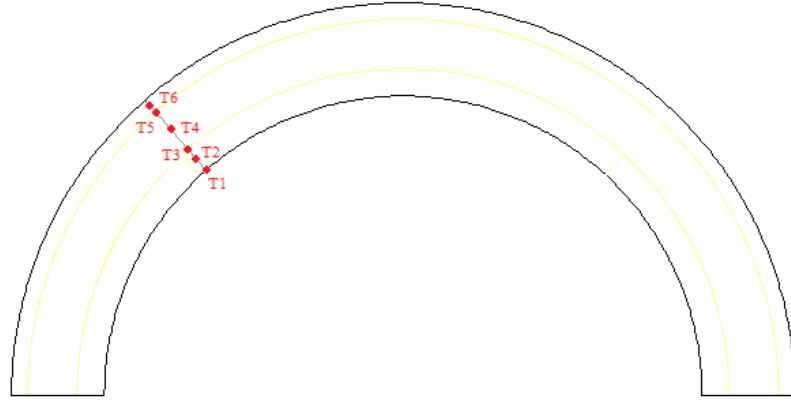
3. BULGULAR

Yapılan bu çalışmanın amacı, motosiklet sürücüsü için konfor ve sürüş esnasında sürücüye serin bir ortam sağlamaktır. Bunu sağlayabilmek için ise gizli ısı depolama sistemlerinde kullanılmakta olan 3 farklı FDM kullanılmış ve bu FDM'lerin sağladığı etkiler kıyaslanmıştır. Yapılan erime analizi sonucunda elde edilen veriler ve erime süreçleri her bir FDM için detaylı olarak incelenmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte yapılan analizden elde edilen veriler kask içerisinde serin bir ortam sağlamak için çalışmada kullanılan FDM'lerin depoladıkları ısı miktarları ve erime süreçleri hakkında yeterli sonuçlar vermiştir.

Yapılan bu çalışmada, faz değitiren madde olarak 3 adet parafin kullanılan kask geometrisinde bu FDM'lerin erime süreçleri ve bu FDM'lerin kullanıcıya sağladığı serinletme süreleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Yapılan analiz sabit hacimde gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz için ANSYS FLUENT paket programı kullanılmıştır. Analizde ilk olarak RT-27 FDM'sinin erime süreci incelenmiştir. Daha sonra ise n-Octadecane ve n-Nonadecane FDM'lerinin erime süreçleri incelenmiştir.



Şekil 3. 1. FDM lerin sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması için kaskın orta bölgesinde belirlenen çizgi ve bu çizgi üzerine atanan ölçüm noktaları



Şekil 3. 2. FDM lerin sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması için fdm kesenin yan kısmına yakın bölgesinde belirlenen çizgi ve bu çizgi üzerine atanan ölçüm noktaları

FDM lerin sıcaklık değişimlerini ve kask malzemelerinde meydana gelen sıcaklık değişimini karşılaştırmak amacıyla kaskın orta ve FDM kesenin yan kenarına yakın bölgelerine ANSYS programında birer çizgi belirlenmiştir. Belirlenen bu çizgi kask modelinin en alt noktasından başlayıp en üst noktasına kadar 46 mm olarak çizilmiştir. Herbir çizgi üzerinede 6 adet nokta atanmıştır.

Bu noktalardan ilk 3 tanesi (T1, T2 ve T3) FDM' nin bulunduğu bölge içerisine diğer 3 tanesi (T4, T5 ve T6) ise kask malzemesinin bulunduğu bölge içerisine yerleştirilmiştir. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de atanan bu noktalar gösterilmektedir. Yerleştirilen çizgi ve bu çizgi üzerine atanan noktaların konum bilgileri ise tablo3.1' de gösterilmiştir.

Tablo 3. 1. Çizgi ve çizgi üzerinde bulunan noktaların konumları

İsim	Çizgi	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Konum (mm)	46	0.153954	0.147997	0.1615	0.174117	0.186	0.19008

3.1.FDM' lerin Erime Süreçlerinin İncelenmesi

Çalışmada kullanılan FDM' ler RT-27, n-Octadecane ve n-Nonadecane'dir. Çalışmada FDM' lerin erime süreçlerini incelemek için başlangıç sıcaklık şartı gerçek uygulama şartlarına uygun bir şekilde 290 K ve kask modelinin üst kısmı (T_{duvar}) 333 K olarak belirlenmiştir. Belirlenen şartlar doğrultusunda FDM' lerin erime analizi için toplamda 64000 iterasyon değeri girilerek belirli aralıklarla kask içerisinde bulunan FDM kesesinde sıcaklık ve sıvı oranlarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Iterasyon sayısı bütün analizler için eşit seçilmiştir. Bu seçim ileriki kısımlarda verilecek olan sıcaklık ve erime grafiklerinin analizi ve seçilen 3 adet FDM nin sıcaklık grafiklerinin karşılaştırması açısından kolaylık sağlayacaktır.

Bununla birlikte analizlerde kask malzemelerinin özellikleri aynıdır. Analizler FDM' lerin bulunduğu kese içerisine konulduğu düşünülerek yapılmıştır.

Çalışmada her bir FDM için zamana bağlı olarak erimenin başladığı an ve analiz başlangıcından itibaren 5000, 15000, 25000, 35000, 45000, 55000 ve 64000 iterasyon adımı sonrasında meydana gelen sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları verilmiştir.

3.1.1. RT-27 FDM' sinin Erime Sürecinin İncelenmesi

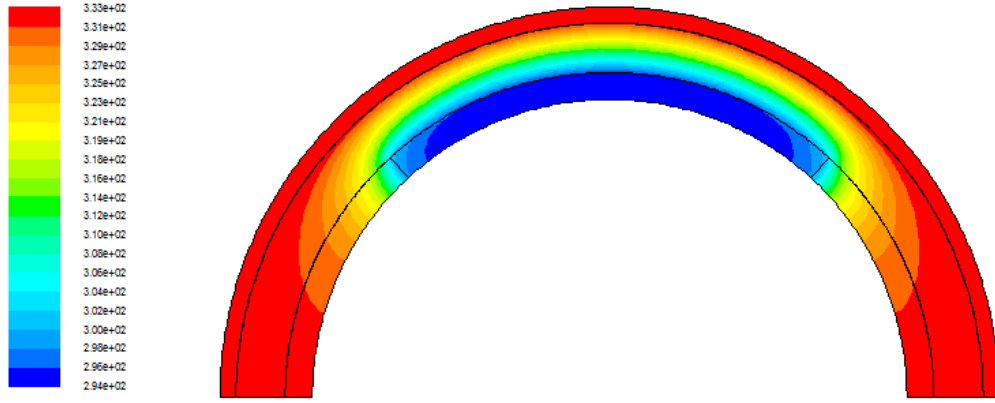
Çalışmada RT-27 FDM' sinin kask içerisindeki erime süreci ve bu süreçte meydana gelen sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Hazırlanan kask modelinin üst kısmına (T_{duvar}) 333 K sıcaklıkta sabit sıcaklık sınır şartı verilmiştir. Sistemin başlangıç sıcaklığı ise 290 K olarak alınmıştır.

Aşağıdaki şekillerde öncelikle FDM' nin erimeye başladığı andaki ve daha sonrasında sırasıyla 5000, 15000, 25000, 35000, 45000, 55000 ve 64000 iterasyon sonrasında meydana gelen sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları gösterilmiştir. Kask modelinde bulunan RT-27 FDM' sinin erime süreci analizinde başlangıç şartlarının geçerli olduğu anda sıcaklık dağılımları eşittir. Fakat zamanla kask malzemeleri içerisinde kask malzemelerinin yapısından dolayı ısının iletim yoluyla ilerlemesi sonucunda sıcaklık artmaktadır ve içerisinde FDM bulunan bölgeye doğru ilerlemektedir. Analizde de 15000 iterasyon sonra oluşan sıcaklık dağılımları (Şekil 3.7) incelendiğinde sıcaklığın kask modeli içerisinde bulunan FDM bölgesinin üst kısmından başlayarak aşağı doğru hareket etmesiyle kademeli bir şekilde arttığı ve ısı katmanlarının meydana geldiği belirlenmiştir. Şekil 3.7 ve sonraki şekillerde ise meydana gelen katman sayılarının zaman ilerledikçe arttığı ve kask modeli içerisindeki sıcaklık değerinin gitgide arttığı şekillerden görülmektedir.

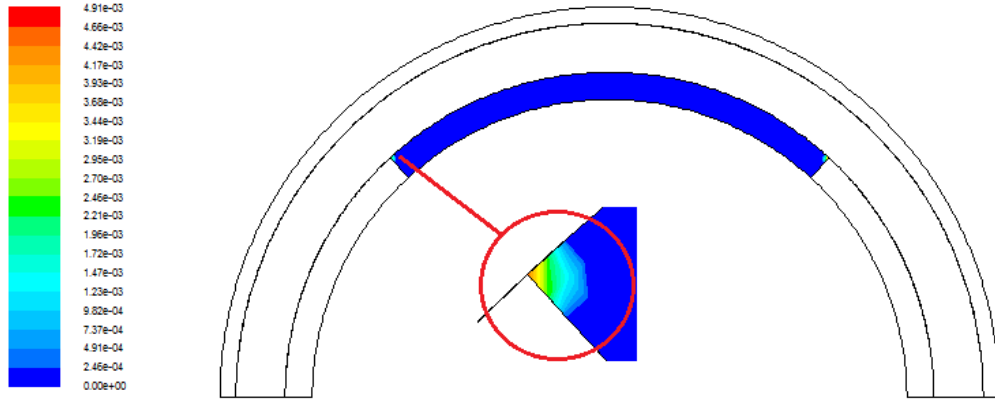
Bunun nedeni, zaman ilerledikçe FDM' nin bulunduğu bölge içerisindeki cidarda oluşan erime miktarının artmasıyla birlikte ısı transfer oranının erime ile orantılı bir şekilde gittikçe artmasıdır. Şekil 3.17' deki 64000 iterasyon sonra oluşan sıcaklık dağılımı incelendiği zaman ise FDM' nin bulunduğu bölgedeki alt yüzeyde FDM sıcaklığının 330K' ne yükseldiği görülmektedir. Buda kask iç sıcaklığının 57 °C olduğu anlamına gelmektedir. Fakat RT-27' nin erime süreci 40-45000 iterasyon aralığında bitmektedir. Buda bize erimenin bittiği anda RT-27 sıcaklığının 41-44 °C olduğunu ifade etmektedir.

FDM'nin bulunduğu bölge içerisinde ilk olarak erimenin başladığı noktalar ise (Şekil 3.4) köşe noktalarıdır. Sıvı oranlarına bakılacak olunursa, ısınan yüzeye yakın olan noktalarda erime miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Erimenin ilerlediği süreçlerde ise katı miktarın bölgenin alt kısmında bulunduğu belirlenmiştir. Meydana gelen

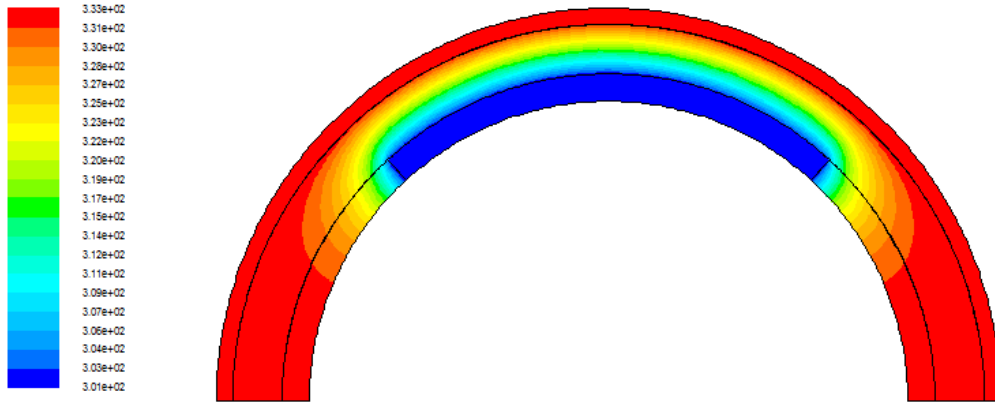
bu durumun nedeni, ısınan FDM' nin yoğunluğun düşmesiyle birlikte yerçekiminin etkisiyle yukarı doğru hareket etmesi sonucu katı haldeki FDM' nin alt tarafta kalmasından kaynaklanmaktadır.



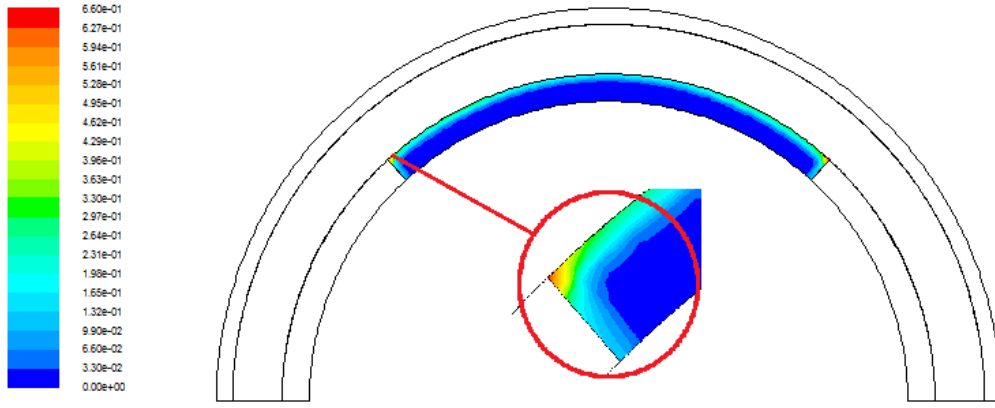
Şekil 3. 3. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (1650. iterasyon) kask üzerindeki sıcaklık dağılımı



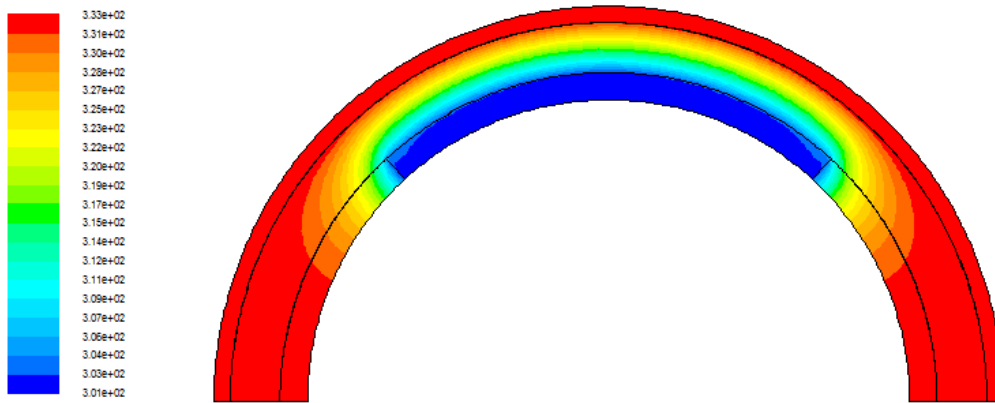
Şekil 3. 4. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (1650. iterasyon) FDM kesesi içerisindeki sıvı oranı



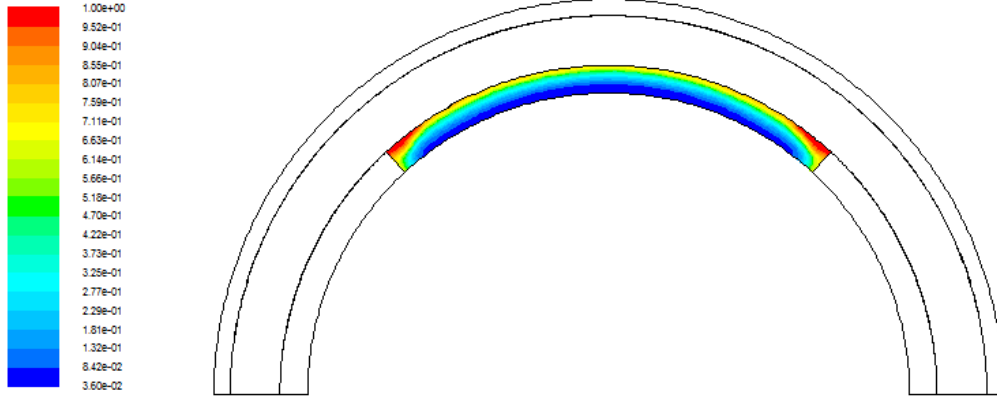
Şekil 3. 5. 5000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



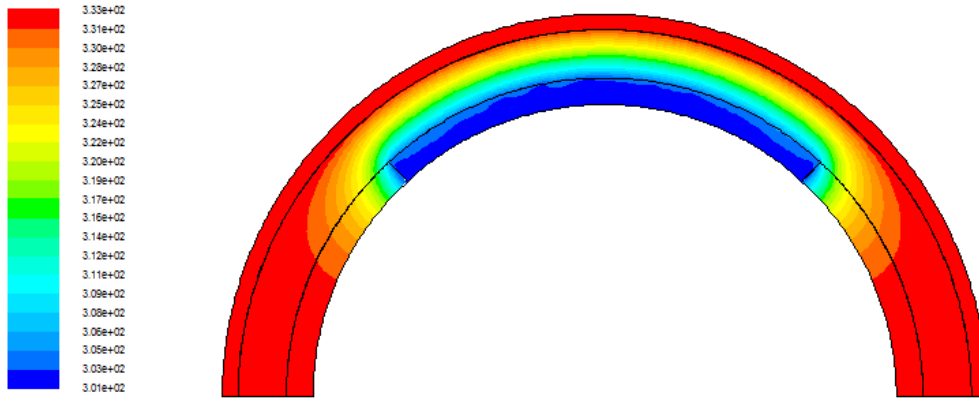
Şekil 3. 6. 5000. iterasyon' daki sıvı oranı



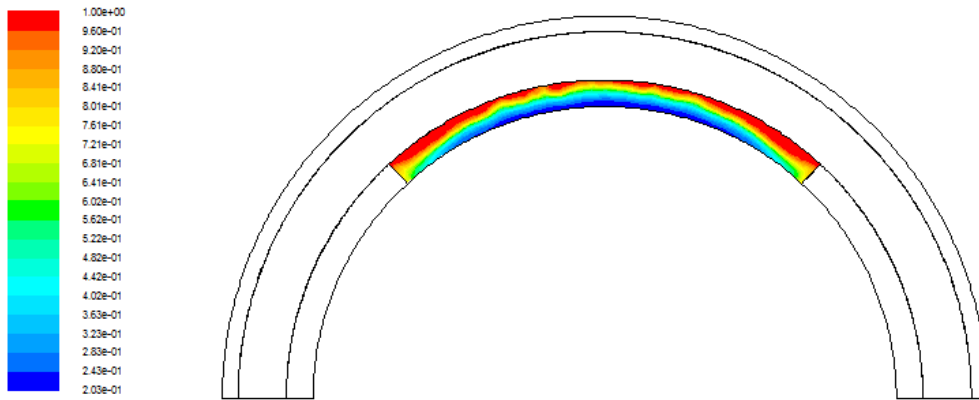
Şekil 3. 7. 15000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



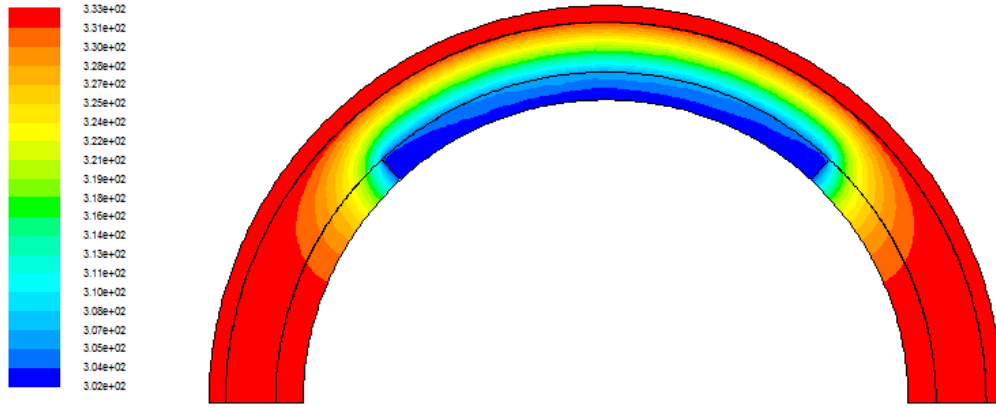
Şekil 3. 8. 15000. iterasyon' daki sıvı oranı



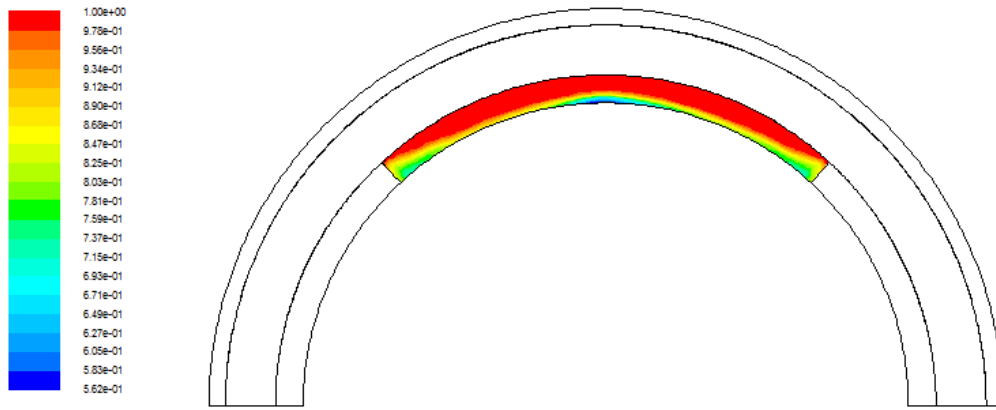
Şekil 3. 9. 25000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



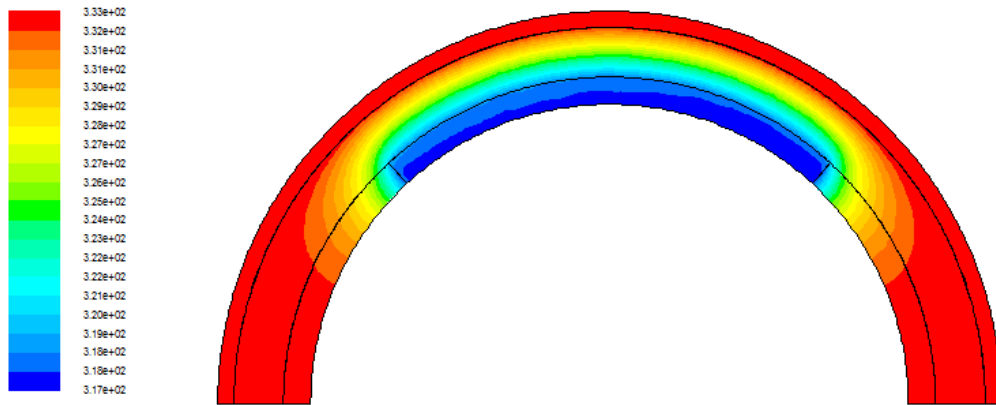
Şekil 3. 10. 25000. iterasyon' daki sıvı oranı



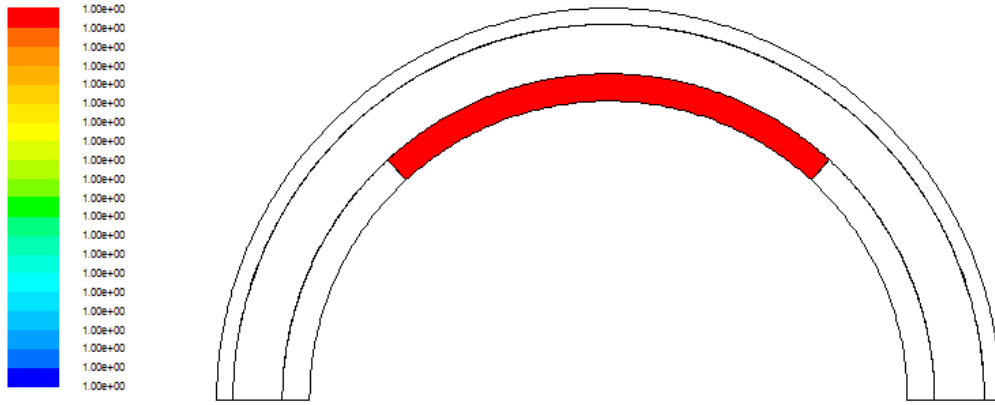
Şekil 3. 11. 35000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



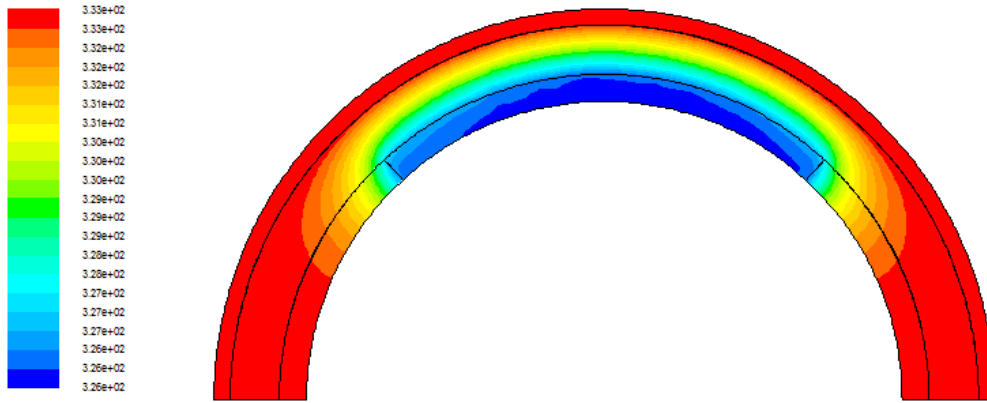
Şekil 3. 12. 35000. iterasyon' daki sıvı oranı



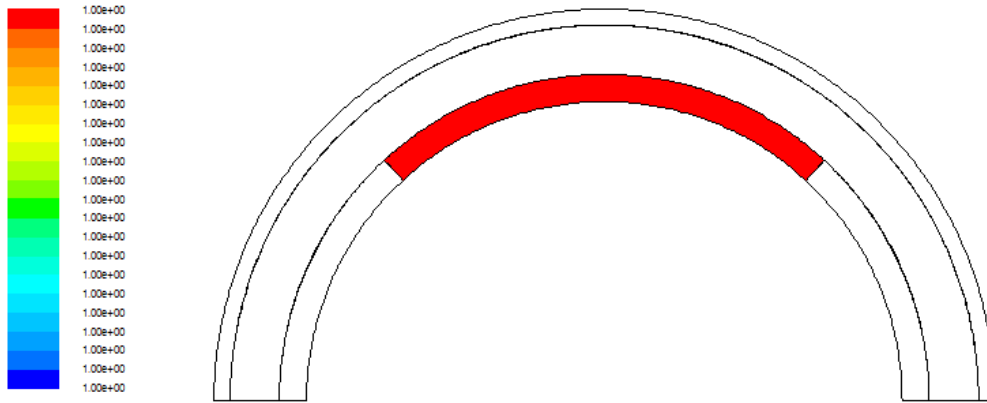
Şekil 3. 13. 45000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



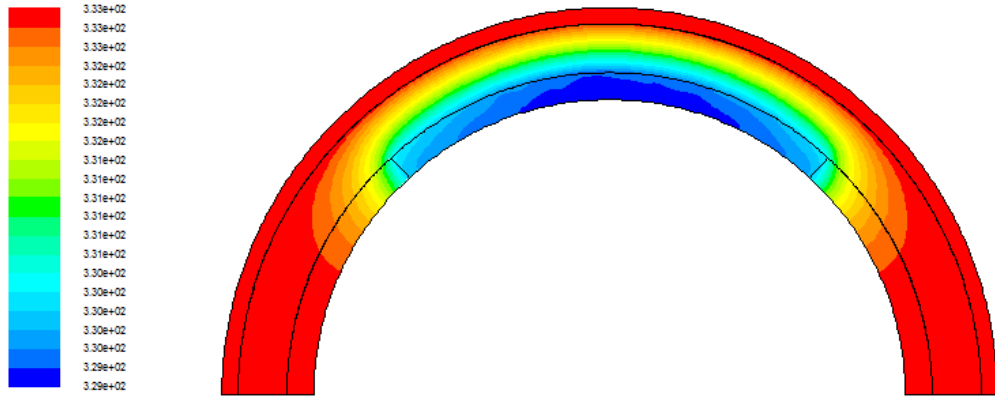
Şekil 3. 14. 45000. iterasyon' daki sıvı oranı



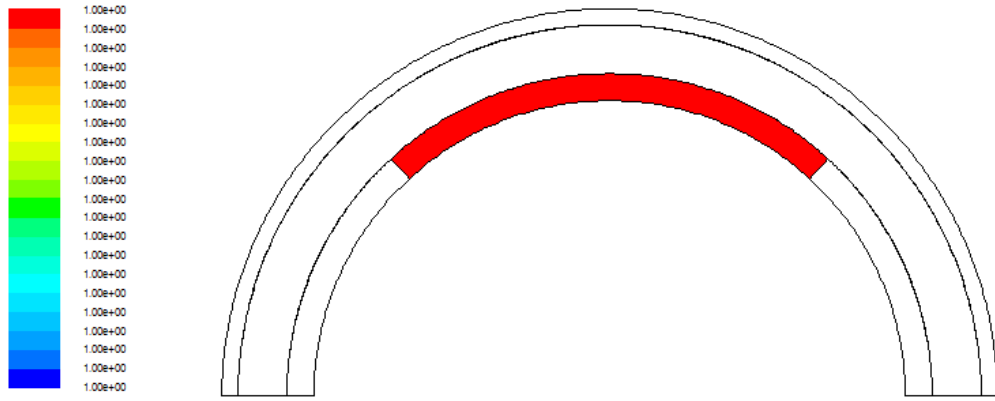
Şekil 3. 15. 55000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



Şekil 3. 16. 55000. iterasyon' daki sıvı oranı



Şekil 3. 17. 64000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı

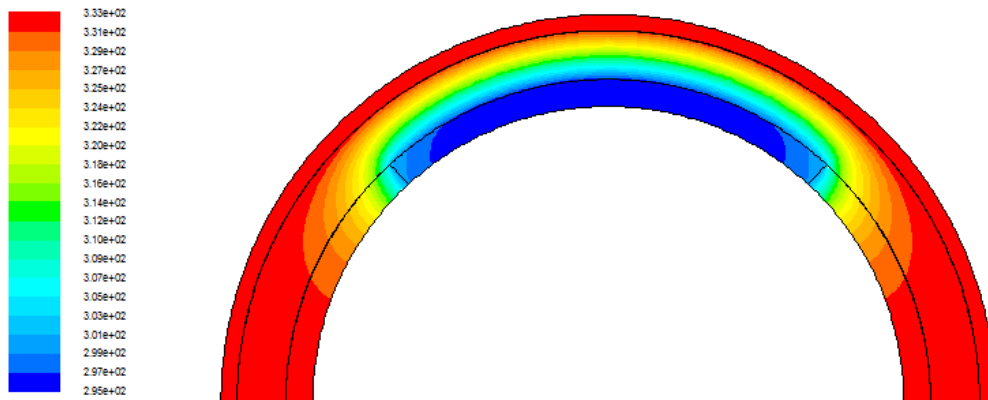


Şekil 3. 18. 64000. iterasyon' daki sıvı oranı

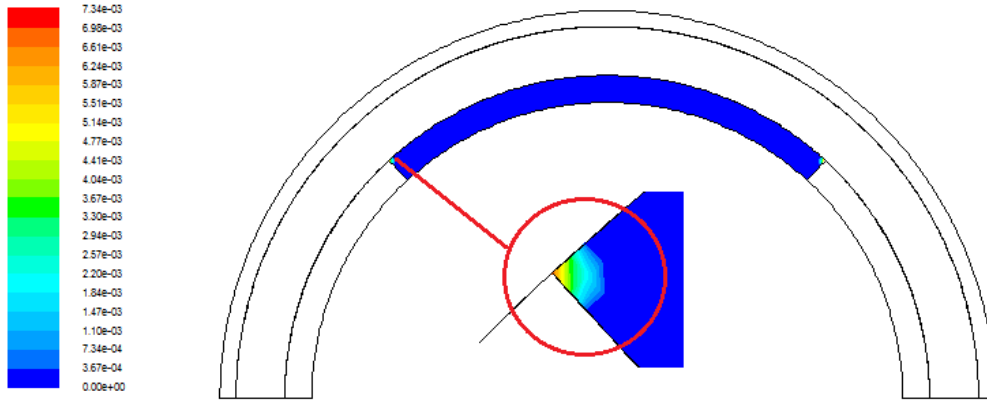
3.1.2. n-Octadecane FDM' sinin Erime Sürecinin İncelenmesi

Bu kısımda n-Octadecane' nin 64000 iterasyon adımı (3200 sn) boyunca erime süreci ve sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Erime için, tasarlanan kask modelinin üst yüzeyi (T_{duvar}) 333 K ve başlangıç sıcaklık şartı 290 K olarak alınmıştır.

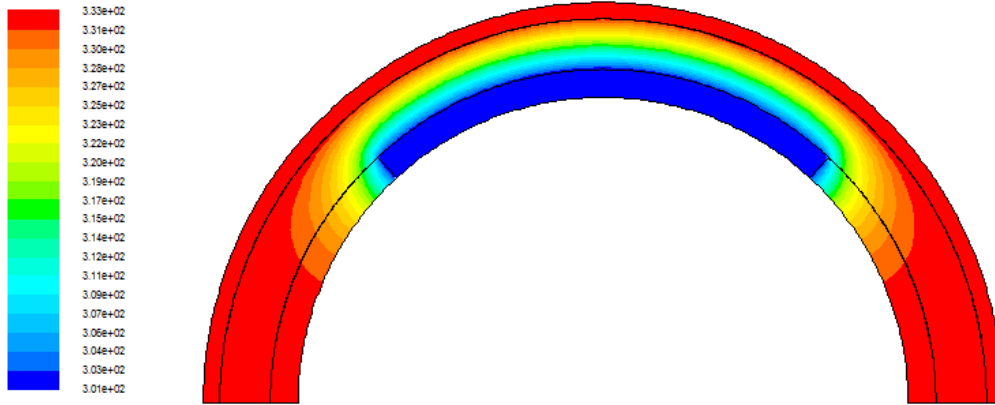
n-Octadecane FDM' sinin erime sürecinin incelenmesi sonucu elde edilen sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları aşağıda verilmiştir. Şekil 3.19 ve Şekil 3.34 arasındaki sıvı oranları ve sıcaklık dağılımları n-Octadecane' nin erime sürecini ifade etmektedir. Analizden elde edilen sonuçların n-Octadecane' nin erime süreci ile ilgili uygun değerler sunduğu düşünülmektedir. Üst yüzeyine 333 K' lik sabit sıcaklık sınır şartı verilen kask modelinde, ısının kask malzemesinin yapısından dolayı iletim yoluyla FDM' nin bulunduğu bölgesine ulaşması sonucu üst köşe noktalarında başlayan erime süreci, n-Octadecane FDM' sinin ısınması sonucunda başlamaktadır. Şekil 3.20' de görüldüğü gibi erime süreci FDM' nin bulunduğu kısımda köşe noktalardan başlamakta ve Şekil 3.22 ve sonrasında da görüldüğü gibi üst kısımlara doğru ilerlemektedir. Erimenin yukarı yöne doğru hareket etmesinin sebebi yoğunluğun etkisinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte katı FDM sürekli alt kısma doğru hareket etmeye başlamıştır ve Şekil 3.26-30-32 de de görüldüğü gibi katı FDM' nin alt köşelerde bulunması bu nedeni doğrulamaktadır. Şekillerde gösterilen erime sürecinde n-Octadecane' nin erime süresinin RT-27' den uzun sürdüğü belirlenmiştir.



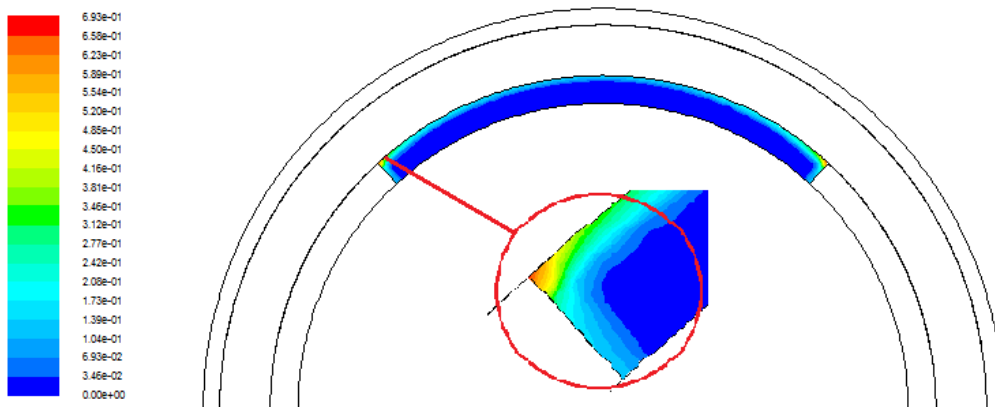
Şekil 3. 19. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (1900. iterasyon) kask üzerindeki sıcaklık dağılımı



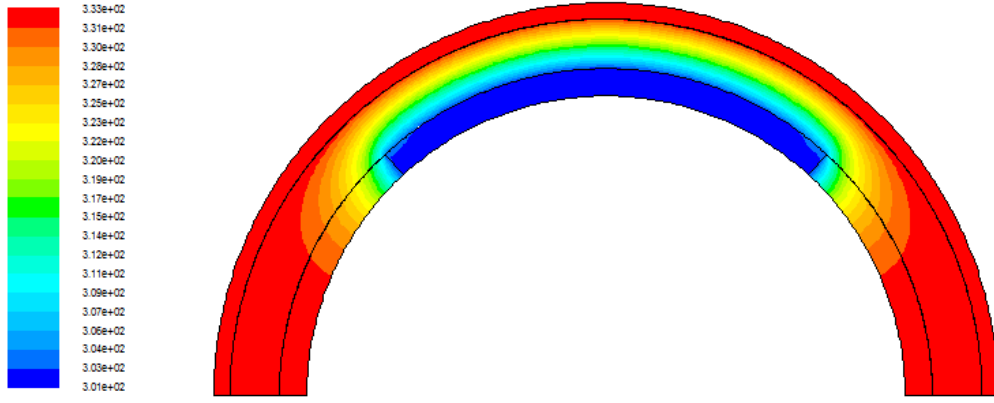
Şekil 3. 20. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (1900. iterasyon) FDM kesesi içerisindeki sıvı oranı



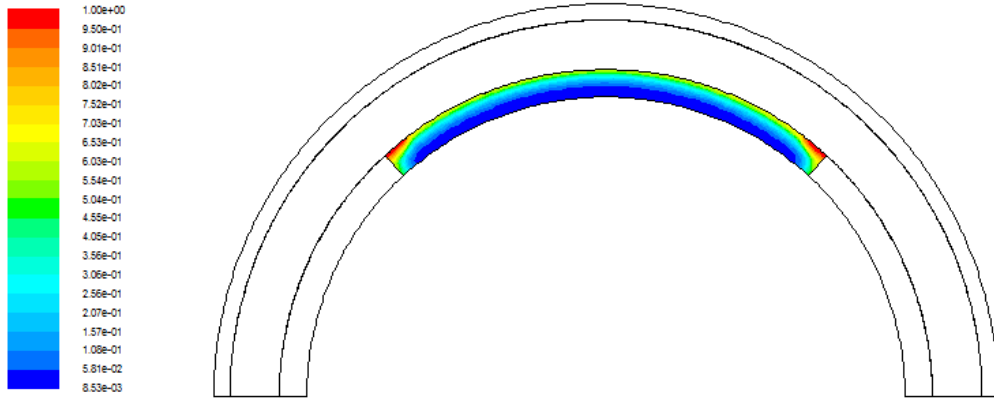
Şekil 3. 21. 5000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



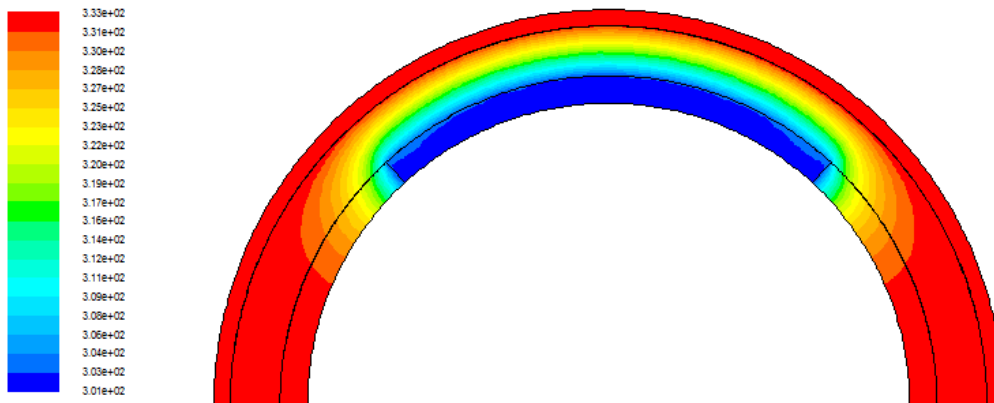
Şekil 3. 22. 5000. iterasyon' daki sıvı oranı



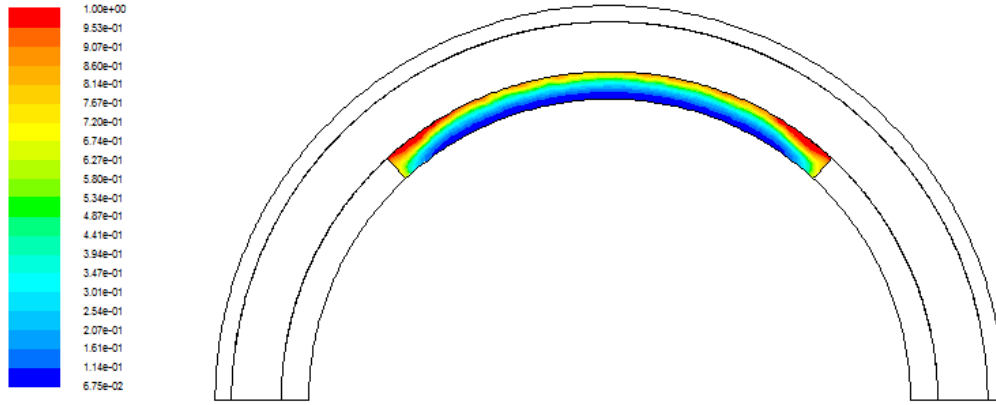
Şekil 3. 23. 15000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



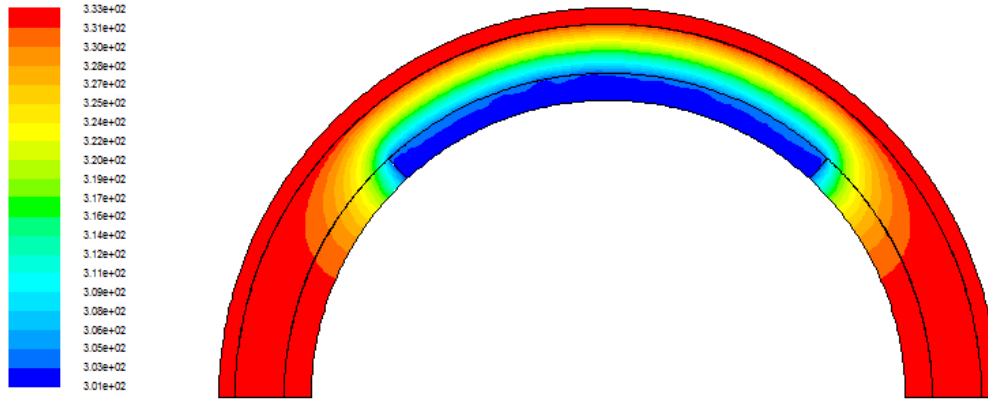
Şekil 3. 24. 15000. iterasyon' daki sıvı oranı



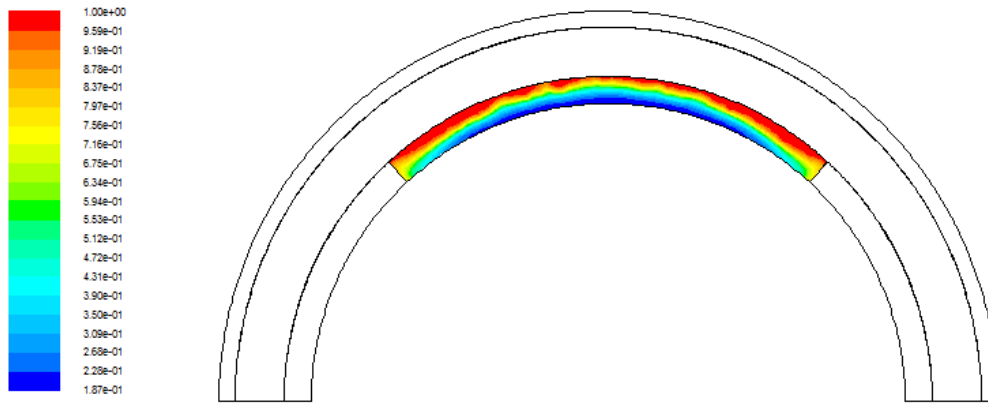
Şekil 3. 25. 25000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



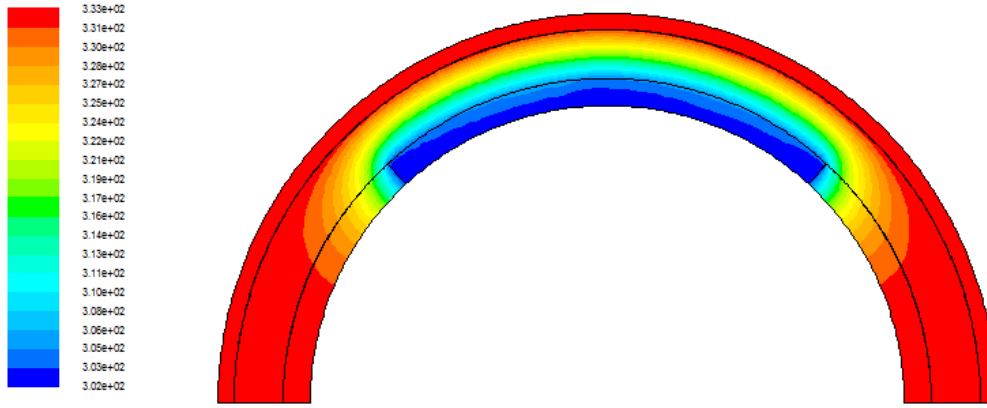
Şekil 3. 26. 25000. iterasyon' daki sıvı oranı



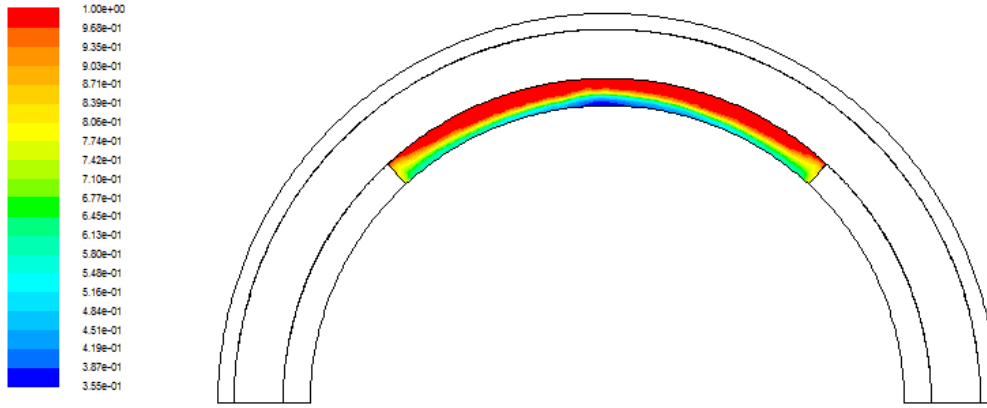
Şekil 3. 27. 35000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



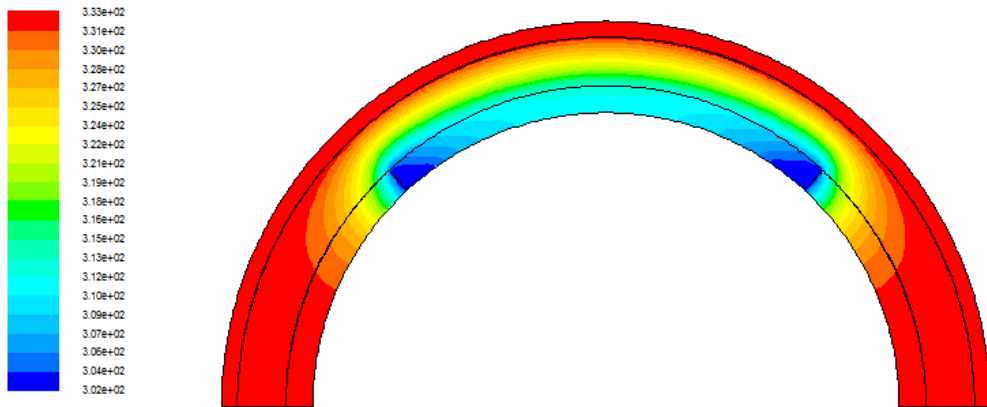
Şekil 3. 28. 35000. iterasyon' daki sıvı oranı



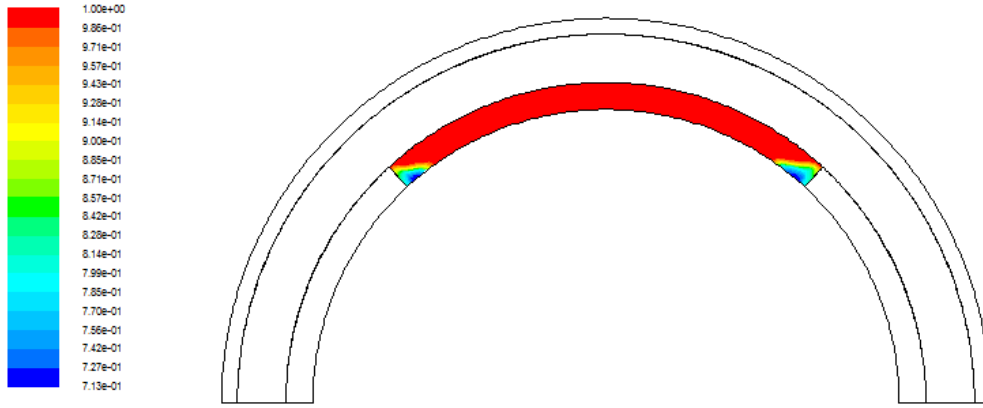
Şekil 3. 29. 45000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



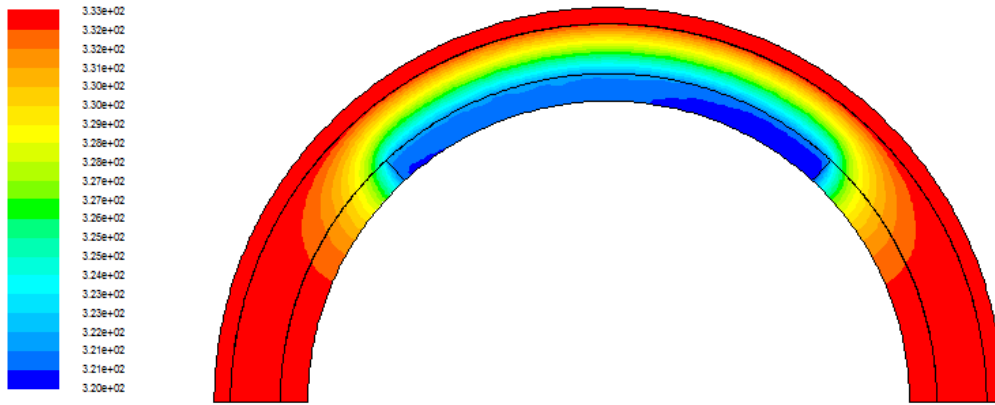
Şekil 3. 30. 45000. iterasyon' daki sıvı oranı



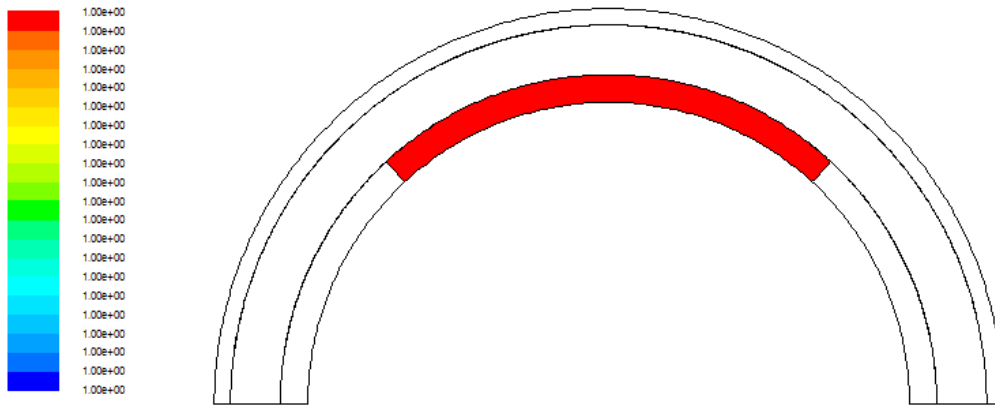
Şekil 3. 31. 55000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



Şekil 3. 32. 55000. iterasyon' daki sıvı oranı



Şekil 3. 33. 64000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



Şekil 3. 34. 64000. iterasyon' daki sıvı oranı

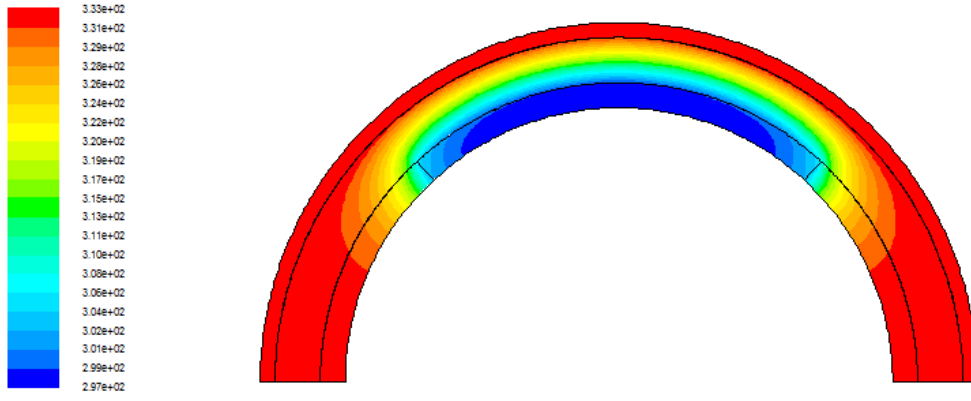
3.1.3. n-Nonadecane FDM' sinin Erime Sürecinin İncelenmesi

Çalışmada, sistemin başlangıç sıcaklık değeri 290 K olarak belirlenmiştir. Kask üst yüzeyi de (T_{duvar}) 333 K sıcaklık değerinde sabit tutulmuştur ve n-Nonadecane FDM si erimeye tabi tutulmuştur. Önceki FDM' ler gibi n-Nonadecane' nin analizinde 64000 iterasyon adımı kullanılmıştır ve erimenin başladığı andan itibaren 5000, 15000, 25000, 35000, 45000, 55000 ve 64000 iterasyon adımı sonrasında oluşan sıcaklık dağılımları ve sıvı oranlarını belirten veriler elde edilmiştir.

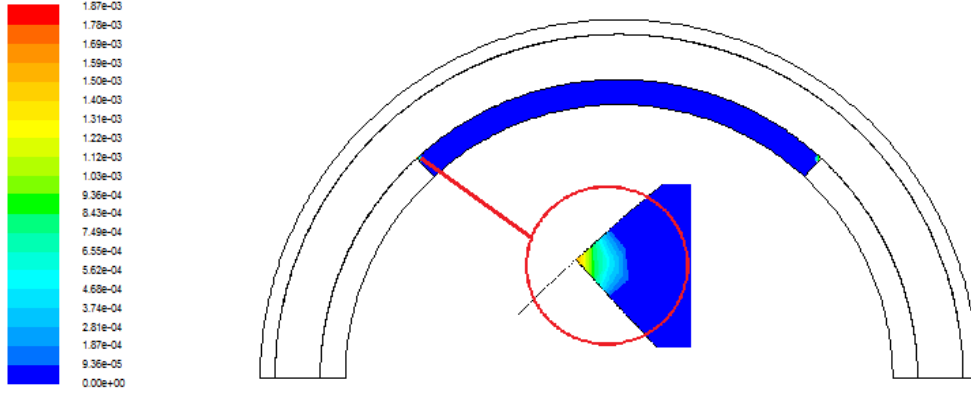
n-Nonadecane FDM' sinin erime analizi önceki FDM' lerde olduğu gibi, erimenin başlangıç anıyla birlikte, 5000, 15000, 25000, 35000, 45000, 55000 ve 64000 iterasyon adımı sonrasındaki sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları göz önünde tutularak yapılmıştır (Şekil 3.35-Şekil 3.50). n-Nonadecane' nin zamanla erime sürecinde meydana gelen değişim aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Analiz başlangıcında ($t=0$, $T=290\text{K}$) FDM katı halde bulunmaktadır. Önceki FDM' lerde olduğu gibi ısınan FDM yukarıya doğru hareketine devam ederek FDM' nin bulunduğu bölgenin üst kesiminde, katı fazda bulunan kısımda FDM' nin bulunduğu bölgenin alt kesiminde toplanmaktadır. Daha öncede açıklandığı gibi bu durum, yoğunluğun etkisinden dolayı kaynaklanmaktadır.

Bu analizde n-Nonadecane' nin önceki FDM' lere göre daha uzun sürede faz değişiminin gerçekleştiği görülmektedir. Buda bize FDM' lerin depoladıkları ısı miktarları hakkında önemli ipuçları vermektedir. Kullanılan FDM' lerin depoladıkları ısı miktarları Tablo 3.2' de gösterilmiştir. Bu konu sıcaklık zaman ve sıvı oranı-zaman adımı grafiklerinin bulunduğu bölümde daha detaylı incelenecektir.

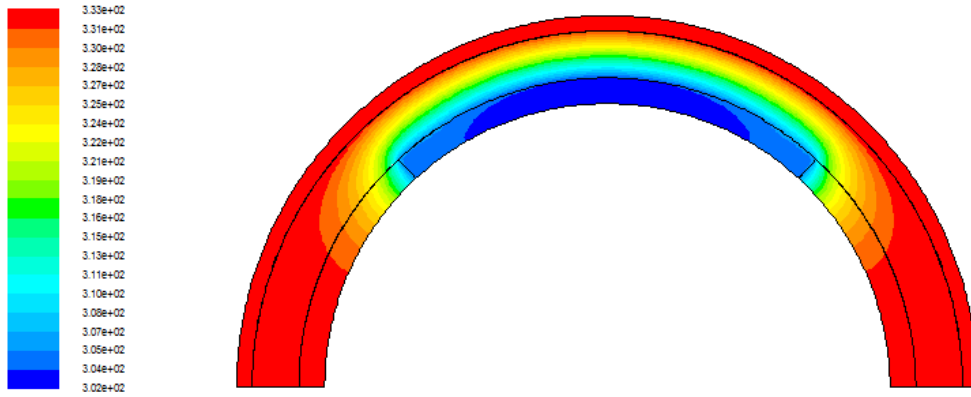
Bu analiz için erime süreci diğer FDM' lerin erime süreçleriyle kıyaslandığında, n-Nonadecane' nin erime süresinin diğer FDM' lere göre daha uzun olduğu görülmektedir. Çalışmada kullanılan FDM' lerin erime süreçleri analizleri hakkında daha net bir fikire sahip olmak için yapılan bir kıyas sonraki bölümde detaylı olarak verilmiştir. Bu kıyas, RT-27, n-Octadecane ve n-Nonadecane FDM' lerinden analiz sonucunda elde edilen sıvı oranı-zaman adımı grafiklerinden meydana gelmektedir. Elde edilen bu verilerle birlikte FDM'lerin erime süreleri, faz değişim süreleri, ısı genleşme katsayıları ve depoladıkları toplam ısı kapasiteleri daha kolay bir şekilde görülmekte ve hesaplanmaktadır.



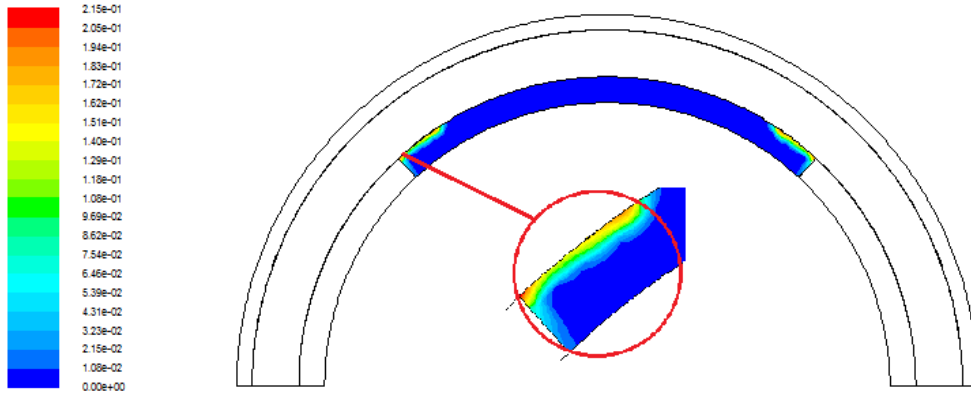
Şekil 3. 35. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (2850. iterasyon) kask üzerindeki sıcaklık dağılımı



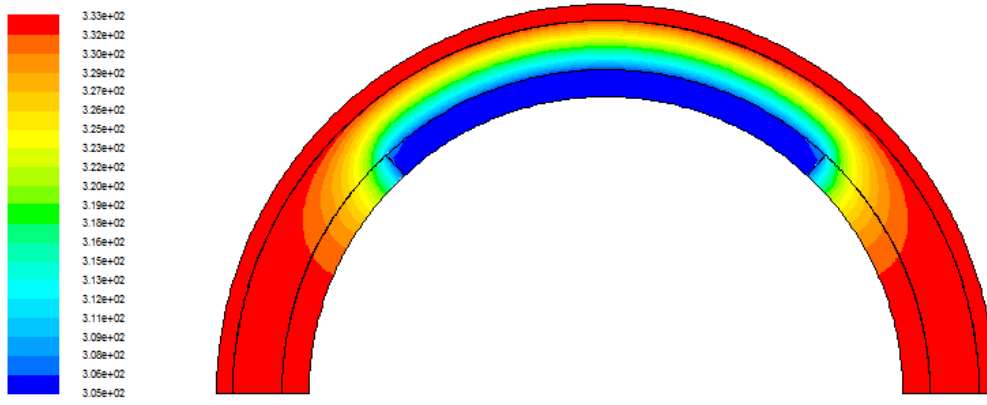
Şekil 3. 36. Hazırlanan kask modeli için erimenin başladığı anda (2850. iterasyon) FDM kesesi içerisindeki sıvı oranı



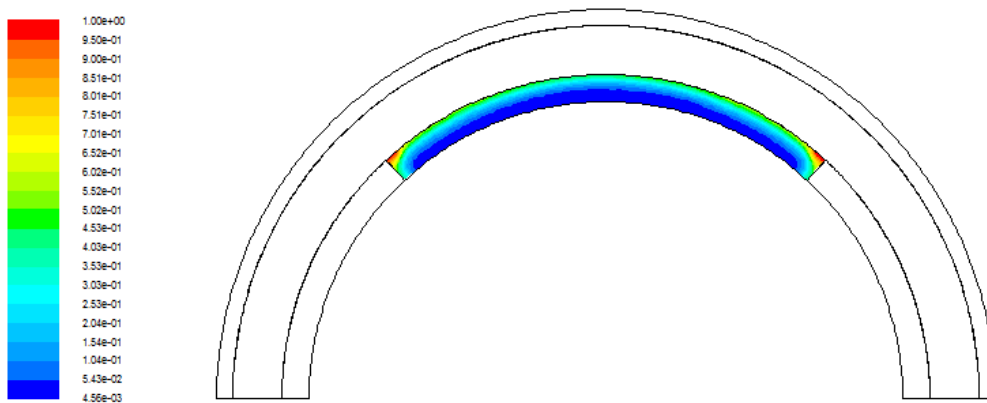
Şekil 3. 37. 5000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



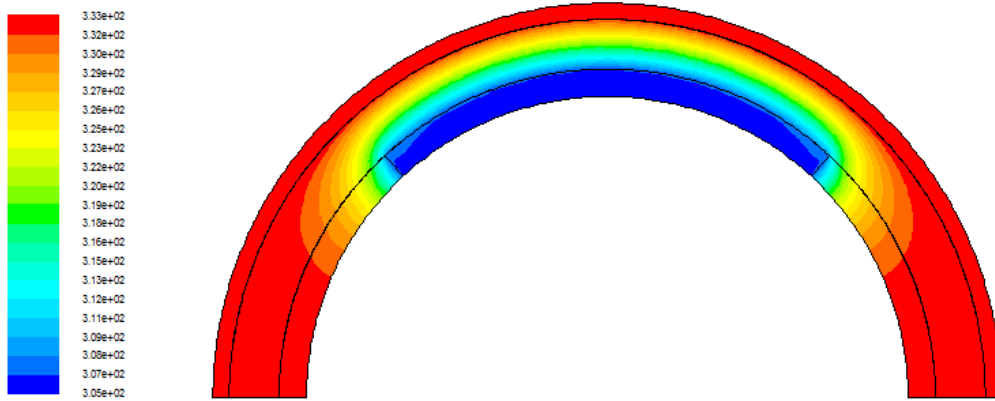
Şekil 3. 38. 5000. iterasyon' daki sıvı oranı



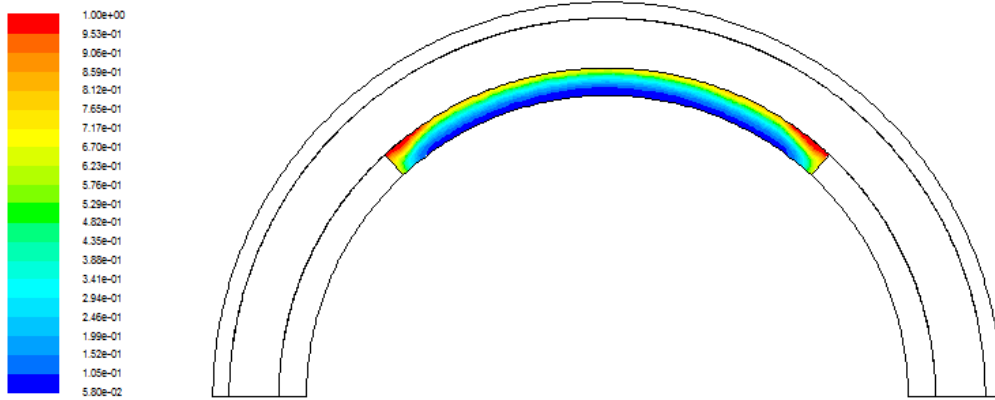
Şekil 3. 39. 15000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



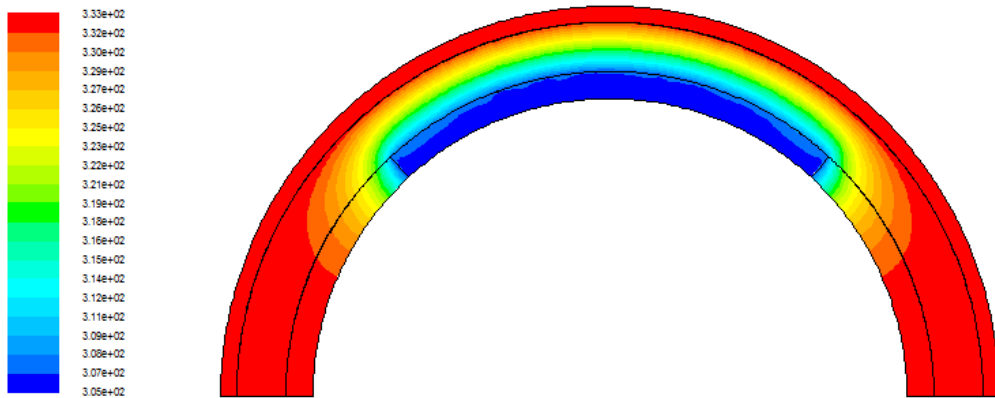
Şekil 3. 40. 15000. iterasyon' daki sıvı oranı



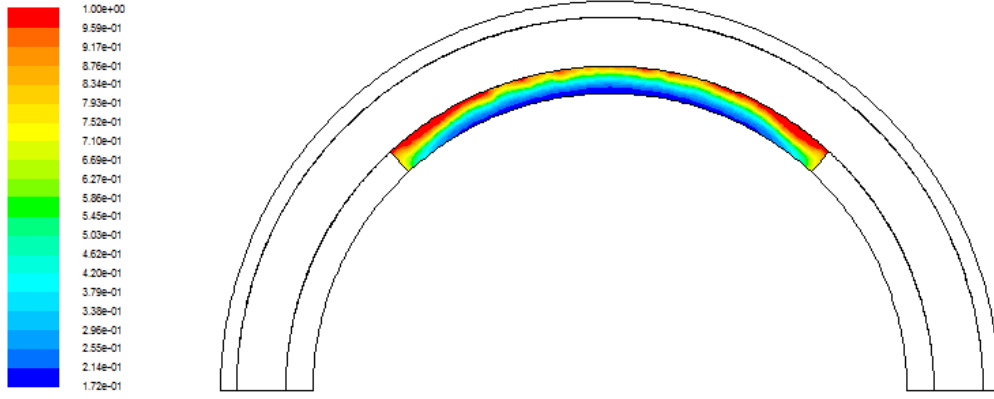
Şekil 3. 41. 25000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



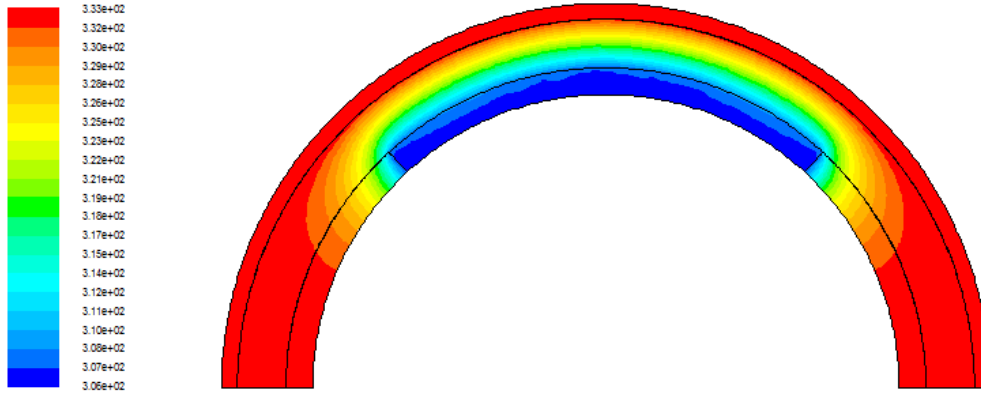
Şekil 3. 42. 25000. iterasyon' daki sıvı oranı



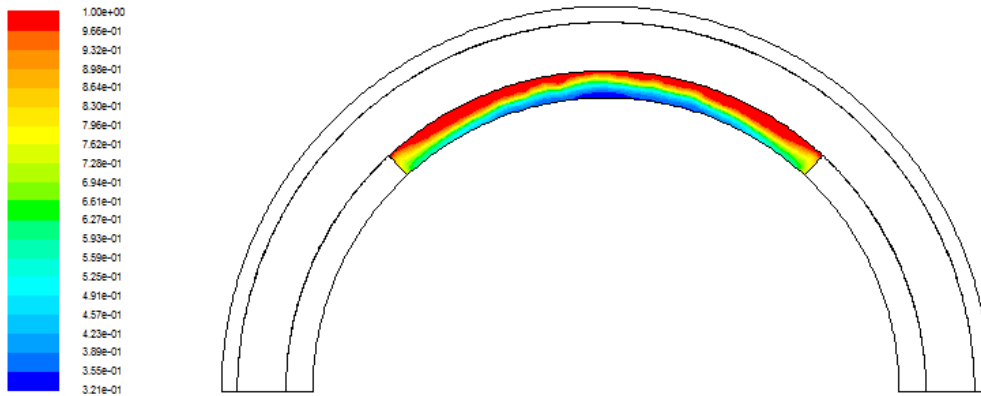
Şekil 3. 43. 35000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



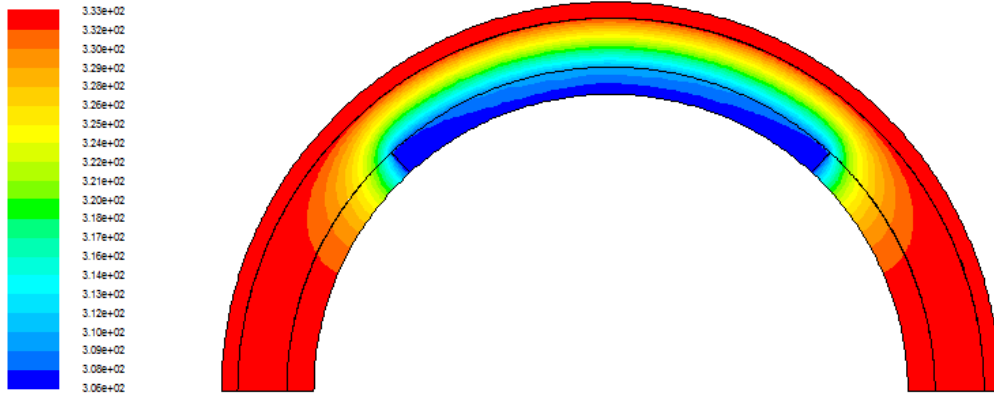
Şekil 3. 44. 35000. iterasyon' daki sıvı oranı



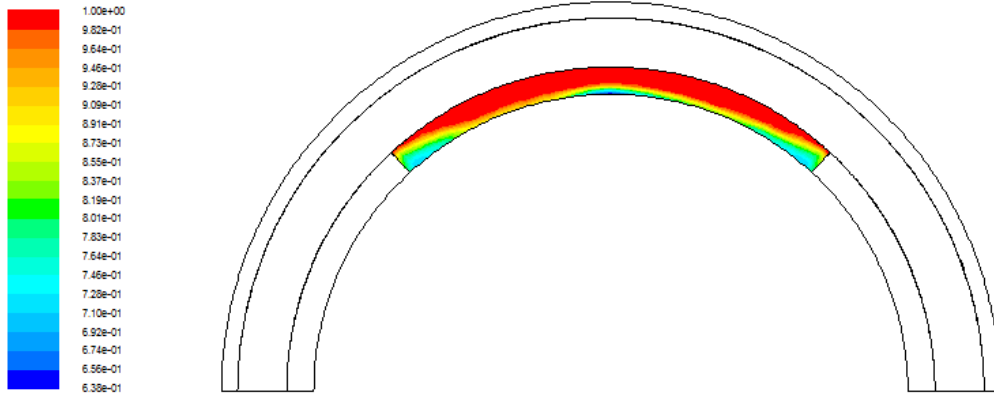
Şekil 3. 45. 45000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



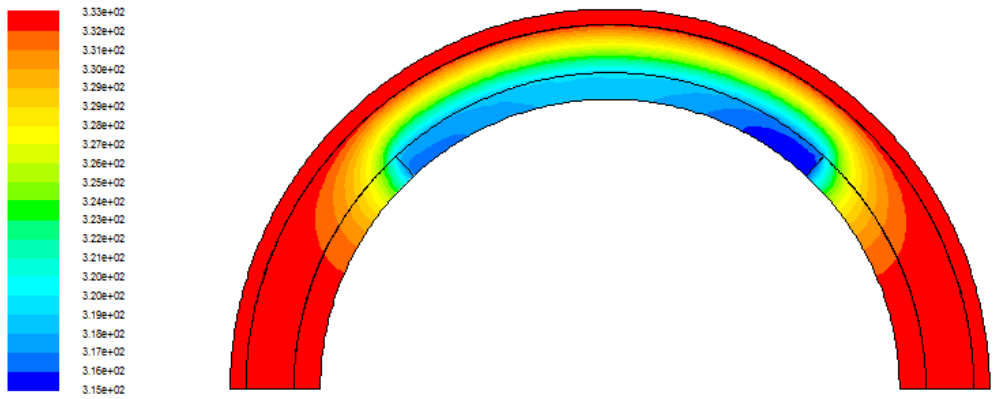
Şekil 3. 46. 45000. iterasyon' daki sıvı oranı



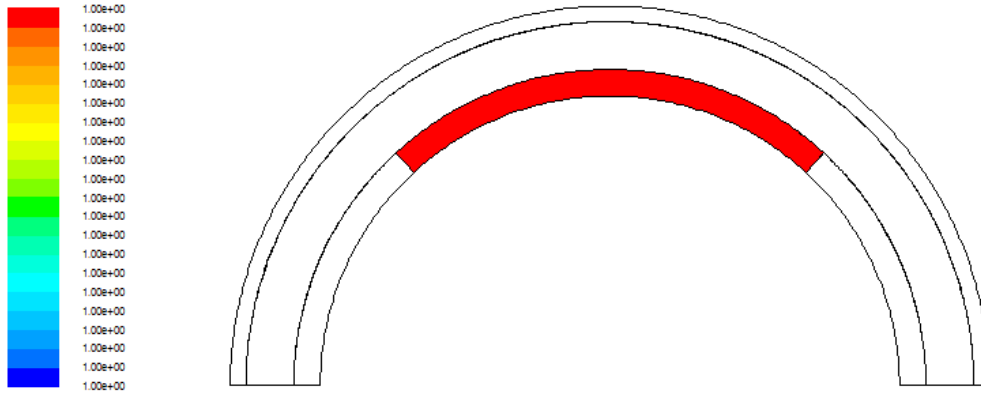
Şekil 3. 47. 55000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



Şekil 3. 48. 55000. iterasyon' daki sıvı oranı



Şekil 3. 49. 64000. iterasyon' daki sıcaklık dağılımı



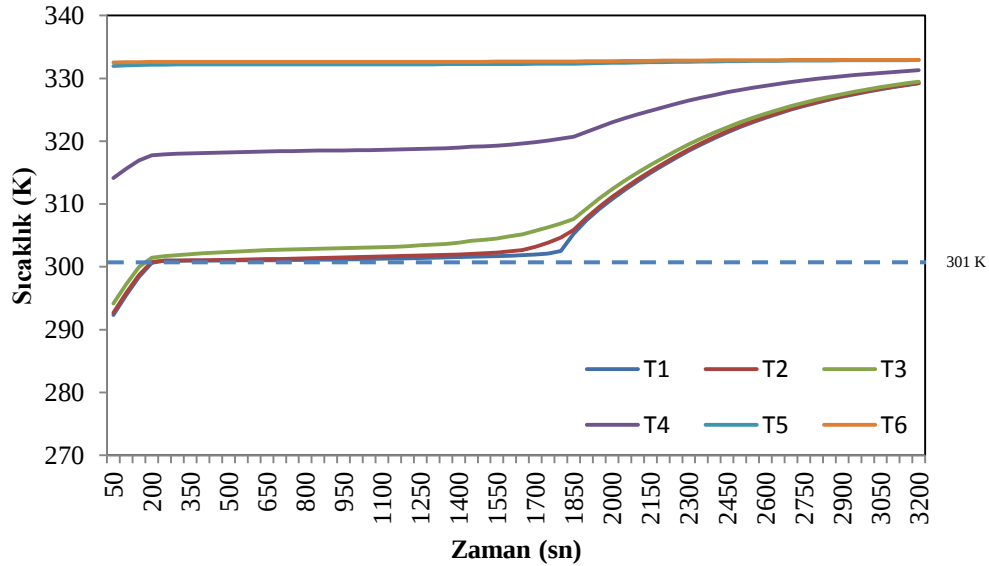
Şekil 3. 50. 64000. iterasyon' daki sıvı oranı

3.2. Erime Süreci İçin Sıcaklık- Zaman Adımı Grafikleri

Çalışma da kaskın en üst yüzeyi 333 K sıcaklıkta sabit tutularak FDM erimeye tabi tutulmuştur. Erime boyunca kaskın en alt kısmı yalıtımlı olarak kabul edilmiştir. Sistemin başlangıç sıcaklığı 290 K olarak alınmıştır. Daha önce erime sürecinin başlangıcından itibaren toplamda 3200 sn' lik bir süreçteki sıcaklık dağılımı, kask yüzeyi üzerinde belirli noktalar seçilerek gösterilmiştir. Bu noktaların konumları hakkında detaylı bilgi önceki bölümlerde verilmiştir. Bu noktalar üzerinde her 1000 iterasyonda bir olacak şekilde herbir nokta için toplamda 64 adet sıcaklık değeri alınmıştır ve grafikler bu şartlar altında oluşturulmuştur.

3.2.1. RT-27' nin Sıcaklık-Zaman Adımı Grafiği

T4 T5 ve T6 noktaları kask yüzeyine verilen 333K sıcaklığındaki sabit sıcaklık sınır şartına en yakın noktalar oldukları için bu noktalardaki sıcaklık değişimi Şekil 3.51' de görüldüğü üzere hızlı bir şekilde meydana gelmektedir. Grafikte sırasıyla en hızlı sıcaklık değişimi T6, T5 ve T4 noktalarında görülmektedir.



Şekil 3. 51. RT-27' nin sıcaklık-zaman adımı grafiği

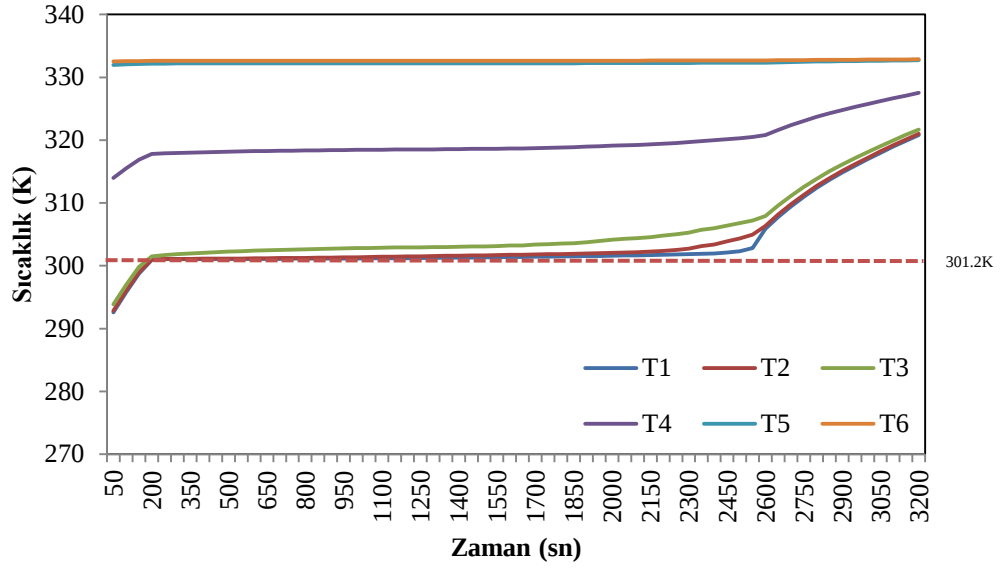
T1 T2 ve T3 noktaları ise FDM üzerinde meydana gelen sıcaklık dağılımlarını ifade etmektedir. T3 noktası hem içerisinde FDM bulunan kesenin en üst noktası hemde T1 ve T2 ye göre kask üst yüzeyine daha yakın olduğu için T1 ve T2 ye nazaran daha hızlı bir sıcaklık değişimi gerçekleşmektedir. Bu nedenle erimenin bu noktalar üzerinde en erken başladığı nokta T3 olarak anlaşılmaktadır.

Şekil 3.51' de görüldüğü gibi erime T3 noktasında yaklaşık olarak 250. sn de gerçekleşirken T2 noktasında 300, T1 noktasında ise 400. Sn de gerçekleşmektedir. Bunun nedeni ise yukarıda bahsedildiği gibi kaskın üst noktası, sabit 333 K olduğu için ısı geçişi T6 dan T3 e kadar kask malzemesinin yapısından dolayı iletim yoluyla ısı transferiyle gerçekleşirken T3 ten T1 e kadar ise hem iletim hemde doğal taşınım yoluyla gerçekleşmektedir.

Yaklaşık olarak 1900 sn sonrasında erime tamamen gerçekleştiği için RT-27 nin gizli ısıdan duyulur ısıya geçiş yapmasıyla 3200. sn yeye kadar sıcaklığın hızlı bir şekilde kask yüzeyine verilen sabit sıcaklık sınır şartı olan 333 K'e doğru yaklaştığı yine Şekil 3.51' de görülmektedir.

3.2.2. n-Octadecane' nin Sıcaklık-Zaman Adımı Grafiği

Şekil 3.52' de n-Octadecane nin zamana bağlı sıcaklık değişimleri verilmiştir. Grafiğe bakıldığında T4, T5 ve T6 noktalarındaki sıcaklık değişiminin T1, T2 ve T3 noktalarına göre daha hızlı olduğu görülmektedir. Bu hızlı değişimin sebebi T4, T5 ve T6 noktalarının analizde kask yüzeyine verilen sabit sıcaklık sınır şartı olan 333 K sıcaklık değerine daha yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.52' ye bakıldığında bu noktalar arasında en hızlı sıcaklık değişiminin ise sırasıyla T6, T5 ve T4 noktalarında meydana geldiği görülmektedir.



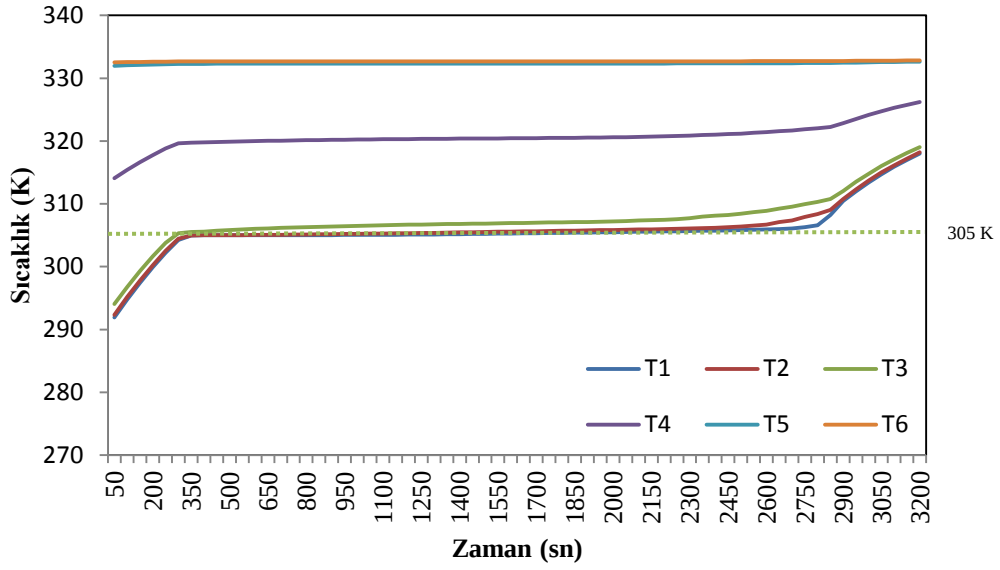
Şekil 3. 52. n-Octadecanenin sıcaklık-zaman adımı grafiği

FDM' nin bulunduğu bölge üzerindeki sıcaklık değişimlerini ve bu noktalardaki faz değişim eğrilerini görmek için belirlenen noktalar ise T1, T2 ve T3 noktalarıdır. Bu noktaların kask yüzeyine yakınlığı ve faz değişimine başlama ve bitiş sürelerini kıyaslamamızda yardımcı olmaktadır. Şekil 3.52' ye bakıldığında n-Octadecan FDM' sinin bulunduğu bölgede kask yüzeyine en yakın noktanın T3 olduğu görülmektedir. Buda bize bu bölgedeki en erken faz değişiminin T3 noktasında başladığını göstermektedir. Bu noktalardaki faz değişiminin başladığı süreler T3 noktasında 200 sn, T2 noktasında 150-200 sn ve T1 noktasında 150-200 sn dir. Bitiş süreleri ise T1 2500 sn T2 2350 sn ve T3 2250 sn dir.

Yukarıda verilen n-Octadecane' nin sıcaklık-zaman grafiğinde analiz 3200 sn' de gerçekleşmiştir. Faz değişimi ise yaklaşık olarak 2550. sn de sona ermiştir. Grafikte, n-Octadecan FDM' sinde meydana gelen sıcaklık değişimlerini ifade eden T1, T2 ve T3 noktalarında faz değişiminin bitmesiyle sıcaklığın hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Çünkü Faz değişiminin bitmesiyle birlikte FDM gizli ısı bölgesinden duyulur ısı bölgesine geçiş yaptığı için devam eden süreçte FDM hızlı bir şekilde 333 K olarak belirlenen sabit sıcaklık sınır şartına yaklaşmaktadır.

3.2.3. n-Nonadecane' nin Sıcaklık-Zaman Adımı Grafiği

Daha öncede belirtildiği gibi kask yüzeyine en yakın noktalar T4, T5 ve T6 noktalarıdır ve kask yüzeyinde 333 K sıcaklık değerinde sabit sıcaklık sınır şartına sahiptir. Bu nedenle bulundukları konumlardan dolayı en erken ısınan noktalar sırasıyla T6, T5 ve T4 değerleridir. Şekil 3.53' de bu noktalardaki sıcaklık değişiminin hızlı bir şekilde meydana geldiği açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3. 53. n-Nonadecane'nin sıcaklık-zaman adımı grafiği

n- Nonadecane FDM' sinin bulunduğu bölge üzerindeki T1, T2 ve T3 noktaları ise bu bölgede meydana gelen sıcaklık dağılımlarını göstermektedir. Şekil 3.53' de görüldüğü gibi T3 noktasındaki sıcaklık değişimi T1 ve T2'ye göre daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bunun nedeni bu noktalar arasında T3 noktasının T1 ve T2 noktasına göre kaskın üst bölgesine daha yakın olmasıdır.

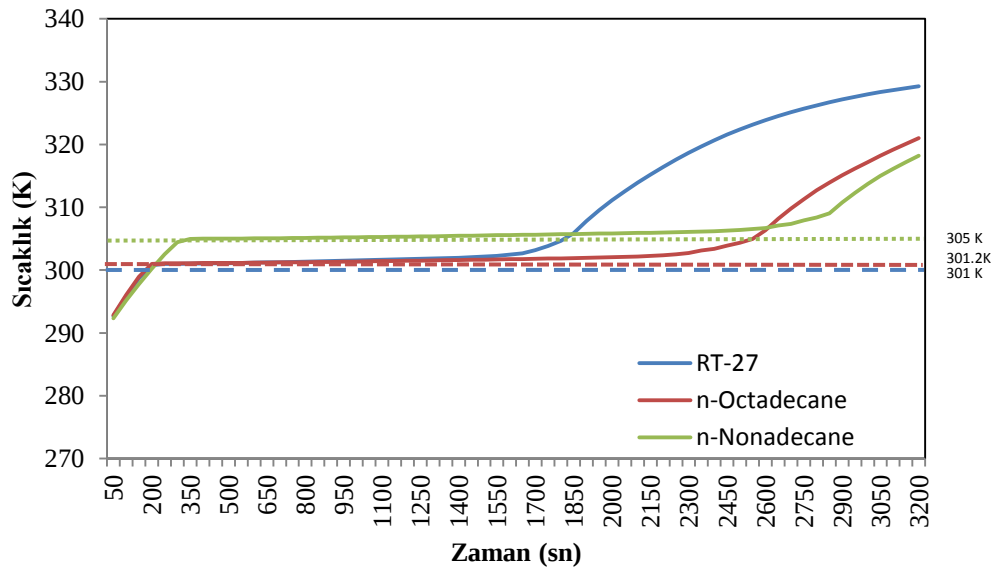
T1, T2 ve T3 noktalarının kask üst yüzeyine yakın olmasıyla doğru orantılı olarak FDM' nin faz değişimine başlama ve bitiş süreleride değişmektedir. Şekil 3.53' e baktığımızda T3 noktasında faz değişimine başlama sürelerinin yaklaşık olarak T1 noktasında 250 sn T2 noktasında 200 ve T3 noktasında 150 sn civarında iken bitiş sürelerinin yaklaşık olarak T1 2800 sn, T2 2700 sn ve T3 noktasında 2500 sn civarında

olduğu görülmektedir. Çünkü T6 noktasından T3 noktasına kadar iletim yoluyla ısı transferi gerçekleşmektedir ve n-Nonadecane FDM' sinin bulunduğu bölge üzerinde olan T1,T2 ve T3 noktalarında ısıнын transferi hem iletim hemde doğal taşınım yoluyla gerçekleşmektedir.

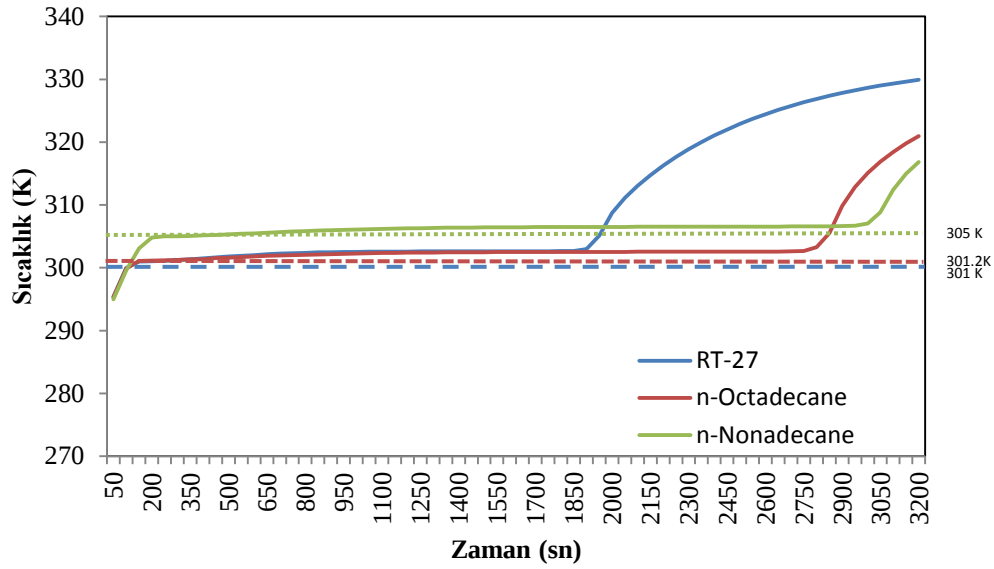
Toplam 3200 sn' lik bir süreçte yapılan analizde faz değişiminin yaklaşık olarak 2800. sn de tamamlandığı Şekil 3.53' de görülmektedir. Faz değişiminin bitmesiyle birlikte FDM gizli ısı bölgesinden duyulur ısı bölgesine geçiş yaptığı için devam eden süreçte FDM hızlı bir şekilde 333 K olarak belirlenen sabit sıcaklık sınır şartına yaklaşmaktadır.

3.2.4. Sıcaklık Zaman Adımı Grafiklerinin Karşılaştırması

Şekil 3.54' de RT-27, n-Octadecane ve n-Nonadecane' nin erime süreci boyunca T2 noktasında ölçülen sıcaklık değerinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Sistem başlangıçta 290 K sıcaklığa sahiptir. Erime süreci, kaskın en üst yüzeyi 333 K sıcaklıkta sabit tutularak başlatılmıştır. Şekildedeki görüldüğü gibi RT-27 fdmsinin faz değişim aralığı n-Octadecane ve n-Nonadecane' ye göre çok daha kısa sürmektedir. Ayrıca grafiğe göre faz değişim aralığının en uzun sürdüğü FDM' nin n-Nonadecane olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 54. FDM' lerin karşılaştırıldığı sıcaklık-zaman adımı grafikleri



Şekil 3. 55. Yan çizgi ile FDM' lerin karşılaştırıldığı sıcaklık-zaman adımı grafikleri

Şekil 3.2' de FDM lerin sıcaklık değişimlerini karşılaştırmak amacıyla kaskın orta ve FDM kesenin yan kenarına yakın bölgelerine ANSYS programında birer çizgi belirlenmişti. Bu karşılaştırmayı yapmak için Şekil 3.55' de RT-27, n-Octadecane ve n-Nonadecane' nin erime süreci boyunca T2 noktasında ölçülen sıcaklık değerinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi, faz değişim süreci bütün FDM' lerde kesenin orta noktasında alınan T2 noktasına göre daha uzun sürmüştür. Bunun nedeni ise daha öncede belirtildiği gibi FDM' lerin kesenin köşe noktalarında daha geç erimesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü erime son olarak bu noktalarda gerçekleşmektedir.

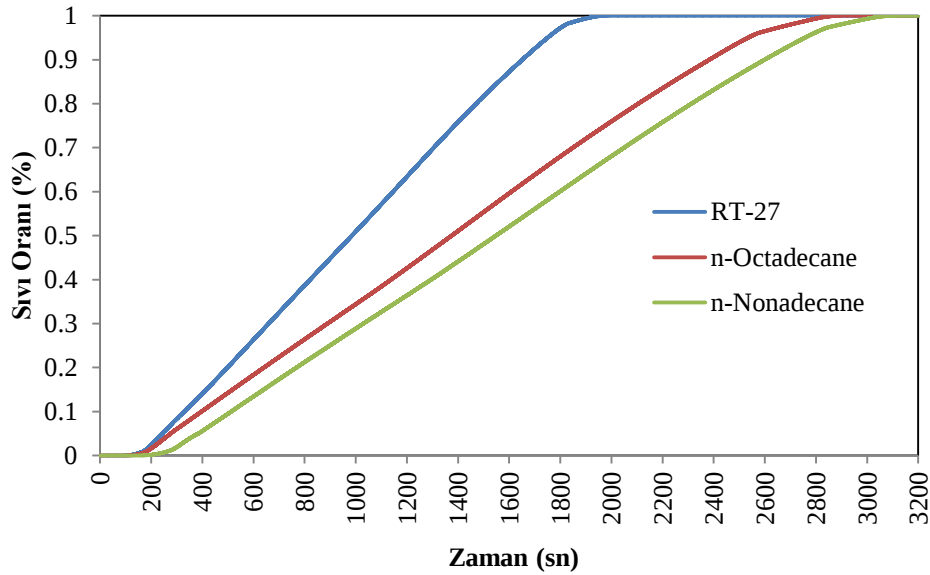
Şekil 3.54' de de görüldüğü gibi 3 farklı FDM' nin erime süreci boyunca yapılan analizlerinin neticesinde yukarıda bahsedilen farklı faz değişim aralıklarına sahip olmalarının sebebi RT-27' nin n-Octadecane ve n-Nonadecane' ye göre β (ısı genleşme katsayısı) ve Q (depolanan ısı miktarı) değerinin daha düşük olmasıdır. Denklem 1.3' e göre RT-27, n-Octadecane ve n-Nonadecane' nin ısı genleşme (β) ve ısı depolama kapasiteleri (Q) değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3. 2. FDM' lerin ısı depolama kapasiteleri ve ısı genleşme katsayıları

	RT-27	n-Octadecane	n-Nonadecane
Q	262740 kJ	292673.7 kJ	318926.4 kJ
β	0.00300	0.00311	0.00314

3.3. Erime Süreci İçin Sıvı Oranı-Zaman Adımı Grafiği

Çalışmada kullanılan RT-27, n-Octadecane ve n-Nonadecane' nin erime süreçleri analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen veriler, belirlenen FDM' lerin kask içerisinde kullanımıyla kaskın kullanıcıya sağlayacağı serinletme sürelerinin karşılaştırılması bakımından önemli ipuçları vermektedir. Bu grafikte (Şekil 3.55' de), sıvı oranının zamana bağlı olarak değişimleriyle birlikte kask içerisinde bulunan fdmlerin toplamda 3200 sn boyunca erime süreçlerinin zaman içerisindeki değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 3. 56. FDM' lerin Sıvı Oranı-Zaman Adımı Grafiği

Şekil 3.55' deki grafikte RT-27, n-Octadecane ve n-Nonadecane' nin sıvı oranının zamanla değişimi gösterilmiştir. Grafikte de gösterildiği gibi, RT-27 nin diğer fdmlere nazaran daha erken bir şekilde erime sürecinin gerçekleştiği, n- Octadecane ve n- Nonadecanın erime süreçlerinin ise daha uzun sürdüğü görülmektedir. Grafiğe göre RT-27' nin erime süresi 1982.4 sn, n-Octadecane' nin 2896.6 sn ve n- Nonadecane' nin 3109.2 sn sürmektedir. Buda kask kullanıcılarına en uzun serinletme süresini sırasıyla n- Nonadecane, n-Octadecane ve RT-27' nin sağladığını göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Detaylı literatür araştırması sonucu yapılan bu çalışmada, FDM' lerin motosiklet kaskında serinletme sağlaması ve kaskın iç ortam sıcaklığını düşürmesi için erime süreçleri incelenmiştir. Kullanılan FDM' ler RT-27, n-Octadecane ve n-Nonadecane olarak parafin grubundan seçilmiştir. Bu FDM' lerin erime süreçlerinin incelenmesinin yanı sıra bu süreçte kask içerisinde meydana gelen sıcaklık değişimleri de incelenmiştir. Analiz ANSYS FLUENT programı ile gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları da bu program ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar analizde kullanılan üç farklı FDM için ayrı ayrı kıyaslanmıştır. Bu veriler ve bu verilerin birbiriyle karşılaştırılması sonucunda aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- Analizde için en uygun ağ yapısı oluşturulmuş ve oluşturulan bu ağ yapısının uygunluğu, yapılan literatür araştırması sonucunda doğrulanmıştır.
- Erime süresinin en düşük olduğu FDM RT-27 olarak belirlenmiştir. En uzun sürede eriyen FDM ise n-Nonadecane' dir. n-Nonadecane tam olarak 3109.2 sn' de erimiştir.
- Erime sürelerinin elde edilmesi, sıvı oranı-zaman adımı grafikleri sayesinde olmuştur. Bu grafikler bir önceki maddede de belirtildiği gibi FDM' lerin erime sürelerini bize net olarak vermiştir.
- Elde edilen sıcaklık-zaman adımı grafikleri sayesinde FDM' lerin faz değişim süreçleri daha detaylı bir şekilde incelenmiştir.
- Yine sıcaklık-zaman adımı grafikleri sayesinde kask malzemeleri dâhil olmak üzere daha önceden belirlenen belirli noktalardaki sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Ve her biri ayrı ayrı birbiriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma sonucunda en uygun FDM olarak n-Nonadecane belirlenmiştir.
- Yapılan analiz ve karşılaştırmalar sonucunda motosiklet kasklarının serinletilmesi için en uygun FDM' nin n-Nonadecane olduğu belirlenmiştir.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmada detaylı bir şekilde verilen literatür araştırması sonucunda yeni nesil bir motosiklet kaskı tasarımı ve bu kask içerisinde serinletme sağlamak amacıyla belirli FDM' lerin erime süreçleri incelenmiştir. Çalışmamıza yakın olan çalışmalar incelendiği zaman ve çalışmamız doğrultusunda elde edilen sonuçlara bakıldığında bir takım öneriler yapılabilir;

- ❖ Deneysel olarak yapılması güç ve masraflı olan çalışmalar sayısal yöntemler kullanılarak daha detaylı bir şekilde çözüme ulaştırılabilir.
- ❖ Bu çalışmada yapılan analiz hayata geçirilerek motosiklet kullanıcılarına sunulabilir.
- ❖ Parafinler dışında kullanılan FDM' ler ile benzer analizler yapılabilir.
- ❖ Erime ve katılaşma için kullanılan FDM' lerin termofiziksel özelliklerinin geliştirilmesi ve iyileştirilme ile daha uzun sürelerde kask içerisinde kullanımını sağlamak için bu FDM' lere nano parçacıklar eklenebilir veya ötektik FDM' ler hazırlanabilir.
- ❖ Ötektik olarak hazırlanan FDM' lerin termofiziksel özellikleri ANSYS veya diğer paket programlar kullanılarak birbirleriyle kıyaslanabilir ve gelişme durumları yakından takip edilebilir
- ❖ Çalışmamızda tasarlanan kask modeli geliştirilebilir ve FDM' nin konulduğu bölgeler değiştirilerek yeni analizler yapılabilir.
- ❖ ANSYS gibi paket programlar ile doğa şartları göz önüne alınarak, yapılan bu çalışma için yeni analizler gerçekleştirilebilir.
- ❖ Çalışmamız diğer paket programlar kullanılarak yapılan analiz sonuçları bu programlarla bulunan sonuçlar ile kıyaslanabilir.
- ❖ FDM' nin konulduğu bölgenin boyutları değiştirilerek kask üzerindeki etkileri çalışmamız ile karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Hrairi M., Abdullah A.F. and Ahmed M.I.**, 2013. Cooling of Motorcyclist Helmet with Thermoelectric Module, Middle-East Journal of Scientific Research 13 (Mathematical Applications in Engineering), 103-108.
- [2] **Gao, C., Kuklane, K. and Holmér, I.**, 2008. The Heating Effect of Phase Change Material (pcm) Vests on a Thermal Manikin in a Subzero Environment, 7th International Thermal Manikin and Modelling Meeting - University of Coimbra.
- [3] **FOK, S.C., TAN, F.L. and SUA, C.C.**, 2011. Experimental Investigations on the Cooling of a Motorcycle Helmet with Phase Change Material, Thermal Science, 15, 807-816.
- [4] **Lachenbruch, C.A., Barnett, R.I.**, 2003. Heating or Cooling Pad or Glove with Phase Change Material, United States Patent Application Publication US 2003/0109910 A1
- [5] **Tan, F.L. and Fok, S.C.**, 2006. Cooling of Helmet with Phase Change Material, Applied Thermal Engineering 26, 2067–2072
- [6] **Nejman, A., Goetzendorf-Grabowska, B.**, 2013. Heat Balance of Textile Materials Modified with The Mixtures of PCM Microcapsules, Thermochimica Acta, 569, 144– 150
- [7] **PURVIS, A.J., CABLE, N.T.**, 2000. The Effects of Phase Control Materials on Hand Skin Temperature Within Gloves of Soccer Goalkeepers, Ergonomics, 43, 1480 – 1488
- [8] **Farid, M.M. ve Husian, R.M.**, 1990. An electrical storage heater using the phase-change method of heat storage, Energy Conversion and Managament, 30(3), 219-230.
- [9] **Ryu, H.W., Woo, S.W., Shin, B.C. and Kim, S.D.**, 1992. Prevention of supercooling and stabilization of inorganic salt hydrates as latent heat storage materials, Solar Energy Materials and Solar Cells, 27(2), 161-72.
- [10] **Varol, Y., Koca, A.**, 2002. Isı Depolamada Glauber Tuzunun Etkinliğinin Deneysel ve Sayısal Olarak Araştırılması, 7. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 275-281.
- [11] **Sari, A., Kaygusuz, K.**, 2001. Thermal Energy Storage System Using Some Fatty Acids as Latent Heat Energy Storage Materials, Energy Sources, 23, 275-285.

- [12] **Rozanna, D., Chuah, T.G., Salmiah, A., Thomas, S.Y.C. and Sari, M.,** 2004. Fatty Acids as Phase Change Materials (PCMs) for Thermal Energy Storage: A review, *Int. Journal of Green Energy*, **1(4)**, 495-513.
- [13] **El-Bassuoni, A-M.A., Tayep, A.M., Helwa, N.H. and Fatyh, A.M.,** 2003. Modification of urea-sodium acetate trihydrate mixture for solar energy storage, *Renewable Energy*, **28**, 1629-1643.
- [14] **Sari, A.,** 2006. Eutectic mixtures of some fatty acids for latent heat storage: Thermal properties and thermal reliability with respect to thermal cycling, *Energy Conversion and Management*, **47**, 1207-1221.
- [15] **Kakuichi, H., Yamazaki, M., Yabe, M. and Chihara, S.,** 1999. A study of new phase change material; Trimethylolethane Hydrate and its mixtures having phase change temperature between 13°C and 30 °C, *IEA Annex-10 PCMs and Chemical Reactions for Thermal Energy Storage*, 28-29.
- [16] **Choi, U.S.,** 1995. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, in: D.A. Siginer, H.P. Wang, (Eds.), *Developments and applications of non-Newtonian flows*, **231**, 66, 99-105.
- [17] **Lee, S., Choi, S.U.S., Li. S. and Eastman, J.A.,** 1999. Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *ASME, J. Heat Transfer*, **121**, 280-289.
- [18] **Mbaye, M., Bilgen, E.,** 2001. Phase change process by natural convection-diffusion in rectangular enclosures, *Heat Mass Transfer*, **37**, 35-42.
- [19] **Wang, X.Q., Mujumdar, A.S.,** 2007. Heat transfer characteristics of nanofluids: a review, *Int. J. Thermal Sci.*, **46**, 1-19.
- [20] **Xuan, Y., Li, Q.,** 2000. Heat transfer enhancement of nanofluids, *Int. J. Heat Fluid Flow*, **21**, 58-64.
- [21] **Hwang, K.S., Lee, Ji-Hwan and Jang, S.P.,** 2007. Buoyancy-driven heat transfer of water-based Al₂O₃ nanofluids in a rectangular cavity, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **50**, 4003-4010.
- [22] **Jou, R.Y., Tzeng, S. C.,** 2006. Numerical research of nature convective heat transfer enhancement filled with nanofluids in rectangular enclosures, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, **33**, 727-736.

- [23] **Yousef M.F., El Hasadi, Khodadadi, J.M.,** 2013. One-dimensional Stefan problem formulation for solidification of nanostructure-enhanced phase change materials (NePCM), *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **67**, 202–213.
- [24] **Khodadadi, J.M., Hosseinzadeh, S.F.,** 2007. Nanoparticle-enhanced phase change materials (NEPCM) with great potential for improved thermal energy storage, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **34**, 534–543.
- [25] **Fan, L., Khodadadi J.M.,** 2012. An experimental investigation of enhanced thermal conductivity and expedited unidirectional freezing of cyclohexane-based nanoparticle suspensions utilized as nano-enhanced phase change materials (NePCM), *International Journal of Thermal Sciences*, **62**, 120-126.
- [26] **Dhaidan, N.S., Khodadadi, J.M., Al-Hattab, T.A. and Al-Mashat, S.M.,** 2013. Experimental and numerical investigation of melting of NePCM inside an annular container under a constant heat flux including the effect of eccentricity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **67**, 455–468.
- [27] **Sarı A,** 2003. Thermal reliability test of some fatty acids as PCMs used for solar thermal latent heat storage applications, *Energy Conversion & Management*, **44**, 2277-87.
- [28] **Cedeño, F.O., Prieto, M.M., Espina, A. and García, J.R.,** 2001. Measurements of temperature and melting heat of some pure fatty acids and their binary and ternary mixtures by differential scanning calorimetry, *Thermochimica Acta*, **369**, 39-50.
- [29] **Feldman, D., Shapiro M.M., and Banu D.,** 1986. Organic phase change materials for thermal energy storage. *Solar Energy Materials*, **13**, 1-10.
- [30] **Sonmez, N., Fertelli A., Buyruk E.,** 2009. Numerical investigation for solidification around various cylinder geometries, *Journal of Science & Industrial Research*, **68**, 122-129.
- [31] **Sasaguchi, K., Kusano, K. and 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 Mass Transfer*, **40**, 3143-3154.

- [32] Dubovsky, V., Assis, E., Kochavi, E., Ziskind, G., and Letan, R., 2008. Study of solidification in vertical cylindrical shells, *Proceedings of the Fifth European Thermal Sciences Conference, Eindhoven, The Netherlands*.
- [33] Assis, E., Ziskind, G., Letan, R., 2009. Numerical and experimental study of solidification in a spherical shell, *Journal of Heat Transfer*, **131**, 024502-1.
- [34] Basal, B., 2007. Eş eksenli üç borulu ısı eşanjörlerinde faz değiştiren madde kullanarak ısı enerji depolanmasının incelenmesi, *Yüksek lisans Tezi*, K.A.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [35] Ismail, K.A.R., and Henriquez, J.R., 2000. Solidification of pcm inside a spherical capsule, *Energy Conversion & Management*, **40**, 173-187.
- [36] Rabin, Y., Korin, E., 1993. An efficient numerical solution for the multidimensional solidification (or melting) problem using a microcomputer, *International Journal Of Heat and Mass Transfer*, **36**, 673-683.
- [37] Sonmez, N., 2007. Buz depolamalı sistemlerde ısı transfer yapılarının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, C. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- [38] Dikici, D., 2004. Doğal soğuk kaynaklardan yararlanan yer altı kanallarında termal enerji depolanması (KTED), *Doktora tezi*, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [39] Abhat, A., 1983. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. *Solar energy*, **30**, 313-332.
- [40] Dinçer, I. and Rosen, M.A., Thermal Energy Storage: Systems and Applications, John Wiley&Sons, West Sussex, 2002.
- [41] Lane, G.A., 1983a. *Solar heat storage latent heat material*, CRC Pres Inc. Boca Raton/Florida.
- [42] Öztürk, H.H., 2008. *Isı Depolama Tekniği*, Söz Kesen Matbaacılık, Ankara.
- [43] Paksoy, H.Ö., 1992. Thermal analysis of heat storage materials and integrated heat pump and thermal energy storage, *Doktora Tezi*, Ç.Ü. Fen Bil. Enst., Adana.

- [44] Dinçer, İ. ve Dost, S., 1996. A perspective on thermal energy storage systems for solar energy applications, *International Journal of Energy Research*, **20**, 547-557.
- [45] www.enerjisistemleri.org/termokimyasal-depolama.html, 15 Ocak 2013.
- [46] Özönur, Y., 2004. Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değıştiren maddelerin mikrokapsüllenmesi, *Yüksek lisans tezi*, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [47] Basal, B., 2007. Eş eksenli üç borulu ısı eşanjörlerinde faz değıştiren madde kullanarak ısı enerji depolanmasının incelenmesi, *Yüksek lisans Tezi*, K.A.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [48] Karaipekli, A., 2006. Faz değışimli enerji depolama maddelerinde ısı iletkenliğinin zenginleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- [49] Yılmaz, S., 2008. Soğutma uygulamaları için faz değıştiren maddelerde termal enerji depolama, *Doktora Tezi*, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [50] Abhat, A., 1981. Low temperature latent heat thermal energy storage, *Thermal Energy Storage*, D. Reidel Pub., Dordrecht, Holland.
- [51] Fırat, M., 2010. Yeni nesil yanma odalarında akış ve ısı transferinin sayısal olarak modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [52] http://www.desica.com.tr/neden_cfd.html Neden CFD. 20 Ağustos 2011.
- [53] ANSYS-Fluent User Guide, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Çetin YAVUZ, 01.01.1989 tarihinde Elazığ’ da doğdu. İlk okulunun ilk 5 yılını İstanbul’ da 50. Yıl General Refet Bele İlk Öğretim Okulunda kalan 3 yılını ise Elazığ’ da Elazığ İlk Öğretim Okulunda tamamladı. 2002 yılında Elazığ Atatürk Lisesinde lise eğitimini almaya başladı ve 2005 yılında tamamladı. Üniversite eğitimine 2007 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde başladı ve 2012 yılında tamamladı. 2013 yılında yüksek lisans eğitimine Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği ana bilim dalı, Mekanik sistemler bölümünde başladı.